

## **Información Importante**

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuario internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea de la Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la Biblioteca, así como en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

Se permite la consulta a los usuarios interesados en el contenido de este documento, para todos los usos que tengan **finalidad académica**, nunca para usos comerciales, siempre y cuando mediante la correspondiente cita bibliográfica se le dé crédito al trabajo de grado y a su autor.

De conformidad con lo establecido en el Artículo 30 de la Ley 23 de 1982 y el artículo 11 de la Decisión Andina 351 de 1993, la Universidad Santo Tomás informa que “los derechos morales sobre documento son propiedad de los autores, los cuales son irrenunciables, imprescriptibles, inembargables e inalienables.”

**Bibliotecas Bucaramanga  
Universidad Santo Tomás**

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ABONOS ORGÁNICOS  
ARTESANALES

JEAN HELBERT RÍOS ESCOBAR

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
FACULTAD DE QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA  
2016

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ABONOS ORGÁNICOS  
ARTESANALES

JEAN HELBERT RÍOS ESCOBAR

Trabajo de grado para optar el título de Químico Ambiental

Director del Proyecto

CIRO EDUARDO ROZO CORREA

Químico *M.Sc*

Codirectora del proyecto

ISABEL CRISTINA OCAZONEZ JIMENEZ

Ing Química

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS  
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA  
FACULTAD DE QUÍMICA AMBIENTAL  
BUCARAMANGA

2016

## **DEDICATORIA**

Este triunfo es dedicado a Dios por darme la vida y la salud para culminar esta etapa importante de mi vida.

Este trabajo se lo dedico a mi padre, por su dedicación y su acompañamiento como padre y profesor. A mi madre por su amor, comprensión y enseñanzas, su ejemplo me ayudo a cumplir esta importante meta. A mi hermana por ser la guía y la inspiración para concluir esta carrera profesional y a seguir desarrollando mis estudios.

A la sociedad como un aporte ecológico al correcto manejo de los residuos y un compromiso con la preservación de un medio ambiente sano para nuestras futuras generaciones.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme la sabiduría y la vida para desarrollar esta carrera profesional. A mi familia por su gran apoyo, compromiso, amor y dedicación, todo lo cual me aportó al aprendizaje personal.

A mi director Ciro Eduardo Rozo por brindarme la oportunidad de realizar la tesis dentro de su grupo de investigación, por su orientación, consejos y asesoría.

A mi codirectora Isabel Ocazonez por su enseñanza en el tema de residuos sólidos, su vasta experiencia facilitó mi aprendizaje para culminar este proyecto de grado.

A la plaza de Piedecuesta y a la finca el limonal por suministrarme su espacio y todos los recursos requeridos para el desarrollo de la investigación.

A los profesores que fueron partícipes en la en mi desarrollo intelectual, ética y profesional, por su paciencia y su dedicación.

Al ingeniero ex decano de la facultad de química ambiental por su constante colaboración y su incansable energía en pro del desarrollo sostenible.

A Karoll Herrera por su acompañamiento durante toda la carrera profesional, por sus consejos y apoyo incondicional.

Finalmente, a todas las personas que participaron en el desarrollo de la tesis de grado. Mil gracias, Dios los bendiga.

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ABONOS ORGÁNICOS</b>	
<b>ARTESANALES</b> .....	20
<b>1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	20
<b>1.2. JUSTIFICACIÓN</b> .....	21
<b>1.3 OBJETIVOS</b> .....	23
<b>1.3.1 Objetivo general</b> .....	23
<b>1.3.2 Objetivos específicos</b> .....	23
<b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....	24
<b>2.1 RESIDUOS SÓLIDOS</b> .....	24
2.1.2 Composición bioquímica de los residuos sólidos orgánicos .....	25
2.1.3 Generación de residuos sólidos en Colombia .....	26
2.1.4 Tratamientos para los residuos sólidos.....	27
2.1.5 Condiciones del proceso de compostaje.....	29
2.1.6 Normatividad.....	30
2.1.7 Equipo utilizado en el análisis de los abonos fertilizantes.....	34
<b>2.2 MARCO DE ANTECEDENTES</b> .....	35
<b>3. DISEÑO METODOLÓGICO</b> .....	39
<b>3.1 ASPECTOS GENERALES</b> .....	39
3.1.1 Disolventes y reactivos. ....	39
3.1.2 Equipos e instrumentos.....	40
<b>3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL</b> .....	41
3.2.1 Obtención de los abonos orgánicos.....	41
<b>3.3 PREPARACIÓN DE LAS DIFERENTES MUESTRAS DE ABONO.</b> .....	41
<b>3.4 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS.</b> .....	41
3.4.1 pH .....	41
3.4.2 Determinación de la humedad .....	42

3.4.3	Determinación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización.....	43
3.4.4	Determinación de la Densidad .....	43
3.4.5	Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA) .....	44
3.4.6	Conductividad eléctrica .....	44
3.4.7	Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.) .....	45
3.4.8	Determinación de Carbonatos .....	47
3.4.9	Determinación de Carbono orgánico Oxidable Total .....	48
3.4.10	Determinación de Nitrógeno total en materiales clasificados como orgánicos y orgánicos minerales. ....	49
3.4.11	Determinación de azufre. ....	50
3.4.12	Determinación de fósforo .....	51
<b>4.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>53</b>
<b>4.1</b>	<b>RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2</b>	<b>DETERMINACIÓN DEL pH .....</b>	<b>58</b>
<b>4.3</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA DE LOS ABONOS ORGÁNICOS.....</b>	<b>59</b>
<b>4.4</b>	<b>DETERMINACIÓN DE CENIZAS POR EL MÉTODO DE PÉRDIDAS POR VOLATILIZACIÓN. ....</b>	<b>60</b>
<b>4.5</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD .....</b>	<b>61</b>
<b>4.6</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA (CRA). ....</b>	<b>62</b>
<b>4.7</b>	<b>CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA .....</b>	<b>63</b>
<b>4.8</b>	<b>DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIÓNIC (CIC). ....</b>	<b>64</b>
<b>4.9</b>	<b>DETERMINACIÓN DE CARBONATOS.....</b>	<b>65</b>
<b>4.10</b>	<b>DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE TOTAL. ....</b>	<b>66</b>
<b>4.11</b>	<b>DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL EN MATERIALES CLASIFICADOS COMO ORGÁNICOS Y ORGÁNICOS MINERALES. ....</b>	<b>67</b>

4.12	RELACIÓN CARBONO Y NITRÓGENO (C/N).....	68
4.13	DETERMINACIÓN DE AZUFRE PRESENTE EN LAS MUESTRAS DE ABONO. ....	69
4.14	DETERMINACIÓN DE FÓSFORO PRESENTE EN LAS MUESTRAS DE ABONO. ....	71
4.15	COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON NORMAS INTERNACIONALES. ....	73
5.	CONCLUSIONES.....	76
6.	RECOMENDACIONES.....	77
	DIVULGACIÓN.....	78
	BIBLIOGRAFÍA.....	80
	ANEXOS.....	88

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Condiciones óptimas para el compostaje.....	30
Cuadro 2. Parámetros sugeridos por la NTC 5167.....	31
Cuadro 3. Funciones de los elementos esenciales.....	32
Cuadro 4. Parámetros fisicoquímicos a garantizar según la NTC 5167 de abonos o fertilizantes orgánicos sólidos.....	33
Cuadro 5. Comparación de parámetros físico químicos de España, Colombia y Chile.....	34
Cuadro 6. Reactivos utilizados en el desarrollo de las metodologías propuestas..	40
Cuadro 7. Abono patrón. Composición del abono comercial.....	57
Cuadro 8. Determinación del pH en las diferentes muestras de abono.....	58
Cuadro 9. Resultados % de humedad relativa para las muestras de abono.....	59
Cuadro 10. Resultado de % de cenizas y % de pérdidas por volatilización.....	60
Cuadro 11. Resultado de la densidad real en las muestras de abono.....	61
Cuadro 12. Resultados % de saturación.....	63
Cuadro 13. Resultados de la conductividad eléctrica dadas en mS/cm.....	64
Cuadro 14. Resultados obtenidos de la determinación de la CIC.....	64
Cuadro 15. Resultados de % de $\text{CO}_3^{-2}$ y $\text{CaCO}_3$ .....	65
Cuadro 16. Resultados del porcentaje de carbono orgánico oxidable total.....	66
Cuadro 17. Resultados del porcentaje de nitrógeno total por el método Kheldajl..	67
Cuadro 18. Resultados relación carbono nitrógeno (C/N).....	68
Cuadro 19. Resultados del porcentaje de S.....	70
Cuadro 20. Resultados obtenidos de las muestras de abono.....	72

Cuadro 21. Comparación Normativa de las metodologías estudiadas. ....	74
Cuadro 22. Resultados de pH.....	88
Cuadro 23. Resultados del análisis por sextuplicado de la determinación de la humedad expresados en porcentaje (%). ....	88
Cuadro 24. Resultado del análisis por sextuplicado de la determinación del porcentaje de cenizas por perdidas por volatilización. Resultados expresados en porcentaje (%). ....	89
Cuadro 25. Resultado de las muestras de abonos de la determinación de la densidad por sextuplicado. Los resultados están expresados en g/mL.....	89
Cuadro 26. Determinación de la capacidad de retención de las diferentes muestras de abonos estudiadas. Los resultados se expresan en porcentaje (%) de saturación. ....	90
Cuadro 27. Resultados de la determinación de la conductividad eléctrica. ....	90
Cuadro 28. Resultados de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.). ....	91
Cuadro 29. Resultados de la determinación del ion carbonato y carbonato de calcio.....	91
Cuadro 30. Resultados de la determinación del contenido del carbono orgánico oxidable total.....	92
Cuadro 31. Resultado de la determinación del contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl.....	92
Cuadro 32. Resultado de la determinación del contenido de azufre en las diferentes muestras de abonos.....	93
Cuadro 33. Resultado de la determinación del contenido de fosforo en las muestras de abonos seleccionadas.....	94

## LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Clasificación de los residuos Orgánicos Municipales según su fuente de origen.....	25
Figura 2. Composición de los residuos sólidos en Colombia.....	27
Figura 3. Reacción del proceso de compostaje. ....	29
Figura 4. Espectrofotómetro UV-Vis Agilent 8453, empleado para la determinación de azufre y fosforo. ....	35
Figura 5. Emergencia sanitaria en el Carrasco.....	38
Figura 6. Medidor de pH Ohaus, disponible en Laboratorio de Ciencias Básicas de la Facultad de Química Ambiental, USTA-Bucaramanga. ....	42
Figura 7. Esquema de procedimiento de cenizas. ....	43
Figura 8. Medidor de conductividad eléctrica, disponible en Laboratorio de Ciencias Básicas de la Facultad de Química Ambiental, USTA-Bucaramanga. ....	44
Figura 9. Filtración con acetato de amonio. ....	46
Figura 10. Bureta electrónica, no disponible en el laboratorio de investigación. Adquirida a través de préstamo institucional. ....	46
Figura 11. Montaje de Kjeldahl, para la determinación de nitrógeno. ....	50
Figura 12. Filtrado de las muestras de abono.....	52
Figura 13. Abono Limonal.....	53
Figura 14. Muestra de Lombrinaza. ....	54
Figura 15. Muestra de abono de gallinaza. ....	55
Figura 16. Muestra de abono orgánico artesanal.....	55

Figura 17. Muestra de abono turba.....	56
Figura 18. Muestra de referencia abono “comercial”. .....	57
Figura 19. Capacidad de retención de agua. ....	62
Figura 20. Curva de calibración de Azufre. Absorbancia vs concentración. ....	70
Figura 21. Curva de calibración de Fósforo. Absorbancia vs concentración. ....	72

## LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Resultados de pH las muestras de abonos estudiadas.....	87
Anexo B. Resultados del análisis de la determinación de la humedad.....	87
Anexo C. Resultados del análisis de la determinación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización.....	88
Anexo D. Resultados de la determinación de la densidad.....	88
Anexo E. Determinación de la capacidad de retención de agua.....	89
Anexo F. Determinación de la conductividad eléctrica.....	89
Anexo G. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico .....	90
Anexo H. Determinación de carbonatos .....	90
Anexo I. Determinación del porcentaje de carbono orgánico oxidable total.....	91
Anexo J. Determinación del porcentaje de nitrógeno por el método Kjeldahl.....	91
Anexo K. Determinación del porcentaje de azufre.....	92
Anexo L. Determinación del contenido de fósforo asimilable presente en las muestras estudiadas.....	93

## LISTA DE ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

<b>CDMB</b>	Corporación de la meseta de Bucaramanga
<b>C.I.C.</b>	Capacidad de intercambio catiónico
<b>EMAB</b>	Empresa de aseo de Bucaramanga
<b>EMAF</b>	Empresa de aseo de Floridablanca
<b>Ed.</b>	Edición
<b><i>et al.</i></b>	Colaboradores
<b>g</b>	Gramos
<b>L</b>	Litro
<b>RS</b>	Residuos sólidos
<b>RSU</b>	Residuos sólidos urbanos
<b>RSM</b>	Residuos sólidos municipales
<b>RSOM</b>	Residuos sólidos orgánicos municipales
<b>mg</b>	Miligramos
<b>min.</b>	Minutos
<b>mL</b>	Mililitro
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>NTC</b>	Norma técnica Colombiana
<b>N°</b>	Número
<b>ppm</b>	partes por millón
<b>UV-vis</b>	ultravioleta-visible
<b>Vol.</b>	Volumen
<b>μL</b>	Microlitro
<b>μg</b>	microgramo
<b>°C</b>	grados celsius
<b>%</b>	Porcentaje

## GLOSARIO

**ABONO ORGÁNICO:** Sustancia de origen natural procedente de los seres vivos, que aporta al suelo y las plantas nutrientes para su buen desarrollo.<sup>1</sup>

**BIOFERTILIZANTES:** es un fertilizante orgánico natural que ayuda a proporcionar a las plantas todos los nutrientes que necesitan y a mejorar la calidad del suelo creando un entorno microbiológico natural.<sup>2</sup>

**DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS:** es el proceso de aislar y confinar los residuos sólidos, en especial los no aprovechables, en forma definitiva, en lugares especialmente seleccionados y diseñados para evitar la contaminación y los daños o riesgos a la salud humana y al medio ambiente.<sup>3</sup>

**HUMUS:** es la capa superior del suelo que se encuentra compuesta por un conjunto de materias orgánicas en descomposición, tales como hongos y bacterias.<sup>1</sup>

**LIXIVIADOS:** Los líquidos que se forman por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos sólidos y que contienen sustancias en forma disuelta o en suspensión que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositen residuos sólidos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua.<sup>4</sup>

**LOMBRICULTURA:** Es la realización de un cultivo intensivo de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en camas de residuos orgánicos aprovechados como abono para cultivos agrícolas. Al producto orgánico producido por la lombriz se le conoce con el nombre de Lombricompuesto o humus. Este representa el mayor estado de descomposición de la materia orgánica y es un abono de excelente calidad.<sup>5</sup>

**GALLINAZA:** La Gallinaza es el estiércol de gallina preparado para ser utilizado en la industria ganadera o en la industria agropecuaria.<sup>6</sup>

**GESTIÓN INTEGRAL DE RESIDUOS SÓLIDOS:** conjunto de operaciones y disposiciones encaminadas a dar a los residuos producidos el destino más adecuado desde el punto de vista ambiental.<sup>3</sup>

RELLENO SANITARIO: es el lugar técnicamente seleccionado, diseñado y operado para la disposición final controlada de los residuos sólidos, sin causar peligro, daño o riesgo a la salud pública, minimizando y controlando los impactos.<sup>3</sup>

TURBA: es un material compuesto por residuos de plantas que se acumulan en una zona pantanosa. Es de consistencia algo esponjosa, cuenta con una importante presencia de carbono y exhibe un tono oscuro.<sup>7</sup>

## RESUMEN

En Colombia, el 81% de los residuos sólidos es materia orgánica. Por eso es necesario darle un manejo alternativo para disminuir el volumen total de los residuos sólidos generados en Colombia. Por tal motivo, se propuso manejar estos residuos orgánicos en procesos de transformación de la materia como el compostaje, con el propósito de producir abonos orgánicos fertilizantes para incrementar la calidad de los suelos destinados a la agricultura y para la recuperación de suelos explotados y pobres en nutrientes.

En el presente trabajo, se propuso impulsar la iniciativa del compostaje a gran escala, empezando con una fase de prueba utilizando los residuos sólidos orgánicos generados en la plaza de mercado de Piedecuesta, Santander, Colombia. Se produjo abono orgánico en la finca "El Limonal" en Piedecuesta, y se estandarizaron los parámetros fisicoquímicos para garantizar la producción de un abono orgánico apto para el cultivo y siembra según la NTC 5167, utilizando como referencia la norma Chilena 2880 y el real decreto Español 824. Además, se analizaron 4 tipos de abonos artesanales (lombrinaza, gallinaza, turba y abono orgánico artesanal) con el objetivo de comparar los resultados y conocer las características de estos abonos que son utilizados comercialmente en cultivo y siembra doméstica. También, se utilizó un abono comercial el cual incluye una tabla de su composición fisicoquímica con el fin de comparar los resultados obtenidos en el análisis y ratificar dicha tabla. Finalmente los resultados mostraron que el mejor abono fertilizante según la NTC 5167 fue el abono Comercial. Los otros abonos recomendados son los abonos producidos en el Limonal, la gallinaza y lombrinaza los cuales aportan los niveles indicados de nutrientes y por último, se concluyó que las muestras de turba y abono orgánico artesanal no son recomendables para cultivo porque sus propiedades fisicoquímicas no son las óptimas para permitir desarrollo vegetal.

**PALABRAS CLAVE:** Abono, Residuos sólidos, Análisis fisicoquímico, NTC 5167, suelos, compostaje. Lombrinaza, Gallinaza.

## ABSTRACT

In Colombia, 81% of solid waste is organic matter. Therefore, it is necessary to give an alternative management to reduce the total volume of solid waste generated in Colombia. For this reason, it was proposed to handle these organic wastes in processes of transformation of matter such as compost, in order to produce organic manure fertilizers to increase soil quality for agriculture and for the recovery of very worked soils poor in nutrients.

