
Información Importante

La Universidad Santo Tomás, informa que el(los) autor(es) ha(n) autorizado a usuarios internos y externos de la institución a consultar el contenido de este documento a través del Catálogo en línea del CRAI-Biblioteca y el Repositorio Institucional en la página Web de la CRAI-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.”

**Centro de Recursos para el Aprendizaje y la Investigación, CRAI-Biblioteca
Universidad Santo Tomás, Bucaramanga**

Implementación del método analítico para la determinación del contenido total de potasio (K), magnesio (Mg) y sodio (Na) en muestras de abono orgánico mediante espectrofotometría de absorción atómica según la norma técnica colombiana NTC 5167

Carlos Xavier Castiblanco Martinez

Oduhan Fuentes Araque

Trabajo de grado para optar el título de Químico Ambiental

Director

Ciro Eduardo Rozo Correa

Químico, M.Sc

Codirectora del proyecto

Isabel Cristina Patricia Ocaziones

Ing. Química

Universidad Santo Tomás

División de Ingenierías y Arquitectura

Facultad de Química Ambiental

Bucaramanga

2017

Dedicatoria

La concepción de este proyecto está dedicada a mis abuelos, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad, humildad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para la familia en general. También dedico este proyecto a mi novia e hijo, ellos representan el gran esfuerzo y tesón en momentos de decline y cansancio. A ellos este proyecto, que sin ellos, no hubiese podido ser.

Xavier Castiblanco Martinez

El presente proyecto de grado está dedicado a mi familia que gracias a su apoyo incondicional pude conducir mi carrera. A mis padres por su ejemplo de vida que siempre me mostraron el camino a seguir. A mis hermanas por su apoyo y compañía. A mis amigos que contribuyeron para mi desarrollo como profesional.

Oduhan Fuentes Araque

Agradecimientos

En primer lugar a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Y ABUELO Carlos Martinez, mi MADRE; y a todos mis tíos; por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último, a mi compañero de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi director de tesis quién nos ayudó en todo momento, Msc. Ciro Eduardo Rozo.

Xavier Castiblanco Martinez

Gracias a mi familia por creer en mí, apoyarme en mis decisiones y ayudar a que este proyecto fuera una realidad. Agradezco a mi director de tesis, Msc. Ciro Eduardo Rozo quién contribuyó en gran forma para la realización de este proyecto. A mi compañero de tesis por su contribución y esfuerzo en todo el desarrollo del proyecto.

Oduhan Fuentes Araque

Contenido

	Pág.
Introducción	20
1. Planteamiento del problema.....	22
2. Justificación	23
3. Objetivos.....	25
3.1 Objetivo general.....	25
3.2 Objetivos Específicos.....	25
4. Marco Referencial.....	26
4.1 Marco Teórico.....	26
4.1.1 Residuos Sólidos.....	26
4.1.2 Clasificación de los residuos sólidos	26
4.1.2.1 Según su origen.....	26
4.1.2.2 Según su grado de descomposición	26
4.1.2.3 Según su uso o disposición final.....	27
4.1.2.4 Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos	27
4.1.3 Compostaje	28
4.1.4 Sistemas de compostaje	29
4.1.4.1 Pilas volteadas.....	29
4.1.4.2 Canales	29
4.1.4.3 Túneles.....	29
4.1.5 Factores del proceso de compostaje.....	30

4.1.5.1 Tamaño de partícula.....	30
4.1.5.2 Humedad.....	30
4.1.5.3 Aireación.....	30
4.1.5.4 Temperatura.....	31
4.1.5.5 pH.....	31
4.1.5.6 Relación Carbono/Nitrógeno.....	31
4.1.6 Materia Orgánica Y Carbono en el Suelo.....	32
4.1.7 Nitrógeno.....	33
4.1.8 Macronutrientes en el suelo y la planta.....	34
4.1.8.1 Potasio K en el suelo y la planta.....	34
4.1.8.2 El magnesio en la plata y en el suelo.....	36
4.1.8.3 El Sodio en la plata y en el suelo.....	37
4.2 Análisis estadístico.....	39
4.3 Marco de antecedentes.....	41
4.4 Marco Legal.....	42
5. Diseño metodológico.....	45
5.1 Aspectos generales.....	45
5.1.1 Disolventes y reactivos.....	46
5.1.2 Instrumentos y equipos.....	46
5.2 Metodología experimental.....	47
5.2.1 Obtención de los abonos orgánicos.....	47
5.3 Preparación de las diferentes muestras de abono.....	50
5.4 Análisis fisicoquímicos de los abonos orgánicos.....	50

5.4.1 pH.....	51
5.4.2 Determinación de humedad	51
5.4.3 Determinación de Carbono Orgánico Oxidable Total.	52
5.4.4 Determinación de Nitrógeno total en materiales clasificados como orgánicos y orgánicos minerales	54
5.5 Determinación de Nutrientes K, Na, Mg en muestras de compost.	55
5.6 Técnica Analítica.	56
5.7 Implementación del método analítico.....	58
6. Resultados y discusión.....	60
6.1 Determinación del pH.....	60
6.2 Determinación de la humedad relativa.	61
6.3 Determinación de carbono orgánico oxidable total.	62
6.4 Determinación de nitrógeno total.....	63
6.6 Relación carbono y nitrógeno (c/n).....	64
6.7 Determinación de macronutrientes sodio, potasio y magnesio.....	66
6.7.1 Límite de detección y cuantificación	66
6.7.2 Intervalo lineal.	70
6.7.3 Repetibilidad y reproducibilidad del método.....	71
6.7.4 Determinación de sodio presente en las muestras de abono.....	74
6.8 Determinación de magnesio (Mg)	75
6.8.1 Límite de detección y cuantificación	76
6.8.2 Intervalo lineal.	80
6.8.3 Repetibilidad y reproducibilidad del método.....	82

6.8.4 Determinación de magnesio presente en las muestras de abono.	85
6.9 Determinación de potasio (K).....	86
6.9.1 Límite de detección y cuantificación.....	87
6.9.2 Intervalo lineal.	91
6.9.3 Repetibilidad y reproducibilidad del método.....	92
6.9.4 Determinación de potasio presente en las muestras de abono.	95
6.10 Comparación de los resultados con normas internacionales.....	96
7. Conclusiones.....	98
Referencias Bibliográficas.....	102
Apéndices.....	105
Apéndice A. Resultados pH.....	105
Apéndice B. Resultados humedad.....	106
Apéndice C. Resultados Carbono.....	107
Apéndice D. Resultados Nitrógeno.....	108
Apéndice E. Absorbancias de blancos: determinación límite de detección.....	109
Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación.....	110
Apéndice G. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Sodio.....	111
Apéndice H. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Magnesio.....	112
Apéndice I. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Potasio.....	113
Apéndice J. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración Na– Analista 2.....	114
Apéndice K. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración Mg– Analista 2.....	115
Apéndice L. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración K– Analista 2.....	116
Apéndice M. Valores t para el 95% de rechazo de datos.....	117

Apéndice N. Valores t (n-1) para distintos intervalos de confianza 118

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. <i>Efectos del compost sobre el suelo</i>	28
Tabla 2. <i>Parámetros fisicoquímicos a garantizar según la NTC 5167 de abonos o fertilizantes orgánicos sólidos.</i>	44
Tabla 3. <i>Comparación de parámetros físico químicos de, Colombia, Chile y España.</i>	45
Tabla 4. <i>Reactivos utilizados en el desarrollo de las metodologías propuestas</i>	46
Tabla 5. <i>Composición Abono orgánico comercial “el jardín”</i>	49
Tabla 6. <i>Parámetros de operación del equipo de absorción atómica.</i>	58
Tabla 7. <i>Parámetros estadísticos para la implementación del método</i>	60
Tabla 8. <i>Determinación del pH en las diferentes muestras de abono</i>	61
Tabla 9. <i>Determinación de Humedad en las diferentes muestras de abono.</i>	62
Tabla 10. <i>Resultados del porcentaje de carbono orgánico oxidable total</i>	63
Tabla 11. <i>Resultados del porcentaje de nitrógeno total por el método Kheldajl.</i>	64
Tabla 12. <i>Resultados relación carbono nitrógeno (C/N).</i>	65
Tabla 13. <i>Parámetros estadísticos para la determinación del límite de detección de Na.</i>	66
Tabla 14. <i>Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LD de Na.</i>	67
Tabla 15. <i>Prueba t – Student. Datos estadísticos LD de Na.</i>	67
Tabla 16. <i>Determinación del límite de detección de sodio.</i>	68
Tabla 17. <i>Determinación de límite de cuantificación de sodio</i>	68
Tabla 18. <i>Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LC de Na.</i>	69
Tabla 19. <i>Prueba t – Student. Datos estadísticos LC de Na.</i>	69

Tabla 20. <i>Resultados obtenidos de las muestras de abono</i>	75
Tabla 21. <i>Parámetros estadísticos para la determinación del límite de detección de Mg</i>	76
Tabla 22. <i>Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LD de Mg</i>	78
Tabla 23. <i>Prueba t – Student. Datos estadísticos LD de Mg</i>	78
Tabla 24. <i>Determinación del límite de detección de Mg</i>	78
Tabla 25. <i>Determinación de límite de cuantificación de Mg</i>	79
Tabla 26. <i>Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LC de Mg</i>	80
Tabla 27. <i>Prueba t – Student. Datos estadísticos LC de Mg</i>	80
Tabla 28. <i>Resultados obtenidos de las muestras de abono</i>	86
Tabla 29. <i>Parámetros estadísticos para la determinación del límite de detección de K</i>	87
Tabla 30. <i>Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LD de K</i>	88
Tabla 31. <i>Prueba t – Student. Datos estadísticos LD de K</i>	88
Tabla 32. <i>Determinación del límite de detección de K</i>	88
Tabla 33. <i>Determinación de límite de cuantificación de K</i>	89
Tabla 34. <i>Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LC de K</i>	90
Tabla 35. <i>Prueba t – Student. Datos estadísticos LC de K</i>	90
Tabla 36. <i>Resultados obtenidos de las muestras de abono</i>	96
Tabla 37. <i>Comparación de parámetros físico químicos de, Colombia, Chile y España.</i>	97

