

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS  
EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TIMBÍO (CAUCA)**



**JOSÉ ALEJANDRO BRAVO RODRÍGUEZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA POPAYÁN**

**2023**

**APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS ORGÁNICOS GENERADOS  
EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TIMBÍO (CAUCA)**



**JOSÉ ALEJANDRO BRAVO RODRÍGUEZ**

**Trabajo de Grado modalidad Pasantía para optar el título de Ingeniero  
Ambiental y Sanitario**

**Director**

**DIANA MILENA MUÑOZ**

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE  
PROGRAMA DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA POPAYÁN**

**2023**

## NOTA DE ACEPTACIÓN

Una vez revisado el documento final del trabajo de grado titulado “aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del municipio de Timbío (Cauca)”; realizado por el estudiante José Alejandro Bravo Rodríguez, y asistido a la sustentación del mismo, se da por aprobado el proceso y se autoriza seguir con los trámites para optar al título Profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria.



---

Director  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



Arnol Arias Hoyos  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca



Ronald Edinson Cerón  
Jurado  
Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria  
Corporación Universitaria Autónoma del Cauca

## **DEDICATORIA**

Este trabajo está dedicado mis padres Maricel Rodríguez y Jose Luis Bravo, a mis hermanos y abuelos, quienes siempre han sido mi motivación y apoyo para salir adelante.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios y a la Virgen, por darme la salud y vida, para seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mis padres Maricel Rodríguez y Jose Luis Bravo, expreso sincera gratitud por su invariable e ilimitado apoyo, colaboración, cariño, comprensión y consejos durante toda mi vida.

A mis abuelos y hermanos por ser mi motivación y apoyo incondicional

A mi compañera de vida Gabriela Narvaez por su apoyo y motivación para culminar mi carrera profesional

A los docentes del programa de Ingeniería Ambiental y sanitaria por brindarme una formación profesional; igualmente a mí tutora la doctora Diana Milena Muñoz, por su dedicación, paciencia y motivación en el desarrollo del proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>RESUMEN .....</b>	<b>9</b>
<b>ABSTRAC.....</b>	<b>10</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>1. CAPÍTULO I. PROBLEMA.....</b>	<b>13</b>
1.1. Planteamiento del Problema .....	13
1.2. Justificación.....	15
1.3. Objetivos .....	16
1.3.1. Objetivo general.....	16
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
<b>2. CAPÍTULO II. REFERENTES CONCEPTUALES .....</b>	<b>17</b>
2.1. Antecedentes .....	17
2.2. Bases Teóricas.....	19
2.2.1. Aprovechamiento.....	19
2.2.2. Residuos Sólidos .....	19
2.2.3. Residuos Sólidos Orgánicos.....	20
2.2.4. Compostaje.....	20
2.2.5. Fases Del Compostaje .....	20
2.3. Bases Legales.....	21
<b>3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA .....</b>	<b>23</b>
3.1. FASE I. Caracterización de residuos sólidos orgánicos .....	23
3.1.1. Selección de la muestra .....	23
3.1.2. Caracterización cualitativa y cuantitativa .....	24
3.2. FASE II: Elaboración del compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera del municipio de Timbío -Cauca .....	25
3.2.1. Elaboración del compost .....	26
3.3. FASE III: Evaluación de la calidad del compost de acuerdo a los parámetros técnicos establecidos por el Instituto Colombiano .....	28
3.3.1. Parámetros Físicos y Químicos .....	28
3.3.2. Parámetros Químicos .....	28
3.3.3. Análisis comparativo .....	30

<b>4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
4.1. FASE I. Caracterización de residuos sólidos orgánicos .....	32
4.1.1. Selección de la muestra .....	32
4.1.2. Caracterización cualitativa y cuantitativa .....	34
4.2. FASE II: Elaboración del compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera del municipio de Timbío Cauca .....	38
4.2.1. Elaboración del compost .....	38
4.2.2. Formación de la pila .....	38
4.2.3. Volteo de la pila .....	39
4.2.4. Tamizaje .....	40
4.3. FASE III. Evaluación de la calidad del compost de acuerdo a los parámetros técnicos establecidos por el instituto colombiano agropecuario (ICA)	41
4.3.1. Evaluación del proceso de compostaje .....	41
4.3.2. Evaluación de la calidad del compost.....	48
4.3.3. Parámetros Químicos y Físicos determinados en el compost maduro	49
<b>5. CONCLUSIONES .....</b>	<b>56</b>
<b>6. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>58</b>
<b>7. REFERENCIAS .....</b>	<b>59</b>

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Normatividad.	19
<b>Tabla 2.</b> Parámetros químicos y método de medición	27
<b>Tabla 3.</b> Límites máximos de parámetros establecidos en la NTC 5167	28
<b>Tabla 4.</b> Parámetros establecidos por el ICA	29
<b>Tabla 5.</b> Composición porcentual del material orgánico recolectado	33
<b>Tabla 6.</b> Control de Temperatura	41
<b>Tabla 7.</b> Control de pH	45
<b>Tabla 8.</b> Control de Materia Orgánica	46
<b>Tabla 9.</b> Parámetros establecidos por la NTC y el ICA	48



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Caracterización de residuos sólidos, método del cuarteo	21
<b>Figura 2.</b> Sistema de tratamiento de lixiviado planta de compostaje	22
<b>Figura 3.</b> Mapa municipio de Timbío, Selección de la muestra	30
<b>Figura 4.</b> Recolección de residuos sólidos	30
<b>Figura 5.</b> Caracterización de residuos método del cuarteo	31
<b>Figura 6.</b> Recepción de residuos en la planta de compostaje	33
<b>Figura 7.</b> Campaña de educación ambiental, zona de comercio	34
<b>Figura 8.</b> Cal viva aplicada	36
<b>Figura 9.</b> <i>Formación de la pila, proceso de compostaje</i>	36
<b>Figura 10.</b> Volteo de la pila, proceso de compostaje	37
<b>Figura 11.</b> Tamizaje, proceso de compostaje	38
<b>Figura 12.</b> Producto final empacado	38
<b>Figura 13.</b> Toma de temperatura in situ	40
<b>Figura 14.</b> Medición de pH	43

## LISTA DE GRÁFICAS

<b>Gráfica 1.</b> <i>Caracterización de residuos sólidos</i>	29
<b>Gráfica 2.</b> Temperatura frente a tiempo	38
<b>Gráfica 3.</b> pH frente a días	41
<b>Gráfica 4.</b> Materia orgánica frente a días	42

## LISTA DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Resultados fisicoquímicos del compost por el laboratorio AGROAMBIENTAL	63
--	----

## RESUMEN

La presente propuesta tuvo por objetivo realizar el aprovechamiento de aproximadamente ocho toneladas de residuos sólidos orgánicos originados semanalmente en la zona urbana del municipio de Timbío, Cauca, con el fin de elaborar compost que aportará al uso adecuado de residuos orgánicos para el beneficio de toda la comunidad. Para lograrlo, dichos residuos pasaron por un proceso que se facilitó debido a que la empresa EMTIMBIO E.S.P cuenta con los espacios y los recursos necesarios para ello; este ejercicio de elaboración del compost incluyó varias etapas como la trituración, el volteo y la formación de las pilas; además, durante todo el proceso de la elaboración se monitorearon características como el pH, la temperatura y materia orgánica para verificar que todo se estuviera realizando de manera adecuada. Finalmente se procedió a evaluar los resultados del compost elaborado, en relación con los estándares establecidos por el ICA y por las normas técnicas colombianas pudo precisarse que parámetros como pH y humedad estaban dentro de los índices que exige el ICA para un producto orgánico, además de ello es importante mencionar que este compost cuenta con porcentajes importantes de elementos como lo son: fósforo, potasio y calcio que aportan nutrientes que favorecen el crecimiento de los cultivos; sin embargo en cuanto a la relación C/N se obtuvo un valor de 13.17 el cual se aproxima al valor exigido por la norma, debido a la alta presencia de nitrógeno e insuficiencia de carbono.

**Palabras clave:** Residuos sólidos Orgánicos, aprovechamiento, Compostaje

## ABSTRAC

The objective of this proposal was to make use of approximately eight tons of organic solid waste generated weekly in the urban area of the municipality of Timbío, Cauca, in order to produce compost that will contribute to the proper use of organic waste for the benefit of the entire community. To achieve this, such waste went through a process that was facilitated because the company EMTIMBIO E.S.P. has the necessary spaces and resources for it; this compost elaboration exercise included several stages such as shredding, turning and the formation of piles; in addition, during the whole elaboration process, characteristics such as pH, temperature and organic matter were monitored to verify that everything was being done in a proper way. Finally, the results of the compost were evaluated in relation to the standards established by the ICA and the Colombian technical norms. It was found that parameters such as pH and humidity were within the indexes required by the ICA for an organic product, and it is also important to mention that this compost has important percentages of elements such as phosphorus, potassium and calcium that provide nutrients that favor crop growth; however, as for the C/N ratio, a value of 13 was obtained. 17, which is close to the value required by the standard, due to the high presence of nitrogen and insufficient carbon.

**Keywords:** Organic solid waste, use, composting

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad, a nivel mundial se aúnan esfuerzos y se lideran distintas estrategias para minimizar la contaminación ambiental; por ello, se buscan alternativas para el cuidado y protección de los recursos naturales y para frenar el inadecuado manejo de residuos sólidos que no solo lo contaminan, sino que causan otras problemáticas como la obstrucción de drenajes que originan inundaciones y se convierten en foco de enfermedades, lo cual perjudica la vida del hombre, los animales y las plantas [1].

Según el Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos (2021), expuesto por el gobierno de Colombia, en el país se generan más de 30 millones de toneladas de residuos sólidos al día; en el departamento del Cauca, más de 160.000 toneladas al año aproximadamente y en el Municipio de Timbío cerca de 2100 toneladas al año, de los cuales solo el 46% de los residuos son orgánicos [2].

Con base en la cantidad de recursos originados, la organización de las Naciones Unidas (ONU) precisa la necesidad de establecer mecanismos para el uso adecuado de los residuos sólidos, ya que el mal manejo de éstos, ocasiona diversos impactos ambientales negativos, por lo cual, es necesario que liderar acciones desde cada localidad, para lograr que los recursos pasen por un proceso de aprovechamiento y que las personas adquieran el hábito de realizar la separación de residuos según su clasificación, de tal modo que lo asuman como una rutina cotidiana y de esta forma ayuden a mitigar los impactos ambientales.

En este orden de ideas, existen diversos mecanismos de aprovechamiento de residuos sólidos, que permiten reincorporar estos materiales a un nuevo ciclo productivo, dentro de estos procesos se encuentra el reciclaje y el compostaje [3], que permite la transformación de la materia orgánica en un producto que aporta

nutrientes y mejora la fertilidad y estructura del suelo y a su vez prologando la vida útil del relleno sanitario sitio destinado para la disposición final; otros mecanismos están relacionados con la producción de abono orgánico, que puede ser empleado por los agricultores [4].

Teniendo en cuenta la importancia del manejo adecuado de los residuos sólidos, se realizó este proyecto con el fin de elaborar un compost orgánico (3 toneladas semanales aproximadamente) con los residuos sólidos originados en el municipio de Timbío, Departamento del Cauca para el beneficio del medio ambiente, la comunidad y la empresa Emtimbío ESP, que tiene por objetivo evitar que el mal uso de los residuos afecte el contexto natural de la zona y lograr que el Relleno Sanitario Los Picachos, prolongue su vida útil, al reducir la cantidad de residuos que en él se disponen.