In this project it was proposed to boost the initiative of composting on a large scale, starting with a test phase using organic solid waste generated in the marketplace of Piedecuesta, Santander, Colombia. Organic fertilizer was produced in the "El Limonal" farm, in Piedecuesta, in order to standardize the physicochemical parameters to ensure the production of compost fertilizer suitable for cultivation and planting according to NTC 5167, by using as a reference a chilian standard 2880 and spanish royal decree 824. In addition, 4 types of craft fertilizers were analyzed (earthworm manure , chicken manure, peat and compost craft) in order to compare the results and know the characteristics of these fertilizers which are commercially used in cultivation and domestic sowing. Besides, a commercial fertilizer, that provides a table of the physico-chemical composition, was used in order to compare the results obtained in the analysis and ratify this table.

Finally the results showed that the best fertilizer according to the NTC 5167 is the commercial fertilizer. The others recommended are the fertilizers produced in el Limonal. The chicken manure and the eathworm manure which provide the indicated nutrient levels. Lastly it was concluded that the samples of peat and compost craft are not suitable for cultivation because your proprieties are not acceptable for plant growth.

**KEYWORDS:** fertilizer, solid wastes, physicochemical analysis, NTC 5167, soil, compost. Earthworm manure, chicken manure.

## INTRODUCCIÓN

En Europa, cada año se producen más de 3.000 millones de toneladas de residuos sólidos debido a factores como el incremento de la población, aumento de procesos industriales y el consumismo en la sociedad, provocando una problemática ambiental.<sup>8</sup> Colombia, también afronta esta problemática, con una producción en promedio de 26.528 toneladas diarias de residuos sólidos urbanos (RSU) en promedio en el año 2014. Además, el mal manejo que se les da a estos residuos, hace de la problemática una emergencia sanitaria. Esto afecta al hombre en el sector económico, social y de salud.<sup>9</sup> También, afecta el entorno y al medio ambiente causando la destrucción y modificación de los recursos naturales renovables y no renovables. Debido a todos estos problemas, en Colombia y en el resto del mundo se han venido estudiando técnicas alternativas para disminuir y lograr aprovechar estos residuos como son el reciclaje, compostaje, biocombustibles, entre otras opciones.<sup>10</sup>

Una de las técnicas más aplicadas en Colombia para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos es el compostaje, el cual consiste en la descomposición de la materia orgánica a causa de la acción microbiana. Este proceso busca aprovechar los residuos orgánicos, como biofertilizantes, acondicionadores de suelos y humus.<sup>11</sup> El producto final obtenido debe ser analizado fisicoquímicamente y nutricionalmente con el fin de conocer su composición y de esta manera darle un mejor uso en el campo de la agricultura. Además de reducir considerablemente su impacto ambiental.<sup>11</sup>

En el presente proyecto se evaluaron los parámetros fisicoquímicos pH, humedad, cenizas, densidad, capacidad retención de agua, conductividad eléctrica, capacidad intercambio catiónico, carbonatos, carbono total, nitrógeno total, azufre y fósforo asimilable en diferentes tipos de abonos como: gallinaza, lombrinaza, abono orgánico comercial (Forza), abono orgánico artesanal, turba y abonos orgánicos obtenidos en la planta piloto de residuos biodegradables de la universidad Santo Tomás.

De la misma manera, para realizar estos análisis se implementaron los métodos analíticos enunciados anteriormente en el laboratorio de investigaciones de la universidad Santo Tomás, siguiendo los procedimientos de la norma técnica colombiana 5167 y como referencia se usó la norma Chilena 2880 y el real decreto Español 824.<sup>11</sup>

# 1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE ABONOS ORGÁNICOS ARTESANALES

## 1.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La acumulación de residuos sólidos urbanos e industriales es una problemática que se ha venido extendiendo a nivel mundial. Esto se debe principalmente a la falta de conciencia ciudadana y a la falta de tecnologías limpias que apoyen las actividades de producción y fabricación en la industria. De acuerdo al informe “El medio ambiente en Europa: Tercera evaluación (2003)”, se producen aproximadamente 3.000 millones de toneladas de residuos sólidos orgánicos por año. En 2012 se incrementaron los residuos drásticamente, es decir, se generaron 481 kilos de residuos sólidos urbanos por persona de los países miembros de la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA).<sup>8</sup> En Colombia, se reveló que en el año 2014 se produjeron aproximadamente 26.528 toneladas de residuos sólidos diarios en los 1.123 municipios que conforman el país. La mayoría del total de los residuos sólidos es material orgánico, debido a que, en el país se desarrolla una abundante actividad agrícola.<sup>9</sup>

Este problema tiende a agravarse por el acelerado crecimiento de la población, el desarrollo industrial y el aumento del volumen de residuos inorgánicos tales como plásticos, metales, vidrios y escombros. Además, el problema se intensifica por el desaprovechamiento de residuos biodegradables como cartón, textiles, madera y por el mal manejo de residuos orgánicos domésticos, de plazas de mercados y de actividades agrícolas.<sup>12</sup>

En la capital Santandereana, Bucaramanga, en el año 2014 se produjeron 172.160 toneladas de residuos sólidos, es decir, 471.67 toneladas de residuos por día. Como disposición final, estos residuos son descartados en el relleno sanitario “El carrasco”, el cual, el 76% del total de los residuos es reciclable y no son aprovechados. Además, el 53% del total de los residuos se compone de material orgánico, es decir, residuos de alimentos, de poda, entre otros. Considerando que más de la mitad de los residuos sólidos urbanos de Bucaramanga es material orgánico, el porcentaje de humedad del total de los residuos sólidos producidos en Bucaramanga oscila entre 35 a 55%.<sup>13</sup>

La alta concentración de humedad de los residuos sólidos urbanos (RSU) sumada al mal manejo de estos residuos sólidos municipales genera un caldo de cultivo

para la transmisión de enfermedades. Esto podría afectar la salud de manera directa o indirecta por medio de vectores como las moscas, mosquitos, cucarachas y ratas. Además, los residuos con alto contenido en materia orgánica generan lixiviados que contaminan el recurso hídrico. También, se ve afectado el suelo por las grandes áreas ocupadas de residuos sólidos y de intoxicación causada por descargas tóxicas. Así mismo, el aire también se ve modificado por las emisiones de descomposición de estos residuos.<sup>14</sup>

La gran acumulación de residuos sólidos ha generado la necesidad de implementar diferentes procedimientos para mitigar el impacto ambiental, tales como: el reciclaje y el compostaje. También, los residuos sólidos municipales (RSM) son descartados en vertederos o rellenos sanitarios e incinerados. Sin embargo, debido a la compleja composición de los RSM, los productos de la combustión no son tan inocuos como parecen. Por eso, para almacenar, recuperar o hacer una disposición adecuada de los residuos sólidos se debe tener en cuenta su composición, puesto que, la cantidad de humedad, toxicidad y biodegradabilidad son factores que alteran el manejo de este tipo de residuos.<sup>15</sup>

Por lo anterior, en el laboratorio de la Universidad Santo Tomás se están implementando las técnicas de análisis fisicoquímicas de la NTC 5167 para los abonos orgánicos estudiados. Por tanto, se seguirán los criterios de la NTC 5167, la norma Chilena 2880 y el real decreto Español 824 para determinar la calidad de los abonos orgánicos evaluados teniendo en cuenta parámetros tales como pH, humedad, cenizas, densidad, capacidad retención de agua, conductividad eléctrica, capacidad intercambio catiónico, carbonatos, carbono total, nitrógeno total, azufre y fósforo asimilable y garantizar la capacidad de los abonos orgánicos artesanales para promover el crecimiento vegetal, recuperar suelos infértiles y clasificarlo como un abono fertilizante orgánico.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

En el año 2014, en Colombia se produjeron aproximadamente 26.528 toneladas de residuos sólidos diarios, donde el 94% de los residuos fueron llevados a rellenos sanitarios, el 0,2% reciclado, el 5% a botaderos a cielo abierto, el 0,7% a plantas integrales, el 0,3% enterramientos, el 0,07% a cuerpos de agua y el 0,03% fueron quemados.<sup>8</sup>

En Santander, la mayoría de las basuras son llevadas al relleno sanitario “El Carrasco”, que se encuentra ubicado en la parte suroccidental de Bucaramanga. Allí, se llevan los residuos sólidos urbanos de 18 municipios y recibe aproximadamente 750 toneladas por día. En el año 2012, recibió aproximadamente 276.482 toneladas de basuras. Actualmente, “El Carrasco” está afrontando una emergencia sanitaria, tras su anuncio de cierre definitivo desde el 30 de septiembre del 2015, se extendió la emergencia sanitaria por otros dos años, dando tiempo suficiente para que las autoridades ambientales encuentren un lugar apto para recibir los residuos de los santandereanos. Los fuertes olores que se producen en el carrasco se esparcen hasta sitios aledaños como Girón. Esto se debe a que actualmente no funciona adecuadamente el sistema de combustión. También, la planta de lixiviados derivados de los desechos orgánicos tampoco trabaja eficientemente, puesto que, los lixiviados no están conectados a la red de alcantarillado. Esto implica, que los lixiviados se viertan directamente a la Quebrada la Iglesia, generando aún más contaminación.<sup>16, 17</sup>

A causa de ello, actualmente se están buscando nuevas alternativas para el manejo de los residuos sólidos urbanos con el fin de disminuir el volumen total desechado en el relleno sanitario, concediendo no solo una solución a la problemática ambiental, sino que también su recuperación puede ser económicamente atractiva.<sup>17</sup>

La universidad Santo Tomas realizó un proyecto que se desarrolló en la Finca “El Limonal”, ubicada en Piedecuesta Santander, el cual consistió en el aprovechamiento de los residuos orgánicos de la plaza central de Piedecuesta para la producción de compostaje, puesto que, los residuos de plazas de mercado se componen aproximadamente en un 90% de materia orgánica, aunque, debido a la falta de capacitación en la separación en la fuente dentro de las centrales de abastos, estos residuos son contaminados con residuos de tipo industrial como plásticos, vidrios, metales, entre otros.

Con la producción del compostaje se busca contrarrestar la problemática de los residuos sólidos orgánicos, debido que el compostaje es un proceso de descomposición aeróbica de la materia orgánica llevado a cabo por una amplia gama de poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos, por ende, esta técnica nos permite transformar estos residuos sólidos en abonos fertilizantes destinados a mejorar las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo, logrando un nivel apropiado y equilibrado de nutrientes para las plantas, mejorando su capacidad agrícola productiva.<sup>18</sup>

Para la utilización en la agricultura de los abonos orgánicos producidos en la finca “El Limonal” es necesario conocer sus propiedades fisicoquímicas y su composición nutricional, las cuales pueden ser clasificados mediante la Norma Técnica Colombiana 5167, la NCh 2880 y el real decreto Español 824 para calificar el compost como abono orgánico fertilizante.

### **1.3 OBJETIVOS**

**1.3.1 Objetivo general.** Implementar y evaluar los métodos analíticas para el análisis fisicoquímico, carbono orgánico, nitrógeno total, azufre y fósforo asimilable de diferentes abonos artesanales utilizando la norma técnica Colombiana 5167 y como referencia la norma Chilena 2880 y el real decreto Español 824.

**1.3.2 Objetivos específicos** Seleccionar diferentes tipos de abonos orgánicos artesanales comerciales y el abono de la planta piloto de residuos biodegradables de la universidad Santo Tomás.

Implementar los métodos fisicoquímicos pH, humedad, cenizas, densidad, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbonatos, carbono total, nitrógeno total, relación C/N, azufre y fósforo asimilable de la NTC 5167 para analizar abonos orgánicos artesanales.

Analizar y comparar los resultados obtenidos con la Norma técnica Colombiana 5167, norma Chilena 2880 compost clasificación y requisitos, y el real decreto Español 824 sobre productos fertilizantes para clasificarlos como abono orgánico fertilizantes.

## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1 RESIDUOS SÓLIDOS

Los residuos son aquella materia derivada de actividades de producción y de consumo que son desechadas por que no posee ningún valor económico y no se pueden consumir. En los países desarrollados es donde existe el mayor índice de consumo y por ende el de mayor producción de residuos.<sup>19</sup>

**2.1.1 Clasificación.** Los residuos se pueden clasificar de acuerdo a la fuente de origen, por tanto, se pueden dividir en dos grandes grupos:<sup>19,20</sup>

- Derivados del sector primario: provienen de actividades agrícolas, ganaderas y forestales.
- Derivados del sector secundario y terciario: provienen de las actividades industriales y del sector urbano.

También se pueden clasificar de acuerdo a su composición como (materia orgánica, vidrio, metal, papel, plásticos, cenizas, polvo, inerte) o de acuerdo a su peligrosidad (tóxicos, reactivos, corrosivos, radioactivos, inflamables, infecciosos). Pero, más de 60% del total de los residuos se compone de material orgánico cuyo origen es fundamentalmente biológico y se componen principalmente de C, H, O, y en menor proporción N, P y S.<sup>20</sup> Las características físicas, químicas y biológicas de los residuos sólidos, son de mucha importancia, debido que nos permiten clasificarlos, recolectarlos, y tratarlos según su disposición final.<sup>20,21</sup>

Los residuos orgánicos provienen de actividades agrícolas ganaderas, mataderos, residuos forestales, domésticos, lodos de depuradoras de aguas residuales, industrias agroalimentarias y afines. Estos residuos suelen desintegrarse o degradarse rápidamente, transformándose en otro tipo de materia orgánica. Pero, otros residuos pueden tardar más en degradarse, como papel y cartón.<sup>19-21</sup>

En la figura 1, se observa la clasificación de los residuos orgánicos municipales de acuerdo a su origen. A partir de allí, se pueden identificar unas de las potenciales

fuentes de materia orgánica para aprovechar los residuos sólidos orgánicos municipales (RSOM). Los principales productores de RSOM son las plazas de mercado y las fuentes domiciliarias, las cuales representan más del 50% de los residuos sólidos totales generados. Estos residuos orgánicos se pueden utilizar para la elaboración del abono orgánico con el fin de darles un manejo adecuado a estos residuos.<sup>22</sup>

Figura 1. Clasificación de los residuos Orgánicos Municipales según su fuente de origen.



Fuente: Guía Práctica No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos<sup>22</sup>.

### 2.1.2 Composición bioquímica de los residuos sólidos orgánicos.<sup>23</sup>

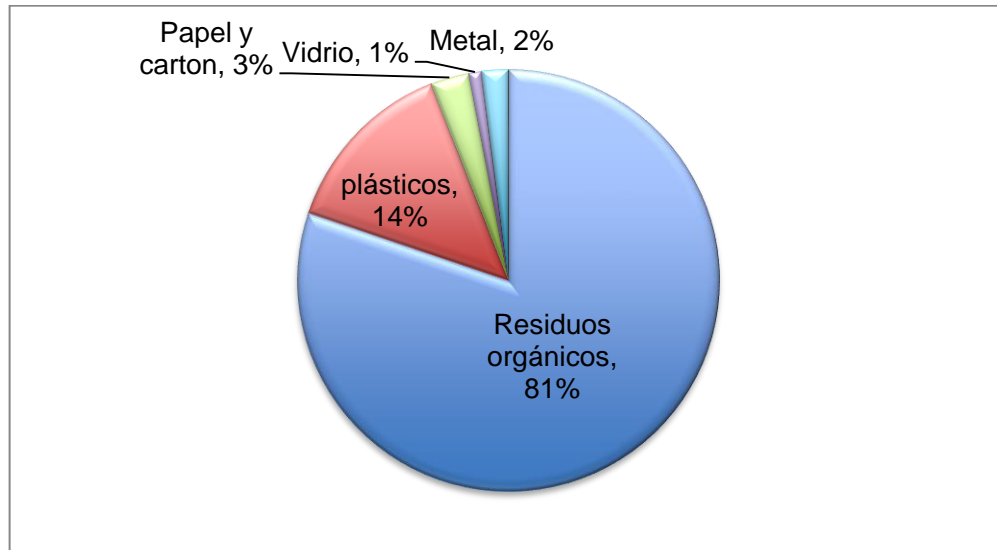
- Constituyentes solubles en agua, tales como azúcares, féculas, aminoácidos y diversos ácidos orgánicos.

- Hemicelulosa y celulosa.
- Grasas, aceites y ceras.
- Lignocelulosa.
- Proteínas.

**2.1.3 Generación de residuos sólidos en Colombia.** Las ciudades de Medellín, Cali, Bogotá y Barranquilla aportan entre 11.275 Ton/día de residuos sólidos (RS), resaltando que Bogotá genera alrededor de 6500 Ton/día. En Colombia se generan diariamente aproximadamente 27.500 toneladas de (1.086 municipios y 32 departamentos) y al año 10'037.500 toneladas de RS .<sup>24</sup>

Los residuos sólidos municipales (RSM) en Colombia están compuestos principalmente por residuos sólidos orgánicos (81%), seguidos por el plástico (14%), vidrio (4%), papel y cartón (3%) y metal (2%). (Figura 2).<sup>24</sup>

Figura 2. Composición de los residuos sólidos en Colombia.