Lista de Figuras

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Abono Capote	48
<i>Figura 2.</i> Abono Humus	48
<i>Figura 3.</i> Abono Orgánico El Jardín	49
<i>Figura 4.</i> Abono Limonal	50
<i>Figura 5.</i> Determinación pH.....	51
<i>Figura 6.</i> Determinación de Carbono orgánico oxidable total	53
<i>Figura 7.</i> Determinación de Nitrógeno.....	54
<i>Figura 8.</i> Montaje digestión	56
<i>Figura 9.</i> Equipo de Emisión y Absorción atómica	57
<i>Figura 10.</i> Intervalo lineal desde 0.003 a 4 ppm de Na.....	70
<i>Figura 11.</i> Rango lineal de trabajo de Na.....	71
<i>Figura 12.</i> Repetibilidad – Analista 1.....	72
<i>Figura 13.</i> Curva de trabajo Na	73
<i>Figura 14.</i> Reproducibilidad – Analista 2	74
<i>Figura 15.</i> Intervalo lineal desde 0.003 a 1.5 ppm de Mg.....	81
<i>Figura 16.</i> Rango lineal de trabajo de Mg	82
<i>Figura 17.</i> Repetibilidad – Analista 1.....	83
<i>Figura 18.</i> Curva de trabajo Mg	84
<i>Figura 19.</i> Reproducibilidad – Analista 2	85
<i>Figura 20.</i> Intervalo lineal desde 0.05 a 5ppm de K	91

Figura 21. Rango lineal de trabajo de K..... 92

Figura 22. Repetibilidad – Analista 1..... 93

Figura 23. Curva de trabajo K..... 94

Figura 24. Reproducibilidad – Analista 2 95

Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Resultados pH.....	105
Apéndice B. Resultados humedad	106
Apéndice C. Resultados Carbono	107
Apéndice D. Resultados Nitrógeno.....	108
Apéndice E. Absorbancias de blancos: determinación límite de detección.....	109
Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación.....	110
Apéndice G. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Sodio	111
Apéndice H. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Magnesio....	112
Apéndice I. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Potasio	113
Apéndice J. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración Na– Analista 2.....	114
Apéndice K. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración Mg– Analista 2	115
Apéndice L. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración K– Analista 2	116
Apéndice M. Valores t para el 95% de rechazo de datos.....	117
Apéndice N. Valores t (n-1) para distintos intervalos de confianza	118

Lista de Abreviaturas y Acrónimos

HPLC	Cromatografía Líquida de Alta Eficiencia
MO	Materia Orgánica
CDMB	Corporación de la meseta de Bucaramanga
C.I.C.	Capacidad de intercambio catiónico
EMAB	Empresa de aseo de Bucaramanga
EMAF	Empresa de aseo de Floridablanca
Ed.	Edición
g	Gramos
K	Potasio
L	Litro
RS	Residuos sólidos
RSU	Residuos sólidos urbanos
Meq	Miliequivalentes
Mg	Magnesio
mg	Miligramos
min.	Minutos
mL	Mililitro
N	Nitrógeno
Na	Sodio
NTC	Norma técnica Colombiana
N°	Número

ppm	partes por millón
UV-vis	ultravioleta-visible
Vol.	Volumen
μL	Microlitro
μg	microgramo
°C	grados Celsius
%	Porcentaje

Glosario

Abonado: acción o proceso cuya finalidad es hacer que la tierra sea fértil o productiva. Aplicación de fertilizante, ya sea sintético o natural.

Abono Orgánico: el abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y productividad de suelos ha sido demostrada.

Aeróbico: proceso que ocurre en presencia de oxígeno. Para que un compost funcione con éxito se debe proporcionar suficiente oxígeno para que mantenga el proceso aeróbico.

Anaeróbico: proceso que ocurre en ausencia de oxígeno. Si esto ocurre durante el proceso de compostaje, éste se ralentiza y se pueden desprender malos olores, como consecuencia de procesos de pudrición.

Bacterias Termófilas: grupo de bacterias que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 40°C a 70°C.

Compost Maduro: compost que ha finalizado todas las etapas del compostaje.

Compost Semimaduro: compost que no ha terminado la etapa termófila del proceso de compostaje.

Curva de Calibración: representación gráfica de la señal de medida como una función de la cantidad de analito.

Descomposición: degradación de la materia orgánica.

Estiércol: material orgánico empleado para fertilizar la tierra, compuesto generalmente por heces y orina de animales domésticos. Puede presentarse mezclado con material vegetal como

paja, heno o material de cama de los animales. Aunque el estiércol es rico en nitrógeno, fósforo y potasio, comparado con los fertilizantes sintéticos sus contenidos son menores y se encuentran en forma orgánica. Puede aplicarse en mayor cantidad para alcanzar las cantidades que necesita el cultivo, pero en general, el nitrógeno es menos estable y está disponible por menos tiempo en el suelo. Es rico en materia orgánica, por lo que aumenta la fertilidad del suelo y mejora su capacidad de absorción y retención de agua.

Exactitud: el grado de concordancia entre el resultado y el valor de referencia aceptado.

Humificación: es el proceso de formación de ácidos húmicos y fúlvicos, a partir de la materia orgánica mineralizada.

Humus: materia orgánica descompuesta, amorfa y de color marrón oscuro de los suelos, que ha perdido todo indicio de la estructura y la composición de la materia vegetal y animal a partir de la que se originó. Por tanto, el término humus se refiere a cualquier materia orgánica que ha alcanzado la estabilidad y que se utiliza en la agricultura para enmendar el suelo. El producto de la lombriz suele llamarse equivocadamente humus, cuando en realidad debe llamarse vermicompuesto.

Inoculante: concentrado de microorganismos que aplicado al compost, acelera el proceso de compostaje. Un compost semimaduro puede funcionar de inoculante.

Inorgánico: sustancia mineral.

Lavado o Lixiviación de nitratos: cuando el agua entra en contacto con fertilizantes nitrogenados o con estiércol, puede disolver los nitratos y otros componentes solubles del estiércol y transportarlos disueltos en su seno cuando se infiltra en el suelo y desciende hasta las aguas subterráneas. En suelos con capas freáticas altas y altas velocidades de percolación es más probable que el agua contaminada alcance las aguas subterráneas.

Límite de cuantificación: la menor concentración de un analito que puede determinarse con precisión aceptable (repetitividad) y exactitud en las condiciones antes de la prueba.

Límite de detección: la menor concentración de analito en una muestra que puede ser detectado, pero no necesariamente cuantificado en las condiciones antes de la prueba.

Linealidad: define la capacidad del método para obtener resultados de la prueba proporcional a la concentración del analito.

Macroorganismos: organismos vivos que pueden ser observados a simple vista (arañas, lombrices, roedores, hormigas, escarabajos...). También se denomina mesofauna.

Materia Orgánica: residuos vegetales, animales y de microorganismos en distintas etapas de descomposición, células y tejidos de organismos del suelo y sustancias sintetizadas por los seres vivos presentes en el suelo.

Microorganismos: organismos vivos microscópicos (hongos, incluyendo levaduras, bacterias incluyendo actinobacterias, protozoos como nemátodos etc.).

Microorganismos Mesófilos: grupo de bacterias, y hongos (levaduras u hongos filamentosos) que pueden vivir, trabajar y multiplicarse durante el compostaje entre los rangos de temperatura de 30°C a 40°C.

Mineralización: transformación de la materia orgánica mediante la acción de microorganismos y la liberación de formas inorgánicas esenciales para el desarrollo de las plantas.

Nitrato: es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra oxidado y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por lixiviación.

Nitrógeno: elemento indispensable para las plantas que puede estar en forma orgánica (proteínas y compuestos orgánicos), o inorgánica (nitrato o amonio).

Orgánico: un compuesto orgánico es una sustancia que contiene carbono e hidrógeno y, habitualmente, otros elementos como nitrógeno, azufre y oxígeno. Los compuestos orgánicos se pueden encontrar en el medio natural o sintetizarse en laboratorio. La expresión sustancia orgánica no equivale a sustancia natural. Decir que una sustancia es natural significa que es esencialmente igual que la encontrada en la naturaleza. Sin embargo, orgánico significa que está formado por carbono.

Patógeno: microorganismo capaz de producir una enfermedad. Puede ser fitopatógeno, cuando la enfermedad se produce en plantas, o patógenos humanos o animales.

Precisión: es la proximidad de concordancia entre los resultados de pruebas independientes obtenidos bajo condiciones estipuladas.

Rango Lineal: intervalo de concentración en que la intensidad de la señal obtenida es directamente proporcional a la concentración de las especies que producen la señal.

Reciclaje de Nutrientes: ciclo en el que los nutrientes orgánicos e inorgánicos, se transforman y se mueven en el suelo, los organismos vivos, la atmósfera y el agua. En la agricultura, se refiere al retorno al suelo de los nutrientes absorbidos del mismo por las plantas. El reciclaje de nutrientes puede producirse por medio de la caída de hojas, la exudación (secreción) de las raíces, el reciclaje de residuos, la incorporación de abonos verdes, etcétera.

Relación C/N: cantidad de carbono con respecto a la cantidad nitrógeno que tiene un material.

Repetitividad: precisión de los resultados de una prueba que se obtienen con el mismo método, utilizando las mismas condiciones de trabajo.

Reproductibilidad: precisión de los resultados de una prueba que se obtienen con el mismo método, bajo diferentes condiciones de trabajo.

Introducción

Desde los inicios de la humanidad se han producido residuos sólidos como subproducto de las diversas actividades que realiza el hombre (Acurio, Rossin, Paulo, & Zepeda, 1997). El auge en la cantidad y diversidad de los residuos es debido al incremento poblacional y del desarrollo industrial; generando problemas ambientales de contaminación del agua, aire, suelo y la afectación directa sobre el hombre por su inadecuada disposición (Castrillón & Puerta, 2012).

Tanto la historia de la humanidad como la de los residuos ha estado ligada, puesto que han tenido una variedad de cambios durante el siglo XIX, principalmente la evolución del compostaje, como un método óptimo de tratamiento del material orgánico presente en los residuos, ha sido constante (Strasser & Want, 2000) (Zimmerman, 2002).