Para llevar a cabo el proceso de compostaje, primero se caracterizaron los residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del municipio, después se procedió a elaborar el compost con los residuos obtenidos y finalmente, se evaluó su calidad, de acuerdo a unos parámetros técnicos establecidos por el Instituto Colombiano de Agropecuario (ICA). A partir de estos criterios, pudo establecerse que el compost tuvo una temperatura regulada y el nitrógeno y el pH, fueron de calidad y permitieron obtener resultados favorables,

# 1. CAPÍTULO I. PROBLEMA

## 1.1. Planteamiento del Problema

En la actualidad, una de las principales problemáticas a nivel mundial es la generación de residuos sólidos, cuyo manejo y disposición inadecuados, contribuye a la contaminación del suelo y el agua, el deterioro del paisaje y afectación a la salud por la proliferación de vectores [5]. Al respecto, en un informe emitido por el Banco Mundial, titulado *What a waste*, se estableció que en el mundo, durante el año 2016, se generaron 2010 millones de toneladas de residuos sólidos urbanos y se estima que para el 2025, las cifras se dupliquen, debido a factores como el crecimiento urbano y las actividades industriales que influyen en la generación constante de residuos sólidos y además, en muchos países, en especial en los de precarios recursos, no se desarrollan estrategias para atender problemas ambientales [6].

Por su parte, en Colombia se estima que el 70% de los residuos sólidos generados son de tipo orgánico, que traen como consecuencia la generación de gases y lixiviados, que impactan de manera negativa, por lo cual es necesario diseñar e implementar herramientas para prevenir, mitigar o compensar los impactos ocasionados por la generación e inadecuado manejo y disposición de estos [7].

En este sentido, el presente trabajo tiene como finalidad realizar el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del Municipio de Timbío, Cauca, mediante el proceso de compostaje; asimismo, se busca la recuperación de la Planta de Tratamiento Los Arrayanes y también entregar a la empresa la primera fase, la cual llega hasta el cumplimiento de los estándares establecidos por el ICA para que posteriormente la empresa continúe con el proceso de certificación de un producto orgánico.

Para el desarrollo de la propuesta, se tuvo en cuenta que, de acuerdo con el plan de gestión integral de residuos sólidos del municipio, en Timbío se producen

alrededor de 150.8 ton/mes de residuos sólidos, de las cuales el 73% son residuos de comida y alimentos, que en la actualidad, no tienen aprovechamiento alguno y se depositan en el relleno sanitario Los Picachos, ubicado en la vereda la Yunga, de la ciudad de Popayán, lo cual afecta directamente la vida útil del sitio de disposición final debido a la gran cantidad de residuos orgánicos generados en la zona urbana del municipio, por tal motivo se hace importante implementar una estrategia de aprovechamiento para este tipo de material orgánico[8].



## **1.2. Justificación**

En la zona urbana del municipio de Timbío, departamento del Cauca, la demanda de residuos sólidos genera una problemática ambiental que afecta de manera directa a las personas que trabajan y conviven en la zona, quienes padecen los impactos negativos reflejados en el paisaje, el agua, el suelo y la calidad del aire. Por esta razón, resulta pertinente este proyecto a desarrollar en la empresa EMTIMBIO E.S.P, porque contribuye a la disminución de los impactos negativos en el ambiente, ya que los residuos orgánicos pasan de tener como sitio de disposición final el relleno sanitario Los picachos, ubicado en la vereda La Yunga en la ciudad de Popayán, a entrar en nueva cadena de transformación, como es la producción de abono orgánico.

En este orden de ideas, el presente trabajo tiene relevancia social porque en la actualidad el municipio de Timbío, cuenta con un espacio adecuado para llevar el proyecto a cabo y con la maquinaria necesaria para transformar los residuos sólidos orgánicos en material aprovechable que ocasiona beneficios socio-ambientales y económicos para la empresa y para toda la comunidad, Puesto que el aprovechamiento de los residuos sólidos enfocados en la producción de abono orgánico tiene como proyección la búsqueda de una certificación como producto orgánico, lo cual también beneficia de manera indirecta el relleno sanitario Los Picacho, disminuyendo el volumen de residuos y prolongando su tiempo vida.

También fue pertinente llevar a cabo este trabajo, porque el adecuado manejo y disposición final de los residuos sólidos orgánicos, minimiza los impactos negativos al ambiente, lo cual demanda actividades como la separación y almacenamiento de los residuos, sustentados en la educación ambiental, para fomentar el uso de los abonos orgánico y proteger la salud de toda la comunidad del municipio de Timbío [9].

### **1.3. Objetivos**

#### **1.3.1. Objetivo general**

Realizar el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del municipio de Timbío Cauca.

#### **1.3.2. Objetivos específicos**

-Caracterizar los residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del municipio de Timbío Cauca.

-Elaborar compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del municipio de Timbío Cauca.

-Evaluar la calidad del compost de acuerdo a los parámetros técnicos establecidos por el Instituto Colombiano de Agropecuario (ICA).

## 2. CAPÍTULO II. REFERENTES CONCEPTUALES

### 2.1. Antecedentes

Para la realización de este trabajo se tomaron en cuenta como referencias investigaciones relacionadas con el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, entre las cuales se destacaron las siguientes.

En primer lugar, un primer trabajo elaborado por Erika Álzate y Yuri Rubio (2017) implementaron un proyecto de producción de abono orgánico a partir de residuos orgánicos generados por la comunidad de la vereda de Claras, Tolima, con el fin de que el producto obtenido pudiera ser utilizado por los agricultores de la zona para el rendimiento de sus cultivos; para lograrlo, se empleó una línea de investigación participativa, la cual se basó en la socialización, identificación e implementación del proceso y finalmente, el uso del abono; el proyecto fue positivo puesto que resultó interesante para la comunidad, consciente de los beneficios para el medio ambiente y a la calidad de los cultivos [4].

En el año 2017 en el municipio el Rosal-Cundinamarca, implementó una propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos. Para la etapa inicial se realizó el diagnóstico situacional, basándose en el PGIRS del municipio, el cual abarcó: muestreo, socialización, recolección y disposición de residuos y finalmente, la caracterización de la muestra; la segunda fase inició con la adecuación del terreno, recolección de residuos, conformación de pilas, para las cuales se usaron 2 tipos de tratamientos: el primero con residuos, aserrín y microorganismos eficientes y el segundo, con residuos, restos de poda y microorganismos eficientes; finalmente, se llevó a cabo la medición y control de los parámetros durante el proceso como la temperatura, humedad y pH. Una vez obtenido el producto se realizó la toma de muestra para llevar al laboratorio de suelos, para finalmente realizar el análisis comparativo respecto a la NTC 5167; para este proyecto se obtuvo como resultado que ninguno de los dos tipos cumple con el parámetro establecido para humedad debido a la falta de infraestructura, el tratamiento número uno cumple con la relación carbono

nitrógeno pero no con el pH; sin embargo, se concluye que ambos tipos de abono sirven para el acondicionamiento de suelos ácidos [10].

Otro estudio elaborado por Saldaña (2018) a través de su tesis “Evaluación del contenido nutricional de abono orgánico a partir de mezclas de residuos sólidos orgánicos y aserrín con microorganismos eficientes como alternativa de sustitución de fertilizantes sintéticos”, buscó, a través de la técnica del compostaje, mediante cuatro tratamientos con proporciones diferentes de residuos orgánicos y aserrín (T1 100/0, T2 90/10, T3 80/20 y T4 70/30) donde a T2, T3 Y T4 se le adicionó 4 litros de microorganismos eficiente, como resultado se obtuvo que el tratamiento 1 tiene mayor producción con 85.1 kg, sin embargo, el tratamiento 4 demostró mayor contenido nutricional con resultados de: contenido de nitrógeno en base seca y base humedad [11].

Otro estudio no experimental realizado por Luz Marina Soria propone un sistema de pilas estático para la producción de abono orgánico en la Municipalidad Distrital de Socabaya, Perú, utilizando como materia prima los residuos orgánicos municipales; para este sistema alternativo estableció que los porcentajes de masa orgánica que deben ser utilizados en la producción del abono para garantizar parámetros óptimos de producción en cuanto a relación C/N, porcentaje de degradabilidad, humedad y nitrógeno deben ser de 67% de residuos orgánicos y 33% de residuos orgánicos verdes, para finalmente obtener rendimientos en peso compost/materia orgánica entre el 25% y 30%. Permitiendo así una reducción del 58,33% de los residuos sólidos que se generan diarios en la municipalidad [12].

Otro estudio elaborado por Vargas, Trujillo y Torres (2019), produjeron y evaluaron el compost elaborado a partir de los residuos orgánicos generados en la plaza de mercado de Acacias Meta, como alternativa de aprovechamiento, teniendo en cuenta la problemática existente por la excesiva generación de residuos y el desperdicio de alimentos a nivel mundial, nacional y local. Para el desarrollo del proyecto inicialmente se realizó la caracterización de los residuos orgánicos generados en la central de abastecimientos del municipio, y posteriormente realizaron el proceso de compostaje a

través de un sistema de pilas, el cual tuvo una duración de 90 días en los que se desarrollaron las cuatro etapas del proceso de compostaje. Finalmente se realizó la evaluación de los parámetros químicos del compost, obteniendo como resultados un alto contenido de potasio y magnesio y en menor porcentaje contenido de fósforo. Finalmente, se concluyó que el producto obtenido del proceso de compostaje a partir de residuos orgánicos provenientes de las centrales de abastecimiento, presentó características nutricionales de calidad y rendimiento aceptables para el uso de actividades agrícolas [3].

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Aprovechamiento**

El Ministerio de vivienda, ciudad y territorio en el decreto 2981 de 2013 define aprovechamiento como la actividad complementaria del servicio público de aseo, que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento para realizar su adecuado proceso ya sea compostaje, reciclaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios ambientales y/o económicos [13].

### **2.2.2. Residuos Sólidos**

Los residuos sólidos se definen como cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido que el generador dispone posterior a su consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que basándose en su composición se pueden clasificar en inorgánicos y orgánicos [14].

Para llevar a cabo el proceso de compostaje es necesario contar con los residuos sólidos clasificados de manera adecuada puesto que la presencia de residuos sólidos inorgánicos dificulta la ejecución del proceso; Sin embargo, en el municipio de Timbío se tiene establecida una ruta selectiva de residuos sólidos orgánicos el cual facilita la obtención del material orgánico

### **2.2.3. Residuos Sólidos Orgánicos**

Los residuos orgánicos son residuos de tipo biológico que se descomponen naturalmente y se degradan de manera rápida; característica que permite generar alternativas de aprovechamiento como lo es el compostaje, mediante el cual se obtiene un producto que puede volver a ser integrado en un nuevo proceso, contribuyendo en la mitigación de los impactos ambientales negativos que se derivan de la generación e inadecuado manejo y disposición de residuos sólidos orgánicos [10],[15].

### **2.2.4. Compostaje**

El compostaje es la suma de varios procesos metabólicos que realizan múltiples microorganismos, los cuales en presencia de oxígeno aprovechan el carbono y el nitrógeno presentes en el sistema para producir su propia biomasa; al respecto, Román, Martínez y Pantoja (2013), citado por Sango. F (2020) establecen que en el proceso de compostaje presenta cuatro fases (Mesófila, Termófila, Refrigeración y Maduración), las cuales dependen de la temperatura que se alcance en el proceso [16]. Durante el proceso se debe tener en cuenta factores como la temperatura, pH, humedad y Relación C/N, ya que pueden afectar el proceso y la efectividad del producto final [17].

### **2.2.5. Fases Del Compostaje**

A continuación, se describen las 4 fases del compostaje, las cuales son de suma importancia dentro del desarrollo del proyecto para poder establecer el grado de maduración del compost

#### **2.2.5.1. Fase Mesófila**

La primera fase del compostaje inicia a temperatura ambiente hasta llegar a los 45°C, donde los microorganismos presentes en el ambiente degradan elementos como proteínas y azúcares, debido a la generación de ácidos el pH disminuye [18], [19].