Fuente: Diagnóstico de la situación de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. <sup>25</sup>

**2.1.4 Tratamientos para los residuos sólidos.** La acelerada producción de los residuos sólidos hace necesaria la implementación de tratamientos que conlleven al reciclaje, transformación e incorporación al ciclo natural o principalmente, se busca su eliminación. Unos de los principales tratamientos son los vertederos, incineración, reciclaje, generación de biogás y compostaje. <sup>25, 26</sup>

- **Vertederos.** El método que se ha utilizado para la disposición final de los desechos desde hace varios años es el de ubicar los residuos dentro de un vertedero, que es un gran hoyo o depresión que se hace en un terreno, el cual cuando se encuentra completamente lleno se recubre con suelo y/o arcilla. Dentro del vertedero sanitario, los residuos sólidos son compactados en capas y cubiertos con 20 cm de suelo al finalizar las operaciones diarias de recolección. Al finalizar, el vertedero es cubierto por un metro de suelo o arcilla aproximadamente. También con el fin de mejorar su protección se adiciona una geomembrana de plástico en la parte superior de la capa de arcilla con el fin de impermeabilizar la superficie para proteger el vertedero de las lluvias. <sup>26</sup>

- **Incineración.** Es un proceso de oxidación mediante la quema controlada de materiales para tener productos simples y mineralizados como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y agua. La incineración de residuos sólidos se realiza principalmente para reducir el volumen de material que debe ser vertido y para eliminar los residuos tóxicos y peligrosos. La eliminación de residuos hospitalarios se realiza por medio de la esterilización, la cual consiste en destruir la contaminación microbiana de los productos no estériles.<sup>26</sup>

Es un método muy utilizado en la mayoría de los municipios alrededor del mundo de países como Japón y Dinamarca, donde incineran la mitad de los residuos domésticos recolectados por las empresas de aseo.<sup>26</sup>

- **Reciclaje.** Es un método mediante el cual se realiza un reprocesamiento de materiales usados evitando que recursos útiles se desperdicien, reduciendo el consumo de materias primas y energía. El tratamiento se clasifica en físico, químico y biológico, de acuerdo a los cambios que se generan en el residuo. El tratamiento físico consiste en la reducción del tamaño (molido) y de volumen (prensado), el secado y la separación por medios mecánicos. El tratamiento químico genera un cambio en la estructura química del residuo, la combustión es el proceso que más se utiliza. Finalmente el tratamiento biológico que cambia la estructura química por medio de la acción de los seres vivos. Este tratamiento se conoce como biorreacción por medio anaeróbico o aeróbico, también conocido como compostaje. (Manual de compostaje municipal).<sup>27,28</sup>
- **Biocombustibles.** Es un tipo de combustible líquido, sólido o gaseoso, que proviene de la biomasa (materia orgánica de origen animal o vegetal). Entre ellos se encuentra: el Bioetanol (o alcohol carburante), Metanol, Biodiesel, Diesel.<sup>29</sup>
- **Compostaje.** El compostaje es un proceso de acondicionamiento de residuos orgánicos que básicamente estabiliza los efectos de descomposición natural de la materia orgánica. La técnica se conoce en china desde hace más de 6000 años. Este método de tratamiento se define como una fermentación controlada de los residuos orgánicos realizada por microorganismos que a su vez obtienen energía y nutrientes durante su actividad de descomposición para obtener como producto final el abono orgánico o compost. (Manual de compostaje municipal).<sup>30</sup>

El compost es el producto de la degradación aeróbica de los residuos orgánicos. Es un material inodoro y estable que no representa un riesgo sanitario para la sociedad ni para el medio ambiente. Una vez obtenido el compost, el material se debe tamizar para separarlo del material no degradado. La reacción del compostaje se muestra en la figura 3.

Figura 3. Reacción del proceso de compostaje.<sup>31</sup>



Fuente: Aprovechamiento de residuos de podas mediante compostaje en la escuela militar de aviación.

La técnica de compostaje aerobio varia de acuerdo a las condiciones de aireación, el período de volteo y la calidad requerida en el producto final. Existen dos tipos de sistemas utilizados los cuales son: los sistemas abiertos de fermentación lenta al aire libre en pilas y los sistemas cerrados de fermentación acelerada en reactores verticales u horizontales. De estos dos modos el más utilizado son los sistemas abiertos, en donde las pilas a compostar pueden estar al aire libre bajo techo. Este sistema de compostaje consiste en amontonar el material en varias pilas y voltearlas regularmente. Con el volteo se busca mezclar adecuadamente el material, evitar la compactación, intercambio gaseoso, creación de nuevas superficies de ataque de microorganismos, control de temperatura, pH y humedad.<sup>31,32</sup>

**2.1.5 Condiciones del proceso de compostaje.** En el proceso de compostaje, los microorganismos son los principales responsables de la transformación del sustrato, por lo tanto, todos aquellos factores que puedan influir en su crecimiento y desarrollo, afectarán el proceso. Los factores más importantes que intervienen éste proceso biológico son: temperatura, humedad, pH, oxígeno, relación C/N y población microbiana.<sup>33</sup>

Cuadro 1. Condiciones óptimas para el compostaje. <sup>34-36</sup>

CONDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C:N	20:1 - 40:1	25:1 - 30:1
Humedad	40 % - 65 %	50% - 60%
Oxígeno	+5%	Aprox 8%
pH	5.5 – 9.0	6.5-8.0
Temperatura (°C)	55°C - 75°C	65°C - 70°C
Tamaño de partícula	0,5 cm - 1,0 cm	Variable

Fuente: Autor

Las condiciones que favorecen el crecimiento de los microorganismos aeróbicos son: presencia de oxígeno, temperatura, humedad y una nutrición balanceada. <sup>35, 36</sup>

**2.1.6 Normatividad.** La normatividad ambiental vigente respecto a los residuos sólidos y su tratamiento, según el ministerio de Ambiente, vivienda y desarrollo territorial, son el decreto 1713 de 2002 que relaciona el tema de las unidades de almacenamiento y sus disposiciones y también la Ley 142 de 1994, la Ley 632 de 2000 y la Ley 689 de 2001, en relación con la prestación del servicio público de aseo, y el Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos. <sup>37, 38</sup>

Si el compost obtenido contiene buena cantidad de materia orgánica y todos sus parámetros se encuentran de forma permisible y no ocasionará perjuicio alguno, tanto al suelo como a los microorganismos presentes y llevará a cabo su ciclo de manera sostenible, se podrá utilizar la Norma técnica colombiana NTC 5167 donde establece los requisitos que deben cumplir los ensayos a los cuales deben estar sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas o acondicionadores del suelo como se muestra en el cuadro 1. <sup>39</sup>

Cuadro 2. Parámetros sugeridos por la NTC 5167.

Parámetro	Expresado como	Unidades
Nitrógeno	N total	%
Fósforo	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%
Potasio	K <sub>2</sub> O	%
Sodio	Na	%
Calcio	CaO	%
Magnesio	MgO	%
Zinc	Zn	%
Plomo	Pb	Ppm
Cadmio	Cd	Ppm
Cromo	Cr	Ppm
Níquel	Ni	Ppm
Arsénico	As	Ppm
CRA	CRA	%
CIC	CIC	Meq / 100 g
Humedad	Humedad	%
pH	pH	-
Conductividad	Conductividad	mS / cm
Carbono orgánico	C.O	%
Cenizas	Cenizas	%
Relación C / N	Rel. C/N	-
Densidad	Densidad	g / cm <sup>3</sup>

Fuente: Autor

Se ha verificado que 16 elementos son esenciales para el crecimiento vegetal, nueve de ellos se requieren en grandes cantidades (más del 0,05% en peso seco) y se conocen como macronutrientes: carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio y magnesio. Los siete restantes son llamados microelementos y son necesarios en cantidades mínimas: hierro, boro, manganeso, cobre, molibdeno, cloro y zinc. En el cuadro 2, se pueden conocer las diferentes funciones de los elementos esenciales.<sup>39</sup>

Cuadro 3. Funciones de los elementos esenciales.<sup>40-43</sup>

<b>Elemento</b>	<b>Funciones Principales</b>
<b>Carbono</b>	Estructural: en carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos
<b>Hidrógeno</b>	
<b>Oxígeno</b>	
<b>Nitrógeno</b>	Estructural: en proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, algunas coenzimas
<b>Fósforo</b>	Estructural: en ácidos nucleicos, fosfolípidos, ATP
<b>Calcio</b>	Estructural: en la lámina media de las paredes celulares  Fisiológica: participa en la permeabilidad de membrana; activación enzimática.
<b>Magnesio</b>	Estructural: en la clorofila  Fisiológica: activador de enzimas en el metabolismo de los carbohidratos.
<b>Azufre</b>	Estructural: en algunos aminoácidos y vitaminas
<b>Potasio</b>	Fisiológica: ósmosis y balancee iónico; apertura y cierre de estomas; activador de enzimas (para más de 40 variantes)
<b>Cloro</b>	Fisiológica: balance iónico; participa en reacciones luminosas (con desprendimiento de oxígeno) de la fotosíntesis
<b>Hierro</b>	Fisiológica: parte de enzimas que intervienen en fotosíntesis, respiración y fijación de nitrógeno
<b>Manganeso</b>	Fisiológica: parte de enzimas que intervienen en respiración y metabolismo nitrogenado; necesario para el desprendimiento de oxígeno en la fotosíntesis
<b>Cobre</b>	Fisiológica: parte de enzimas implicadas en la fotosíntesis
<b>Zinc</b>	Fisiológica: parte de enzimas implicadas en la respiración y el metabolismo nitrogenado
<b>Molibdeno</b>	Fisiológica: parte de enzimas que intervienen en el metabolismo nitrogenado
<b>Boro</b>	Fisiológica: función exacta desconocida; participa en el transporte a través de la membrana

Fuente: Autor

La NTC 5167 establece los parámetros fisicoquímicos a cumplir y los valores necesarios para calificarlos según el origen y materiales utilizados para la preparación del compost, ya sea sólido o líquido. Todas las muestras analizadas en el presente proyecto cumplen la descripción según la NTC de “abonos o fertilizantes orgánicos sólidos” cuyo origen es de residuos vegetales y animales tal cual lo describe el cuadro 4.<sup>39</sup>

Cuadro 4. Parámetros fisicoquímicos a garantizar según la NTC 5167 de abonos o fertilizantes orgánicos sólidos.

<b>Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales</b>	<b>Parámetros a caracterizar</b>
Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales vegetales o residuos sólidos urbanos separados en la fuente o mezcla de los anteriores, que contienen porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total	Pérdidas por volatilización
	Contenido de cenizas máximo de 60%
	Contenido de humedad máximo del 30%
	Contenido de carbono orgánico oxidable total, mínimo 15%
	N, P reportar si es mayor al 1%
	Relación C/N
	Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 meq/100g
	Capacidad de retención de agua, mínimo su propio peso.
	pH mayor a 4 y menor a 9
	Densidad real máxima 0,6 g/mL

Fuente: Autor

De la misma manera como la legislación Colombiana estipula los valores estándar de los parámetros fisicoquímicos de los abonos orgánicos, España también propone valores estándares para abonos orgánicos basados en la normatividad nacional española del real decreto 824 del 2005 que ofrece un punto comparativo con nuestra norma técnica Colombiana. Además, Chile también considera parámetros fijos técnicos para abonos orgánicos según la Norma Chilena de Calidad de Compost NCh2880 del 2003. Estas tres normas abarcan los dos continentes, Europa y Suramérica cuyos valores a garantizar en abonos orgánicos no se alejan de nuestra norma técnica Colombiana. Tal cual como se muestra en el Cuadro 5, que confronta los parámetros fijos de las normas de cada país.<sup>44,45</sup>

Cuadro 5. Comparación de parámetros físico químicos de España, Colombia y Chile.

Parámetros	Norma Colombiana	Norma Chilena	Norma Española
<b>Nitrógeno</b>	> al 1%	Contenido $\geq$ 0,8% del contenido total de nitrógeno	> al 1%
<b>Fosforo</b>	> al 1%	contenido $<$ 0,1% de fosforo soluble en agua	> al 1%
<b>Humedad</b>	Máximo 30%	$\geq$ 25%	Entre 30% y 40%
<b>Conductividad eléctrica</b>	-	Tipo A hasta 5 mS/cm y tipo B de 5 a 12 mS/cm	-
<b>C/N</b>	-	Tipo A de 10 a 25 y tipo B de 10 a 40	Menor a 20
<b>pH</b>	> 4 y < 9	Entre 5 y 7,5	-
<b>Materia Orgánica</b>	Mínimo el 15%	Tipo A $\geq$ 45 y tipo B $\geq$ 25	Gallinaza y abono orgánico: 35%. Lombrinaza: 40%. Turba: 45%

Fuente: Autor

### 2.1.7 Equipo utilizado en el análisis de los abonos fertilizantes.

Espectrofotómetro ultra violeta visible (Uv-Vis): Los estudios de espectroscopia de radiación ultravioleta visible permiten la cuantificación de compuestos que absorben radiación electromagnética. Los compuestos se pueden cuantificar debido a la excitación de los electrones enlazantes, por tanto, las longitudes de onda de los picos de absorción permiten identificar los grupos funcionales de cada molécula. (ver figura 4) <sup>46</sup>

Figura 4. Espectrofotómetro UV-Vis Agilent 8453, empleado para la determinación de azufre y fósforo.



Fuente: Autor

## 2.2 MARCO DE ANTECEDENTES

En 1925, empiezan los primeros estudios en Europa sobre la posibilidad de descomponer a gran escala las basuras generadas de las diferentes ciudades. La ciudad holandesa de Hanmer fue la primera planta de compost instalada en 1932 para basuras urbanas, con el pasar de los años el número de plantas en Europa fue aumentando considerablemente.<sup>47</sup>

En 1995, Castillo y sus colaboradores de la asociación de recicladores, realizaron un ensayo demostrativo, con el objetivo de obtener compost a partir de los residuos urbanos generados en Manizales, provenientes de residuos de plazas de mercado y restaurantes, también se mezcló con agroplus y estiércol de bovino. En dicho proyecto, se aplicó la técnica de biodegradación natural bajo la forma de remoción de pilas. Allí se destinaron dos áreas para la preparación del abono, una bajo cubierta de invernadero y otra a la intemperie. Pasados los cinco meses se obtuvo el abono expuesto a la intemperie, mientras que el abono puesto bajo cubierta de invernadero tuvo un tiempo de maduración promedio de mes y medio. Los resultados de laboratorio mostraron altos contenidos de materia orgánica, calcio, magnesio y potasio, además de poseer un pH neutro; estas características permiten recomendar el compost para la fertilización orgánica de los cultivos.<sup>48</sup>

En América Latina, los diferentes países generan una gran cantidad de residuos sólidos, los cuales, se componen principalmente de materia orgánica, superando el 50% del total generado. Aproximadamente el 2% del total de los residuos recibe un tratamiento adecuado para su aprovechamiento, el resto es destinado a

rellenos sanitarios. Viendo la necesidad de aprovechar los residuos sólidos orgánicos generados en las diferentes ciudades de América Latina para prevenir el impacto ambiental y todos sus daños, muchas de las ciudades han optado por tomar como alternativa compostar los residuos orgánicos urbanos. Por ello actualmente Argentina (Rosario), Brasil, Ecuador (Cierra Norte), Colombia (Antioquia, Manizales), crearon su propia planta piloto de para la elaboración de compost.<sup>49-51</sup>

En el Área Metropolitana de Bucaramanga, existen varios proyectos de compostaje de residuos sólidos, entre ellos los más significativos han sido los ejecutados por la EMAB en El Carrasco y por Racunsoc en Floridablanca. En el proyecto del carrasco, el material utilizado proviene principalmente de las plazas de mercado, y el proyecto de Racunsoc, corresponde de la recolección puerta a puerta, en el barrio La Cumbre.<sup>52</sup>

- En el Carrasco, se llevó a cabo un proyecto piloto por parte de la EMAB, el cual consistió en transformar en abono el material orgánico proveniente de las plazas de mercado aprovechables para mejorar las condiciones del suelo. Sin embargo, la comercialización de este abono orgánico no se está llevando a cabo, puesto que, se requiere de un análisis fisicoquímico de la composición del mismo, y para ello su estudio debe realizarlo el ICA, (Bogotá), por lo tanto actualmente se obsequia a las personas interesadas, y se utiliza en las instalaciones propias del sitio de disposición final.<sup>52,53</sup>
- En el 2000, Racunsoc inició el proyecto con la participación de 100 familias del sector de la Cumbre en Floridablanca, los cuales recolectan los residuos sólidos orgánicos de su comunidad, con el fin de obtener abono orgánico. Como resultado de este proceso de compostaje se obtiene una producción de 2 toneladas mensuales los cuales se comercializan con los vecinos del sector y con la Secretaria de Agricultura y la CAMB a razón de \$200 el kilo.<sup>54</sup>

En Bucaramanga, hay otros lugares donde se realiza el tratamiento de compostaje, pero no se obtiene beneficio económico como es el Caso de Jardines La Colina y la Planta de compostaje de la EMAF, las cuales por costos de operación y falta de comercialización, han suspendido su programa de compostaje. Asimismo, en las diversas granjas avícolas de la región, también se han ejecutado importantes proyectos de compostaje, los cuales son realizados con los residuos orgánicos, provenientes de la disposición de las mortalidades y descartes de aves, los residuos orgánicos que se generan en la poda y

mantenimiento de zonas verdes. Estos residuos se incorporan a los procesos de compostaje como reguladores de la relación carbono nitrógeno, como acolchados o biofiltros en el montaje de pilas.<sup>53</sup>

En el 2002, surgió a partir del decreto 1713 el Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos, el cual, se concibe como una herramienta básica para el manejo adecuado de los residuos sólidos de acuerdo al marco de política establecida para la gestión integral de los residuos (PGIRS), la cual fue expedida por el ministerio del Medio Ambiente, de manera tal que se genere menor impacto ambiental y en el ámbito de la salud pública.<sup>55</sup>

En el 2004, fue creada la compañía EVAS-ENVIAMBIENTALES, la cual se encargó de transformar, recuperar y darle disposición final a los residuos sólidos de los municipios de Envigad y del Valle de Aburrá. Esta planta recoge 13.22237 Ton/mes de residuos sólidos, de los cuales se aprovechan 584 Ton/mes de residuos sólidos orgánicos urbanos por medio del proceso de compostaje aerobio, con tiempos de maduración entre 90 y 120 días y un promedio de 79 días. En cuanto a la normatividad, cumple con un 90% de las normas relacionadas con el aprovechamiento, consignadas en el decreto 1713 de 2002. En conclusión, es una de las plantas mejor manejadas a nivel nacional.<sup>56</sup>

En el 2011, fue creada una asociación sin ánimo de lucro, en el marco del III Congreso Nacional de Compostajes Industriales, la Asociación Colombiana de Compostadores ASOCOMPOST. Es la única organización Colombiana dedicada a promover el correcto manejo de los residuos orgánicos a través de tecnologías de compostaje, así como al desarrollo, la expansión y la promoción de la industria del compostaje.<sup>57</sup>