El aprovechamiento de residuos sólidos proviene del medio rural, donde se acumulaban los residuos provenientes de limpieza y mantenimiento de viviendas, estos desechos agropecuarios y domiciliarios se apilaban por determinado tiempo a la intemperie para reducir su tamaño y luego ser esparcidos y utilizados como abono (FAO, 2013).

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) define la preparación de compost o compostaje como “*Proceso controlado en el que los materiales orgánicos son digeridos aeróbica y anaeróbicamente por acción microbiana*”. El material resultante de este proceso es un producto de color negro, rico en humus, macronutrientes y micronutrientes, lo que lo hace muy útil como fertilizante orgánico, ya que puede utilizarse como un elemento de bioremediación en suelos erosionados (FAO, 2016).

Esta investigación consistió en la determinación de metales macro-micronutrientes (Na, K, Mg), porcentaje de humedad, materia orgánica, carbono, nitrógeno, relación C/N, en muestras

comerciales de abono orgánico y en el compost producido en la planta piloto de residuos biodegradables de la Universidad Santo Tomás, empleando la norma técnica Colombiana 5167, para evaluar la calidad del compost respecto a estos nutrientes (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificaciones, 2004).

1. Planteamiento del problema

A lo largo de la historia la agricultura se ha intensificado, debido a la superpoblación y su alto nivel de consumo de alimentos, de ahí que en las últimas décadas se haya elevado el consumo de fertilizantes y aditivos químicos en el suelo; generando repercusiones negativas para el ambiente: erosión, baja fertilidad y contaminación de suelos, menor calidad en los alimentos (Dimas López, Díaz, Martínez, & D Valdez, 2001). Debido a la desertificación anualmente dejan de ser productivas 6-7 millones de Hectáreas en el todo el mundo, se estima que en menos de 200 años el hombre a este paso, habrá extinguido todos los suelos productivos en la tierra (FAO, 2013).

Los residuos sólidos han causado a nivel mundial impactos ambientales negativos debido a su aumento desmesurado e indebida disposición, debido a la superpoblación y los procesos de transformación industrial y agroalimentarios. Una posible solución a esta problemática es la implementación del Manejo Integrado de los Residuos Sólidos (MIRS), que implica la separación en la Fuente de residuos sólidos. A partir de la separación en la Fuente se ha aprovechado la materia prima para su transformación en nuevos productos y para la realización de compost como biofertilizante y acondicionador de suelos (Puerta Echeverri, 2004) (Jaramillo, 1999).

En la planta piloto de residuos biodegradables de la Universidad Santo Tomás se estableció una metodología para la obtención de compost a partir de residuos orgánicos de las plazas de mercado, a este compost se les han realizado caracterización fisicoquímica y análisis del contenido total de cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y níquel (Ni) según lo exige la Norma técnica Colombiana 5167 del 2011 (Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo) del ICONTEC, cumpliendo con la norma, este compost tiene características

similares o mejores a los+ de abonos orgánicos artesanales y comerciales. Por lo tanto, es este trabajo se quiso determinar los macronutrientes presentes en el abono orgánico artesanal y en el obtenido en la planta piloto. Con el fin de completar la evaluación de la calidad del compost.

2. Justificación

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.

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. La composición física de los residuos sólidos urbanos en nuestro país está constituida en más del 50% por residuos orgánicos; es por esto que con la utilización de los mismos se disminuirá en gran medida la contaminación sobre el medio ambiente; se sabe que solo el 4% de estos residuos es destinado para compostaje, donde se reincorporarán los nutrientes al ciclo de fertilización del suelo y se frenará el uso de agroquímicos (Castrillón & Puerta, 2012).

En el Departamento de Santander el reciclaje es la actividad predominante como estrategia de aprovechamiento de los residuos sólidos, el 2 % de los municipios utiliza el método de compostaje, el 22 % de los municipios realiza ambas actividades, el 8 % de los municipios realizan el reciclaje y el 68 % no hacen aprovechamiento de los residuos sólidos urbanos (Sanchez Contreras, 2007).

En la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga se estableció una metodología para la obtención de compost a partir de residuos orgánicos de las plazas de mercado, con el fin de tecnificar el proceso de compostaje. Para la adecuada utilización del abono orgánico producido en la planta piloto de residuos biodegradables de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga en la finca el Limonal, se realizó un análisis de macronutrientes y micronutrientes así como la determinación de humedad según la norma NTC 5167, donde se estipulan los parámetros fisicoquímicos que se deben garantizar en la composición de los abonos sólidos orgánicos (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificaciones, 2004).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Evaluar el contenido de Macro-micronutrientes Potasio (K), Sodio (Na), Magnesio (Mg), relación C/N, % humedad, pH en muestras comerciales de abono orgánico y en el compost producido en la planta piloto de residuos biodegradables de la Universidad Santo Tomás.

3.2 Objetivos Específicos

Implementar y validar las metodologías analíticas para la determinación de Potasio (K), Sodio (Na), Magnesio (Mg), pH, humedad, carbono total, nitrógeno total, relación C/N de la NTC 5167 para analizar abonos orgánicos.

Determinar los niveles de Potasio (K), Sodio (Na), Magnesio (Mg), pH, humedad, carbono total, nitrógeno total, relación C/N en compost y comparar cómo se encuentran de acuerdo con la Norma Técnica Colombiana NTC 5167:2011, Materiales Orgánicos Utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelos.

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.

4. Marco Referencial

4.1 Marco Teórico

4.1.1 Residuos Sólidos

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales o de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (Decreto 838, 2005).

4.1.2 Clasificación de los residuos sólidos

Los residuos se pueden clasificar de varias maneras, ya sea por su origen, su grado de descomposición, según su uso o disposición final (Puerta Echeverri, 2004).

4.1.2.1 Según su origen

Doméstico, comercial, institucional, construcción y demolición, servicios municipales, zonas de plantas de tratamiento, industriales y agrícolas (Puerta Echeverri, 2004).

4.1.2.2 Según su grado de descomposición

Biodegradables: Están formados por recursos naturales renovables. Los microorganismos descomponedores de la naturaleza los transforman en micronutrientes, como los residuos orgánicos, papel, cartón (Puerta Echeverri, 2004).

No biodegradables: Los microorganismos descomponedores de la naturaleza no los pueden transformar en micro nutrientes porque están formados de recursos naturales no renovables que se formaron hace millones de años como los plásticos que son derivados del petróleo, latas y chatarras derivados de metales y vidrio (Puerta Echeverri, 2004).

4.1.2.3 Según su uso o disposición final

Residuos Reciclables: Se pueden transformar en materia prima para nuevos productos como papel, cartón, plástico, vidrio, objetos metálicos (Puerta Echeverri, 2004).

Residuos orgánicos: Pueden ser transformados en abono orgánico por el proceso de compostaje o lombricultura como los residuos de alimentos, estiércol de animales y residuos de jardinería (Puerta Echeverri, 2004).

Desechos: No pueden volver a usarse ya que no tienen vida útil por su deterioro o contaminación y debe ir a un sitio de disposición final o un relleno sanitario como lo son el icopor, pañales, papel higiénico, toallas sanitarias, empaques de alimentos sucios, barridos de calle, etc. (Puerta Echeverri, 2004)

4.1.2.4 Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos se pueden utilizar para la producción de compostaje, biogás, alimentación animal, lombricultura, entre otros (Barreto Reyes, 2006).

4.1.3 Compostaje

El compostaje es un proceso de transformación fisicoquímica ya sea de materia orgánica animal, residuos de poda y alimentos, por la acción de agentes descomponedores en abono orgánico (Sztern & Pravia, 1999).

El compostaje tiene múltiples beneficios para el suelo como se evidencia en la Tabla 1. Efectos del compost sobre el *suelo*, ya que es un reparador y acondicionador por su alto contenido orgánico, además es una Fuente de nutrición natural para las plantas, permite el desarrollo de microorganismos benéficos que ayudan a prevenir las plagas y enfermedades de las raíces (Puerta Echeverri, 2004).

Tabla 1. *Efectos del compost sobre el suelo*

Propiedades	Químicas	Físicas	Biológicas
ACCIÓN	-Ayuda al incremento de la capacidad tampón.	-Incrementa la porosidad, permeabilidad del aire y la retención del agua.	-Reduce la producción de patógenos. -Incrementa la microflora y la mesofauna como protozoos, nemátodos, rotíferos y artrópodos.
	-Incremento de los niveles de macro y micronutrientes esenciales.	-Mejora la estabilidad y la estructura del suelo	-Estimula la actividad microbiana.
	-Aumento del contenido de materia orgánica.		-Favorece la coexistencia de diferentes especies de microorganismos.

4.1.4 Sistemas de compostaje

Según **Barrios** los sistemas de compostaje más utilizados a nivel mundial son los siguientes (Barrena, 2006)

4.1.4.1 Pilas volteadas

Se basa en un sistema dinámico extensivo. Se dispone el material en pilas o hileras de forma triangular y se voltea repetidamente durante el proceso. El proceso de volteo oxigena el material y aumenta su grado de mezcla. Se recomienda una altura de pila entre 1,2 - 1,8 m, y un ancho de 2,4 - 3,6 m, para así evitar la compactación del material (Barrena, 2006).

4.1.4.2 Canales

Este es un sistemas dinámico intensivo, que consiste en realizar un compostaje en continuo, donde el residuo fresco es alimentado a través de un canal; el material a compostar se deposita en unos canales de forma rectangular, dichos canales disponen de un sistema de inyección de aire, junto con una máquina volteadora que logra homogeneizar el material haciéndolo avanzar a lo largo del canal (Barrena, 2006).

4.1.4.3 Túneles

Es un sistema estático intensivo, se basa en un túnel cerrado con aireación forzada. Las dimensiones del túnel dependen de la cantidad de material, usualmente son de 4 m de altura, 5-6 m de ancho y 20 m longitud. Al ser un sistema cerrado tiene la ventaja de controlar mejor las condiciones como control de olores, gases. Son instalados usualmente cercanos a ciudades gracias su control de gases y menor espacio requerido para su instalación (Barrena, 2006).