#### **2.2.5.2. Fase Termófila**

La segunda fase va desde los 45°C hasta los 60°C, lo cual permite la eliminación de bacterias como *Escherichia coli* y Salmonella, los hongos termófilos desaparecen quedando las bacterias esporógenas y actinomicetos. Los microorganismos

descomponen a la celulosa y hemicelulosa y el pH aumenta debido a que los ácidos grasos se consumen y el nitrógeno se transforma en amoníaco [19].

### 2.2.5.3. Fase de enfriamiento

En la tercera fase la temperatura desciende a menos de 45°C, los microorganismos mesófilos proliferan, los hongos termófilos degradan parte de la celulosa como la lignina y el pH desciende levemente [16], [10].

### 2.2.5.4. Maduración

Finalmente, en la cuarta fase la temperatura ambiente se mantiene hasta obtener el compost, disminuye la población microbiana y el pH oscila entre 7 y 8 [16].

## 2.3. Bases Legales

Se identifican una serie de normas que inciden en el desarrollo del proyecto, enfocadas principalmente en el manejo de residuos sólidos y específica lineamientos para la elaboración de productos orgánicos, las cuales se describen continuación

**Tabla 1.** Normatividad.

<b>NORMA</b>	<b>DEFINICIÓN</b>	<b>REF</b>
Decreto 1713 de 2002	Establece normas orientadas a reglamentar el servicio público de aseo en el marco de la gestión integral de los residuos sólidos ordinarios, en materias referentes a sus componentes, niveles, clases, modalidades, calidad, y al régimen de las personas prestadoras del servicio y de los usuarios	[20]
Decreto 1505 de 2003	Modifica parcialmente el Decreto 1713 de 2002, en relación con los planes de gestión Integral de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.	[21]
Decreto 1140 de 2003	Modifica parcialmente el decreto 1713 de 2002, en relación con el tema de las unidades de almacenamiento, y se dictan otras disposiciones.	[22]

Decreto 838 de 2005	Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones	[14]
Resolución 2184 de 2019	Por la cual se modifica la resolución 668 de 2016 sobre el uso racional de bolsas y se adoptan otras disposiciones	[23]
Norma Técnica Colombiana 35	Suministra pautas para efectuar una recolección selectiva como parte fundamental en el proceso que permite mantener la calidad de los materiales aprovechables.	[24]
Norma Técnica Colombiana 5167	Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo	[25]
Norma técnica colombiana. 40	Etiquetado de abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo	[26]

Fuente: Elaboración propia.



### **3. CAPÍTULO III. METODOLOGÍA**

Para llevar a cabo el desarrollo de este proyecto se planteó la siguiente metodología, la cual busca dar cumplimiento a los objetivos propuestos a través de las fases descritas a continuación

#### **3.1. FASE I. Caracterización de residuos sólidos orgánicos**

En primera instancia se realizó la caracterización de residuos sólidos, utilizando como referencia el método del cuarteo para determinar las características cualitativas y cuantitativas de los residuos sólidos generados en la zona urbana del municipio de Timbío.

##### **3.1.1. Selección de la muestra**

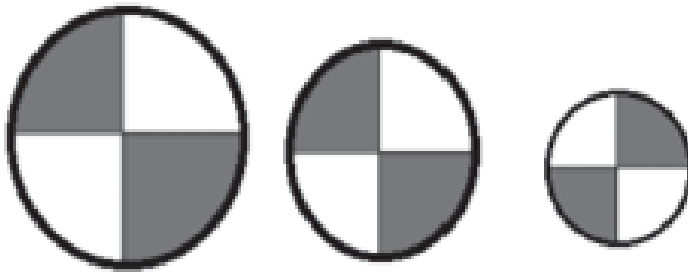
Teniendo en cuenta la extensión del municipio y la cantidad de residuos sólidos que semanalmente llegan a la planta de tratamiento Los Arrayanes, y adicionalmente que no se cuenta con elementos de medición como una báscula industrial, dificultando el pesaje de los residuos para realizar la caracterización, se tomó como referencia el proyecto realizado por Ninco C, y Sánchez J, sobre la producción de abono orgánico en el rosal Cundinamarca, donde para la toma de muestra se utilizó el método de muestreo por conglomerado geográfico aleatorio, que consiste en dividir la población en varios grupos de características parecidas entre ellos y posteriormente se analizan algunos de los grupos, descartando los demás, frecuentemente los conglomerados se aplican a zonas geográficas. Para este caso, se realizó la división de la zona urbana del municipio en 18 sectores y de manera aleatoria se escogieron un número de viviendas, donde se recolectaron los residuos orgánicos durante una semana según los días estipulados por la empresa EMTIMBIO para la recolección [10], [27].

### 3.1.2. Caracterización cualitativa y cuantitativa

Para realizar la caracterización cualitativa de los residuos sólidos se aplicó el método del cuarteo, donde inicialmente la muestra se depositó sobre un plástico con el fin de no agregar más componentes; luego se homogeneizaron los residuos y se procedió a hacer una circunferencia lo más uniforme posible con la mezcla, de la cual se extrajeron dos cuartos; después se realizó nuevamente otra circunferencia uniforme similar a la anterior, de la cual se extrajeron otros dos cuartos, hasta obtener una muestra representativa. Como se indica en la figura 1 [28]. Una vez realizado este proceso se clasificaron los residuos en orgánicos e inorgánicos.

Para el desarrollo de esta actividad se utilizaron elementos como: palas, plástico, báscula de 200 Kg, bolsas plásticas para residuos y elementos de seguridad industrial para la manipulación de residuos (botas de seguridad, guantes y gafas de seguridad).

**Figura 1.**Caracterización de residuos sólidos, método del cuarteo



Fuente: (Montoya Rendón, 2012)

Finalmente, para el cálculo de porcentajes se utilizó la siguiente ecuación:

$$\text{porcentaje } \% = \frac{p_i}{w_t} \times 100 \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

Pi = peso de cada componente

Wt = peso total de residuos recolectados

### **3.2. FASE II: Elaboración del compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera del municipio de Timbío -Cauca**

Una vez la materia orgánica ingresa en la planta de tratamiento Los Arrayanes pasa por diferentes procesos físicos y biológicos hasta finalmente obtener el compost. Este lugar cuenta con condiciones meteorológicas de un clima templado, es decir, altitud 1850 msnm, temperatura promedio entre 16 y 23 °C[9], que según el Instituto Agropecuario Colombiano ICA, son condiciones que establecen un criterio para el proceso de compostaje entre 25 y 90 días, en este caso 80 días.

Por otra parte, la planta de tratamiento cuenta con un sistema de canales que conducen el lixiviado hacia un sistema séptico integrado mitigando la contaminación de aguas superficiales y subterráneas

**Figura 2.** Sistema de tratamiento de lixiviado planta de compostaje



### **3.2.1. Elaboración del compost**

#### **3.2.1.1. Recepción de Materia Prima**

Los residuos sólidos orgánicos provenientes de la zona urbana del municipio de Timbío, Cauca se reciben en la antigua Planta de Tratamiento dos días por semana (miércoles y sábado), en promedio, 8 toneladas de residuos sólidos semanalmente aproximadamente, siendo estos residuos la materia prima utilizada para iniciar el proceso de compostaje, adicionalmente la planta recibe los restos de huesos vacunos generados en la planta de beneficio animal municipal que fueron utilizados al final del proceso con fuente de minerales [29].

#### **3.2.1.2. Clasificación**

La clasificación de los residuos se realizó en la parte principal de la antigua planta de tratamiento Los Arrayanes en la zona donde el vehículo recolector descarga los residuos orgánicos. Cabe decir que, a pesar de las campañas de sensibilización y los programas de educación ambiental llevados a cabo por la empresa de servicios públicos EMTIMBIO E.S.P que ha obtenido resultados positivos, aun llega mucho material combinado, por lo cual es necesario la separación de los residuos inorgánicos de los que continúan en el proceso de compostaje [29].

#### **3.2.1.3. Trituración**

Para llevar a cabo el proceso de triturado, los residuos son conducidos por una banda transportadora hasta llegar al molino triturador para transformar los residuos sólidos orgánicos en una pasta orgánica parcialmente homogenizada y obtener un tamaño de partícula entre 2.5 y 2.7 cm. para iniciar el proceso de compostaje [29].

#### **3.2.1.4. Formación de la pila**

Con el material orgánico previamente clasificado y triturado se procede a formar las pilas con dimensiones de 3 m de largo, 3 m de ancho y 1,20 m de altura

aproximadamente en las casetas acondicionadas; una de las pilas se tomó como referencia para el muestreo, las cuales se componen de tres capas: la primera de cal agrícola, la segunda material orgánico homogenizado y finalmente, se agrega miel de purga en la parte superior como fuente de energía, donde por cada tonelada de residuos sólidos, se agrega 4 Kg de miel de purga y de cal; las pilas deben estar separadas por tablas con el fin de evitar el esparcimiento y facilitar el volteo [29], [30].

#### **3.2.1.5. Volteo de la pila**

Este proceso se realizó una vez por semana de manera traslacional, es decir se debe cambiar la pila de lugar para que permita la aireación del sistema y favorezca las condiciones aerobias del proceso. Este proceso es realizado manualmente por un operador de la planta [29].

#### **3.2.1.6. Tamizaje**

El material obtenido se tamiza utilizando una malla con un diámetro entre 3-5 mm, con el fin de retener elementos muy grandes o aquellos que aún no han cumplido con el tiempo de compostaje, para que el producto pase a su etapa final donde la descomposición de los residuos se estabilice [29].

#### **3.2.1.7. Toma de muestra**

La toma de muestras es necesaria para conocer la calidad del compost obtenido; inicialmente, teniendo en cuenta los resultados arrojados por el laboratorio, se tomaron diferentes muestras hasta que el producto cumpliera con los estándares establecidos por el ICA; para ello, se realizó la división de la pila en tres regiones: superior, media e inferior; a cada una de estas divisiones se les realizó subdivisiones en forma de zigzag, obteniendo como resultado cinco subdivisiones de cada región las cuales se mezclaron homogéneamente hasta obtener una muestra de 2 kilogramos en total, que fue llevada y evaluada por el laboratorio [29].

### **3.3. FASE III: Evaluación de la calidad del compost de acuerdo a los parámetros técnicos establecidos por el Instituto Colombiano**

Para la evaluación de la calidad del compost fue necesario llevar un monitoreo durante el proceso de compostaje de parámetros como: Temperatura, pH y carbono orgánico cuyos valores positivos reflejan una óptima calidad y permiten identificar las diferentes fases del proceso de compostaje. Posteriormente una vez obtenido el compost se examinó la calidad del producto final con ayuda de un laboratorio certificado por el ICA, quienes evaluaron los parámetros mencionados anteriormente y demás elementos.

#### **3.3.1. Parámetros Físicos y Químicos**

**Temperatura:** Durante el proceso de compostaje se realiza la toma de temperatura una vez por día, utilizando un termómetro de laboratorio con un bulbo de mercurio. Esta medición se realiza en diferentes posiciones de la pila con el fin de obtener un registro y verificar las cuatro etapas del proceso en función de este parámetro.

**pH:** se evaluó semanalmente con el fin de monitorear la maduración del proceso de compostaje utilizando como referencia la Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004 [25].