El relleno sanitario “El Carrasco” ubicado en la parte suroccidental de Bucaramanga, recibe aproximadamente 750 toneladas/día de residuos sólidos, provenientes del área Metropolitana de Bucaramanga y otros municipios (ver figura 5). La problemática ambiental en Santander por estos residuos ha venido aumentando con el tiempo, debido a que el tiempo de vida útil del “El Carrasco” ya expiró, en donde diversas auditorias elaboradas por la contraloría municipal dan a conocer diversos problemas, porque, la empresa encargada no cumple con la cobertura apropiada con el manual de operaciones. La Corporación Autónoma Regional de Defensa de la meseta de Bucaramanga (CDBM) ha multado a la empresa de aseo EMAB por mal manejo de los lixiviados, causando la emergencia sanitaria que se está enfrentando Bucaramanga y su área metropolitana.<sup>54, 58</sup>

Figura 5. Emergencia sanitaria en el Carrasco.<sup>58</sup>



**Fuente:** Vanguardia Liberal. Bucaramanga. 30, Septiembre, 2013. Sección Bucaramanga

En el 2013, Danilo Sánchez Ruiz y sus colaboradores estudiaron la factibilidad para la creación de una planta de abonos orgánicos en el municipio de Guacarí, Valle del Cauca, para evitar que los residuos contaminen fuentes hídricas, suelos y la atmosfera, debido a las emisiones y los olores ofensivos producidos en su proceso de descomposición. Se propuso realizar el proceso de compostaje y lombricompostaje para evaluar su viabilidad técnica y económica para producir acondicionadores orgánicos. En conclusión, las muestras del lombricompost no cumplieron con los requerimientos técnicos y operativos para la producción y comercialización del producto, el cual, no hace viable la oportunidad de negocio. Sin embargo, el lombricompost puede usarse para uso personal en las fincas.<sup>59</sup>

En el 2013, La Universidad Santo Tomás Bucaramanga y la Alcaldía de Piedecuesta firmaron un convenio de cooperación para ejecutar el proyecto denominado "**Implementación de actividades para el desarrollo del Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos de Piedecuesta**", específicamente en la plaza de mercado central del municipio. La Universidad Santo Tomás, se encargó de caracterizar los residuos sólidos aplicando el reglamento técnico para el sector de agua potable y saneamiento básico; realizando actividades dirigidas a los vendedores de la plaza para fomentar la separación y disminución de los residuos, entre otras actividades. De esta manera la Universidad en su Centro Experimental "El Limonal" esperó semanalmente que se realizara todo el proceso de tratamiento y aprovechamiento de aproximadamente 8 toneladas de residuos vegetales para la biotransformación del abono orgánico.<sup>60</sup>

### 3. DISEÑO METODOLÓGICO

#### 3.1 ASPECTOS GENERALES

El presente trabajo se llevó a cabo en el Laboratorio de Investigaciones Ambientales de la Facultad de Química Ambiental, la Universidad Santo Tomás Seccional Bucaramanga, campus Floridablanca.

**3.1.1 Disolventes y reactivos.** En el siguiente cuadro (cuadro 5), están enunciados los reactivos utilizados para cada análisis. Asimismo, el nombre de su empresa con sus respectivas purezas.

Cuadro 6. Reactivos utilizados en el desarrollo de las metodologías propuestas.

REACTIVOS	EMPRESA	PUREZA
Ácido clorhídrico (HCl)	Merck	37 %
Hidróxido de Sodio (NaOH)	Burdick and Jackson	100%
Solución de Fenolftaleína	ACI	-
Ácido Fosfórico (H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub> )	Merck	85 %
Ácido sulfúrico concentrado (H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )	Carlo Erba	96%
Dicromato de potasio (K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> )	Carlo Erba	
Difenil amina	Merck	99,9 %
Sulfato Ferroso amoniacal (Fe(NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> (SO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> *6H <sub>2</sub> O)	Panreac	99%
Sulfato de potasio	Merck	99%
Sulfato de cobre pentahidratado	Carlo Erba	99%
óxido de titanio	Merck	99%
Tiosulfato de Sodio pentahidratado	Merck	99,5%
Granallas de zinc	Panreac	-
Acetato de amonio	Merck	-
Cloruro de Sodio (NaCl)	Honeywell Burdick and Jackson	99,9%
Formaldehido	-	40 %
Ácido clorhídrico (HCl)	Carlo Erba	37%
Fluoruro de amonio (NH <sub>4</sub> F)	Merck	98%
Molibdato de amonio tetrahidratado	Alf Aesar	99%
Tartrato de antimonio y potasio trihidratado	Merck	99%
Ácido ascórbico	Carlo Erba	99%
Fosfato de hidrogeno y de potasio (KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> )	Merck	99%
Ácido acético glacial	Honeywell Burdick and Jackson	99,8%
Polivinil pilorridona	Merck	99%
Cloruro de bario dihidratado	Carlo Erba	98%

Fuente: Autor

**3.1.2 Equipos e instrumentos.** Los equipos e instrumentos que se emplearon en el desarrollo de la investigación fueron: balanza analítica (*Pioneer TM OHAUS*), cabina de extracción de gases y humos (*Multiingeniería Ltda.*), manta de calentamiento (*TechnoKartell*), espectrofotómetro UV-Vis (*Agilent 8453*), horno (*Thermo scientific*), desecador (*Scienceware*), vortex (*Benner*), pHmetro (*OHAUS*), conductímetro (*OHAUS*), montaje Kjeldahl (*E&Q*), mufla (*E&Q*) y equipo de humedad (*OHAUS*).

## **3.2 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se efectuaron las siguientes etapas experimentales descritas a continuación.

**3.2.1 Obtención de los abonos orgánicos.** Las muestras de abonos fueron adquiridas en diferentes lugares del área metropolitana de Bucaramanga. Se emplearon 6 abonos diferentes teniendo en cuenta la composición del compost, entre ellas (gallinaza, turba, lombrinaza y residuos vegetales). Las muestras fueron almacenadas a una temperatura ambiente para posteriores análisis.

## **3.3 PREPARACIÓN DE LAS DIFERENTES MUESTRAS DE ABONO.**

La preparación o pretratamiento de los abonos orgánicos consistió en secar la muestra en un horno a 70° C por 24 horas. Luego, se maceró hasta obtener una consistencia homogénea. Posteriormente, se tamizó (tamiz número 35 ASTM de 0,5 mm) y se conservó en bolsas ziplock, hasta su posterior análisis.<sup>27</sup>

## **3.4 ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS DE LOS ABONOS ORGÁNICOS.**

**3.4.1 pH.** Inicialmente se calibró el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH. Seguidamente se pesaron 10 g de muestra los cuales fueron transferidos a un vaso de precipitado de 250 mL donde fueron añadidos 90 mL de agua destilada. Se mezcló por medio del agitador durante 10 minutos, luego se dejó reposar la solución durante 1 hora. Finalmente se procedió a lectura directa con un pHmetro (ver figura 6).

Figura 6. Medidor de pH Ohaus, disponible en Laboratorio de Ciencias Básicas de la Facultad de Química Ambiental, USTA-Bucaramanga.



Fuente: Autor

**3.4.2 Determinación de la humedad.** Para la determinación del porcentaje de humedad relativa de las muestras de abono orgánico, se empleó el método gravimétrico. Para ello se pesaron aproximadamente entre 30-55 g de abono fresco en la balanza analítica antes de ser llevado al horno para el secado a 70°C por 24 horas hasta obtener un peso constante. Una vez seco, el material vegetal fue llevado a un desecador hasta temperatura ambiente, posteriormente, fue pesado en la balanza analítica con 4 cifras. Este ensayo se realizó por sextuplicado.

Finalmente, se calculó el porcentaje de humedad por medio de la diferencia de pesos, utilizando la ecuación 1. Para caracterizar los resultados de determinación de humedad en las muestras de abono, se compararon los resultados obtenidos por el método gravimétrico (sugerido por la NTC 5167) con la determinación de humedad por medio del equipo especializado en esa función, *MB45 OHAUS*, previamente calibrado de acuerdo a su fabricante.

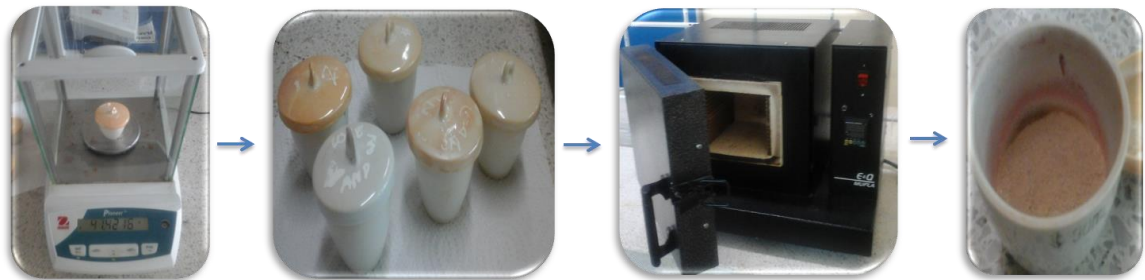
Ecuación 1. Determinación de humedad.

$$\%Humedad: \frac{(Peso\ de\ la\ muestra\ humeda - Peso\ muestra\ seca)}{Peso\ de\ la\ muestra\ humeda} \times 100$$

### 3.4.3 Determinación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización.

Se pesaron entre 5 a 6 g de muestra y se llevó a una mufla por 4 horas a 650°C. (Ver figura 7) Una vez finalizado el calentamiento, se esperó que la muestra en la mufla descienda a aproximadamente 100°C para ser llevada a un desecador hasta llegar a temperatura ambiente aproximadamente a 25°C. Finalmente, se pesó la muestra en la balanza analítica y utilizando la ecuación 2 se calculó el porcentaje de cenizas totales y el porcentaje de pérdida de volatilización.

Figura 7. Esquema de procedimiento de cenizas.



Fuente: Autor

Ecuación 2. Determinación de cenizas

$$\%cenizas = \left[ \frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \right] \left[ \frac{100 - \%humedad}{100} \right]$$

**3.4.4 Determinación de la Densidad.** La densidad se calculó depositando libremente la muestra de abono en una probeta hasta completar 30 mL. Posteriormente se pesó la cantidad de muestra insertada en la probeta. Para finalizar, se calculó la densidad mediante la ecuación 3.

Ecuación 3. Determinación de densidad Real.

$$\text{Densidad real (base seca)} \text{ g/cm}^3 = \left[ \frac{W_2 - W_1}{V} \right]$$

$W_1$ = Peso en g de la probeta vacía

$W_2$ = Peso en g de la probeta con el material

$V$ = Volumen ocupado por el material en la probeta ( $\text{cm}^3$ )

**3.4.5 Determinación de la Capacidad de Retención de Agua (CRA).** En este método se pesaron entre 21 y 23 g de muestra. Luego, se le adicionó agua destilada lentamente, agitando con una varilla de vidrio. Buscando obtener una superficie brillante en la muestra de suelo que indica el punto máximo de saturación de agua. El porcentaje de la capacidad de retención de agua se calculó con la ecuación 4.

Ecuación 4. Determinación de capacidad de retención de agua.

$$\%Saturación = \left[ \frac{A \times 100}{W_m} \right] \left[ \frac{100 - \%humedad}{100} \right]$$

Donde,

A= Volumen utilizado en mL

$W_m$ = Peso en g de la muestra

%H= Contenido de humedad de la muestra

**3.4.6 Conductividad eléctrica.** Se tomaron 20 a 25 g de muestra y se agregó agua hasta su punto máximo de saturación. Luego, la muestra saturada se filtró al vacío y se le midió la conductividad eléctrica al filtrado con el conductímetro previamente calibrado (ver figura 8). Los resultados se expresarán en mS/cm.

Figura 8. Medidor de conductividad eléctrica, disponible en Laboratorio de Ciencias Básicas de la Facultad de Química Ambiental, USTA-Bucaramanga.



Fuente: Autor

### 3.4.7 Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (C.I.C.)

El método se fundamentó en la saturación de la muestra con cationes de una solución de acetato de amonio 1N (pH 7,0). Donde, se extrajo el catión y se cuantifico con una solución valorada de NaOH 0,1 N. La C.I.C. se calculó utilizando la ecuación 5.

Se pesaron aproximadamente 2,5 g de cada una de las muestras de abono, luego en un Erlenmeyer fueron adicionados 25 mL de acetato de amonio, dejando en reposo durante la noche. Luego se filtró y se lavó con 50 mL de acetato de amonio en 5 porciones de 10 mL, seguidamente se quitó el exceso de sal amónica con 5 porciones de 10 mL de alcohol etílico sin dejar secar (ver figura 9). El filtrado fue desechado, fueron adicionados 5 porciones de 10 mL de Cloruro de Sodio 10 % en un recipiente previamente limpio sin dejar secar en cada adición de las muestras.

Ecuación 5. Determinación de la capacidad de Intercambio catiónico.

$$C.I.C. \text{ cmol}(+)Kg^{-1} \left( \frac{me}{100g} \right) = \left[ \frac{(V_{NaOH A}) - (V_{NaOH B}) \times N_{NaOH} \times 100}{W_m} \right] \left[ \frac{100 - \%humedad}{100} \right]$$

$V_{NaOH A}$  = Volumen en mL de solución de Hidróxido de Sodio empleado en la titulación de la muestra

$V_{NaOH B}$  = Volumen en mL de solución de Hidróxido de Sodio empleado en la titulación del Blanco.

$W_m$  = Peso en g de la muestra

$N_{NaOH}$  = Normalidad de la solución de Hidróxido de Sodio

%H = Contenido de humedad del producto

Figura 9. Filtración con acetato de amonio.



Fuente: Autor

Luego de ser adicionadas las porciones de 10 mL, se adicionaron muy precavidamente 10 mL de formaldehido al filtrado, 5 gotas de fenolftaleína y finalmente fueron tituladas todas las muestras con hidróxido de Sodio 0,1 N, hasta la obtención de un color rosado pálido permanente (Ver figura 10).

Figura 10. Bureta electrónica, no disponible en el laboratorio de investigación. Adquirida a través de préstamo institucional.



Fuente: Autor

**3.4.8 Determinación de Carbonatos.** Para la cuantificación de los carbonatos presentes en el abono fertilizante se pesó 0,5 g de muestra y se adicionó en exceso un volumen de una solución de HCl 0,5 N previamente valorada con NaOH 0,5 N. Posteriormente se llevó a ebullición por 5 minutos para que el HCl reaccionara con los carbonatos presentes en la muestra de abono. Se dejó enfriar y finalmente, se tituló con la solución de NaOH valorada. Para determinar el porcentaje del ion carbonato y carbonato de calcio se utilizó la ecuaciones 6 y 7. Para verificar los resultados se preparó una curva de calibración de entre 0,050 y 0,5 g de carbonatos % de  $CO_3^{2-}$ , con el fin de encontrar el porcentaje máximo y mínimo de cuantificación expresado en gramos de carbonato de sodio.

Ecuación 6. Determinación de ion Carbonato.

$$\% \text{carbonatos } (CO_3^{2-}) = \left[ \frac{(V_{HCl} \times N_{HCl}) - (V_{NaOH} \times N_{NaOH}) \times 0,03 \times 100}{\text{Peso de la muestra}} \right] \left[ \frac{100 - \% \text{humedad}}{100} \right]$$

Ecuación 7. Determinación de carbonato de calcio.

$$\% \text{carbonatos } (CaCO_3) = \left[ \frac{(V_{HCl} \times N_{HCl}) - (V_{NaOH} \times N_{NaOH}) \times 0,05 \times 100}{\text{Peso de la muestra en g}} \right] \left[ \frac{100 - \% \text{humedad}}{100} \right]$$

Dónde:

$V_{HCl}$ =Volumen en mL utilizado de solución de ácido clorhídrico

$N_{HCl}$ =Normalidad de la solución de ácido clorhídrico

$V_{NaOH}$ = Volumen en mL utilizado de hidróxido de sodio

$N_{NaOH}$ = Normalidad del hidróxido de sodio

**3.4.9 Determinación de Carbono orgánico Oxidable Total.** Se utilizó el método de Walkely Black para la cuantificación del carbono orgánico oxidable del abono fertilizante. Este método consiste en la reducción del ión dicromato con la materia orgánica presente en la muestra. El contenido de carbono orgánico se cuantificó por medio de la valoración del ion dicromato no reducido con una solución valorada de  $\text{Fe}(\text{NH}_4)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Se tomó 0,1 g de muestra y se mezcló con 5 mL de dicromato de potasio 0,1 N y 10 mL de ácido sulfúrico concentrado en un erlemeyer de 250 mL. Se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 3 horas. Luego, se adicionó 30 mL de agua destilada, 2,5 mL de ácido ortofosfórico concentrado y 5 gotas de solución indicadora de difenilamina. Finalmente, se valoró la solución con sulfato ferroso amoniacal 0,5 N y se utilizó la ecuación 8 para calcular el % de carbono orgánico. Adicionalmente, se preparó una curva de calibración con sacarosa con el fin de comprobar la veracidad de los resultados.

Ecuación 8. Porcentaje de Carbono orgánico oxidable total.

$$\%C.O \text{ oxidable total} = \left[ \frac{(Vb - Vm) \times N \times 0,003 \times 100}{\text{Peso de la muestra en g}} \right] \left[ \frac{100 - \%humedad}{100} \right]$$

Ecuación 9. Normalidad del sulfato ferroso amoniacal.

$$N = \frac{10\text{mL de dicromato } 1N}{\text{Volumen en mL de la solución de sulfato gastado en la titulación}}$$

Dónde:

Vb= Volumen en mL de la solución de sulfato ferroso amoniacal gastados en el blanco.

Vm= Volumen en mL de la solución de sulfato ferroso amoniacal gastados en la muestra.