4.1.5 Factores del proceso de compostaje

4.1.5.1 Tamaño de partícula

Entre más pequeño sea el tamaño de partícula más rápido será el proceso de descomposición, ya que tiene mayor superficie disponible para el ataque de los microorganismos. Si el tamaño de partícula es grande el proceso de descomposición será lento o no ocurrirá, se recomienda un tamaño de partícula de 1 a 5 cm (Perez, 2000).

4.1.5.2 Humedad

Está en función de la capacidad de aireación del proceso, cuanto mayor sea el contenido de humedad de los residuos mayor será la captación de oxígeno por parte de las bacterias aerobias implícitas en la descomposición, esta actividad biológica empieza a disminuir a niveles de humedad del 40% y por debajo de 20% prácticamente no habrá actividad (Zamora Cardona & Cristancho, 2008).

4.1.5.3 Aireación

Es necesaria la aireación para proveer oxígeno a los microorganismos y retirar el dióxido de carbono que se produce. Se recomienda la aireación natural mediante el volteo de la masa de compost durante el proceso de elaboración, es importante el oxígeno en la etapa termofílica ya que ayuda a la degradación biológica, controla la temperatura y elimina la humedad del compost. Para garantizar la ventilación se recomienda atravesar los desechos con una estaca central para la adecuada aireación del compost. Una excesiva aireación puede secar el material y disminuir su temperatura, generando así un efecto negativo en la actividad microbiana. La ausencia de aire

causa putrefacción ácida del compost y malos olores ya que desarrolla diferentes tipos de microorganismos no deseados (Perez, 2000) (Zamora Cardona & Cristancho, 2008).

4.1.5.4 Temperatura

Gracias a las propiedades aislantes de los residuos orgánicos dispuestos en pilas, se facilita la retención del calor liberado por reacciones de respiración, alcanzando temperaturas de 60°C a 70°C debido a la actividad microbiana. Microorganismos patógenos y semillas no deseadas son destruidos a una temperatura de 60°C, por lo tanto se considera la temperatura ideal (Castañeda Samayoa, 2008).

4.1.5.5 pH

Este es un parámetro que condiciona la presencia de microorganismos, puesto que a valores muy altos perjudican el proceso (Primavesi 1990), sino por su efecto sobre la concentración de elementos nutritivos a disposición de la planta y la actividad microbiana. Mayea (1992) determina que al inicio del proceso de compostaje, el pH del material orgánico es ligeramente ácido entre 5 y 6 (Primavesi, 2009) (Mayea, 1992).

4.1.5.6 Relación Carbono/Nitrógeno

El proceso de elaboración del compost se define según (Mayea 1992) como una reorganización biológica de las fracciones carbonadas de la MO transformándose en células de millones de microorganismos que necesitan determinada cantidad de nitrógeno y por lo tanto mientras más carbono tienen y más complejas son sus estructuras moleculares, más difícil serán de descomponer. La relación C/N expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno

que contiene algún material. El Carbono es Fuente de energía para microorganismos y el Nitrógeno es necesario para la síntesis proteica. La relación adecuada entre C/N favorecerá un buen crecimiento y reproducción en la planta. Generalmente se considera adecuada una C/N de 20 a 30 para iniciar el proceso de compostaje. La relación C/N final apropiada para uso agronómico está entre 12-15 (Mayea, 1992).

4.1.6 Materia Orgánica Y Carbono en el Suelo

Los suelos están en el corazón de la “zona crítica” de la tierra, la capa exterior delgada entre la parte superior de la copa de los árboles y la parte inferior de los acuíferos subterráneos en que los seres humanos basan la mayor parte de sus recursos. Estos se forman y cambian continuamente durante miles de años en diferentes proporciones y por distintas vías, como material mineral de la descomposición de las rocas es colonizado por plantas y biota del suelo. Esta colonización conduce a la formación de la materia orgánica del suelo (MOS) y de la estructura del suelo, que controla el carbono, nutrientes y el ciclo del agua. Existe en el suelo carbono de ambas formas orgánica e inorgánica. El carbono inorgánico del suelo se deriva del lecho de roca o se forma cuando el CO₂ queda atrapado en forma mineral (ej. como carbonato de calcio). El carbono inorgánico del suelo es mucho menos propenso a la pérdida que el carbono orgánico del suelo. Aunque se puede disolver, bajo condiciones ácidas el carbono inorgánico del suelo no es susceptible a la biodegradación (Victoria, y otros, 2012).

El carbono orgánico del suelo es el constituyente principal de la MOS. La MOS está formada por la descomposición de materiales orgánicos que entran en el sistema suelo a partir de Fuentes por encima del suelo (ej. raíces, biota del suelo). La composición elemental de MOS varía con valores en el orden de 50% de C, 40% O y 3% N, así como menor cantidades de fósforo, potasio,

calcio, magnesio y otros elementos como micronutrientes. La biota del suelo (de microbios a lombrices de tierra) contribuye a la biomasa viva de la MOS mezclando y descomponiendo la materia orgánica a través de reacciones físicas y bioquímicas. Estas reacciones bioquímicas liberan carbono y nutrientes de vuelta al suelo, y gases invernadero como CO_2 , N_2O y CH_4 a la atmósfera (Victoria, y otros, 2012).

El manejo del suelo puede afectar el equilibrio relativo de estos procesos y sus impactos ambientales. Como MOS se descompone, algo de carbono se mineraliza con rapidez a CO_2 y se pierde del suelo. La MOS también se puede perder por erosión física del suelo. El nitrógeno orgánico contenido en la biodegradación de la MOS se transforma en otros compuestos de óxido de nitrógeno NO_x y N_2O . Sin embargo, algunas fracciones de la MOS no se degradan fácilmente, por lo tanto, el contenido de carbono orgánico en el suelo tiende a aumentar a medida que el suelo se desarrolla sin perturbaciones con el tiempo. En suelos saturados de agua, MOS puede incluso acumular capas gruesas de turba. La MO se une a minerales, en particular de partículas de arcilla, un proceso que protege más carbono. La MO también proporciona resistencia cohesiva al suelo, mejora la fertilidad, el movimiento de agua y la resistencia a la erosión. (Victoria, y otros, 2012)

4.1.7 Nitrógeno

El Nitrógeno es un componente esencial de las células vivas y se encuentra principalmente en las partes jóvenes de la planta en estado de crecimiento, la planta lo absorbe por las raíces o por las hojas en forma de NO_3 y NH^{+4} , dentro de la planta se reduce y transforma en carbohidratos y finalmente en proteínas. Además el Nitrógeno es un constituyente esencial de la molécula de la

clorofila, por lo tanto influye en la coloración del follaje y en el tamaño de las cepas de la caña de azúcar (Quintero Duran, 1995).

Deficiencia de Nitrógeno: La deficiencia de N se manifiesta, en la planta, por la coloración verde amarilla, especialmente en las hojas inferiores. Cuando la deficiencia es crítica las puntas de las hojas se secan y este secamiento avanza hacia la parte media de la hoja por la nervadura central. Se observa poco desarrollo de las cepas y escaso número de tallos por metro lineal (Quintero Duran, 1995).

Requerimientos de Nitrógeno: Según Quintero Durán en sus estudios de Fertilización y Nutrición, el N es el elemento que más limita la producción del cultivo de caña de azúcar. Las principales características del suelo que influyen en la aplicación de N son: el contenido de M.O., el drenaje y la profundidad del nivel freático. Los mayores requerimientos de este se han encontrado en suelos con bajos contenidos de M.O., muy pobremente drenados y con niveles freáticos muy superficiales en algunas épocas del año. En general la aplicación de nitrógeno en el suelo aumenta su contenido y disminuye el de potasio en el tejido de la lámina foliar (Quintero Duran, 1995).

4.1.8 Macronutrientes en el suelo y la planta.

4.1.8.1 Potasio K en el suelo y la planta.

El potasio que se encuentra presenta en el suelo aparece por descomposición y desintegración de las rocas que contienen minerales potásicos. Se consideran generalmente como Fuente de potasio a los feldspatos potásicos $\text{Si}_3\text{O}_8\text{AlK}$, la biotita $(\text{SiO}_4)_3\text{Al}_2(\text{MgFe})_2(\text{HK})_2$, la moscovita $(\text{SiO}_4)_3\text{H}_2\text{Al}_3\text{K}$. A este potasio mineral se le incluye también el potasio originado por la

descomposición de residuos vegetales y animales (Acurio, Rossin, Paulo, & Zepeda, 1997) (Navarro & Navarro, 2003).

El contenido de potasio en el suelo que se encuentra como K_2O varía de 0.5 a 3 % y depende de su textura, la fracción arcillosa presenta un mayor contenido (Navarro & Navarro, 2003).

En función del beneficio para las plantas, el potasio en el suelo se clasifica en tres clases:

1. *Potasio no asimilable*: Entre el 90-98 % del potasio total en el suelo está en formas no productivas para la planta. Dicho porcentaje se encuentra formando parte de las estructuras y redes cristalinas de minerales primarios, en los cuales el potasio es sutilmente soluble. Pero con el tiempo y debido a la acción de diferentes procesos; hidrólisis, acidificación, disolución entre otros, son poco a poco degradadas para dar lugar a otras formas más aprovechables para el suelo (Navarro & Navarro, 2003).
2. *Potasio rápidamente asimilable*: Cerca del 1- 2% del total de este elemento en un suelo es asimilable. Presente en dos formas, la mayor parte en forma intercambiable (90%), y solo un 10% en disolución (Navarro & Navarro, 2003).
3. *Potasio lentamente asimilable*: Parte del potasio rápidamente asimilable que se indicó anteriormente no solo es absorbido, sino que transitoriamente puede ser retenido por determinadas arcillas, donde los K^+ quedan suelen quedar atascados entre las láminas cristalinas de estos minerales por lo que no pueden ser utilizados por la planta, lográndose depósitos de potasio lentamente asimilable (Navarro & Navarro, 2003).