#### **3.3.2. Parámetros Químicos**

Para la evaluación de los parámetros químicos, la muestra recolectada de compost se llevó al laboratorio de suelos AGROAMBIENTAL ANÁLISIS DE SUELOS, TEJIDO VEGETAL Y AGUAS ubicado en La Unión Valle, donde fueron evaluados los siguientes parámetros [25]:

**Tabla 2.** Parámetros químicos y método de medición

<b>Parámetro</b>	<b>Método de medición</b>
pH	Potenciométrico (NTC 5167)
Fósforo	Colorimétrico (NTC 5167)
Calcio	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Potasio	Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202)
Magnesio Total	Espectrofotometría de Absorción Atómica(NTC 5167 - NTC 1369)
Relación Carbono-Nitrógeno	
Boro	Colorimétrico (NTC 5167- NTC 1860)
Zinc	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Sodio	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Nitrógeno	Método Kjeldahl
Carbono orgánico oxidable	Volumétrico (NTC 5167)
Capacidad de Intercambio catiónico	Volumétrico (NTC 5167)
Hierro	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Calcio	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Conductividad eléctrica	Conductimétrico (NTC 5167)
Humedad	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	Gravimétrico (NTC 5167)

Teniendo en cuenta que el laboratorio entrega un reporte de porcentaje de carbono orgánico oxidable, se utilizó este dato para el cálculo de materia orgánica presente en el compost sinónimo del carbono presente en la muestra.

Durante el proceso de compostaje para evaluar este parámetro se utilizó el método Walkey-Black, el cual consiste en realizar la oxidación de carbono orgánico presente en la muestra en medio ácido, utilizando como oxidante Dicromato de Potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>) y Ácido Sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentrado. Por medio de este método se extrae el carbono fácilmente oxidable, se pesa 0.05g de muestra y se adicionan 10mL de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 0.1N y 20mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado, se agita y se deja enfriar. Una vez frío se adiciona 150mL de agua destilada, 10mL de Ácido Fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>), tres gotas de ferroína y se valora el exceso de K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> con solución ferrosa 0.5N llevando un blanco de muestra. La reacción se muestra en la ecuación 2.

(Ecuación 2)



### 3.3.3. Análisis comparativo

Se realizó el análisis comparativo de los parámetros obtenidos del producto final con los establecidos por la norma técnica colombiana 5167 de 2011 (tabla 2.) y el Instituto Colombiano de Agropecuario (ICA) (tabla 3.) [30].

**Tabla 3.** Límites máximos de parámetros establecidos en la NTC 5167

PARÁMETROS	NTC 5167
Humedad	Máximo 35%
Densidad	0,6 g/cm <sup>3</sup>
pH	Mayor de 4 y menor de 9
Nitrógeno	Registrar si es mayor al 1%

*Fuente:* Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004.



**Tabla 4.** Parámetros establecidos por el ICA

<b>PARÁMETRO</b>	<b>RANGO</b>
-pH	-7-9
-Humedad	-20-30%
-Temperatura	-ambiente
-Tamaño de la partícula	-máximo: 0,5 cm
-Relación C/N	-20/1

*Fuente:* Instituto Colombiano Agropecuario ICA

## **4. CAPÍTULO IV. RESULTADOS**

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos a partir de la implementación de la metodología planteada; dando cumplimiento a las 3 fases descritas, iniciando con la caracterización de residuos sólidos orgánicos obtenidos a partir de una muestra seleccionada de las viviendas en la zona urbana del municipio, posteriormente se realizó la elaboración del compost mediante la formación de pilas y finalmente se llevó a cabo la comparación y análisis de los valores obtenidos durante el proceso con los requerimientos establecidos por la Norma técnica colombiana y el instituto colombiano agropecuario (ICA)

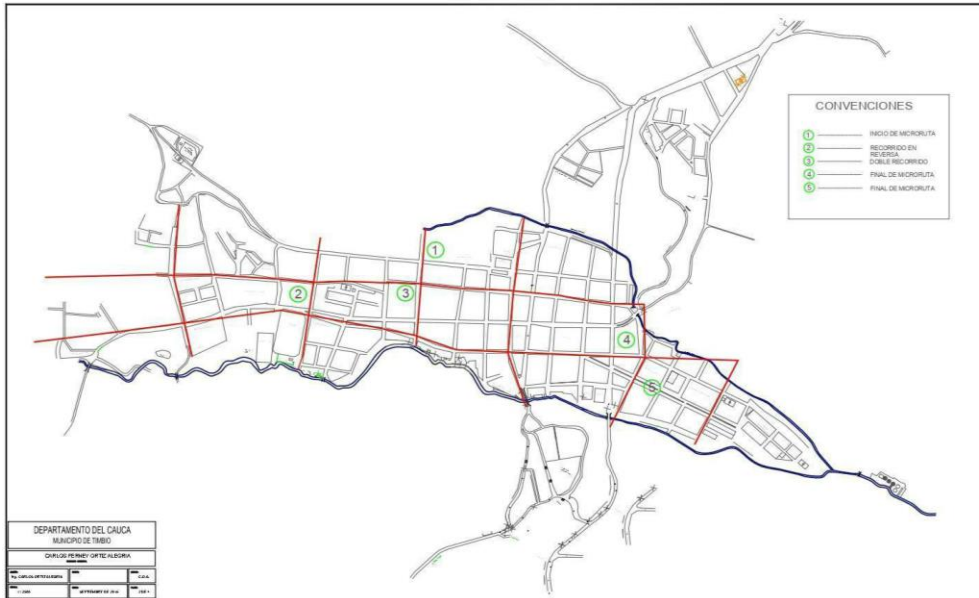
### **4.1. FASE I. Caracterización de residuos sólidos orgánicos**

Para el desarrollo de esta fase inicial cabe recalcar que en el municipio de Timbío se cuenta con una ruta selectiva para la recolección de los residuos orgánicos generados, lo cual facilitó la selección de la muestra para proceder con la caracterización cualitativa y cuantitativa.

#### **4.1.1. Selección de la muestra**

Inicialmente, aplicando el método de conglomerado geográfico se realizó la división de la zona urbana del municipio en 18 sectores, de la cual se seleccionaron 5 y a su vez se eligieron 8 viviendas de manera aleatoria, obteniendo como resultado 40 muestras, tal como se ilustra en la figura 2, donde las líneas rojas representan la división en sectores y la numeración los 5 sectores seleccionados.

**Figura 3.** Mapa municipio de Timbío, Selección de la muestra



Fuente: EMTIMBIO

A través de un recorrido por los sectores seleccionados previamente, se procedió a recolectar los residuos sólidos orgánicos durante los días miércoles y sábado, para realizar un diagnóstico que permitió identificar cantidad, composición y condiciones de los residuos orgánicos generados (Figura 3).

**Figura 4.** Recolección de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia.

#### 4.1.2. Caracterización cualitativa y cuantitativa

Una vez recolectada la muestra se procedió a realizar la caracterización cualitativa y cuantitativa, mediante el método del cuarteo, para el cual se tomó una muestra inicial de 117.5 kg, en la cual se podía observar a simple vista diversos materiales, en su mayoría cáscara de plátano, de papa y restos de cebolla. Cabe recalcar que esta muestra es una representación de las toneladas que ingresan semanalmente a la planta de tratamiento de residuos orgánicos.

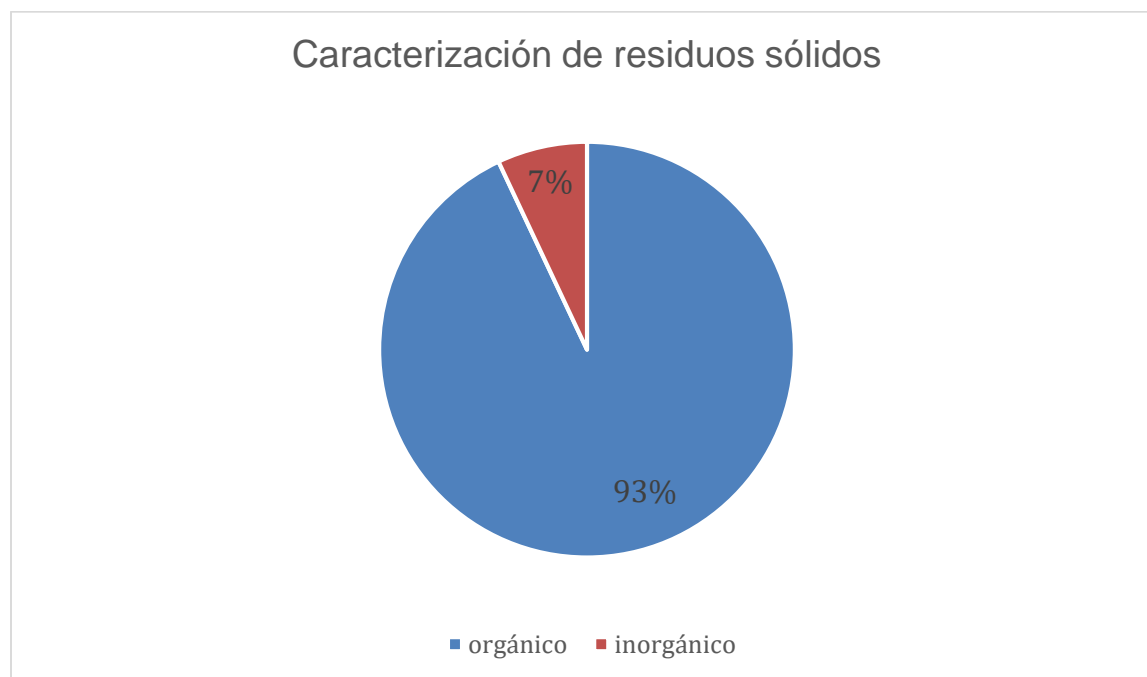
**Figura 5.** Caracterización de residuos método del cuarteo



Fuente: Elaboración propia.

Luego de realizado el proceso, finalmente se obtuvo una muestra de 45.7 kg, de la cual el 93% de residuos fueron de tipo orgánico (cáscara de huevos, restos de frutas, verduras y tubérculos) y el 7% residuos inorgánicos (bolsas plásticas y servilletas), como se observa en la gráfica 1:

**Gráfica 1.** Caracterización de residuos sólidos



Fuente: Elaboración propia.

Con el material orgánico previamente recolectado se realizó una clasificación detallada de los diferentes restos de alimentos encontrados en la muestra seleccionada (tabla 4), con el fin de conocer el aporte nutricional de los materiales orgánicos presentes.

**Tabla 5.** Composición porcentual del material orgánico recolectado

<b>MATERIAL</b>	<b>PESO (kg)</b>	<b>PORCENTAJE (%)</b>
Plátano	5.8	13.6
Naranja	3.5	8.2
Papa	3.4	8
Cebolla	3.3	7.8
Limón	3.1	7.3
Tomate	2.9	6.8
Tomate de árbol	2.8	6.7
Cáscara de huevo	2.6	6.1

Mandarina	2.5	5.9
Mango	2.4	5.6
Maracuyá	2.2	5.2
Cáscara de lulo	1.9	4.5
Zanahoria	1.8	4.2
Papaya	1.8	4.2
Repollo	1.7	4
Frijol	0.8	1.9
<b>TOTAL</b>	<b>42.5</b>	<b>100</b>

---

*Nota.* Los datos de la tabla se obtienen de los desechos orgánicos de las casas seleccionadas como muestra.

Fuente: elaboración propia

En la tabla 4 se evidencia una variedad de materiales orgánicos donde se destacan restos de plátano, naranja y papa, con porcentajes del 8% al 13%, elementos que aportan principalmente carbohidratos, vitaminas, minerales e importantes nutrientes como el potasio, benéficos para la calidad del compost [31]. En menor cantidad, se presentaron restos de frijol con un porcentaje de 1,9%, aportando proteínas de origen vegetal.

Es importante mencionar que dentro del material que ingresa a la planta de compostaje se logró evidenciar la presencia de una gran cantidad de elementos inorgánicos; a partir de los datos obtenidos en la caracterización de la muestra de residuos sólidos en la cual se obtuvo como resultado un 7% de residuos sólidos inorgánicos, se estima que semanalmente ingresan 500 Kg de este tipo de residuos como se observa en la figura 5, esto se debe principalmente que los residuos son entregados en bolsas plásticas por parte de los usuarios, sin embargo dentro de las bolsas se encontró a su vez algunos elementos no aptos para el proceso de compostaje, como lo son restos de alimentos preparados, servilletas usadas, huesos y envolturas de productos puesto que son materiales que no ofrecen ninguna posibilidad de aprovechamiento, reutilización o reincorporación en un proceso productivo [32]; lo cual indica que la separación en la fuente realizada por los habitantes aún presenta deficiencias.