N= Normalidad de la solución de sulfato ferroso amoniacal

**3.4.10 Determinación de Nitrógeno total en materiales clasificados como orgánicos y orgánicos minerales.** La determinación del nitrógeno total en las muestras de abono se realizó mediante el método Kjeldahl, (ver figura 11). En el balón de digestión se adicionó 0,2 g de muestra, 5 mL de ácido sulfúrico concentrado con 0,25 g de ácido salicílico. Se dejó reposar por 30 minutos y se agregó 0,625 g de sulfato de sodio monohidratado. Luego, se agitó, se dejó reposar 5 minutos y se calentó suavemente (50°C a 80°C) hasta que cesó la espuma. Posteriormente se agregó 0,2 g de mezcla catalizadora y se calentó de 300°C a 330°C por 2 horas. Seguidamente, se dejó enfriar, se adicionaron 25 mL de agua destilada, 4 granallas de zinc y se agregaron 7,5 gramos de NaOH e inmediatamente se conectó al sistema de destilación kjeldahl que termina sumergido en una solución de ácido clorhídrico 0,1 N que contenían 5 gotas de solución indicadora de rojo de metilo. Se destilaron 20 mL de líquido y se valoró el exceso de ácido con una solución de 0,5 mL de NaOH. Para calcular el porcentaje de nitrógeno presente en la muestra se utilizará la ecuación 10.

Ecuación 10. Determinación de nitrógeno total.

Si el ácido estándar es HCl:

$$\%N = \frac{[(mL \text{ ácido estándar} \times molaridad \text{ del ácido}) - (mL \text{ de NaOH estándar} \times molaridad \text{ NaOH})] \times 1,4007}{gramos \text{ de muestra}}$$

Si el ácido estándar es H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>:

$$\%N = \frac{[(mL \text{ ácido estándar} \times 2 \times M \text{ del ácido}) - (mL \text{ de NaOH estándar} \times M \text{ NaOH})]}{1,4007} \times \frac{1}{gramos \text{ de muestra}}$$

Siendo:

M = Molaridad

Figura 11. Montaje de Kjeldahl, para la determinación de nitrógeno.



Fuente: Autor

**3.4.11 Determinación de azufre.** Se realizó por el método turbidimétrico. Se utilizó 1 g de muestra y se agregaron 25 mL de solución extractora el fosfato monocálcico, se agitó por 10 minutos y se filtró. Se tomaron 10 mL del filtrado, se agregaron 10 mL de solución ácida (solución de ácido nítrico y ácido acético glacial) y 4 mL de reactivo turbidimétrico (solución de polivinilpirrolidona y cloruro de bario). Luego, se dejó reposar por 20 minutos y se leyó en el espectrofotómetro UV-VIS *Agilent 8453* a 420 nm. Se realizó una curva de calibración utilizando como patrón una solución de  $K_2SO_4$ . Para calcular el contenido total de azufre se utilizó la ecuación 12 y 13.<sup>61,62</sup>

Ecuación 12. Determinación de azufre.

$$S(ppm) = \frac{Lc \text{ mg}}{L} \times 24 \times 10^{-3} L \times \frac{10^6 \text{ mg}}{10 \times 10^3 \text{ mg}}$$

Ecuación 13. Determinación de porcentaje de azufre.

$$\%S = Lc \times \frac{0.025}{2.5} \times \frac{100}{Wm Kg}$$

Dónde:

Lc: Concentración de la muestra utilizando la ecuación de la recta de la curva de calibración.

Wm: Peso de la muestra

Kg: Expresar en unidades de kilogramos

L: Expresar en unidades de Litros.

**3.4.12 Determinación de fósforo.** Se realizó por el método Colorimétrico, método de Bray II. El fósforo de la muestra pasó a una solución extractora de HCl 0.1N y NH<sub>4</sub>F 0.03N. Los fosfatos, con el molibdato de amonio y el tartrato de antimonio, reaccionan hasta llegar a un color azul como resultado de la reducción del ácido ascórbico y se midió por medio de la espectrofotometría UV-Vis. El método se detalla a continuación.

- **Preparación de la curva de calibración y de los extractos a estudiar.** Se pesaron 0,01 g de muestra en un vaso de precipitado de 100 mL, seguidamente se añadió una alícuota de 20 mL de la solución extractora, se agitó en plancha con agitación magnética durante 40 segundos y luego se filtró la suspensión inmediatamente recibiendo en un beaker de 100 mL.

Posteriormente se tomaron 2 mL del filtrado (Ver figura 12) y se transfirieron a un vaso de precipitado de 100 mL, se agregaron 18 mL de solución de trabajo, se agitó y luego se dejó en reposo 10 minutos. Pasado el tiempo de espera se leyó la absorbancia del blanco de reactivos, y de las diferentes soluciones a una absorbancia de 660 nm y 891 nm, en un espectrofotómetro *UV-Vis Agilent 8453* (Ver figura 21). Se usaron soluciones de fosfato de hidrógeno y de potasio entre 0,2 y 1 mg/L. Para construir la curva de calibración. Los resultados se expresaron como mg/Kg (ppm) de muestra. Este procedimiento se efectuó con cada una de las muestras de estudio por sextuplicado. Por último, el contenido total de fósforo se calculó a partir de las ecuaciones 14 y 15.

Figura 12. Filtrado de las muestras de abono.



Fuente: Autor

Ecuación 14. Determinación de fósforo.

$$P \text{ (ppm)} = Lc \frac{1mg}{1000mL} \times 20mL \times \frac{20}{2} \times \frac{1000g}{Wm \text{ g}}$$

Ecuación 15. Determinación del porcentaje de fósforo.

$$\%P = 0.2 \times Lc \times \frac{100}{Wm \text{ Kg}}$$

## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RECOLECCIÓN DE LA MUESTRA

Para la selección de los abonos orgánicos artesanales se tuvo en cuenta su composición y la fuente de origen. Se recolectaron 6 diferente tipos de abonos cuya composición se describe a continuación.

- **Abono producido en la finca “El Limonal”.** En la fabricación del abono se utilizó como materia prima los residuos orgánicos de la plaza de mercado de Piedecuesta, Santander, materia prima compuesta por productos descompuestos de legumbres, hortalizas, tubérculos, frutas y vegetales. Posteriormente, el material orgánico se trituró y se mezcló con residuos de poda de la Universidad Santo Tomás.

Para el proceso de compostaje de la materia orgánica fue necesario mezclarla semanalmente con el fin de que su transformación sea en medio aeróbico para que se conserven los nutrientes en su producto final. Esto fue realizado en la planta piloto de residuos biodegradables de la Universidad Santo Tomás.

Figura 13. Abono Limonal.



Fuente: Autor

- **Lombrinaza.** La muestra fue obtenida de un vivero de plantas ornamentales del municipio de Floridablanca (figura 14). La lombrinaza fue seleccionada de una de las mercas más comercializadas según el vendedor, cuya planta de fabricación está localizada en el municipio de San Alberto, departamento del Cesar.

Figura 14. Muestra de Lombrinaza.



Fuente: Autor

- **Abono elaborado a base de Gallinaza.** La muestra de abono fertilizante “gallinaza” fue obtenida a través de la tienda de productos agrícolas Ferrecampo, C.A, ubicada en Piedecuesta, Santander. Este abono está hecho a base de gallinaza fermentada, roca fosfórica, polihalita y azufre.

Figura 15. Muestra de abono de gallinaza.



Fuente: Autor.

- **Abono orgánico artesanal.** El abono orgánico artesanal fue adquirido en la plaza de mercado de Floridablanca, Santander. Este abono, es hecho artesanalmente por los agricultores y vendedores de la plaza con tamo de arroz, turba, arena y tierra de zonas con alta vegetación (Figura 16).

Figura 16. Muestra de abono orgánico artesanal.



Fuente: Autor

- **Turba.** La turba fue adquirida en la plaza de mercado de Floridablanca, Santander. Es comercializado por los vendedores de la zona. Ellos argumentan traer la turba de las zonas boscosas de las montañas del municipio de Floridablanca. La turba es el producto de la descomposición de hojas y ramas secas que se forma en la superficie de suelos boscosos y húmedos (figura 17).

Figura 17. Muestra de abono turba.



Fuente: Autor

- **Abono orgánico comercial.** Como abono de referencia se utilizó una marca comercial obtenida en un almacén de cadena de Bucaramanga (figura 18). El abono cuenta con una tabla de composición nutricional que se compone de pH, cenizas, carbono orgánico, nitrógeno total, fósforo asimilable ( $P_2O_5$ ), potasio soluble en agua ( $K_2O$ ), humedad, densidad, capacidad de intercambio catiónico y capacidad de retención de agua.

Figura 18. Muestra de referencia abono “comercial”.



Fuente: Autor

La composición química se puede apreciar a continuación (ver cuadro 7). La cual será comparada con los valores dados experimentalmente en el laboratorio de la USTA.

Cuadro 7. Abono patrón. Composición del abono comercial.

<b>PARÁMETRO</b>	<b>UNIDAD</b>
Humedad	6 %
Cenizas	48,90 %
Carbono Orgánico	18,60 %
Nitrógeno Total	1,56 %
Fosforo Asimilable $P_2O_5$	3,20 %
Potasio soluble en agua ( $K_2O$ )	1 %
pH	6,5
Densidad	0,46 g/mL
Capacidad de intercambio catiónico C.I.C	71,3 meq/100g
Capacidad de retención de agua	149 %

Una vez seleccionadas las muestras se procedió a implementar en el laboratorio de investigaciones de la universidad Santo Tomás las técnicas para el análisis de los parámetros fisicoquímicos pH, humedad, cenizas, densidad, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbonatos, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total, azufre y fósforo asimilable según la Norma Técnica Colombiana 5167 segunda actualización del

2011 para Productos para industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo.

## 4.2 DETERMINACIÓN DEL pH

El análisis de pH se realizó por sextuplicado siguiendo la metodología 3.4.1 y los resultados obtenidos en el laboratorio para las diferentes muestras de abonos se expresan en el cuadro 8 y anexo A. Durante el ensayo se realizaron diferentes diluciones (1:5 y 1:10), con el fin de evaluar la variación de los resultados.

Cuadro 8. Determinación del pH en las diferentes muestras de abono.

MUESTRAS	Relación suelo: Agua	
	DILUCIÓN 1:5	DILUCIÓN 1:10
Limal	9,02 ± 0,03	8,76 ± 0,01
Lombrinaza	8,99 ± 0,01	9,2 ± 0,04
Gallinaza	7,97 ± 0,01	8,02 ± 0,01
Abono Orgánico	3,66 ± 0	3,83 ± 0
Turba	3,25 ± 4x10 <sup>-3</sup>	3,38 ± 0,04
Comercial	7,11 ± 0	7,28 ± 0,01

De los resultados obtenidos se puede inferir que la variación de las diluciones no afecta considerablemente el pH, variando las mediciones en promedio de 0,165 unidades de pH. En los resultados obtenidos se observa que las muestras de abono Limal, Lombrinaza y gallinaza tienen un pH ligeramente básico, mientras las muestras de abono orgánico y turba presentaron un pH ácido y por último la muestra de abono Comercial presentó un pH neutro. Los resultados estadísticos para la determinación del pH en cada una de las muestras están dentro del margen aceptable de confiabilidad del coeficiente de variación y la desviación estándar (Anexo A).

Según la NTC 5167 los abonos orgánicos fertilizantes sólidos deben tener un pH entre 4 y 9, lo cual quiere decir que la muestra Limal, gallinaza, Lombrinaza y el Comercial cumplen con este parámetro.

### 4.3 DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD RELATIVA DE LOS ABONOS ORGÁNICOS.

Para la determinación de la humedad relativa de las muestras de abonos orgánicos se empleó el método gravimétrico de acuerdo al procedimiento 3.4.2. Este análisis se realizó por sextuplicado y los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 9 y anexo B.

Cuadro 9. Resultados % de humedad relativa para las muestras de abono.

MUESTRA	% HUMEDAD	NTC 5167
Limal	17 ± 0,40	Max 30%
Lombrinaza	46 ± 0,67	Max 30%
Gallinaza	6 ± 0,11	Max 20%
Abono Orgánico	34 ± 0,57	Max 30%
Turba	33 ± 0,56	Max 30%
Comercial	37 ± 0,30	Max 30%

NTC: Norma técnica Colombiana; Max: Máximo.

Como se observan los resultados en el cuadro 9 la Lombrinaza tiene el mayor contenido de humedad, debido a que su preparación se realiza en un ambiente húmedo ideal para desarrollo de las lombrices. También, las muestras Comercial, Abono Orgánico y Turba tienen un contenido de humedad del 37%, 34%, 33%, respectivamente, el cual son valores significativamente altos. Esto es debido a que la muestra Comercial utiliza para su proceso de compostaje materia orgánica con un alto contenido de humedad, también, la Turba que es el suelo superficial de los bosques se compone de hojas secas, tallos y raíces cuya función es retener agua. Por eso, el abono orgánico tiene alta humedad, puesto que incluye en su composición la turba.

La muestra el Limal tiene una humedad del 17%, esto se debe a la adición de material seco durante el proceso de compostaje para el control de los lixiviados. Finalmente, la muestra de gallinaza fue la de menos contenido de humedad con 6%, porque el estiércol de gallina no aporta humedad al proceso de compostaje.

Según la NTC 5167, los abonos hechos con residuos vegetales el contenido de humedad puede llegar hasta el 30% y para abonos hechos con residuos de origen

animal máximo 20% de humedad. Por lo tanto, el abono hecho a base de gallinaza y la muestra Limonal cumplen con lo establecido por la NTC 5167. Por lo contrario, el abono orgánico artesanal, la turba, la Lombrinaza y el abono Comercial sobrepasan los niveles máximos de humedad establecidos por la NTC 5167. Los resultados estadísticos para la determinación de la humedad en cada una de las muestras están dentro del margen aceptable de confiabilidad del coeficiente de variación y la desviación estándar.

Por último, el abono Comercial reporto una humedad del 37%, muy superior al contenido de humedad mostrado en su etiqueta del 6% (cuadro 7). Esta gran diferencia puede deberse las condiciones en las cuales se exhibe y se conserva el abono en la tienda de cadena, puesto que el abono está expuesto a riegos tipo invernadero.

#### 4.4 DETERMINACIÓN DE CENIZAS POR EL MÉTODO DE PÉRDIDAS POR VOLATILIZACIÓN.

Para la determinación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización se empleó la metodología 3.4.3 según la NTC 5167. En el cuadro 10 y en el anexo C se agrupan los resultados obtenidos para las 6 diferentes muestras de abonos.

Cuadro 10. Resultado de % de cenizas y % de pérdidas por volatilización.

MUESTRAS	% CENIZAS	% Perdidas por Volatilización	NTC 5167
Limonal	78 ± 0,52	22 ± 0,52	Max 60%
Lombrinaza	49 ± 0,34	51 ± 0,34	
Gallinaza	87 ± 0,23	13 ± 0,23	
Abono Orgánico	62 ± 0,48	38 ± 0,48	
Turba	61 ± 0,40	39 ± 0,40	
Comercial	58 ± 0,25	42 ± 0,25	

NTC: Norma técnica Colombiana; Max: Máximo.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos (Cuadro 10) las muestras de Lombrinaza, Abono orgánico, Turba y Comercial son las que tienen menor porcentaje de cenizas, lo cual implica que la mayoría de la materia orgánica de las muestras se descompuso en fracciones volátiles, tal cual como se expresa en el cuadro 10 en el porcentaje de pérdidas por volatilización. A diferencia de las

muestras Limonal y Gallinaza cuyo porcentaje de cenizas son los mayores con 78% y 87%, respectivamente.

La NTC 5167 recomienda que el porcentaje de cenizas de las muestras no debe superar el 60%. Las muestras Lombrinaza, abono orgánico, Turba y Comercial cumplen con la norma. Aunque abono orgánico y Turba lo sobrepasan por poco el porcentaje máximo de cenizas (2% y 1%, respectivamente).

El abono Limonal y Gallinaza presentaron mayor porcentaje de cenizas sobrepasando los niveles permitidos según la NTC 5167. Estas muestras fueron las que presentaron menor porcentaje de humedad, reflejándose en el resultado de cenizas con un bajo porcentaje de pérdidas por volatilización. Un bajo porcentaje de cenizas en el orden del 10% implica que la mayoría de la muestra es solo materia orgánica. Por otra parte, un contenido alto de cenizas, por ejemplo de 95%, implica que la muestra contiene un bajo contenido de materia orgánica o que la transformación del contenido orgánico fue incompleto. Es decir, el porcentaje de cenizas depende directamente del contenido orgánico de la muestra y del comportamiento de la descomposición a 450°C.

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Para la determinación de la densidad real se siguió la metodología 3.4.4 los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 11 y anexo D, el análisis se realizó por sextuplicado.

Cuadro 11. Resultado de la densidad real en las muestras de abono.

MUESTRAS	DENSIDAD REAL (g/mL)
Limonal	0,71 ± 0,01
Lombrinaza	0,64 ± 0,01
Gallinaza	0,84 ± 0,01
Abono Orgánico	0,71 ± 0
Turba	0,38 ± 0,01
Comercial	0,48 ± 0

De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 11) las muestras Turba y Comercial son las que presentaron menor densidad. Mientras que las muestras

Limonal, Lombrinaza, Gallinaza y Abono orgánico sobrepasan el valor exigido por la NTC 5167 de 0,6 g/mL.

Comparando los resultados obtenidos con los parámetros físicoquímicos del abono Comercial mostrados en el cuadro 7, la densidad determinada en el análisis varía en 0,02 g/mL, por tanto, esta variación no es considerable. Esto indica que los resultados obtenidos coinciden significativamente con la tabla de composición (Cuadro 7).

#### **4.6 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RETENCIÓN DEL AGUA (CRA).**

Para calcular el punto máximo de saturación de agua de las muestras, se hizo una delgada capa de agua superficial, como se muestra en la figura 19 de acuerdo al procedimiento 3.4.5.

Figura 19. Capacidad de retención de agua.



Fuente: Autor

Una vez calculado el punto máximo de saturación de agua se expresan los resultados como capacidad de retención de agua. El análisis se realizó por sextuplicado y los resultados se muestran en el cuadro 12 y anexo E.

Cuadro 12. Resultados % de saturación.