El potasio puede presentar pérdidas en el suelo, por lixiviación, extracción por los cultivos y erosión. En suelos gruesos o arenosos se presenta mayor pérdida de potasio por drenaje que en suelos arcillosos, ya que los suelos arcillosos tienen una mayor capacidad de cambio catiónico que el suelo arenoso, por lo tanto, puede retener una mayor cantidad de potasio. Se considera que

las pérdidas entre 20 y 25 Kg K₂O/Ha son corrientes en suelos de regiones húmedas moderadamente fertilizados. Para absorción de potasio por las plantas se dan como valores normales entre 75 y 110 Kg/Ha K₂O. Por efecto de la erosión puede haber grandes pérdidas de potasio, la separación selectiva de partículas finas reduce la porción de suelo superficial que es la más importante para proveer potasio a la planta. Según (Navarro 2003) en algunos suelos de Estados Unidos se han alcanzado pérdidas anuales de hasta 158 Kg/Ha por erosión (Navarro & Navarro, 2003).

4.1.8.2 El magnesio en la plata y en el suelo

El magnesio tiene una abundancia en la corteza terrestre aproximadamente del 2.3%. Es constituyente de minerales, mayormente silicatos como; biotina (Si₃O₁₀AlK(MgFe)₃(OH)₂), serpentina (Si₂O₉Mg₃H₄) y olivino (SiO₄FeMg). Además algunos suelos contienen Mg como magnesita (CO₃Mg) y dolomita (CO₃Ca.CO₃Mg) (Navarro & Navarro, 2003) (Kolmans & Vásquez, 1999).

Dada la descomposición de estos minerales y la degradación de la materia orgánica adicionada al suelo, el Mg pasa la mayor parte en estado de sal soluble. Por lo tanto se destaca que como en el caso del K, el Mg permanece en formas inaprovechables por la planta, de igual manera se distribuye en el suelo como magnesio lentamente asimilable, asimilable y rápidamente asimilable. (Navarro & Navarro, 2003) (Kolmans & Vásquez, 1999).

Ahora bien, el papel que juega el magnesio es vital, puesto que desempeña funciones esenciales en la planta, como formar parte en la composición de los pigmentos verdes, síntesis de los constituyentes orgánicos, utilización de la energía solar. El magnesio es absorbido por la

planta como Mg^{+2} , y en ella se encuentra generalmente un promedio de contenido total del orden 0.5% en peso seco. (Navarro & Navarro, 2003) (Kolmans & Vásquez, 1999).

4.1.8.3 El Sodio en la plata y en el suelo

El sodio procede de los minerales silicatados, como hornblenda y moscovita. Los más ricos son los que durante mucho tiempo se han encontrado inundados por el agua del mar, suelos abonados regularmente con fertilizantes sódicos (Navarro & Navarro, 2003).

El sodio es muy lixiviable, y es llevado al mar por el agua de los ríos. De allí puede retomar al suelo, principalmente en las zonas costeras gracias a la acción del viento. Regiones con clima húmedo y semihúmedo presentan bajo contenido de sodio, debido a su baja energía de adsorción puede ser fácilmente lixiviado a horizontes profundos del suelo por las lluvias. Del mismo modo, los iones de sodio son menos fijados por los minerales arcillosos que los iones de potasio. Sin embargo, niveles elevados de sodio pueden desplazar al calcio y al potasio, deteriorando la estructura del suelo. (Navarro & Navarro, 2003)

En las regiones áridas, algunos suelos se desarrollan bajo pobres condiciones de drenaje, y se evapora más agua que la que se capta por la lluvia, por dichas condiciones el sodio absorbido puede acumularse en cantidades elevadas en el horizonte e impedir el crecimiento de las plantas, dichos suelos se denominan halomòrficos, y se clasifican en tres clases:

Los suelos salinos contienen una concentración relativamente alta, compuesta principalmente de cloruros, sulfatos y, en algunas ocasiones, nitratos. Los principales cationes presentes son: calcio, magnesio y sodio. Menos del 15% de la capacidad catiónica intercambiable de estos suelos está ocupada por Na^+ . Frecuentemente se acumulan costras blancas sobre la superficie y,

de ahí que se conozcan en las publicaciones más antiguas con el nombre de "álcalis blancos" (Navarro & Navarro, 2003).

Los suelos salino-sódicos también se caracterizan por su alta concentración de sales solubles, pero se diferencia de los salinos en que su porcentaje de sodio intercambiable es >15 (Navarro & Navarro, 2003).

Los suelos sódicos no contienen gran cantidad de sales solubles neutras, pero el porcentaje de sodio adsorbido es superior a 15. Los suelos sódicos ejercen un efecto desfavorable sobre las plantas. Su alta alcalinidad, inducida por el carbonato y bicarbonato sódico la toxicidad de estos aniones, y el exceso de Na activos, son las principales causas a destacar sobre el metabolismo vegetal (Navarro & Navarro, 2003).

Las plantas se dividen en natrofilicas (K puede ser reemplazado por el Na sin un efecto sobre el crecimiento) y natrofóbicas (K puede ser reemplazado en muy pequeña cantidad por el Na afectando el crecimiento) de acuerdo a su tolerancia al Na^+ . El sodio es móvil dentro de la planta y comparado con otros nutrientes como el potasio y el magnesio tiene un significado secundario dentro de la nutrición de la planta. (TM)

El ion Na puede activar parcialmente enzimas (ADP-glucosapirifosforilasa) dentro del metabolismo de la planta (síntesis del almidón) que también pueden ser activadas por iones K. (Navarro & Navarro, 2003)

Se ha determinado un positivo efecto de la aplicación de fertilizantes sódicos en especies natrofilicas (p. ej. Chenopodiaceen). La remolacha azucarera, el cultivo más importante dentro de este grupo, es el ejemplo más conocido sobre su relativa alta demanda de sodio. Aquí el sodio fomenta la formación de fructuosa y su transformación en glucosa, la cual es acumulada en la remolacha. (Melgarejo, Romagosa, & Duran, 2014)

El sodio estimula el crecimiento a través del alargamiento celular y en caso de deficiencia de potasio funciona como un soluto osmóticamente activo. La deficiencia de sodio causa en especies natrofilicas clorosis y necrosis, e inclusive puede impedir la formación de flores (Navarro & Navarro, 2003).

Para la recuperación de los suelos sódicos es preciso disponer de un buen drenaje y aplicación de agua suficiente para lixiviar el exceso de sales, este proceso puede acelerarse mediante la aplicación de sulfato cálcico (yeso). (Ellington, y otros, 2015)

4.2 Análisis estadístico

La implementación y estandarización de un método es importante ya que un resultado analítico debe ser lo suficientemente confiable para tomar una decisión basada en él, por lo tanto el rendimiento del método y la incertidumbre sobre el resultado deben tener un determinado nivel de confianza; para esto se utilizan unos parámetros estadísticos de vital importancia para la verificación de resultados en cualquier tipo de análisis analítico, aplicando los siguientes conceptos (Sandoval, 2010):

Precisión: Indica la medida del error aleatorio, es decir el grado de unanimidad entre los datos que se han obtenido de una misma manera. Este parámetro contiene dos niveles importantes para su evaluación que son: la repetitividad que se da en las mismas condiciones del método en un intervalo de tiempo definido y la reproducibilidad expresa la similitud de resultados entre distintos analistas o laboratorios (Sandoval, 2010).

Exactitud: Es la aproximación entre el valor obtenido experimentalmente y el valor real obtenido en la literatura (Sandoval, 2010).

Coefficiente de variación: Es la desviación estándar dividida por la media, entre más pequeño es el coeficiente de variación, más precisa son las medidas (Sandoval, 2010).

Límite de detección: Es la mínima concentración que se detecta a un nivel de confianza otorgado, es decir depende de la relación entre la señal analítica y el valor de las diferentes señales que presenta el blanco (Sandoval, 2010).

Límite de cuantificación: Es la menor concentración de analito que se detecta y da una señal más grande que el blanco (Sandoval, 2010).

Linealidad: Hace referencia a la proporción entre la concentración y la señal que da el instrumento y se verifica mediante el método que se esté trabajando (Sandoval, 2010).

Validación: Verificación de determinados parámetros de un método en la que los requisitos demuestran que el método es verídico y confiable (Sandoval, 2010).

Incertidumbre: Parámetro asociado al resultado de una medición que caracteriza la dispersión de los valores en el método; se evalúa a partir de la distribución estadística de la cantidad de valores de una serie de mediciones que se pueden caracterizar a partir de sus desviaciones (Sandoval, 2010).

Error aleatorio: Es el error que se produce debido a efectos analíticos durante el proceso de medición, en su mayoría son numerosos y pequeños (Sandoval, 2010).

Intervalo de trabajo: Es el intervalo entre el nivel más bajo y más alto de concentración. Ha sido demostrado que puede ser determinado con la precisión y exactitud requeridas para una determinada matriz (Sandoval, 2010).

Porcentaje de recuperación: Es la capacidad de un procedimiento analítico para determinar cuantitativamente una especie química que ha sido adicionada a una muestra (Sandoval, 2010).

Sensibilidad: Es la medida de la capacidad de diferenciar pequeñas variaciones en la concentración del analito, dependiendo principalmente de dos factores importantes como la pendiente de la curva de trabajo y la reproducibilidad del método (Sandoval, 2010).

Grados de libertad: Se refiere al número de desviaciones independientes que se utilizan en un método (Sandoval, 2010).

4.3 Marco de antecedentes

El proceso de compostaje a partir de desechos orgánicos no es propiamente nuevo, puesto que es una práctica muy tradicional que pasa de generación en generación en Asia (Mayea, 1992). Históricamente el uso de materiales se relaciona forma directa con la productividad y fertilidad de suelos agrícolas. La técnica de compostaje se dio a conocer gracias a las observaciones del profesor F.H.King en 1909 y los experimentos de Sir Albert Howard, considerado el padre de la producción científica de compost, realizados en Indore, India entre 1905 y 1934. Éste método se aplicó por primera vez en Kingatori, Kenya 1933, produciendo buenos resultados y siendo adoptado por empresas, agricultores y horticultores de todo el mundo. (FAO, 2013)

La industrialización del compostaje se da como solución a la necesidad de crear procesos óptimos para manejar las cantidades desorbitantes de basuras producidas en ciudades con alto consumismo. La FAO argumenta que los países del cercano oriente (29 países) son los que mantienen el interés por dichos procesos, dado que disponen de los recursos económicos, que ponen a disposición para recuperar suelos desérticos (FAO, 2013) (Navarro & Navarro, 2003)

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.