**Figura 6.** Recepción de residuos en la planta de compostaje



En consecuencia a lo anteriormente mencionado, se decide apoyar la campaña de educación ambiental implementada por la empresa de servicios públicos EMTIMBIO, la cual se desarrolló inicialmente en la zona de comercio y la plaza de mercado, debido a que en esta zona se recolecta una gran cantidad de residuos orgánicos del municipio. La figura 6 evidencia la capacitación a comerciantes del lugar.

**Figura 7.** Campaña de educación ambiental, zona de comercio



Fuente: Elaboración propia.

## **4.2. FASE II: Elaboración del compost a partir de los residuos sólidos orgánicos generados en la cabecera del municipio de Timbío Cauca**

En primera instancia se realizó el reconocimiento del lugar, de los espacios y maquinaria destinada para el proceso de compostaje. La planta de tratamiento cuenta con óptimas condiciones de aireación, rodeada de una abundante vegetación destacándose el pino y eucalipto, minimizando olores de descomposición de residuos orgánicos. Posteriormente con ayuda del personal se procedió a dar inicio al proceso, que se desarrolló mediante las siguientes actividades y tuvo una duración aproximadamente de cuatro meses.

### **4.2.1. Elaboración del compost**

Para iniciar el proceso de compostaje se realizó en primera instancia la desinfección de las instalaciones de la planta “Los Arrayanes” utilizando elementos de aseo especialmente en la caseta destinada para la formación de las pilas. Para ello, se aplicó una capa de cal viva, obteniendo una superficie homogénea y lista para recibir el material orgánico. Este proceso es importante para la eliminación de microorganismos patógenos y garantizar una calidad en el proceso y en el producto a obtener. La figura 7, evidencia la cal viva aplicada sobre la superficie de recepción.

**Figura 8.** Cal viva aplicada



Fuente: Elaboración propia.



Una vez realizada la clasificación se procede a la trituración, proceso que agiliza la descomposición de los residuos al disminuir el tamaño de la partícula, posteriormente se procedió a realizar la formación de 30 pilas de aproximadamente 248 Kg cada una con material recolectado, las cuales tenían medidas aproximadas de 2 metros de ancho, 2 de largo y 1.20 metros de altura. Entre cada pila se dejó una distancia de 50 centímetros para favorecer un proceso aeróbico. Se tomó una pila como objeto de estudio y se observó que el material orgánico se encontraba fraccionado, disperso y listo para la descomposición aeróbica por parte de microorganismos, además presentaba un olor a materia orgánica fresca, con una temperatura ambiente de 22°C y la presencia de algunos insectos como cochinillas y moscas

**Figura 9.** *Formación de la pila, proceso de compostaje*



Fuente: Elaboración propia.

#### **4.2.3. Volteo de la pila**

Posterior a la formación de la pila, se realizó el proceso de volteo con una frecuencia de 8 a 10 días aproximadamente, permitiendo el control de las altas temperaturas evidenciadas con la presencia de vapores, como se puede observar en la figura 9. Indicando la descomposición e higiene de materia orgánica eliminando malos olores y aumentando la porosidad de la pila. De acuerdo con Llave y Pizarro lo anterior es evidencia de un proceso adecuado para la descomposición de la materia orgánica [33].

**Figura 10.** Volteo de la pila, proceso de compostaje



Culminado el volteo, la pila se encontraba en un nivel de maduración según las propiedades observadas al finalizar el proceso, evidencia de ello son los cambios presentados en el color, la textura y el olor del material orgánico, este criterio es importante para iniciar el tamizaje del producto (figura 11), donde se obtuvo 95.4 kg aproximadamente de material compostado de la pila seleccionada para muestreo, es decir aproximadamente el 40% del material inicial, realizado este último paso se pudo continuar con el proceso de evaluación de calidad.

**Figura 11.** Tamizaje, proceso de compostaje



Fuente: Elaboración propia

Finalmente, se realizó el empaquetado del compost obtenido en bolsas de 1 Kg (figura 12), y almacenado hasta obtener los resultados del análisis de laboratorio, para posteriormente ser distribuido entre los usuarios y las personas interesadas en las instalaciones de la empresa Emtimbio

**Figura 12.** Producto final empacado



Fuente: Emtimbio

#### **4.3. FASE III. Evaluación de la calidad del compost de acuerdo a los parámetros técnicos establecidos por el instituto colombiano agropecuario (ICA)**

Para el desarrollo de esta última fase, se realizó un monitoreo constante de algunos parámetros como lo son: pH, Temperatura y porcentaje de Carbono, demás parámetros fueron evaluados por el laboratorio de suelos certificado por el instituto técnico colombiano agropecuario ICA. Finalmente se realizó la comparación de datos, para conocer la calidad del compost

##### **4.3.1. Evaluación del proceso de compostaje**

Para determinar la calidad del compost, fue importante evaluar cómo surgía la descomposición de la materia orgánica mediante el proceso de compostaje como lo sugiere Roman, Martínez y Pantoja en el manual de compostaje del agricultor [34]. Para

ello, se tomó semanalmente una muestra de 2 kilogramos de la pila seleccionada en diferentes puntos: superior, medio e inferior. Esta muestra sirvió para determinar los resultados de dos importantes parámetros como el pH y el porcentaje de Carbono. Su medición permitió monitorear el proceso de compostaje que garantizara un compost de calidad. Otro parámetro para hacer seguimiento de madurez y calidad en el compost fue la temperatura, cuya medición se realizó directamente sobre la pila.

#### **4.3.1.1. Temperatura**

Esta importante variable, permitió monitorear en forma directa la evolución del proceso de compostaje cada 4 días. En la figura 12 se muestra como se realizó la medición de temperatura en la zona media de la pila objeto de estudio.

**Figura 13.** Toma de temperatura in situ



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la tabla 5 y en la gráfica 2, el proceso de compostaje inició con una temperatura ambiente de 22°C. Posteriormente se obtuvo un incremento precipitado de temperatura debido a las condiciones climáticas del momento y a la actividad metabólica microbiana al degradar la materia orgánica, hasta obtener el primer pico a los 10 días con una temperatura de 54°C. Durante el proceso de compostaje se reflejaron las diferentes etapas de maduración del compost en función de la temperatura. En los primeros 9 días se presentó una temperatura de 45°C, que de acuerdo a lo expresado por Olivera, señala el inicio de la etapa mesófila; este primer incremento de temperatura

indicó una retención de calor en la pila de compostaje, que se produjo debido al metabolismo y reproducción de microorganismos que tienen como función degradar los sustratos. Este proceso es el inicio de la descomposición de materia orgánica contaminante en un material apto para el medio ambiente [18].

**Tabla 6.** Control de Temperatura

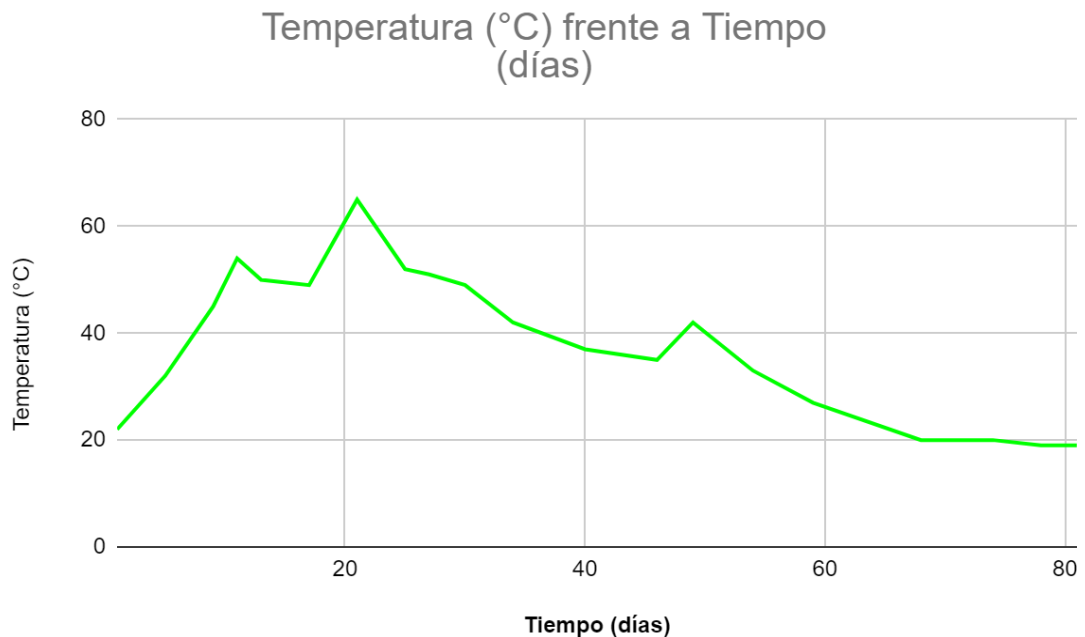
Mes	Fecha	Tiempo (días)	Temperatura (°C)
Abril	18	1	22
	22	5	32
	<b>26*</b>	9	45
	28	11	<b>54**</b>
	30	13	50
Mayo	04	17	49
	<b>08*</b>	<b>21</b>	<b>65**</b>
	12	25	52
	14	27	51
	<b>17*</b>	30	49
	21	34	42
	<b>27*</b>	40	37
Junio	02	46	35
	<b>05*</b>	<b>49</b>	<b>42**</b>
	10	54	33
	15	59	27
	<b>24*</b>	68	20
Julio	<b>30</b>	74	20
	<b>04</b>	78	19
	<b>07</b>	81	19

Nota: \*corresponde al día que se volteó la pila

\*\*corresponde a las máximas temperaturas alcanzadas

En la gráfica 2 se muestra la relación temperatura en función del tiempo durante el proceso de compostaje.

**Gráfica 2.** Temperatura frente a tiempo



Fuente: Elaboración propia.

La segunda etapa se presentó entre los 10 y 21 días, siendo en este último donde se presentó la mayor temperatura del proceso 65°C, que garantizó la eliminación de microorganismos patógenos tanto para las plantas como para el ser humano. La etapa termofílica II, reflejó que el proceso permitió alcanzar un compost maduro, que presentó una materia orgánica estable, libre de compuestos que afectan el normal desarrollo de las plantas y dispuesta para su empleo en agricultura sin que provoque fenómenos adversos al ambiente [19].

Es importante recalcar que durante el proceso no se superó los 70°C, temperatura que no es favorable en esta fase, porque facilita la ignición de la materia orgánica a descomponer. A partir de los 30 días, se presentó un descenso de temperatura en la

curva, indicando que la fase termófila culminaba, para dar paso a la **fase de enfriamiento III**, en la cual el sistema perdió calor y se presentó disminución de la actividad microbiana.

Finalmente, desde el día 55 se presentó la **fase de maduración IV**, donde la temperatura disminuyó desde 30°C hasta la temperatura ambiente, lo cual indicó que el compostaje llegaba a su etapa final. El cumplimiento de las etapas durante el proceso de compostaje, señaló que las condiciones de aireación eran adecuadas para garantizar un producto de calidad. De esta forma, la empresa EMTIMBIO pueda continuar con el proceso y lograr una certificación de abono orgánico. No obstante, es necesario contar con otras variables químicas y físicas para determinar la calidad del compost.