<b>MUESTRAS</b>	<b>% SATURACIÓN</b>
Limonal	99,9 ± 1,15
Lombrinaza	45,7 ± 0,18
Gallinaza	71,8 ± 0,52
Abono Orgánico	46,1 ± 0,47
Turba	126,1 ± 1,28
Comercial	64,7 ± 0,61

Teniendo en cuenta los resultados (cuadro 12) la muestra con mayor retención de agua fue la Turba con un porcentaje de saturación de 126,1% expresados en base húmeda, lo cual indica una absorción de agua del doble del peso de la muestra. Así mismo, las muestras Limonal, Gallinaza y Comercial presentaron un alto porcentaje de saturación. Mientras que las muestras Lombrinaza y abono orgánico no absorbieron el volumen de agua equivalente a su peso, obteniéndose porcentajes bajos de saturación. Teniendo en cuenta la NTC 5167 solo las muestras de Turba, Limonal y Comercial cumplen con lo exigido.

Por otra parte, el abono Comercial garantiza una capacidad de retención de agua del 149% (Cuadro 7), el valor obtenido 64,7% es muy inferior al mostrado en la etiqueta. Por tanto, se pone en duda la confiabilidad de la etiqueta. Además, su prolongado tiempo de conservación altera los resultados obtenidos puesto que su alto contenido de materia orgánica no está exento de biodegradarse.

#### **4.7 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA**

Para la determinación de la conductividad eléctrica se realizó el análisis de acuerdo al procedimiento 3.4.6 por sextuplicado. Los resultados se muestran en el cuadro 13 y en el anexo F.

Cuadro 13. Resultados de la conductividad eléctrica dadas en mS/cm.

<b>MUESTRAS</b>	<b>Conductividad eléctrica (mS/cm)</b>
Limonal	6,1 ± 0,03
Lombrinaza	1,9 ± 4,7x10 <sup>-3</sup>
Gallinaza	4,5 ± 0,06
Abono Orgánico	0,2 ± 5x10 <sup>-4</sup>
Turba	0,2 ± 4x10 <sup>-4</sup>
Comercial	4,3 ± 0,01

Como se observa en el cuadro 13 las muestras con menor conductividad eléctrica fueron abono orgánico y Turba, ambas con 0,2 mS/cm. También, la muestra Lombrinaza reporto una baja conductividad eléctrica con 1,9 mS/cm. Las muestras Gallinaza y Comercial reportaron una conductividad eléctrica de 4,5 y 4,3 mS/cm, respectivamente. Finalmente la muestra de mayor conductividad eléctrica fue la muestra Limonal con 6,1 mS/cm. La NTC 5167 no especifica ningún valor ideal de conductividad eléctrica, pero una buena conductividad eléctrica como las de las muestras Limonal, Lombrinaza, Gallinaza y Comercial facilita la movilidad de electrones y de nutrientes en el abono.

#### **4.8 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (CIC).**

Se determinó la capacidad de intercambio catiónico por el procedimiento 3.4.7 y los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 14 y en el anexo G.

Cuadro 14. Resultados obtenidos de la determinación de la CIC.

<b>Muestra</b>	<b>CIC (meq/100g)</b>
Limonal	60,56 ± 0,73
Lombrinaza	70,51 ± 0,38
Gallinaza	34,54 ± 0,46
Abono Orgánico	65,47 ± 1,17
Turba	97,36 ± 0,52
Comercial	70,67 ± 0,98

CIC: capacidad intercambio catiónico.

Teniendo en cuenta los resultados del cuadro 14 la muestra con mayor CIC es Turba con 97,36 meq/100g. También, las muestras Limonal, Lombrinaza, Abono orgánico y Comercial reportaron altos niveles de CIC de entre 60,56 hasta 70,51 meq/100g. La muestra Gallinaza es la de menor CIC con un valor de 34,54 meq/100g, aunque es baja la conductividad cumple con el valor establecido por la NTC 5167, el cual dice que la CIC debe ser superior a 30 meq/100g. Todas las muestras cumplen con la norma. Además, los datos estadísticos mostrados en el anexo G dan confiabilidad de los resultados obtenidos.

#### 4.9 DETERMINACIÓN DE CARBONATOS

Se determinó el contenido de carbonatos de las 6 diferentes muestras de abonos usando el procedimiento 3.4.8. Los resultados obtenidos del análisis se muestran en el cuadro 15 y en el anexo H.

Cuadro 15. Resultados de % de  $\text{CO}_3^{-2}$  y  $\text{CaCO}_3$ .

MUESTRAS	% $\text{CO}_3^{-2}$	% $\text{CaCO}_3$
Limonal	4,71 ± 0,12	7,86 ± 0,20
Lombrinaza	1,21 ± 0,04	2,02 ± 0,07
Gallinaza	10,98 ± 0,09	18,30 ± 0,16
Abono Orgánico	NP	NP
Turba	NP	NP
Comercial	0,94 ± 0,01	1,56 ± 0,02

$\text{CO}_3^{-2}$ : Ion carbonato;  $\text{CaCO}_3$ : Carbonato de calcio; NP: No presenta.

De acuerdo a los resultados obtenidos en el cuadro 15 se evidencia que las muestras con mayor contenido de carbonatos en forma iónica y en forma de carbonato de calcio son la Gallinaza y Limonal. Mientras que las muestras Lombrinaza y Comercial contienen un porcentaje bajo pero considerable. Teniendo en cuenta que el pH se correlaciona directamente con el contenido de carbonatos, el alto contenido de carbonatos de las muestras Limonal y Lombrinaza se evidencia en un pH ligeramente básico.

La muestra Gallinaza presentó el mayor contenido de carbonatos con un pH casi neutro (7,92). Esto puede ser debido a que se le adiciona roca fosfórica para

estabilizar el pH. También, la muestra Comercial tiene un bajo contenido de carbonatos pero es suficiente para darle un pH de carácter neutro.

Por el contrario, las muestras abono orgánico y Turba no contienen carbonatos, esto se ve reflejado en su pH ácido de 3,66 y 3,25, respectivamente. Pero se puede inferir que el contenido de Carbonatos debe ser bajo similar al de la muestra Comercial con el fin de tener un pH neutro. Además, los datos estadísticos de los resultados están dentro del rango de confiabilidad.

#### 4.10 DETERMINACIÓN DE CARBONO ORGÁNICO OXIDABLE TOTAL.

Para realizar la determinación de carbono orgánico oxidable total se utilizó el método de Walkey Black planteado en la metodología 3.4.9. El análisis se realizó por sextuplicado y los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 16 y en el anexo I.

Cuadro 16. Resultados del porcentaje de carbono orgánico oxidable total.

MUESTRAS	% CARBONO OXIDABLE TOTAL	NTC 5167
Limal	25,11 ± 0,71	15% Min
Lombrinaza	26,48 ± 0,41	
Gallinaza	36,74 ± 0,26	
Abono Orgánico	19,42 ± 0,41	
Turba	47,36 ± 0,34	
Comercial	32,24 ± 0,45	

Norma técnica Colombiana; Mín: Mínimo.

Con base a los resultados mostrados en el cuadro 16 se puede decir que todas las muestras presentan un alto contenido de carbono orgánico, entre 19,42% y 47,36%. Es de esperar que el contenido de carbono orgánico oxidable sea mayor en la muestra de turba, puesto que su composición es netamente materia orgánica como hojas secas, raíces, tallos secos y humus. También, las muestras de Limal, Lombrinaza, Gallinaza y Comercial tienen alto contenido de carbono orgánico oxidable puesto que todas las muestras son de origen orgánico.

La muestra Abono orgánico es la que presenta el porcentaje de carbono más bajo, debido a que se compone de una fracción orgánica y de otra fracción inorgánica, es decir, arenas y mezclas de suelos áridos con el fin de darle un textura más

suelta. Además, el abono Comercial presenta un porcentaje de carbono orgánico de 32,24%, muy diferente al contenido mostrado en su etiqueta del 18,60%. Esto evidencia que las muestras de abono Comercial difieren en su composición.

De acuerdo con la NTC 5167 el contenido de carbono orgánico oxidable total debe ser superior al 15%, es decir, que todas las muestras cumplen con este parámetro según la norma. Además, los datos estadísticos mostrados en el cuadro 16 están dentro de rango de confiabilidad de los resultados obtenidos.

#### 4.11 DETERMINACIÓN DE NITRÓGENO TOTAL EN MATERIALES CLASIFICADOS COMO ORGÁNICOS Y ORGÁNICOS MINERALES.

Se determinó el nitrógeno total por el método Kheldajl siguiendo el procedimiento 3.4.10, que es el acoplamiento de la NTC 370 y el método oficial 955.04 de la AOAC (Asociación Oficial de Químicos Agrícolas) nitrógeno total en fertilizantes método Kheldajl. Los resultados de las muestras evaluadas se evidencian en el cuadro 17 y en el anexo J.

Cuadro 17. Resultados del porcentaje de nitrógeno total por el método Kheldajl.

MUESTRAS	% NITROGENO TOTAL	NTC 5167
Limal	0,88 ± 0,03	Mayor al 1,0%
Lombrinaza	1,82 ± 0,05	
Gallinaza	1,16 ± 0,02	
Abono Orgánico	0,12 ± 3x10 <sup>-3</sup>	
Turba	0,45 ± 0,02	
Comercial	1,67 ± 0,07	

NTC: Norma técnica Colombiana; Max: Máximo.

En el cuadro 17 se muestran los resultados obtenido del análisis de nitrógeno por el método Kheldajl. Las muestras con mayor porcentaje de nitrógeno son Limal, Lombrinaza, Gallinaza y Comercial. La turba y el abono orgánico reportan bajo contenido de nitrógeno. Aunque la turba se compone de materia orgánica, el aporte de nutrientes en forma de nitrógeno es bajo, puesto que no ha madurado. En cuanto al abono orgánico artesanal, su mezcla de turba, arena, tamo y tierra aporta bajo contenido de nitrógeno.

Teniendo en cuenta la NTC 5167, exige un contenido de nitrógeno superior al 1%, las muestras Lombrinaza, Gallinaza y Comercial cumplen con este requisito. La muestra Limonal no obtuvo un porcentaje superior al 1%, pero tiene un porcentaje de nitrógeno cercano a lo exigido.

El abono Comercial reportó un porcentaje de nitrógeno de 1,67% superior al mostrado en su etiqueta de 1,56%. Estos resultados coinciden considerablemente con los datos fisicoquímicos mostrados en la etiqueta del abono comercializado.

#### 4.12 RELACIÓN CARBONO Y NITRÓGENO (C/N).

Para la determinación de la relación carbono nitrógeno se utilizaron los resultados de la determinación de carbono orgánico oxidable total y de nitrógeno. Se relacionaron los resultados de los análisis realizando una división del contenido de carbono sobre el de nitrógeno (Cuadro 18).

Cuadro 18. Resultados relación carbono nitrógeno (C/N).

MUESTRAS	C/N
Limonal	27,9
Lombrinaza	14,7
Gallinaza	30,6
Abono Orgánico	194,0
Turba	94,8
Comercial	18,9

De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 18) las muestras con mayor relación C/N son el abono orgánico y Turba, esto es debido que son las dos muestras con menor porcentaje de nitrógeno. Aunque los contenidos de carbono y nitrógeno de las muestras Limonal y Gallinaza difieren, la proporción entre ellas es similar. Las muestras Lombrinaza y Comercial tienen la relación C/N más baja, esto es debido a que son las muestras de mayor porcentaje de nitrógeno.

Para abonos orgánicos sólidos la NTC 5167 no tiene un valor establecido para la relación C/N, sin embargo, la norma si recomienda valores para el porcentaje de nitrógeno (mínimo 1%) y el porcentaje de carbono orgánico (mínimo 15%) cuya

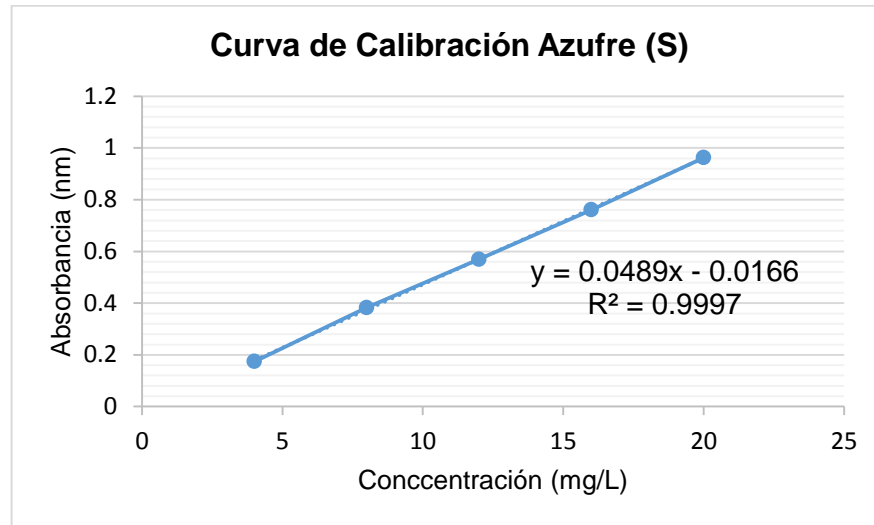
relacion C/N ideal es de mínimo 15. Además, algunos autores aseguran que una buena relacion C/N esta entre 15 a 20. Esta relación es muy importante, debido a que permite actividad microbiana, acelera la descomposición de la materia orgánica, facilita la absorción del nitrógeno en las plantas. La mayoría de procesos de absorción de nutrientes de las plantas depende de la materia orgánica, es decir, una buena cantidad de materia orgánica garantiza una buena absorción de nutrientes. Por tanto, el nivel de carbono orgánico debe ser mayor a todos los nutrientes pero en proporciones específicas que se expresa en una relación directa como la relación C/N.<sup>63</sup>

Finalmente, solo las muestras Lombrinaza y Comercial presentan la relación indicada, puesto que el resto de las muestras contienen un alto porcentaje de carbono y bajo porcentaje de nitrógeno.

#### **4.13 DETERMINACIÓN DE AZUFRE PRESENTE EN LAS MUESTRAS DE ABONO.**

La determinación de azufre se realizó siguiendo la metodología 3.4.11 la cual consta de un método turbidimétrico, para ello se hizo una curva de calibración con concentraciones de 4, 8, 12, 16 y 20 mg/L de  $K_2SO_4$  (Sulfato de potasio) (figura 20), el análisis se realizó por sextuplicado y los resultados se muestran en el anexo K.

Figura 20. Curva de calibración de Azufre. Absorbancia vs concentración.



Se obtuvo la curva de calibración con un  $R^2 = 0.9997$  con un factor de correlación cercano a 1, es decir que aumenta la confiabilidad de estos resultados. A partir de la curva de calibración obtenida, se determinaron los siguientes resultados (Cuadro 19). Estos resultados están expresados en base seca.

Cuadro 19. Resultados del porcentaje de S.

Muestra	S (mg/Kg)	% de S
Limal	255,70 ± 3,85	0,067 ± 1x10 <sup>-3</sup>
Lombrinaza	205,18 ± 4,80	0,049 ± 1x10 <sup>-3</sup>
Gallinaza	199,76 ± 4,02	0,048 ± 1x10 <sup>-3</sup>
Abono Orgánico	60,45 ± 2,03	0,015 ± 5x10 <sup>-4</sup>
Turba	59,48 ± 1,14	0,014 ± 3x10 <sup>-4</sup>
Comercial	221,18 ± 4,74	0,058 ± 1x10 <sup>-3</sup>

S: azufre.

Como se muestra en el cuadro 19 la muestra Limal reporta el contenido más alto de azufre en comparación a las muestras analizadas. De la misma manera Lombrinaza, Comercial y Gallinaza también reportan altos niveles de azufre. Esto puede ser debido que las muestras contienen alto porcentaje de materia orgánica, puesto que, del 60% al 90% de azufre se encuentra en forma orgánica.<sup>64</sup> Además,

se observó una relación directamente proporcional con el pH, es decir, que la muestra Limonal que presenta el mayor contenido de azufre tiene el pH más alto (9,02). De la misma manera sucede con el resto de las muestras. La muestra Comercial no cumple esta relación por su alto contenido de azufre y pH neutro, este puede ser debido a la adición de sulfatos para estabilizar el pH del abono.

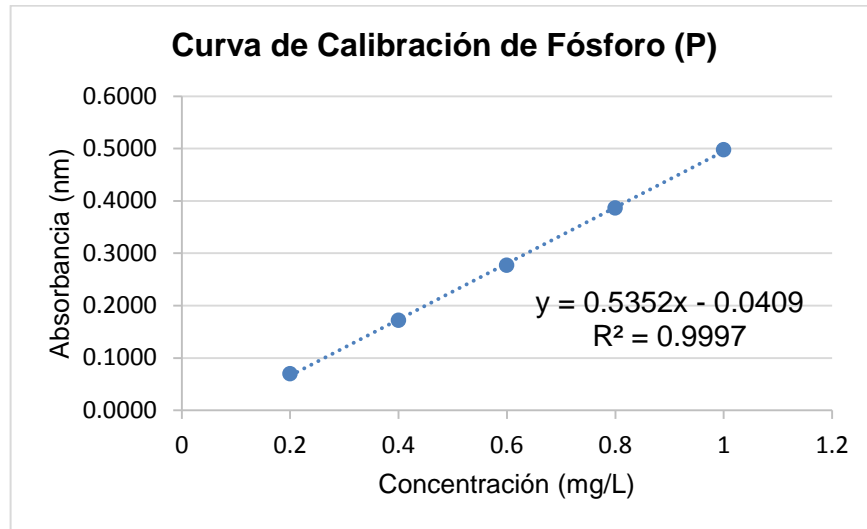
Por otra parte, abono orgánico y Turba reportan el contenido más bajo de S, esto puede ser debido a que la turba se compone principalmente por hojas secas. Las hojas tienen bajo contenido de S, con una relación nitrógeno azufre de hasta 15 a 1 (15N:1S). El contenido de materia orgánica de la muestra Abono orgánico es de Turba, esto implica que aunque su contenido de materia orgánica es alto es baja en azufre y en pH, siendo un abono ácido con pH de entre 3 y 4.