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 (Area Metropolitana de Bucaramanga, 2005).

4.4 Marco Legal

En Colombia, se inició la legitimación de la agricultura alternativa a través de la Resolución 544 de 1995, al reconocer la categoría de ecológicos para todos los productos orgánicos, biológicos y ecológicos, caracterizados por ser productos agrícolas elaborados sin utilizar sustancias químicas de síntesis. Esta resolución fue reemplazada en 2002 por la 0074 en la que se determina los requisitos para obtener productos sin trazas de compuestos de síntesis química y sin riesgos ambientales ; además del reglamento para la producción, procesamiento, empaçado,

etiquetado, almacenamiento y comercialización de productos agropecuarios ecológicos (Decreto 838, 2005).

La resolución ICA 00150 del 2003 por el cual se adopta el reglamento técnico de fertilización y acondicionadores de suelos para Colombia, como un sistema de registro y control adoptado con bases en estándares internacionales, para la condiciones de producción, comercialización, utilización y disposición final, elevando los niveles de calidad, eficiencia y salubridad. (Decreto 838, 2005)

La norma técnica colombiana NTC 5167 del 2011: productos para la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo. Donde se reglamentan los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros fisicoquímicos se deben cumplir, junto con los límites permisibles de metales pesados y análisis microbiológicos. (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificaciones, 2004)

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. Por ende, 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 como se observa la tabla 2 (Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificaciones, 2004).

Tabla 2. *Parámetros fisicoquímicos a garantizar según la NTC 5167 de abonos o fertilizantes orgánicos sólidos.*

Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar
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

De la misma manera como la legislación Colombiana estipula los valores estándar de los parámetros fisicoquímicos de los abonos orgánicos, En Europa, la agricultura ecológica se rige por el Reglamento europeo (CE) N°834/2007 y sus reglamentos de aplicación (CE) N°889/2008 y (CE) N°1235/2008 .Por lo cual España también propone valores estándares para abonos orgánicos, la normatividad nacional española del real decreto 506 del 2013 “ sobre productos fertilizantes” 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 la tabla 3, que confronta los

parámetros fijos de las normas de cada país (Ministerio de la Presidencia, 2013) (Instituto Nacional de Normalización, 2004).

Tabla 3. Comparación de parámetros físico químicos de, Colombia, Chile y España.

Parámetros	Norma Colombiana	Norma Chilena	Norma Española
Nitrógeno	> al 1%	Contenido \geq 0,8% del contenido total de nitrógeno	> al 1%
Humedad	Máximo 30%	\geq 25%	Entre 30% y 40%
C/N	-	Tipo A de 10 a 25 y tipo B de 10 a 40	\leq 15%
K			> al 1%
pH	> 4 y < 9	Entre 5 y 7,5	-
Materia Orgánica	Mínimo el 15%	Tipo A \geq 45 y tipo B \geq 25	Gallinaza y abono orgánico: 35%. Lombrinaza: 40%. Turba: 45%

Fuente: Autores

5. Diseño metodológico

5.1 Aspectos generales

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

5.1.1 Disolventes y reactivos

Los reactivos utilizados para cada análisis, nombre de su empresa y pureza se observan en el siguiente cuadro.

Tabla 4. *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 ₃ PO ₄)	Merck	85 %
Ácido sulfúrico concentrado (H ₂ SO ₄)	Carlo Erba	96%
Dicromato de potasio (K ₂ Cr ₂ O ₇)	Carlo Erba	
Difenil amina	Merck	99,9 %
Sulfato Ferroso amoniacal (Fe(NH ₄) ₂ (SO ₄) ₂ *6H ₂ 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%

5.1.2 Instrumentos y equipos

Los instrumentos y equipos que se emplearon en el desarrollo de la investigación fueron: balanza analítica (*Pioneer TM OHAUS*), cabina de extracción de gases y humos (*Multingeniería*

Ltda.), montaje Kjeldah (E&Q), Fully Automatic Digestion Unit (*VELP scientifica*), equipo de absorción atómica thermo Solar ICE 300

5.2 Metodología experimental

Para el desarrollo del presente trabajo de grado se realizaron las siguientes etapas experimentales.

5.2.1 Obtención de los abonos orgánicos.

Las muestras de abonos fueron adquiridas en diferentes lugares del área metropolitana de Bucaramanga. Se adquirieron 4 tipos de abonos orgánicos teniendo en cuenta la composición del compost. Capote, Gallinaza, Humus, como muestras comerciales. Se preparó un abono Orgánico (Limal) en las instalaciones de la planta piloto de residuos biodegradables de la Universidad Santo Tomás Bucaramanga.

El abono orgánico capote es hecho por el vivero EL BOSQUE, 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 1. Abono Capote

Fuente: Autores

El abono orgánico humus es una sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de la naturaleza, principalmente de hojarasca y restos orgánicos de organismos.



Figura 2. Abono Humus

FUENTE: Autores

Como abono de referencia se utilizó una marca comercial obtenida en un almacén de cadena de Bucaramanga. El abono cuenta con una tabla de composición nutricional que se compone de pH, cenizas, Aluminio (Al), Nitrógeno (N), fósforo (P), Calcio (Ca), Cobre (Cu).



Figura 3. Abono Orgánico El Jardín

Fuente: Autores

Tabla 5. Composición Abono orgánico comercial “el jardín”.

PARÁMETRO	UNIDAD
pH	7.5
Nitrógeno (N)	3.30 %
Fosforo (P)	8.58 %
Potasio (K)	4.92 %
Magnesio (Mg)	1.47 %
Calcio (Ca)	21.61 %
Cobre (Cu)	0.0103 %
Aluminio (Al)	1.92 %

Para la fabricación del abono de la Planta Piloto de Residuos Biodegradables 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 y estiércol bovino de la Universidad Santo Tomás.



Figura 4. Abono Limonal

Fuente: Autores

Una vez seleccionadas las muestras se procedió a realizar el análisis y determinación de los parámetros fisicoquímicos pH, humedad, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total, fósforo total 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 en el laboratorio de investigaciones ambientales de la universidad Santo Tomás.

5.3 Preparación de las diferentes muestras de abono

La preparación o pre tratamiento 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 0,5 mm) y se conservó en bolsas ziploc, hasta su posterior análisis.

5.4 Análisis fisicoquímicos de los abonos orgánicos

5.4.1 pH

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 dónde fueron añadidos 90 mL de agua destilada. Se mezcló con agitador magnético durante 10 minutos, luego se dejó reposar la solución durante 1 hora. Finalmente se procedió a la lectura directa con pHmetro.



Figura 5. Determinación pH

Fuente: Autores

5.4.2 Determinación de humedad

Para la determinación del porcentaje de humedad relativa en las muestras de abono, se usó el método gravimétrico. Se pesaron aproximadamente entre 50-100 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, seguidamente, se pesó en la balanza analítica con 4 cifras.

Se calculó el porcentaje de humedad por medio de la diferencia de pesos, utilizando la Ecuación 1.

Ecuación 1 Determinación de humedad

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

5.4.3 Determinación de Carbono Orgánico Oxidable Total.

Se usó el método de Walkely Black para la cuantificación del carbono orgánico oxidable del abono orgánico. 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 $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$. Se pesó 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 erlenmeyer 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 2 para calcular el % de carbono orgánico.

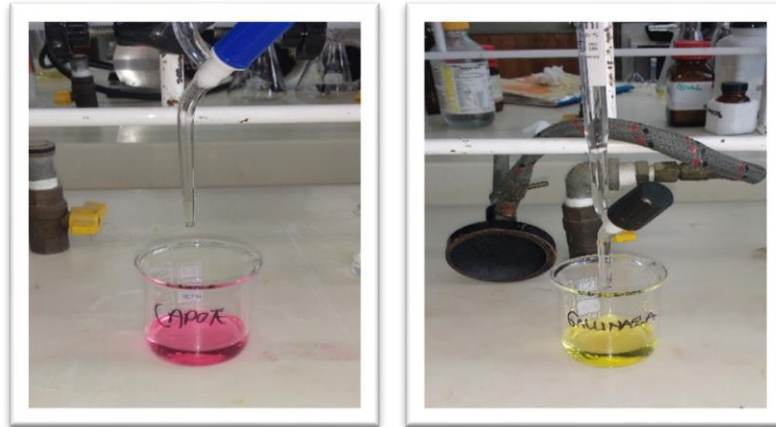


Figura 6. Determinación de Carbono orgánico oxidable total

Fuente: Autores

Ecuación 2 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 3 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

5.4.4 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. La digestión de las muestras se realizó en el equipo Fully Automatic Digestion Unit (VELP scientifica), se preparó una mezcla de catalizadores 10,4 g KSO_4 + 0,3 g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ + 0,3 TiO_2 para agilizar la reacción. Se adicionó al tubo de digestión 15 mL de H_2SO_4 concentrado, 1 g de muestra y 0,2 g del catalizador. Luego, se programó el equipo de digestión (Fully Automatic Digestion Unit (VELP scientifica)) para determinar nitrógeno total (400°C por 60 minutos). Seguidamente, se dejó enfriar, se adicionaron 25 mL de agua destilada, 4 granallas de zinc y se agregaron 7,5 g 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.



Figura 7. Determinación de Nitrógeno

Fuente: Autores

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 4.

Ecuación 4 Determinación de Nitrógeno Total

Si el ácido estándar es HCl:

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

Si el ácido estándar es H₂SO₄:

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

Siendo:

M = Molaridad

5.5 Determinación de Nutrientes K, Na, Mg en muestras de compost.

Para la digestión de las muestras se tuvo en cuenta la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 "Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo", el numeral 6.6.3.3.2. El montaje que se utilizó para la digestión fue un sistema de reflujo acoplado a microondas y una trampa de gases scrubber.

El procedimiento consistió en pesar 0,5 g de muestra de abono en un balón de fondo redondo de 100 mL, se adicionó 2 mL H_2O_2 y 6 mL de HNO_3 , se acopló el balón al montaje de digestión de microondas y se activó el microondas 4 minutos. Se dejó enfriar por 2 minutos aproximadamente y se esperó a que los gases fueran absorbidos por la trampa. Se hicieron 3 reflujos de 4 minutos. Se filtró la muestra y se aforó el filtrado en balones de 250 mL.