#### **4.3.1.2. pH**

El monitoreo de este parámetro se midió semanalmente, con la finalidad de mantener un valor dentro del rango exigido por la norma, el cual se encuentra entre 4-9, dado que si este valor no se encuentra dentro del rango mencionado, puede traer afectaciones para el suelo y en consecuente el desarrollo de cultivos

**Figura 14.** Medición de pH



Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta los datos de la tabla 6 y en la gráfica 3 puede observarse que el pH inicial de la muestra fue de 6.32, valor apropiado en el inicio del compostaje. Luego se incrementó hasta obtener un máximo de 9,15 a 30 días de descomposición de la materia orgánica[35]. Finalmente, terminó con un valor estable de 8,50 indicando que este parámetro se encuentra dentro del rango establecido por la norma, para continuar con el proceso de evaluación en el laboratorio AGROAMBIENTAL.

**Tabla 7.** Control de pH

<b>Días</b>	<b>0</b>	<b>7</b>	<b>15</b>	<b>22</b>	<b>30</b>	<b>37</b>	<b>44</b>	<b>52</b>	<b>60</b>	<b>68</b>	<b>75</b>	<b>81</b>
<b>pH</b>	6,32	6,98	7,38	8,10	9,15	9,06	8.93	8,63	8.58	8.53	8,50	8.50
<b>Muestra</b>												

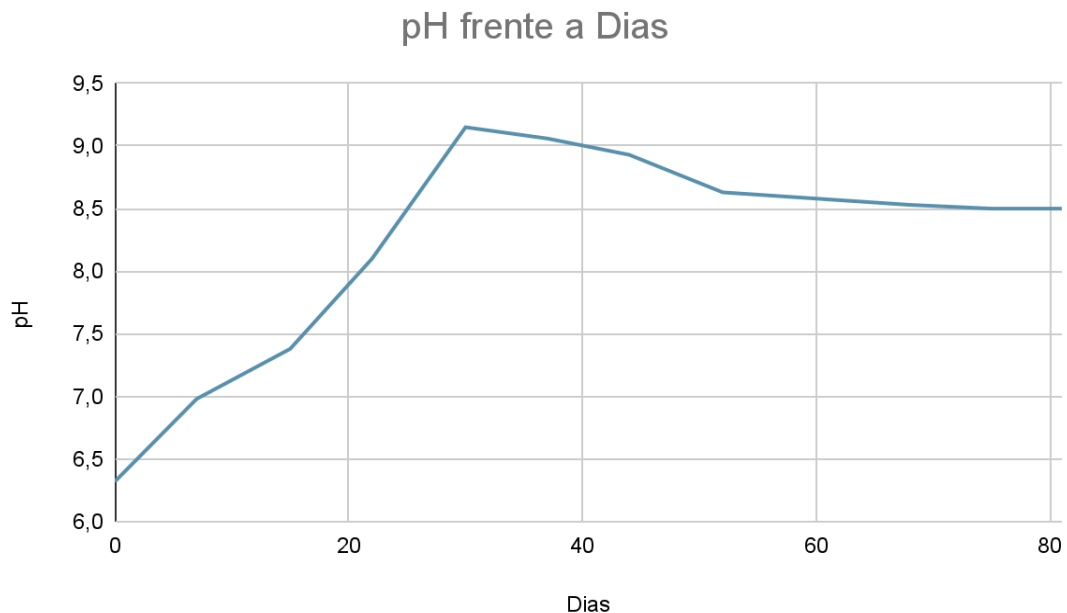
Fuente: Elaboración propia.

El valor inicial, es un buen indicador del proceso que se llevó a cabo, puesto que permitió una descomposición aeróbica y termófila de los restos orgánicos. Este tipo de descomposición es el esperado para lograr un compost de calidad. El valor intermedio de 9,15, es un pico que indicó una adecuada descomposición de proteínas vegetales que liberan amoníaco, incrementando así el valor de pH. El valor incrementado de pH, corrobora que la descomposición es aeróbica como debe esperarse para un correcto compostaje [35].

Posteriormente, en la etapa de maduración, el pH cayó sutilmente a un valor de 8.50, indicando la madurez del compost. Este valor está de acuerdo a los rangos partidos por el ICA para un compost con buenas condiciones para la aplicación al suelo.



**Gráfica 3.** pH frente a días



*Fuente: Elaboración propia.*

#### **4.3.1.3. Materia orgánica**

Los datos registrados indicaron que la pila de materiales a compostar inicialmente presenta un valor de 47%, es decir, cercano con el valor óptimo de (50%) [32].

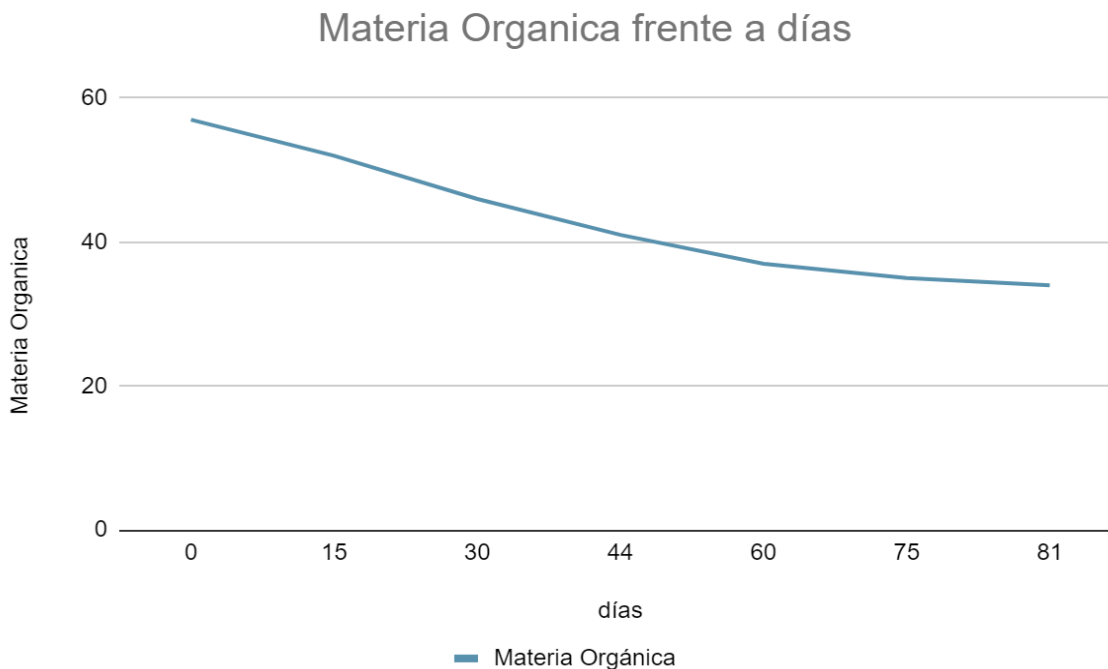
De acuerdo a este valor, la mezcla es fuente de carbono y de energía necesaria para la proliferación de microorganismos y sea un material que al degradarse proveerá fuente de nutrientes para las plantas cómo se caracteriza un compost estable.

**Tabla 8.** Control de Materia Orgánica

Días	0	15	30	44	60	75	81
<b>MO</b>							
<b>Muestra</b>	57	52	46	41	37	35	34

Fuente: Elaboración Propia.

**Gráfica 4.** Materia orgánica frente a días



Fuente: Elaboración propia.

Al transcurrir el tiempo la materia orgánica se degradó, afectando los componentes de los residuos sólidos vegetales como proteínas, vitaminas entre otros, hasta culminar con un valor de 20% que se encuentra cercano al rango óptimo reportado en la Norma Técnica Colombiana que es del 25-30% de MO para un compost maduro. Este dato es importante para el ejercicio de comparación con la exigencia de las normas establecidas, porque muestra una vez más que el proceso de compostaje se hizo en condiciones para garantizar un compost de calidad. Sin embargo, es necesario mejorar la fuente de MO, para no afectar el suelo y lograr que haya disponibilidad de nutrientes para las plantas.

#### **4.3.2. Evaluación de la calidad del compost**

La evaluación de la calidad del compost se realizó comparando los resultados obtenidos al final del proceso de compostaje con los realizados por un laboratorio registrado ante el ICA. Los parámetros que no se midieron durante el proceso de compostaje, se expresan al final del informe entregado por el laboratorio calificado, de esta manera se

garantiza una evaluación de calidad integral, es decir, teniendo en cuenta la mayoría de parámetros químicos y físicos establecidos por el Instituto Colombiano de Agropecuario (ICA).

#### 4.3.3. Parámetros Químicos y Físicos determinados en el compost maduro

Una vez entregada la muestra al laboratorio, se contó un plazo de 30 días aproximadamente para la entrega de resultados, obteniendo los datos expresados en la tabla 9.

**Tabla 9.** Parámetros establecidos por la NTC y el ICA

<b>PARÁMETROS</b>	<b>Laboratorio</b>	<b>Normativa NTC 5167</b>
pH	8.37	Mayor de 4 y menor de 9
Conductividad eléctrica	18600 uS/cm	N.A
Humedad	22.61%	20-30%
Cenizas (%)	68.65%	Máximo 60
PV (%)	31.35%	Mínimo 40
Retención de humedad	85.41%	N.A
Capacidad de intercambio catiónico CIC	28.0 meq/100g	Mínimo 30
Carbono orgánico oxidable total COT	17.25%	Mínimo 15%
Nitrógeno Total	1.31%	Declarar >1
Fósforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2.19%	Declarar >1
Potasio Total (K <sub>2</sub> O)	2.28%	Declarar >1
Calcio Total (CaO)	1.56%	Declarar >1
Magnesio total (MgO)	0.81%	Declarar >1
Azufre (S)	0.1%	Declarar >1
Hierro total (Fe)	807.14 mg/Kg	N.A
Cobre total (Cu)	17.82 mg/Kg	N.A

Zinc total (Zn)	46.51 mg/Kg	N.A
Manganeso total (Mn)	69.0 mg/Kg	N.A
Boro Total(B)	19.3 mg/Kg	N.A
Sodio (Na)	0.014 mg/Kg	N.A
Relación C/N	13.17	20/1
MO (%)	34.50 %	Mínimo 30

---

Fuente: Norma Técnica Colombiana 5167 de 2011 e Instituto Colombiano Agropecuario ICA

Con los datos obtenidos (tabla 6,7 y 8) y los requerimientos exigidos por el ICA y la norma técnica colombiana (tabla 9) se realizó el análisis comparativo de cada uno de los parámetros muestreados, a continuación se describe cada uno de ellos:

### **pH**

El valor reportado por el laboratorio Agroambiental es de 8,37, se encuentra dentro del rango aceptado por la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 y el ICA. Es decir, que el compost favorece la proliferación de microorganismos que liberan nutrientes al suelo en beneficio de las plantas. De esta forma, se contribuye al cuidado del suelo como elemento importante del medio ambiente. Sin embargo, es necesario revisar los otros parámetros para obtener una evaluación de calidad integral.

### **Conductividad Eléctrica**

De acuerdo a la Norma Técnica Colombiana 5167, no existe un valor definido de conductividad eléctrica de un abono orgánico. Por lo tanto, el valor encontrado para este parámetro se compara con los valores reportados por Llave et al (2020), donde reporta un valor de conductividad eléctrica de 24800 uS/cm. Es decir, existe una diferencia con respecto a la conductividad encontrada en el presente abono, que no es significativa en términos de establecer una comparación. La conductividad proviene entonces de la presencia de sales de calcio, magnesio y principalmente de potasio. Estos elementos son nutrientes importantes para el suelo. De esta manera se garantiza el aporte

nutricional al suelo [33].