La NTC 5167 no especifica un valor para el contenido de azufre pero la literatura sugiere que los suelos agrícolas fértiles tienen una concentración de azufre entre 100 y 500 mg/Kg.<sup>65, 66</sup> Por tanto, las muestras de Turba y abono orgánico no contienen el suficiente azufre para ser fértiles, además, el resto de las muestras están en un rango intermedio en su contenido de azufre para suelos fértiles.

#### **4.14 DETERMINACIÓN DE FÓSFORO PRESENTE EN LAS MUESTRAS DE ABONO.**

La determinación de fósforo se realizó siguiendo el procedimiento 3.4.12 la cual el consiste en realizar una curva de calibración utilizando como patrón fosfato de hidrógeno ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ) y de potasio cristalizado (Figura 21). Este análisis se realizó por el método de Bray II y por sextuplicado mostrados en el cuadro 19.

Figura 21. Curva de calibración de Fósforo. Absorbancia vs concentración.



El cuadro 20 muestra los resultados de la determinación del porcentaje de fósforo en las muestras de abono evaluadas. En el Anexo J se evidencian los resultados para complementar el siguiente cuadro. Los resultados mostrados a continuación están expresados en base seca.

Cuadro 20. Resultados obtenidos de las muestras de abono.

<b>Muestra</b>	<b>P (mg/Kg)</b>	<b>% de P</b>
Limonal	6568,7 ± 160,69	0,66 ± 0,02
Lombrinaza	3791,9 ± 68,87	0,38 ± 0,01
Gallinaza	6190,5 ± 80,21	0,62 ± 0,01
Abono Orgánico	2448,5 ± 59,33	0,24 ± 0,01
Turba	1440,6 ± 46,01	0,14 ± 5x10 <sup>-3</sup>
Comercial	4050,8 ± 117,28	0,41 ± 0,01

P: fósforo.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Cuadro 20) las muestras Limonal y Gallinaza son las dos muestras que reportaron mayor porcentaje de fósforo con 0,66% y 0,62%, respectivamente. Las muestras Lombrinaza, Comercial, Abono orgánico y Turba contienen un bajo porcentaje de fósforo. Teniendo en cuenta que el fósforo es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento, desarrollo y sostenimiento de las plantas y que por lo general, las tierras agrícolas lo contienen

entre 0,1% y 0,5%, todas las muestras analizadas son fértiles y aportan significativamente este nutriente.<sup>67</sup> Pero, teniendo en cuenta la NTC 5167 ninguna de las muestras cumple con tener un porcentaje de fósforo superior al 1%.

Comparando los resultados obtenidos de la muestra Comercial con el porcentaje de fosforo de su etiqueta se evidencia que el resultado obtenido de 0,41% es muy inferior al reportado en su etiqueta de 3,20%. Esto puede deberse a que el análisis de la empresa comercializadora del abono le realizó el análisis a un solo lote de abono, generalizando los resultados para todo el material comercializado.

#### **4.15 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON NORMAS INTERNACIONALES.**

Para el desarrollo del proyecto se utilizó como referencia la Norma Técnica Colombiana 5167 segunda actualización de 2011. Adicionalmente se realizó una comparación de los resultados con normas internacionales como la Norma Chilena 2880 compost clasificación y requisitos y el Real decreto Español 824 sobre productos fertilizantes para clasificarlos como abono orgánico fertilizantes (Cuadro 21) teniendo en cuenta que las normas colombianas son muy permisibles. En el cuadro 21 se muestran los parámetros exigidos y contemplados por cada norma, con el fin de evaluar las diferencias normativas en cada parámetro.

Cuadro 21. Comparación Normativa de las metodologías estudiadas.

Parámetros	Norma Colombiana	Norma Chilena	Norma Española
<b>pH</b>	> 4 y < 9	Entre 5 y 7,5	-
<b>Humedad</b>	Máximo 30%	≥ 25%	Entre 30% y 40%
<b>Cenizas</b>	Máximo 60%	-	-
<b>Densidad</b>	Máximo 0,6 g/mL	-	-
<b>%saturación</b>	Mínimo su propio peso	-	-
<b>Conductividad eléctrica</b>	-	Tipo A hasta 5 mS/cm y tipo B de 5 a 12 mS/cm	-
<b>C.I.C.</b>	Mínimo 30 meq/100g	-	-
<b>Carbonatos</b>	-	-	-
<b>Materia Orgánica</b>	Mínimo el 15%	Tipo A ≥ 45% y tipo B ≥ 25%	Gallinaza y abono orgánico: 35%. Lombrinaza: 40%. Turba: 45%
<b>Nitrógeno</b>	> al 1%	Contenido ≥ 0,8% del contenido total de nitrógeno	> al 1%
<b>C/N</b>	-	Tipo A de 10 a 25 y tipo B de 10 a 40	Menor a 20
<b>Azufre</b>	-	-	-
<b>Fosforo</b>	> al 1%	contenido < 0,1% de fosforo soluble en agua	> al 1%

Teniendo en cuenta la información del cuadro 21, se puede evidenciar que las variaciones de la Norma chilena y el real decreto español no difieren drásticamente en todos los valores contemplados, además, la NTC Colombiana incluye parámetros que no se establecen en las normas internacionales referenciadas. En el caso de los abonos los parámetros establecidos son similares, en algunos casos las normas internacionales subclasifican como por ejemplo la materia orgánicas que las clasifica en abonos orgánicos, Turba y Gallinaza en la española, Tipo A y Tipo B en la Chilena.

Comparando los resultados con la Norma Chilena, todas las muestras de abonos cumplen con los parámetros exigidos. La norma Chilena tiene clasificación de abonos tipo A que hace referencia a abonos maduros y abonos tipo B abonos

inmaduros. Teniendo en cuenta esta clasificación, solo es de tipo B la Turba puesto que no ha sido compostada.

Utilizando el Real decreto Español como referencia para los resultados de los abonos estudiados, todas las muestras de abonos cumplen con el real decreto. Además, en el contenido de materia orgánica hace referencia puntual a abonos de tipo orgánico, gallinaza, turba y lombrinaza diferente a la NTC 5167 que solo da un valor en general para cualquier tipo de abono de origen orgánico animal o vegetal.

## 5 CONCLUSIONES

Se logró implementar en el Laboratorio de Investigaciones de ciencias básicas de la Universidad Santo Tomas las técnicas para el análisis de los parámetros fisicoquímicos pH, humedad, cenizas, densidad, capacidad de retención de agua, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio catiónico, carbonatos, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total, azufre y fósforo asimilable según la NTC 5167 del 2011 segunda actualización.

La muestra Limonal es un abono producido en la planta piloto de compostaje de la finca el Limonal de la universidad Santo Tomás. Se puede decir que el proceso experimental de compostaje realizado en la planta piloto obtuvo como resultado un abono fertilizante sólido capaz de desarrollar y sostener vida vegetal, porque sus resultados fueron sobresalientes a las demás muestras estudiadas. Pero, es importante tener en cuenta que este bono es ligeramente básico.

La muestra Lombrinaza obtuvo resultados aceptables, su composición nutricional (%N, %S, %C, %P) no fueron sobresalientes pero tampoco fueron bajos. Es importante tener en cuenta que Lombrinaza es un abono muy húmedo y con un pH ligeramente básico. Se puede concluir que la Lombrinaza es un abono Orgánico fertilizante.

La muestra Gallinaza es un abono orgánico de origen animal difícil de tratar debido a su fuerte olor. Este abono es seco, con un ligero olor aun a estiércol de gallina pero capaz de recuperar suelos infértiles. Esta muestra obtuvo buenos resultados, comportándose de manera similar a la muestra Limonal, por tanto, se puede clasificar como un abono orgánico fertilizante sólidos, pero con un pH ligeramente básico.

Durante el análisis de todos los parámetros las muestras Abono orgánico y Turba se comportaron de manera similar en cuanto a composición nutricional, parámetros fisicoquímicos, ausencia de carbonatos y pH ácido. Pese a que son muestras de apariencia muy diferente su comportamiento fisicoquímico es parecido. La diferencia radica en que la muestra Turba es capaz de retener gran cantidad de agua, debido a tu alto contenido de materia orgánica no degradada y su baja densidad. En conclusión estas dos muestras no son consideradas fertilizantes, pero, debido a la alta capacidad de retención de agua de la Turba funciona como abono germinador.

La muestra de abono Comercial es un abono comercializado por almacenes de cadena, además, este abono fue utilizado como referencia. De acuerdo a los resultados obtenidos se puede concluir que la tabla nutricional mostrada en su etiqueta no coincide con los resultados obtenidos, solo el contenido de nitrógeno y pH son parecidos. Pero sus resultados lo clasifican como el mejor abono y el único con pH neutro. Debido su fabricante ha estandarizado su proceso de compostaje sus resultados fueron sobresalientes. Este abono se puede clasificar como abono orgánico fertilizante.

## 6. RECOMENDACIONES

Para obtener un abono orgánico fertilizante se debe estandarizar el proceso de compostaje desde la selección de la materia orgánica a degradar y el método de compostaje con el fin de obtener abonos de composición similar.

Para controlar el pH de los abonos se debe realizar desde su proceso de compostaje donde la humedad es alta y su pH es neutro. Para estabilizar el pH de abonos ácidos es necesario adicionar carbonato de calcio o de sodio, puesto que estabiliza el pH y aumenta el contenido del catión sodio o calcio, como en el caso de la muestra Turba y Abono orgánico. Para acidificar un poco abonos básicos o ligeramente básicos como Limonal, Gallinaza y Lombrinaza es recomendable adicionar durante su compostaje roca fosfórica, además de estabilizar el pH aumenta el contenido de fósforo.

La humedad es un parámetro importante para comercializar abonos, solo la Lombrinaza se comercializa muy húmeda debido a su fuente de origen. Con el fin de controlar el exceso de humedad durante el compostaje y evitar la lixiviación se debe adicionar material secante, por ejemplo, hojas secas, además airear frecuentemente la pila de compostaje y lograr las temperaturas adecuadas. Por otra parte, para abonos muy secos como la Gallinaza se puede adicionar regularmente pequeñas dosis de agua.

La materia orgánica en los abonos orgánicos es importante, se debe garantizar un alto contenido de materia orgánica, puesto que, mejora la relación C/N, aumenta la capacidad de retención de agua y aumenta la disponibilidad de nutrientes a la planta. Esto se logra controlando el tiempo de compostaje, es decir, evitar que se degrade toda la materia orgánica presente.

## **7. DIVULGACIÓN**

El proyecto de Abonos fertilizantes fue presentado y/o divulgado, en un evento institucional, el cual se presentó en la Cumbre Internacional del Medio Ambiente, Cima Kids el 25 de abril del 2014 en las localidades de Neomundo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. ROMÁN, P., MARTÍNEZ M., PANTOJA, A., Manual de compostaje del agricultor, experiencias de América latina. Oficina Regional para América Latina y el caribe Santiago de Chile, 2013.p.13
2. SOTO. G., MENLENDEZ. G., El proyecto NOS del CATIE/GTZ , el Centro de Investigaciones Agronómicas de la Universidad de Costa Rica y la Cámara de Insumos Agropecuarios No Sintéticos, 2003. p.1-155
3. SALCEDO, A Rica de insumos agropecuarios no sintéticos. En: Taller de abonos orgánicos. Costa Rica, 3 y 4 de marzo de 2003, p.9. Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos Santiago de Cali 2004-2019. Santiago de Cali, agosto de 2004. p. 22-30.
4. S. E., MANAHAN. Introducción a la química Ambiental, Editorial Reverte S.A. México, D.F. 2007.p. 646
5. RODRIGUEZ, F., Lombricultura para pequeños emprendedores. Editorial la Quimera, 2005. Pág. 2.
6. EIKIN B, Guía para compostaje y manejo de suelos, convenio andres bello. 2003. P 15
7. ARNOLD FINCK, Fertilizantes y fertilización. Editorial Reverte S.A, Barcelona. 1988. P 166.
8. JARAMILLO, G., ZAPATA, L., Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en colombia. Universidad de Antioquía. Colombia. 2008. p. 31
9. Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios. Situación de la disposición final de residuos sólidos en Colombia. Imprenta Nacional. 2015. p. 10 -20

10. MORENO, C., y MORMERO B, S., Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje, Ediciones mundi prensa. Madrid , 2007. p. 75
11. JARAMILLO, J., Guia para el diseño , construccion y operación de rellenos sanitarios manuales. Universidad de Antioquía. Colombia. 2002 . p. 3-14
12. Directora CONSUELO ORDOÑEZ RINCÓN, Área metropolitana Bucaramanga, respuesta proposición N° 43 de fecha 3/07/13. Radicado 2042
13. AMB, UIS. Informe de Diagnóstico Plan de Gestión Integral de Residuos Sólidos del Área Metropolitana de Bucaramanga – AMB. Bucaramanga, Colombia. 2004, p. 27.
14. Alvaro Cantanhede, Leandro Sandoval, Relleno sanitario manual (Efectos de la inadecuada gestión de los residuos sólidos. Centro panamericano de ingenieros sanitaria y ciencias del ambiente, 2002. Jorge Jaramillo.
15. BAIRD, C., Química Ambiental. 2ª edición. Editorial Reverté. España. 2004. p. 528 – 532.
16. NOGUERA, K., OLIVERO, J., Los rellenos sanitarios en Latinoamérica caso Colombianos. *Revista Académica Colombiana de Ciencias*. **2010**, 34, 350.
17. ASSAF, S., ASSAF, K., Relleno sanitario el carrasco y la violación de derechos fundamentales y colectivos. *Revista Digital Apuntes de Investigación*. **2012**, 3, 8-25.
18. PEDREÑO, N., HERRERO, M., GOMEZ, L., BENEYTO, M., Residuos orgánicos y agricultura. Editorial Compobell, S.L. Murcia. España. 1995. p. 42 – 45
19. PUERTA, S. Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista las analistas de investigación*. 1. p.1-10

20. MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO. Decreto 838 de 2005. En: Artículo 1. Definiciones. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Marzo 23 de 2005. [Sitio en internet]. [http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto838\\_20050323.htm](http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto838_20050323.htm)
21. FORTUNECITYS. Los residuos sólidos. Ingeniería ambiental y medio Ambiente. Noviembre de 2000. [Sitio en internet]. <http://www.fortunecity.es/expertos/profesor/171/residuos.html> [Consultado: 10 de Enero de 2015].
22. FLORES, D., Guía Práctica No. 2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito Ecuador. Marzo. 2001, p. 8-12.
23. MINISTERIO DEL MEDIO AMBIENTE. Política para la Gestión de residuos. El Ministerio. Santa Fé de Bogotá. Agosto.1997, p.5-6.
24. MARMOLEJO, R., Presentación Sistemas de aprovechamiento de residuos sólidos domiciliarios en Colombia. Procuraduría delegada para asuntos agrarios. Cali, 2004, p.3.
25. ACURIO, G., Diagnóstico de la situación de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Washington, Banco Interamericano de Desarrollo y la Organización Panamericana, 1997.
26. BAIRD, C., Química Ambiental, Segunda Edición, Editorial Reverté. España. 2004. p. 528 – 532
27. PUERTA, E., S, M., Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista Lasallista de Investigación*. 2004, 1, p. 56 – 65.
28. MAGRAM, S., Worldwide solid waste recycling strategies: A review. *Indian Journal off Sciencie an Tecnology*. 2011,4, p. 692 – 693

29. OSTOLAZA, Op. Cit., p.156.
30. SIERRA, E., El compostaje como alternativa en la producción de enmiendas orgánicas para la recuperación de suelos. Universidad de Medellín. Colombia, 2006, P. 20 – 30
31. CARDONA, S., HERNANDEZ, L., Aprovechamiento de residuos de podas mediante compostaje en la escuela militar de aviación. marco Fidel Suárez. Universidad Autónoma de Occidente. Santiago de Cali. 2008. p. 27 – 39
32. MOSQUERA, B., Abonos Orgánicos, protegen el suelo y garantizan alimentación sana. Fondo para la protección del Agua. Manual técnico 2010.
33. ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Bogotá, D.C., Junio 15 de 2004, p.6.
34. RYNK, R., On Farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering service. Cooperative extension. New York, USA, 1992. p.186.
35. SOTO. Gabriela, El proyecto NOS de CATIE/GTZ, el centro de investigaciones agronómicas de la Unidad de Costa Rica de insumos agropecuarios no sintéticos. En: Taller de abonos orgánicos. Costa Rica, 3 y 4 de marzo, 2003, p.9,42
36. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial, Dirección de Agua Potable y Saneamiento Básico y Ambiental. Seminario sobre el aprovechamiento y manejo de los residuos sólidos. Manizales. Mayo 5. 2004. p. 3.
37. Decreto 838 de 2005. En: Artículo 1. Definiciones. Por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones. Marzo 23 de 2005. [Sitio en internet]. [http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto838\\_20050323.htm](http://www.corpamag.gov.co/archivos/normatividad/Decreto838_20050323.htm). [Consultado: 20 de Enero de 2015]

38. REINOSO, Elsy. ¿Qué hacer con los residuos sólidos? En: Icontec. Responsabilidad Social de las Empresas. Normas & Calidad No. 45. Bogotá: Icontec, 2000. p. 15.
39. LÓPEZ, C., ANDRÉS, C., VARGAS, A., Validación de la técnica para la determinación de calcio y magnesio por espectrofotometría absorción atómica y la determinación de sodio y potasio por emisión atómica de llama para suelos en doctor calderón asistencia técnica agrícola Ltda: Bogotá Fundación Universidad de América 2014.
40. RUSSELL E.J, WILD A, Condiciones del suelo y las plantas según Russell. Madrid, España: Mundi prensa, 1988, P. 886.
41. Norma técnica colombiana 370, 1997 – 08 – 27. Abonos fertilizantes. Determinación de nitrógeno total.
42. SOTO, H. J. Potencial contaminación por cromo en el proceso de refinación del petróleo. Cap. 8. Procedimiento analítico. Universidad nacional mayor San Marcos. 2006. Perú.
43. OROZCO, E., CUERVO, C., OVIEDO S., Absorción atómica para identificar trazas metálicas de disparos de armas de fuego, Bogotá. D.C. Fundación Universidad de América 2003.
44. Proyecto de norma en consulta pública. Norma chilena 2880. Compost clasificación y requisitos. 2003.
45. Ministerio de la presidencia. Real Decreto 824 del 8 de julio sobre productos fertilizantes. BOE 171. 2005. España.
46. DEANNA, M., HASEGAWA, M., Fotoquímica Orgánica, Segunda edición, Editorial Torino Caracas: U.C.V., Copyright.2002.p.1141-162.