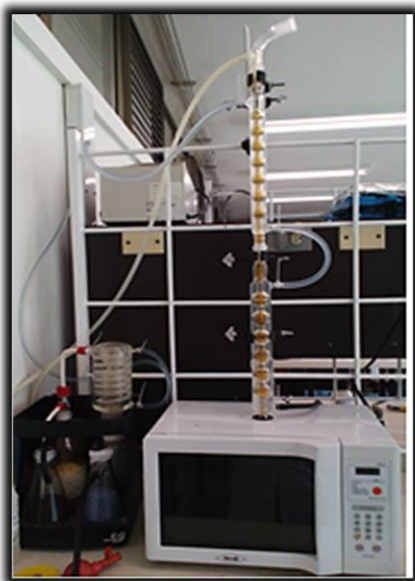


Figura 8. Montaje digestión

FUENTE: Autores

5.6 Técnica Analítica.

Para el análisis de sodio y magnesio en abonos orgánicos se utilizó la técnica de AAS por llama, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica marca Thermo Solar Ice 3000, para la cuantificación de los metales en estudio se realizó curvas de calibración empleando patrones

de referencia. Los patrones de referencia se prepararon a partir de un patrón de 1000 ppm de Na y Mg marca Panreac.



Figura 9. Equipo de Emisión y Absorción atómica

FUENTE: Autores

Para el análisis de potasio en abonos orgánicos se empleó la técnica fotometría de llama, utilizando un espectrofotómetro de emisión atómica marca Thermo Solar Ice 3000, para la cuantificación de los metales en estudio se realizó curvas de calibración empleando patrones de referencia. Los patrones de referencia se prepararon a partir de un patrón de 1000 ppm de Potasio marca Panreac.

Para la implementación de la técnica analítica se tuvieron en cuenta parámetros estadísticos como: Rango lineal, límite de detección, límite de cuantificación, desviación (Sandoval, 2010).

Los parámetros que se utilizaron para el análisis de los analitos de interés fueron los recomendados en el manual del programa SOLAAR del equipo.

Tabla 6. *Parámetros de operación del equipo de absorción atómica.*

Lámpara	Mg	Na	K
Longitud de onda nm	285.2	589	766.5
Gas combustible/oxidante (L/min)	Aire/Acetileno o Flujo:1.1	Aire/Acetileno Flujo:0.9	Aire/Acetileno Flujo:1.1
Mechero (mm)	50	50	50

5.7 Implementación del método analítico

Para la implementación de la técnica analítica en el laboratorio de investigación de la Universidad Santo Tomás para el análisis de K, Na, Mg en abonos orgánicos, se tuvo en cuenta las recomendaciones del handbook "*Methods In Agricultural Chemical Analysis*". (Testing Methods for Fertilizers;, 2013) (Faithfull, 2002)

Para realizar la implementación del método analítico se optimizaron condiciones y parámetros instrumentales como el flujo de combustible, altura de mechero, gases y curva de calibración para la lectura de las muestras. Además, se hizo una evaluación sistemática de los factores que influyen en los resultados a partir de las pruebas de repetitividad y reproducibilidad, también se evaluó incertidumbre del método a partir de la linealidad, precisión, exactitud de los datos y la realización de la prueba t para determinar el límite de detección y cuantificación con el fin de garantizar la confianza del método implementado.

El cálculo de los parámetros límite de detección del método, límite de cuantificación, rango lineal y porcentaje de recuperación se realizó de la siguiente forma:

Límite de detección (LD): para determinar el LD se analizaron 10 veces el blanco y se calculó el promedio, desviación estándar, intervalo lineal, coeficiente de variación y el porcentaje de

error. Para la prueba t-Student, se calculó el valor mínimo, valor máximo, T bajo, T alto, y estos datos se compararon con el valor de la distribución t al 99% (para 10 datos es 2,76) y el valor t para n-1 grados de libertad (para 10 datos es 3,25).

Límite de cuantificación: para determinar el límite de cuantificación se añadió a la muestra blanco una concentración conocida del analito de interés y que fuera por encima del límite de detección, se analizaron 10 veces y se calculó el promedio, desviación estándar, coeficiente de variación, porcentaje de error. Para la prueba t-Student, se calculó el valor mínimo, valor máximo, T bajo, T alto, y estos datos se compararon con el valor de la distribución t al 99% (para 10 datos es 2,76) y el valor t para n-1 grados de libertad (para 10 datos es 3,25).

Linealidad: se debe tener en cuenta la proporcionalidad entre la concentración del analito y la señal producida por el equipo, se mide con el coeficiente de determinación R^2 .

Adicionalmente a las muestras de suelo se les calculó el porcentaje de recuperación adicionando un patrón conocido y se determinó la concentración en la muestra no adicionada y la concentración adicionada en la muestra y se expresó en porcentaje (tabla 7).

Tabla 7. *Parámetros estadísticos para la implementación del método*

Parámetros Estadísticos	Ecuaciones
Promedio	$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$
Desviación estándar	$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$
Error relativo	$E_r = \frac{(CT - CE)}{CT} \times 100,$ <p>Dónde: C_T: Concentración teórica C_E: Concentración experimental</p>
T _{bajo}	$T_{bajo} = \frac{\bar{X} - min}{S},$ <p>Dónde: min es el valor mínimo obtenido en el total de las muestras</p>
T _{alto}	$T_{alto} = \frac{\bar{X} - max}{S},$ <p>Dónde: Máx. es el valor máximo obtenido en el total de las muestras</p>
Límite de detección del método	LDM: $ \bar{X} + 3 \times S$

6. Resultados y discusión

6.1 Determinación del pH

El análisis de pH se realizó por cuadruplicado siguiendo la metodología 5.4.1 pH y los resultados obtenidos en el laboratorio para las diferentes muestras de abonos se expresan en la tabla 8 y

Apéndice A. Resultados pH.

Tabla 8. *Determinación del pH en las diferentes muestras de abono*

Relación suelo: Agua	
MUESTRAS	DILUCIÓN 1:10
Limal	7.66 ± 0.00
Capote	8.01± 0.01
Abono orgánico comercial	6.46 ± 0.01
Humus	8.40± 0.00

Según la NTC 5167 los abonos orgánicos fertilizantes sólidos deben tener un pH entre 4 y 9, lo cual quiere decir que las cuatro muestras Limal, Abono orgánico comercial, Capote y humus cumplen con este parámetro. El abono orgánico comercial presento un pH ligeramente ácido de 6.46 valor que no es acorde al que establece en la tabla 7.5 que lo haría ligeramente básico. Mientras los otros 3 abonos presentaron un pH ligeramente básico, el más básico de los tres fue el Humus y el menos básico el Limal. 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.

6.2 Determinación de la humedad relativa.

Para la determinación de la humedad relativa de las muestras de abonos orgánicos se empleó el método gravimétrico de acuerdo al procedimiento. Este análisis se realizó por cuadruplicado y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 9 y Apéndice B. Resultados humedad. 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.

Tabla 9. *Determinación de Humedad en las diferentes muestras de abono.*

MUESTRA	% HUMEDAD	NTC 5167
Limal	40 ± 0.65	Max 30%
Capote	51 ± 0.51	Max 30%
Abono orgánico comercial	16 ± 0.13	Max 20%
Humus	53 ± 0.09	Max 30%

Como se observan los resultados en la tabla 9 el único abono que cumple con la NTC 5167 es el Abono orgánico comercial, los demás pasa el máximo permitido de humedad, el humus tiene el mayor contenido de humedad (53%), debido a que su preparación se realiza en un ambiente húmedo.

El capote tiene un contenido de humedad del 51%, un valor significativamente alto. Esto se debe a que su proceso utiliza de materia orgánica con un alto contenido de humedad hojas secas, tallos y raíces cuya función es retener agua. La muestra el Limal presentó una humedad del 40%, esto se debe a la adición de agua durante el proceso de compostaje para el control de humedad y temperatura. Finalmente, la muestra de Abono orgánico comercial fue la de menos contenido de humedad con 16%, esto se debe a la adición de material seco para el control de lixiviados.

6.3 Determinación de carbono orgánico oxidable total.

Para llevar a cabo la determinación de carbono orgánico oxidable total se utilizó del método Walkey Black planteado en la metodología 5.4.3 Determinación de Carbono Orgánico Oxidable

Total. Este análisis se realizó por cuadruplicado y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 10 y Apéndice C. Resultados Carbono.

Tabla 10. *Resultados del porcentaje de carbono orgánico oxidable total*

MUESTRAS	% CARBONO OXIDABLE TOTAL	NTC 5167
Limal	20.48 ± 0.07	15% Mínimo
Capote	38.32 ± 0.07	
Abono orgánico comercial	34.11 ± 0.01	
humus	26.13 ± 0.15	

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 la tabla 10 están dentro de rango de confiabilidad de los resultados obtenidos.

Las muestras presentan un contenido de carbono orgánico por encima del contenido mínimo que establece la norma entre 20.48% y 38.32%. El contenido de carbono orgánico oxidable fue mayor en la muestra de Capote, puesto que su composición es netamente materia orgánica como hojas secas, raíces, tallos secos y humus, seguido del Abono orgánico comercial. Las muestras Limal, y Humus presentan el menor contenido de carbono.

6.4 Determinación de nitrógeno total.

Se determinó el nitrógeno total por el método Kheldajl siguiendo el procedimiento 5.4.4 Determinación de Nitrógeno total en materiales clasificados como orgánicos y orgánicos minerales, 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 la tabla 11 y Apéndice D. Resultados Nitrógeno.