### **Humedad**

El dato obtenido en este parámetro del 22%, indica que el contenido de agua en la pila es suficiente de acuerdo a la norma que plantea un intervalo entre 20 y 30%. Es decir, la cantidad de agua favorece el proceso llevado a cabo por los microorganismos. De acuerdo a lo observado en la elaboración del compost, es necesario mejorar unos aspectos en la metodología y en la infraestructura de la planta como en los techos de las casetas destinadas donde algunas estaban cubiertas por plásticos que puede generar un efecto invernadero afectando la humedad del sistema.

### **Cenizas**

El valor de cenizas al final del proceso de compostaje es de 68,65 %. De acuerdo con la Norma Técnica colombiana **NTC 5167** el contenido de cenizas máximo es del 60%, es decir que el compost está por encima del valor permitido incumpliendo la normatividad, podría ser por el hueso de origen vacuno en gran cantidad, indicando un alto contenido de elementos como calcio, magnesio y fósforo que al presentarse exceso de cenizas pueden haber alteraciones en la acidez y el pH del suelo afectando el desarrollo de los cultivos [36].

### **Pérdida por Volatilización**

Teniendo en cuenta el valor de cenizas y de la norma técnica colombiana **NTC 5167** el valor obtenido por pérdidas de volatilización es de 31,35%, este valor es apropiado ya que la suma entre las cenizas y las pérdidas deben completar un 100%. Según la norma técnica el valor permitido por pérdidas debe estar entre los rangos de 18-56%, indicando que el valor obtenido cumple con la normatividad, evidenciando pérdidas no muy significativas de nitrógeno aportando en la formación de humus confiriéndole de esta manera una adecuada bioestructura al suelo para el adecuado crecimiento y desarrollo de las plantas.

### **Retención de Humedad**

El valor de retención de humedad obtenido del 85,41%, para este compost, está dentro del rango permitido de acuerdo al reporte realizado por Tello et al (2015) que es del 80-100% [37]. Se puede mencionar que una muestra de este compost aplicado al suelo, retiene agua para ponerla a disposición de la planta y mejora la calidad del suelo, al facilitar el suministro de nutrientes, mejorar la retención de humedad y la actividad biológica del suelo

### **Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)**

Este compost cuenta con un valor de 28,0 meq/100 g, que comparado con el valor establecido por la NTC 5167 de mínimo 30,0 meq/100 g, se puede decir garantiza retención de nutrientes para el suelo. Es importante mencionar que esta capacidad está relacionada con la MO disponible en este compost [35].

### **Carbono Orgánico Oxidable Total (COT)**

Según la NTC 5167 este parámetro debe tener un valor mínimo de 15%. Al final de este proceso de compostaje se obtiene un valor de 17,25%, lo cual cumple con lo establecido por la norma permitiendo dar estabilidad al compost, es decir que este origina moléculas como ácidos húmicos y fúlvicos que favorecer la calidad del suelo [35]. De acuerdo con Román, Martínez y Pantoja este valor se puede incrementar agregando hojas de árbol de pino o eucalipto, especies presentes en la zona, o también aserrín fuentes significativas de Carbono[34].

### **Nitrógeno Total (N-Total)**

El porcentaje de nitrógeno es de 1,31%, según la norma técnica colombiana el valor de este parámetro debe ser reportado si es mayor que 1%, lo cual aplica para este caso. Se puede decir que este compost es fuente de nitrógeno debido a la presencia de restos de frutas y verduras en exceso mejorando las condiciones de fertilidad del suelo. Sin embargo, es importante revisar la relación C/N ya que indica si existe un adecuado proceso de mineralización y la disponibilidad de estos dos elementos para el suelo como lo son el Carbono y Nitrógeno.

### **Fósforo Total (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)**

Lo planteado por la norma técnica colombiana 5167 es reportar este macronutriente si su porcentaje es >1%. En este caso es necesario reportar el valor obtenido ya que el valor fue de 2,19%. Este valor es elevado comparado con lo reportado por Dorado J y Muñoz J 1.09% [35]. Indicando que este compost es fuente importante de fósforo (P) disponible para el desarrollo de las plantas. No obstante, el exceso de fósforo puede acumularse en las plantas y con el tiempo podría ser tóxico afectando su crecimiento y su follaje.

### **Potasio Total (K<sub>2</sub>O)**

Para la comparación de este elemento se tomó como referencia lo establecido en la norma técnica colombiana (NTC 5167) que plantea realizar el reporte si el valor es >1%. Para el caso de este compost se obtuvo un valor de 2,28% este mineral en uno de los más importantes en el proceso ya que agiliza el crecimiento de las plantas fortaleciendo principalmente su tallo y raíces. El valor elevado de este nutriente es debido a la alta cantidad de cáscaras de plátano y banano. El potasio en exceso podría afectar la absorción de otros nutrientes importantes para la planta como lo son el boro zinc, magnesio y calcio. Es importante regular la cantidad de estos desechos para minimizar este valor [34].

### **Calcio Total (CaO)**

Para analizar este microelemento se tuvo en cuenta lo establecido en la norma técnica colombiana NTC 5167 donde se exige si el valor final es >1% es necesario declararlo para este caso aplica ya que se obtuvo un valor de 1.56% donde se puede afirmar que este compost es una fuente importante de este nutriente que probablemente proviene del hueso de origen vacuno y la cal agrícola aplicada durante el proceso. Esta característica favorece suelos ácidos como los del departamento del Cauca [8].

### **Magnesio Total (MgO)**

Para la comparación de este microelemento se tomó como referencia lo establecido en la Norma técnica colombiana NTC 5167 donde se exige declarar si el valor es >1% para este caso, el valor está por debajo de lo establecido, porque el obtenido fue de 0,81% lo cual no es relevante porque no afecta la calidad del compost ya que se cuenta con un valor significativo de calcio que ayuda a controlar la acidez del suelo [29] .

### **Azufre (S)**

Según lo establecido por la norma técnica colombiana NTC 5167 este valor se reporta si es >1% este compost cuenta con un valor de 0.1% de azufre lo que nos permite afirmar que es una fuente mínima de este microelemento para el suelo la ausencia de este elemento provoca deshidratación en el compost [35].

### **Hierro Total (Fe), Cobre Total (Cu), Zinc Total (Zn), Manganeso Total (Mn), Boro Total (B), Sodio (Na).**

Según la Norma Técnica Colombiana estos microelementos no aplican para la comparación ya que son elementos que no garantizan ni caracterizan la calidad del compost en este caso se encontraron valores inferiores comparados con los resultados de Bravo, R [29]. Se puede resumir que es necesario adicionar fertilizantes con micronutrientes fuentes que enriquezcan los porcentajes de estos minerales para obtener un compost de excelente calidad que contribuya a mejorar la estructura del suelo.

### **Relación C/N**

Esta relación se calculó mediante la relación entre el porcentaje de carbono y de nitrógeno total, obteniendo un valor de 13,17. Para esta relación los estándares establecidos por el ICA son de 20/1, comparado con el valor obtenido se puede evidenciar que este compost presenta una insuficiencia de carbono para los microorganismos y el nitrógeno se encuentra en exceso [35]. una posible solución para dar cumplimiento con la norma es adicionar mayor porcentaje de carbono agregando fuentes como lo son hojas secas, aserrín o restos de poda [34].



## **MATERIA ORGÁNICA MO**

Según la normatividad vigente (**NTC-5167**) el valor mínimo de materia orgánica es del 30%. Para comparar este valor con el del compost, se aplicó la metodología según la Normatividad que indica multiplicar el porcentaje (%) de carbono por dos y se obtuvo un valor de 34,50 %. Este valor se encuentra muy cerca al valor mínimo de MO, indicando que este compost no es una fuente significativa de MO dado al bajo porcentaje de carbono, es decir , es necesario fortalecer las fuentes de carbono para contar con ácidos húmicos y fúlvicos que fortalezcan la productividad del suelo y disminuya impactos ambientales como la erosión [29].

## 5. CONCLUSIONES

Los residuos sólidos orgánicos de la zona urbana del municipio de Timbío se caracterizan por presentar un componente orgánico e inorgánico, destacándose el componente orgánico en mayor proporción de 93%. Sin embargo, la fracción inorgánica representa contaminación frente al proceso de compostaje y una falta de educación ambiental por parte de algunos usuarios. Es importante resaltar, que el material orgánico recolectado presentó una variedad de nutrientes como carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales importantes para la calidad del compost.

En cuanto a la elaboración del compost desde los residuos sólidos orgánicos se puede mencionar inicialmente que se hace necesario realizar una clasificación de los residuos en orgánicos e inorgánicos para garantizar un eficiente proceso de compostaje. Además, es importante resaltar la aplicación de cal viva que se utilizó para la eliminación de patógenos. Igualmente, para fortalecer esta actividad se realizó el volteo de la pila semanalmente, lo cual garantizó el proceso aeróbico del sistema obteniendo un material estable e higienizado. El tamizaje permitió obtener el producto final de los anteriores procesos, dado que se obtuvo un 45% de material compostado en relación al material inicial, valor importante de materia orgánica transformada en material útil para el medio ambiente.

Por otra parte, la evaluación de la calidad del compost exigió inicialmente el monitoreo constante de parámetros como Temperatura, pH y materia orgánica. Destacando la temperatura como uno de los parámetros más importantes del proceso que permitió conocer parcialmente el nivel y tiempo de descomposición de la materia orgánica en presencia de oxígeno, el cual tuvo una duración de 81 días aproximadamente. El registro constante de esta variable evidenció la presencia de las cuatro fases del compostaje, partiendo con una temperatura de 22°C, hasta alcanzar el mayor pico a los 21 días con un valor de 65°C y finalizando con una temperatura ambiente de 19°C. Cabe mencionar que los resultados de las variables pH y materia orgánica obtenidos se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma complementando la anterior información

En cuanto a la evaluación de la calidad del compost de acuerdo a los parámetros técnicos establecidos por el Instituto Colombiano de Agropecuario (ICA), se puede afirmar que lo exigido por la norma se cumple parcialmente. Es decir, parámetros como el pH, capacidad de intercambio catiónico CIC, Carbono orgánico oxidable total, humedad, retención de humedad, Nitrógeno total, materia orgánica MO, porcentaje de fósforo, potasio y calcio están dentro de los valores aceptados por el ICA y reflejan calidad en el compost preparado en la presente investigación a partir de residuos orgánicos del municipio de Timbío.

Parámetros como cenizas, pérdidas por volatilización y micro elementos como magnesio, hierro, cobre, Relación C/N entre otros, no se ajustan a la norma, evidenciando deficiencias por suplir en el proceso de compostaje. Es decir, permitir que los restos vegetales se descomponen fuera de los límites establecidos por parámetros como la temperatura y el pH, esta acción, puede producir compost que perjudique el suelo y el normal desarrollo de cultivos

Desde el punto de vista del cuidado del medio ambiente, el compost, ofrece protección al suelo evitando problemas como la erosión, además de favorecer el desarrollo de las plantas. Esto debido a la materia orgánica proveniente de los residuos, que mediante el proceso de compostaje, fue transformada en compuestos benéficos para el suelo.

## 6. RECOMENDACIONES

En este sentido se recomienda, no formar las pilas de compostaje debajo de estructuras cubiertas con plástico, dado que se favorece un efecto invernadero directamente sobre la descomposición de residuos orgánicos, favoreciendo elevadas temperaturas que aceleran la descomposición del material vegetal y afectan la humedad del proceso

Teniendo en cuenta la cantidad de residuos sólidos orgánicos que llegan a la planta los arrayanes se debe buscar alternativas que permitan agilizar el proceso previo a la trituración, puesto que la banda transportadora con la que se cuenta no supe las necesidades, ya que opera de manera muy lenta, lo que ocasiona la acumulación de residuos hasta por 15 días en la caseta de caracterización, lo que trae como consecuencia la pérdida o aumento de elementos importantes.