47. SOLE, CARLOTA Medio ambiente: Prevención y control de residuos sólidos urbanos Madrid : Banco de Bilbao, 1998.
48. CASTILLO, R., Elaboración de compost en Manzales a partir de residuos orgánicos urbanos. En: Revista Luna Azul. Manzales, 2007.
49. FLORES, D., Guía Práctica para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos, Op. Cit. P 7.
50. CAMPOS, M., Fundación Natura En: Evaluación de los proyectos de compostaje en el Ecuador. Repamar, Cepis, G.T.Z., Quito, Marzo de 1998, p. 45-46.
51. SANDOVAL, L., Programa Horizontal de tecnologías limpias y energías renovables de la Organización de Estados Americanos. En: Curso taller transferencia de tecnologías limpias para Pymes del sector de los residuos sólidos. Concytec. Panamá, Julio de 2006, p.2
52. Plan de gestión integral de residuos sólidos del área metropolitana de Bucaramanga. Diagnóstico técnico operativo, Universidad Industrial de Santander (UIS)
53. CHÍO, Juan Carlos. “Emaf reforzará planta de compostaje de El Carrasco” En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. 31, Julio, 2012. Sección Bucaramanga
54. Fundación Participar. “Emergencia Sanitaria de El Carrasco” En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. 5, Febrero, 2014. Sección Bucaramanga.
55. Ministerio del medio ambiente, proyectos de gestión integral de residuos sólidos, guía práctica de formulación, 2002
56. BOTERO, Á., EVAS –ENVIAMBIENTALES- S.A. E.S.P Calificación inicial. BRC Investor Services S.A, Bogotá, Mayo 25 de 2007, s.p.

57. RAMIREZ, Patricio. Asocompost. Noviembre 20 de 2012. [Online]  
<http://www.asocompost.org/quienes.html>.
58. RODRIGUES, JAZMIN “Por dos años decretan emergencia sanitaria para recibir basura en El Carrasco” En: Vanguardia Liberal. Bucaramanga. 30, Septiembre, 2013. Sección Bucaramanga.
59. Universidad y Alcaldía de Piedecuesta firman convenio sobre Plan de Residuos Sólidos. CVNE, 05 de Agosto de 2013. [online](último acceso: 10 de enero de 2015). Disponible en internet:  
URL:<http://www.mineducacion.gov.co/cvn/1665/w3-article-326512.html>
60. Ministerio del medio ambiente, proyectos de gestión integral de residuos sólidos, guía práctica de formulación, 2002.
61. Estudio de factibilidad para la creación de la planta de abonos orgánicos de Colombia.
62. CASTILLO, R., Elaboración de compost en Manzales a partir de residuos orgánicos urbanos. En: Revista Luna Azul. Manzales, 2007;
63. RAMIREZ, Patricio. Asocompost. Noviembre 20 de 2012. [Online]  
<http://www.asocompost.org/quienes.html>
64. BOTERO, Á., EVAS –ENVIAMBIENTALES- S.A. E.S.P Calificación inicial. BRC Investor Services S.A, Bogotá, Mayo 25 de 2007, s.p.
65. NELSON, D. W.; ELRICK, D. E. and TANJI, K. K. 1992. Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems. SSSA Special Publication Number 11. American Society of Agronomy, Inc.
66. ICONTEC, Calidad de suelo. Determinación del Azufre disponible, Norma técnica colombiana, NTC 2402, Bogotá, 2006

67. JARAMILLO, GERMAN ALBERTO. Que nada ni nadie sea desecho, aspectos educativos en el manejo de residuos sólidos” hacia un pacto limpio, reunión sobre manejo de residuos sólidos y reciclaje. Bogotá: Ministerio de medio ambiente, 1995.p237.
68. PORTA J., Edafología para la agricultura y el medio ambiente, 3ed., Madrid, España, 2003, p.240-243
69. DANIEL F. JARAMILLO J. introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Medellín. 2002. pág. 321- 324
70. NELSON, D. W.; ELRICK, D. E. and TANJI, K. K. Chemical Mobility and Reactivity in Soil Systems. SSSA Special Publication Number 11. American Society of Agronomy, Inc. 1992
71. BRADY, N. and R. WEIL. The Nature and Properties of Soils. 12th Edition. Prentice Hall, Inc. New Jersey. 1999.
72. FertiYeso es una marca de Cía. Industrial El Volcán S.A. © 2015, Noviembre 15 de 2015 [online] disponible en [www.fertiyeso.com](http://www.fertiyeso.com)
73. GARCIA J., BALLESTEROS M., evaluación de los parámetros de calidad para determinación de fósforo en el suelo, revista colombiana de química, vol. 35, No 1, 2006.
74. FERNÁNDEZ C., MENDOZA R., evaluación del fósforo disponible mediante tres métodos en distintos suelos y manejos productivos, FCA-UNNE. Sargento Cabral 2131, Argentina.
75. ESTRADA J. Pastos y forrajes para el trópico colombiano. Colección Ciencias agropecuarias. Caldas, Colombia: Universidad de Caldas, 2002. P. 48-49.

## ANEXOS

### Anexo A. Resultados de pH las muestras de abonos estudiadas.

Cuadro 22. Resultados de pH.

Muestra	Dilución	Repetición						Promedio	DE	CV
		1	2	3	4	5	6			
Limonal	1:5	9,04	9,04	9,05	8,98	8,99	8,99	9,02	0,03	0,35
	1:10	8,75	8,75	8,75	8,76	8,75	8,77	8,76	0,01	0,10
Lombriaza	1:5	9,00	8,99	8,99	8,99	9,00	8,99	8,99	0,01	0,06
	1:10	9,20	9,20	9,20	9,10	9,20	9,20	9,18	0,04	0,44
Gallinaza	1:5	7,97	7,96	7,97	7,97	7,96	7,96	7,97	0,01	0,07
	1:10	8,02	8,01	8,03	8,02	8,02	8,01	8,02	0,01	0,09
Abono Orgánico	1:5	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	3,66	0	0
	1:10	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	3,83	0	0
Turba	1:5	3,25	3,25	3,25	3,24	3,25	3,25	3,25	$4 \times 10^{-3}$	0,13
	1:10	3,40	3,40	3,40	3,40	3,30	3,40	3,38	0,04	1,21
Comercial	1:5	7,11	7,11	7,11	7,11	7,11	7,11	7,11	0	0
	1:10	7,27	7,27	7,29	7,29	7,28	7,29	7,28	0,01	0,14

### Anexo B. Resultados del análisis de la determinación de la humedad.

Cuadro 23. Resultados del análisis por sextuplicado de la determinación de la humedad expresados en porcentaje (%).

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limonal	17	18	17	17	17	18	17,33	0,40	2,31
Lombrinaza	46	46	47	45	46	47	46,30	0,67	1,44
Gallinaza	6	6	6	7	6	6	6,34	0,11	1,75
Abono orgánico	34	34	33	34	34	34	33,78	0,57	1,69
Turba	34	34	33	32	34	33	33,20	0,56	1,68
Comercial	37	37	38	37	37	37	37,25	0,30	0,80

Anexo C. Resultados del análisis de la determinación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización.

Cuadro 24. Resultado del análisis por sextuplicado de la determinación del porcentaje de cenizas por perdidas por volatilización. Resultados expresados en porcentaje (%).

Muestra	Resultado	Repetición						Promedio	DE	CV
		1	2	3	4	5	6			
Limonal	%Cenizas	77	77	78	78	78	78	78	0,52	0,67
	%PV	23	23	22	22	22	22	22	0,52	2,34
Lombriaza	%Cenizas	49	49	49	49	49	49	49	0,34	0,69
	%PV	51	51	51	51	51	51	51	0,34	0,67
Gallinaza	%Cenizas	87	87	87	87	87	87	87	0,23	0,26
	%PV	13	13	13	13	13	13	13	0,23	1,75
Abono Orgánico	%Cenizas	63	62	63	62	62	62	62	0,48	0,77
	%PV	37	38	37	38	38	38	38	0,48	1,28
Turba	%Cenizas	61	62	61	61	61	61	61	0,40	0,65
	%PV	39	38	39	39	39	39	39	0,40	1,02
Comercial	%Cenizas	58	58	58	58	58	58	58	0,25	0,43
	%PV	42	42	42	42	42	42	42	0,25	0,59

Anexo D. Resultados de la determinación de la densidad.

Cuadro 25. Resultado de las muestras de abonos de la determinación de la densidad por sextuplicado. Los resultados están expresados en g/mL.

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limonal	0,70	0,71	0,72	0,71	0,71	0,72	0,71	0,01	0,89
Lombrinaza	0,63	0,64	0,64	0,63	0,65	0,64	0,64	0,01	1,43
Gallinaza	0,83	0,82	0,86	0,85	0,84	0,83	0,84	0,01	1,51
Abono orgánico	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,72	0,71	$2 \times 10^{-3}$	0,28
Turba	0,37	0,37	0,39	0,37	0,38	0,38	0,38	0,01	1,37
Comercial	0,48	0,48	0,49	0,49	0,48	0,48	0,48	$4 \times 10^{-3}$	0,91

Anexo E. Determinación de la capacidad de retención de agua.

Cuadro 26. Determinación de la capacidad de retención de las diferentes muestras de abonos estudiadas. Los resultados se expresan en porcentaje (%) de saturación.

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limal	101,80	100,52	99,51	98,47	99,28	99,94	99,92	1,15	1,15
Lombrinaza	45,70	45,65	45,35	45,84	45,83	45,68	45,67	0,18	0,39
Gallinaza	72,45	71,07	71,96	72,23	71,66	71,40	71,79	0,52	0,72
Abono orgánico	46,36	45,79	45,65	45,63	46,76	46,40	46,10	0,47	1,02
Turba	125,03	128,53	125,49	126,33	125,26	126,05	126,12	1,28	1,01
Comercial	64,57	64,33	65,10	64,45	63,38	63,79	64,27	0,61	0,94

Anexo F. Determinación de la conductividad eléctrica.

Cuadro 27. Resultados de la determinación de la conductividad eléctrica.

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limal	6,1	6,1	6,1	6,1	6,2	6,1	6,1	0,03	0,6
Lombrinaza	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	$4,7 \times 10^{-3}$	0,3
Gallinaza	4,6	4,6	4,5	4,5	4,6	4,5	4,5	0,06	1,4
Abono orgánico	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	$5 \times 10^{-4}$	0,3
Turba	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	$4 \times 10^{-4}$	0,2
Comercial	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	4,3	0,01	0,3

Anexo G. Determinación de la capacidad de intercambio catiónico.

Cuadro 28. Resultados de la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.).

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limonal	61,56	59,43	60,08	60,66	60,72	60,91	60,56	0,73	1,21
Lombrinaza	70,30	70,95	69,95	70,81	70,72	70,35	70,51	0,38	0,54
Gallinaza	34,54	34,06	34,27	35,32	34,83	34,24	34,54	0,46	1,35
Abono orgánico	64,56	65,52	64,39	64,98	65,76	67,61	65,47	1,17	1,79
Turba	97,63	97,03	96,87	98,10	97,68	96,83	97,36	0,52	0,54
Comercial	71,60	71,74	70,30	71,20	69,69	69,49	70,67	0,98	1,39

Anexo H. Determinación de Carbonatos

Cuadro 29. Resultados de la determinación del ion carbonato y carbonato de calcio.

Muestra	Resultado	Repetición						Promedio	DE	CV
		1	2	3	4	5	6			
Limonal	%CO <sub>3</sub> -2	4,61	4,51	4,80	4,79	4,78	4,79	4,71	0,12	2,60
	%CaCO <sub>3</sub>	7,68	7,52	8,00	7,99	7,97	7,98	7,86	0,20	2,60
Lombriaza	%CO <sub>3</sub> -2	1,28	1,26	1,17	1,21	1,18	1,18	1,21	0,04	3,58
	%CaCO <sub>3</sub>	2,13	2,09	1,95	2,02	1,96	1,97	2,02	0,07	3,58
Gallinaza	%CO <sub>3</sub> -2	10,84	10,91	11,10	11,01	11,06	10,98	10,98	0,09	0,86
	%CaCO <sub>3</sub>	18,07	18,18	18,50	18,34	18,43	18,29	18,30	0,16	0,86
Abono Orgánico	%CO <sub>3</sub> -2	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-	-	-
	%CaCO <sub>3</sub>	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-	-	-
Turba	%CO <sub>3</sub> -2	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-	-	-
	%CaCO <sub>3</sub>	NP	NP	NP	NP	NP	NP	-	-	-
Comercial	%CO <sub>3</sub> -2	0,93	0,95	0,94	0,95	0,92	0,93	0,94	0,01	1,23
	%CaCO <sub>3</sub>	1,55	1,58	1,56	1,58	1,53	1,56	1,56	0,02	1,23

Anexo I. Determinación del porcentaje de carbono orgánico oxidable total.

Cuadro 30. Resultados de la determinación del contenido del carbono orgánico oxidable total.

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limonal	25,32	26,07	25,15	24,23	24,35	25,52	25,11	0,71	2,81
Lombrinaza	26,30	26,49	26,69	26,03	26,19	27,16	26,48	0,41	1,54
Gallinaza	36,33	36,82	37,13	36,67	36,72	36,79	36,74	0,26	0,71
Abono orgánico	19,72	19,12	18,99	19,69	19,04	19,94	19,42	0,41	2,13
Turba	47,23	47,15	47,97	47,15	47,10	47,54	47,36	0,34	0,72
Comercial	32,26	32,77	31,93	32,48	32,48	31,53	32,24	0,45	1,38

Anexo J. Determinación del porcentaje de nitrógeno por el método Kjeldahl.

Cuadro 31. Resultado de la determinación del contenido de nitrógeno por el método Kjeldahl.

Muestra	Repetición						Promedio	DE	CV
	1	2	3	4	5	6			
Limonal	0,84	0,88	0,92	0,88	0,86	0,89	0,88	0,03	3,20
Lombrinaza	1,81	1,91	1,85	1,80	1,78	1,76	1,82	0,05	2,90
Gallinaza	1,19	1,14	1,18	1,14	1,17	1,17	1,16	0,02	1,70
Abono orgánico	0,13	0,13	0,12	0,12	0,12	0,12	0,12	$3 \times 10^{-3}$	2,15
Turba	0,46	0,44	0,45	0,48	0,42	0,46	0,45	0,02	4,79
Comercial	1,65	1,74	1,65	1,61	1,61	1,78	1,67	0,07	4,34

Anexo K. Determinación del porcentaje de azufre.

Cuadro 32. Resultado de la determinación del contenido de azufre en las diferentes muestras de abonos.

Muestra	Resultado	Repetición						Promedio	DE	CV
		1	2	3	4	5	6			
Limonal	%S	0,067	0,067	0,067	0,066	0,065	0,068	0,067	$1 \times 10^{-3}$	1,51
	S mg/Kg	255,81	258,30	256,65	251,82	250,75	260,90	255,70	3,85	1,51
Lombriaza	%S	0,048	0,049	0,050	0,048	0,049	0,051	0,049	$1 \times 10^{-3}$	2,34
	S mg/Kg	199,81	205,07	210,26	200,19	204,63	211,15	205,18	4,80	2,34
Gallinaza	%S	0,048	0,048	0,047	0,046	0,050	0,048	0,048	$1 \times 10^{-3}$	2,46
	S mg/Kg	199,41	200,21	197,79	192,18	207,21	201,74	199,76	4,92	2,46
Abono Orgánico	%S	0,014	0,015	0,015	0,015	0,014	0,014	0,015	$5 \times 10^{-4}$	3,37
	S mg/Kg	58,34	61,07	63,95	60,74	58,63	59,95	60,45	2,03	3,37
Turba	%S	0,014	0,014	0,014	0,014	0,015	0,014	0,014	$3 \times 10^{-4}$	1,92
	S mg/Kg	59,22	59,86	58,31	60,03	61,23	58,23	59,48	1,14	1,92
Comercial	%S	0,058	0,057	0,056	0,058	0,057	0,060	0,058	$1 \times 10^{-3}$	2,14
	S mg/Kg	221,34	220,61	215,59	223,49	217,18	228,90	221,18	4,74	2,14

Anexo L. Determinación del contenido de fosforo asimilable presente en las muestras.

Cuadro 33. Resultado de la determinación del contenido de fosforo en las muestras de abonos seleccionadas.

Muestra	Resultado	Repetición						Promedio	DE	CV
		1	2	3	4	5	6			
Limal	%P	0,61	0,61	0,65	0,62	0,59	0,61	0,61	0,02	3,00
	P mg/Kg	6511,79	6416,79	6480,77	6859,34	6494,67	6640,25	6567,27	160,69	2,45
Lombriaza	%P	0,38	0,38	0,39	0,37	0,38	0,38	0,38	0,01	1,82
	P mg/Kg	3835,17	3788,88	3866,43	3675,75	3755,45	3830,13	3791,97	68,87	1,82
Gallinaza	%P	0,62	0,62	0,61	0,63	0,63	0,61	0,62	0,01	1,30
	P mg/Kg	6173,53	6225,13	6145,97	6253,50	6282,32	6062,84	6190,55	80,21	1,30
Abono Orgánico	%P	0,25	0,24	0,25	0,25	0,24	0,24	0,24	0,01	2,42
	P mg/Kg	2502,66	2365,11	2467,63	2520,77	2427,00	2407,71	2448,48	59,33	2,42
Turba	%P	0,14	0,15	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	5x10 <sup>-3</sup>	3,19
	P mg/Kg	1437,08	1514,04	1415,55	1467,18	1430,53	1379,43	1440,63	46,01	3,19
Comercial	%P	0,39	0,40	0,40	0,40	0,42	0,42	0,41	0,01	2,90
	P mg/Kg	3941,18	4044,34	3980,92	3950,57	4215,03	4172,52	4050,76	117,28	2,90