Incrementar constantemente campañas de concientización en la población timbiana, acerca de la correcta separación de residuos sólidos en casa, puesto que después de terminado el proceso de compostaje en la planta, se evidencian porcentajes significativos de residuos inorgánicos que se convierten en contaminación al proceso de compostaje. Esta campaña además, favorece acciones importantes para el medio ambiente como el reciclaje. De esta forma, se realiza el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos generados en la zona urbana del municipio de Timbío Cauca de una forma integral.

A su vez la empresa de servicios públicos de Timbío EMTIMBIO debe buscar el uso de diferentes alternativas que puedan contribuir a mejorar la calidad del compost, como puede ser los microorganismos eficientes, teniendo en cuenta que han demostrado en diferentes estudios que mejora la estructura física de los suelos, incrementando la fertilidad; lo que favorece el crecimiento y desarrollo de las plantas.

Realizar un control de posibles vectores en la planta de compostaje los arrayanes con el fin de prevenir posibles patógenos infecciosos. Por otra parte realizar la señalización de los diferentes espacios de la planta que permitan informar y advertir a los usuarios y visitantes sobre los procesos y posibles riesgos

## 7. REFERENCIAS

- [1] E. E. Guerra, “Daños a la salud por mala disposición de residuos sólidos y líquidos en Dili, Timor Leste,” *Rev. Cubana Hig. Epidemiol.*, vol. 52, no. 2, pp. 270–277, 2014.
- [2] Superintendencia de servicios publicos domiciliarios, “Informe Nacional de Disposición Final de Residuos Sólidos 2021,” 2023.
- [3] O. Vargas Pineda, J. M. Trujillo Gonzales, and M. A. Torres Mora, “El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento.,” *Orinoquia*, vol. 23, no. 2, pp. 123–129, 2019, [Online]. Available: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0121-37092019000200123](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0121-37092019000200123).
- [4] E. A. Alzate Arevalo and Y. L. Rubio Bejarano, “Proyecto aplicado aprovechamiento de los residuos orgánicos en la Vereda de Claras-Falan Tolima,” Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD, 2017.
- [5] P. J. Salinas, “Los Desechos Sólidos, Residuos O Basura, Un Problema Mundial Para La Salud Y El Ambiente,” *Rev. la Fac. Med. Univ. Los Andes*, vol. 28, no. 1, pp. 35–38, 2019.
- [6] The World Bank, S. Kasa, L. Yao, P. Bhada-Tata, and F. Van Woerden, “WHAT A WASTE: A global snapshot of solid waste management to 2050,” 2018. [Online]. Available: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- [7] G. Jaramillo Henao and L. M. Zapata Márquez, “aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en colombia,” UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA, 2008.
- [8] K. J. Fajardo Zarta and C. L. Ferruncho Becerra, “análisis de las alternativas de tratatmiento y aprovechamiento de residuos sólidos disponibles con riesgo epidemiológico provenientes de vuelos internacionales para ser implementadas en colombia,” Universidad de Antioquia, 2019.
- [9] Corporación Autonoma Regional del cauca and A. M. Timbío-Cauca, “Plan De Gestión Integral De Residuos Sólidos.” p. 410, 2016.


- [10] C. F. Ninco Cardozo and J. J. Sánchez Gonzáles, “Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio El Rosal, Cundinamarca,” pp. 40–42, 2017.
- [11] A. E. Saldaña Bardales, “Evaluación del contenido nutricional de bono organico a partir de mezclas de residuos sólidos orgánicos y aserrín con microorganismos eficientes como alternativa de sutitución de fertilizantes sintético,” Universidad Nacional de Ucayali, 2018.
- [12] L. M. Soria Ttito, “APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS URBANOS COMO ABONO ORGANICO EN MUNICIPALIDADES DISTRITALES,” Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, 2018.
- [13] ciudad y territorio Ministerio de vivienda, “Decreto 2981 de 2013.” Bogotá D.C, p. 44, 2013, [Online]. Available: [http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/2981 - 2013.pdf](http://www.minvivienda.gov.co/DecretosAgua/2981-2013.pdf).
- [14] V. y D. T. Ministerio de ambiente, “Decreto 838 de 2005.” Bogotá D.C, 2005, [Online]. Available: [https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema\\_Gestion\\_de\\_Calidad/Procesos y procedimientos Vigente/Normatividad\\_Gnl/Decreto 838 de 2005-Mar-23.pdf](https://www.cvc.gov.co/sites/default/files/Sistema_Gestion_de_Calidad/Procesos_y_procedimientos_Vigente/Normatividad_Gnl/Decreto_838_de_2005-Mar-23.pdf).
- [15] T. Liceth, A. Dávila, S. Andrea, and R. Zambrano, “Revisión de estrategias sostenibles para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las organizaciones,” *Rev. Colomb. Investig. Agroindustriales*, vol. 7, no. 2, pp. 76–94, 2020.
- [16] F. J. Sango Viracocha, “Evaluación de un inoculante microbiano en el proceso de compostaje de residuos orgánicos de una granja porcina, Latacunga, Ecuador,” UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK FACULTAD, 2020.
- [17] T. Chen, S. Zhang, and Z. Yuan, “Adoption of solid organic waste composting products: A critical review,” *J. Clean. Prod.*, vol. 272, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.122712.
- [18] S. Olivera Murcia, “Alternativas para la realización de compostaje a partir de residuos orgánicos generados en las veredas Marayal y San Miguel, municipio de Cubarral, departamento del Meta, en el marco de una revisión bibliográfica,” Universidad Nacional Abierta y a Distancia, 2022.

- [19] L. Álvarez Palomino, J. E. Vargas Bayona, and L. K. García Díaz, "Abono orgánico: aprovechamiento de los residuos orgánicos agroindustriales," *Spei Domus*, vol. 14, no. 28–29, pp. 1–10, 2018.
- [20] A. Pastrana, "Decreto 1713 de 2002," Bogotá D.C, 2002.
- [21] M. D. E. Ambiente and Vivienda, "Decreto 1505 de 2003," no. 1505, pp. 2–4, 2003.
- [22] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Territorial, "Decreto 1140 de 2003.," Bogotá D.C, 2003. [Online]. Available: [http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec\\_1140\\_070503.pdf](http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Decretos/dec_1140_070503.pdf).
- [23] Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, "Res 2184 2019." Bogotá D.C, 2019.
- [24] Icontec, "Norma Técnica Colombiana 35," 1997.
- [25] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC), "Norma Técnica Colombiana NTC-5167," pp. 1–43, 2004, [Online]. Available: [http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/1compostaje\\_5normalizacion/BILOGRAFIA/Bib\\_Norma\\_Tecnica\\_Colombiana.pdf](http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/1compostaje_5normalizacion/BILOGRAFIA/Bib_Norma_Tecnica_Colombiana.pdf).
- [26] Icontec, "Norma Técnica Colombiana 40," 2011.
- [27] C. Martínez Bencardino, *Estadística y Muestreo*. 2012.
- [28] A. F. Montoya Rendón, "Caracterización de Residuos Sólidos," *Cuad. Act.*, vol. 4, no. 2, pp. 67–72, 2012, [Online]. Available: <http://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/34>.
- [29] R. Bravo Astaiza, "Evaluación del proceso de compostaje y del compost obtenido en la planta Los Arrayanes del municipio de Timbio," Universidad del Cauca, 2007.
- [30] Instituto Colombiano Agropecuario - ICA, "Cartilla práctica para la elaboración de abono orgánico compostado en producción ecológica," 2015.
- [31] V. Torres Camacho, "Metabolismo de proteínas.," *Rev. Actual. Clínica*, vol. 41, pp. 2137–2141, 2014.
- [32] Y. Acosta, M. El Zauahre, L. Rodríguez, N. Reyes, and D. Rojas, "Indicadores de calidad bioquímica y estabilidad de la materia orgánica durante el proceso de

- compostaje de residuos orgánicos,” *MULTICIENCIAS*, vol. 12, no. 4, pp. 390–399, 2012.
- [33] F. de L. Jordán Llave and M. Z. Pizarro Zegarra, “Elaboración de abono tipo bocashi a partir de residuos orgánicos de origen doméstico y de actividad agropecuaria,” Universidad Continental, 2020.
- [34] P. Roman, M. M. Martinez, and A. Pantoja, “Manual de compostaje del agricultor,” *Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. p. 112, 2013, [Online]. Available: <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.
- [35] J. A. Dorado Santa and J. E. Muñoz Gallego, “implementacion de un sistema de compostaje para el tratamiento de residuos orgánicos en loa vereda betania municipio de totoró, cauca,” Universidad del Cauca, 2017.
- [36] Portalfruticola, “Utilidad de la ceniza en la agricultura: Cómo usarla,” 2019. <https://www.portalfruticola.com/noticias/2019/09/04/utilidad-de-las-cenizas-en-la-agricultura-como-usarlas/?country=co>.
- [37] L. D. Tello P. and R. A. Vega R, “Metodologías Para Determinar La Retención De Humedad Y La Densidad En El Compost,” *An. Científicos*, vol. 76, no. 1, pp. 186–192, 2015, doi: 10.21704/ac.v76i1.780.



# Anexo 1. Resultados fisicoquímicos del compost por el laboratorio AGROAMBIENTAL

	AGROAMBIENTAL LAB S.A.S NIT 900.480.724-7 Registrado ante el ICA según Resolución 005823 del 26 de diciembre de 2012	F-LAB-F-017 Rev 00 23/04/2012
	Informe de Laboratorio No: F - 055 Fecha de emisión: Julio 22 de 2022	

## INFORMACION DEL CLIENTE

**Empresa o Razón Social:** EMTIMBIO E.S.P - JOSE ALEJANDRO BRAVO  
**Fecha de recepción de la muestra:** Julio 22 de 2022  
**Descripción de la muestra:** Abono Orgánico

**Código Laboratorio:** 2310

## INFORME DE CARACTERIZACION DE ABONO ORGANICO

PARÁMETRO	RESULTADO	UNIDADES	MÉTODO ANALÍTICO
pH	8,37	N.A	Potenciométrico (NTC 5167)
Conductividad Eléctrica	18600	uS/cm	Conductimétrico (NTC 5167)
Humedad (%)	22,61	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Cenizas	68,65	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Perdida por Volatilización	21,35	%	Cálculo
Retención de Humedad	85,41	%	Volumétrico (NTC 5167)
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	28,0	meq/100g	Volumétrico (NTC 5167)
Carbono Orgánico Oxidable Total (COT)	17,25	%	Volumétrico (NTC 5167)
Nitrógeno Total (N-Total)	1,31	%	Método Kjeldahl
Fósforo Total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	2,19	%	Colorimétrico (NTC 5167)
Potasio Total (K <sub>2</sub> O)	2,28	%	Espectrofotometría de Absorción Atómica - Modo Emisión- (NTC 202)
Calcio Total (CaO)	1,56	%	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Magnesio Total (MgO)	0,81	%	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Azufre (S)	0,1	%	Gravimétrico (NTC 5167)
Hierro Total (Fe)	807,14	mg/Kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Cobre Total (Cu)	17,82	mg/Kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Zinc Total (Zn)	46,51	mg/Kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Manganeso Total (Mn)	69,0	mg/Kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)
Boro Total (B)	19,3	mg/Kg	Colorimétrico (NTC 5167 - NTC 1860)
Sodio (Na)	0,014	mg/Kg	Espectrofotometría de Absorción Atómica (NTC 5167 - NTC 1369)

## OBSERVACIONES

- Los resultados reportados en el presente informe corresponden exclusivamente a la muestra enviada por el no a otra(s) muestras de la misma procedencia.
- Si tiene alguna inquietud, queja o reclamo sobre los resultados, por favor comuníquese con la Dirección Técnica.
- Las contramuestras de las muestras analizadas serán almacenadas por un periodo de tiempo de tres meses, posteriormente serán desechadas.



Alix J. Cuy Patiño  
 Química - PQ 1792  
 Dirección Técnica de Laboratorio