Tabla 11. *Resultados del porcentaje de nitrógeno total por el método Kheldajl.*

MUESTRAS	% NITROGENO TOTAL	NTC 5167
Limonal	1.79 ± 0.09	Mayor al 1,0%
Capote	0.84 ± 0.11	
Abono orgánico comercial	0.53 ± 0.09	
Humus	1.23 ± 0.09	

Según los resultados obtenidos el porcentaje de nitrógeno solamente las muestras Limonal y Humos cumplen con la NTC 5167, que recomienda un contenido de nitrógeno superior al 1%. Las muestras Capote y Abono orgánico comercial están por debajo de la norma. Las muestras con mayor porcentaje de nitrógeno son Limonal y Humus, mientras que Capote y Abono orgánico comercial presentan bajo contenido de nitrógeno. Cabe resaltar que el Abono orgánico comercial reporta un en su etiqueta un contenido de nitrógeno de 3.3 %, valor que no concuerda con el 0.53% obtenido. Esto evidencia que la composición de las muestras de abono no es constante.

6.6 Relación carbono y nitrógeno (c/n).

Esta relación es muy importante, debido a que permite actividad microbiana, acelerando 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 lo 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.⁷ 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 tabla 12

Tabla 12. *Resultados relación carbono nitrógeno (C/N).*

MUESTRAS	C/N
Limal	11.4
Capote	45.6
Abono orgánico comercial	64.4
Humus	21.2

Para abonos orgánicos sólidos la NTC 5167 no tiene un valor establecido para la relación C/N, sin embargo, la norma recomienda que el porcentaje de carbono orgánico mínimo 15% y el porcentaje de nitrógeno sea mínimo 1%, de tal forma que la relación C/N mínima de 15. Algunos autores consideran que una relación C/N entre 15 y 20 produce una correcta liberación de nitrógeno, mientras que valores por encima o por debajo de esta cifra, provocan liberaciones muy escasas o excesivas de nitrógeno.

De acuerdo a los resultados obtenidos (Tabla 12) las muestras con mayor relación C/N son Abono orgánico comercial y Capote esto es debido a su bajo porcentaje de nitrógeno y alto contenido de carbono, mientras las muestras Limal y Humus tienen la relación C/N más baja, esto es debido a que son las muestras de mayor porcentaje de nitrógeno y menor contenido de nitrógeno. Según la NTC 5167 el abono Limal es el único que cumple con la relación C/N.

6.7 Determinación de macronutrientes sodio, potasio y magnesio.

Determinación de Sodio (Na): A continuación, se pueden observar los resultados que se obtuvieron para la implementación de la técnica de análisis de sodio en abonos:

6.7.1 Límite de detección y cuantificación

El primer paso para la implementación del método, fue calcular el límite de detección y el límite de cuantificación. Para la determinación del límite de detección se realizó diez veces la lectura del blanco (H₂O + KI 2% + HNO₃ 1 M) (Apéndice E. Absorbancias de blancos: determinación límite de detección)

Tabla 13. *Parámetros estadísticos para la determinación del límite de detección de Na*

Promedio	-0.0009
Desviación estándar	0.0007
Coefficiente de variación, %	-80.5
Número de datos	10

En los resultados obtenidos se observa precisión por las réplicas de la muestra blanco (Apéndice E), lo cual se ve reflejado por el grado de concordancia de los datos, expresado en términos de desviación estándar y coeficiente de variación. En la tabla 13, se observa que el promedio de los datos es -0,0009 el cual es cercano al cero de absorbancia. La desviación estándar y el coeficiente de variación demuestran que los datos obtenidos son precisos y

confiables, ya que se encuentra dentro del rango menor al 10% para el coeficiente de variación y para la desviación estándar es < 1 .

En la tabla 14, se puede observar que el valor mínimo de los datos es -0,002 y el valor máximo es 0,000. El intervalo de confianza es bueno ya que el valor mínimo y máximo se encuentra dentro de las lecturas realizadas en la absorbancia (Apéndice E).

Tabla 14. *Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LD de Na*

	ENSAYO
Valor mínimo	-0,002
Valor máximo	0.000
Intervalo de confianza (95%)	(-0.002) – (0.000)

Adicionalmente, se realizó el análisis del t-Student, el cual nos ayuda a evaluar la estimación de la incertidumbre de medición del equipo y poder garantizar la efectividad del método que se implementó, y la efectividad del límite de detección a través de esta prueba (tabla 15).

Tabla 15. *Prueba t – Student. Datos estadísticos LD de Na*

T_{bajo}	1.66
T_{alto}	-1.24
T_{Teórico 95%}	2.18

Con estos datos se determinó si la diferencia es significativa entre las muestras blanco (Apéndice E); para esto se procedió a calcular el T_{bajo}, T_{alto} y se comparó con el T_{Teórico} (T95%) (Apéndice M). e puede observar con claridad que los valores T_{bajo} y T_{alto} no superan el valor T_{teórico} correspondiente a 10 datos (2.18) (Apéndice M), lo que significa que hay una buena repetibilidad en las mediciones, demostrando así que existen diferencias significativas entre ellos

y que no es necesario rechazar datos en el análisis. De acuerdo con los resultados se puede dar confiabilidad en el cálculo del límite de detección para el análisis de Sodio (Tabla 16).

Tabla 16. *Determinación del límite de detección de sodio.*

	ENSAYO 1
t(n-1) 99%	3.25
LDM: $\bar{X} + 3 \times S$ (mg/L)	0.003

De acuerdo con el análisis estadístico de los resultados se determinó que el límite de detección para el análisis de sodio es de 0.003 ppm (tabla 16).

Para el límite de cuantificación, se realizó las lecturas de diez veces el patrón de referencia de concentración 0.05 ppm (Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación) y Para dar veracidad se calculó promedio, desviación estándar. Coeficiente de variación, % de error. (Tabla 17)

Tabla 17. *Determinación de límite de cuantificación de sodio*

	Valor
Promedio (mg/L)	0.047
Desviación estándar	0.003
Coeficiente de variación, %	6.1
Porcentaje de Error, %	6
Número de datos	10

Los resultados obtenidos en la lectura del patrón de 0.05 mg/L de Na (Apéndice F) muestran que las mediciones realizadas no varían significativamente entre sí. En la tabla 17 se observa que el valor promedio es 0.047 mg/L, siendo un resultado cercano al valor teórico o esperado,

también se obtuvo un porcentaje de error del 6 %, una desviación estándar < 1 (0.003) y un coeficiente de variación menor al 10% (6.1%), lo cual representa mediciones con precisión y exactitud. El valor mínimo de los datos es 0.043 mg/L sodio y el valor máximo es 0.053 mg/L. Por lo tanto, el intervalo de concentración es de 0.043– 0.053mg/L. Si la concentración del patrón de 0.05 ppm reportada esta fuera de este rango no puede ser asumida con precisión (tabla 18).

Tabla 18. *Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LC de Na*

	ENSAYO 1 (mg/L)
Valor mínimo	0.043
Valor máximo	0.053
Intervalo de confianza (95%)	0.043– 0.053

A los resultados de las muestras con concentración conocida (Apéndice F) se les determinó si la diferencia es significativas entre ellas (tabla 19); para esto se precedió a calcular el T_{bajo} y el T_{alto} ; se comparó con el $T_{teórico}$ (T95%) (Apéndice M). Se puede observar con claridad que los valores T_{bajo} y T_{alto} no superan el valor $T_{teórico}$, lo q significa q tienen buena repetibilidad en las mediciones, demostrando así que existen diferencias significativas entre ellos, verificando que el límite de cuantificación efectivamente es 0.05 ppm.

Tabla 19. *Prueba t – Student. Datos estadísticos LC de Na*

ENSAYO 1	
T_{bajo}	1,36
T_{alto}	-2.09
$T_{\text{teórico 95\%}}$	2.18

6.7.2 Intervalo lineal.

El intervalo lineal se evaluó en el intervalo desde el límite de detección 0.003 ppm hasta 4 ppm, los resultados obtenidos se representan en la figura 10 y Apéndice G.

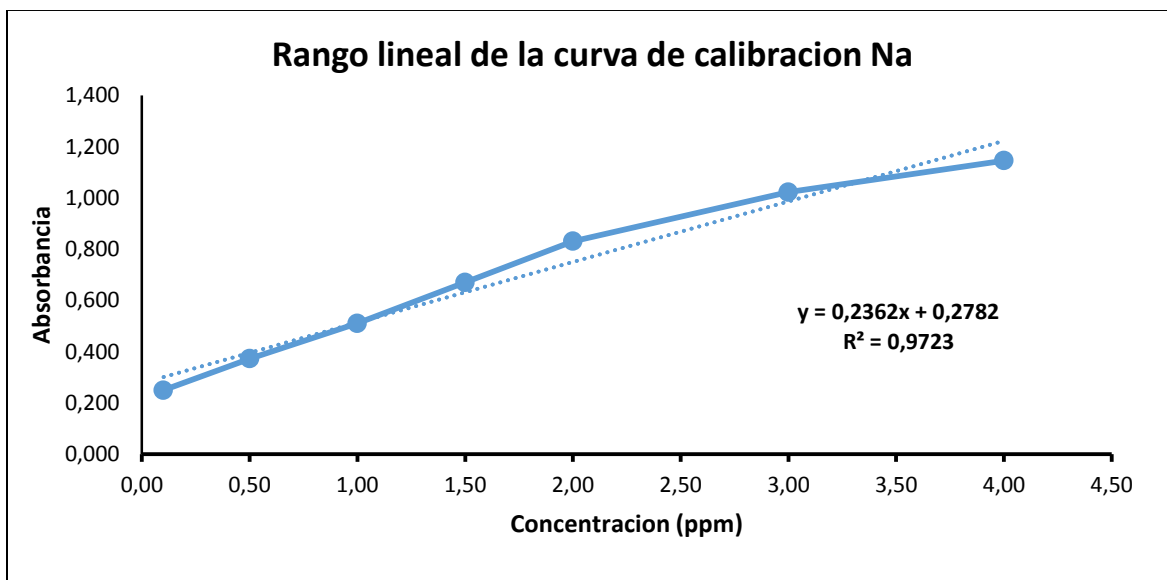


Figura 10. Intervalo lineal desde 0.003 a 4 ppm de Na

En la figura 10, se puede observar que el coeficiente de correlación es de 0,9723 un valor no aceptable ya que la curva de calibración es poco cuantificable. Además, se puede apreciar que la linealidad se pierde a partir de 3.0 ppm. Con los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es posible asegurar la conservación de la linealidad en el método y la relación directamente proporción entre absorbancias y concentración desde 0.2 a 3.0 ppm (figura 11).

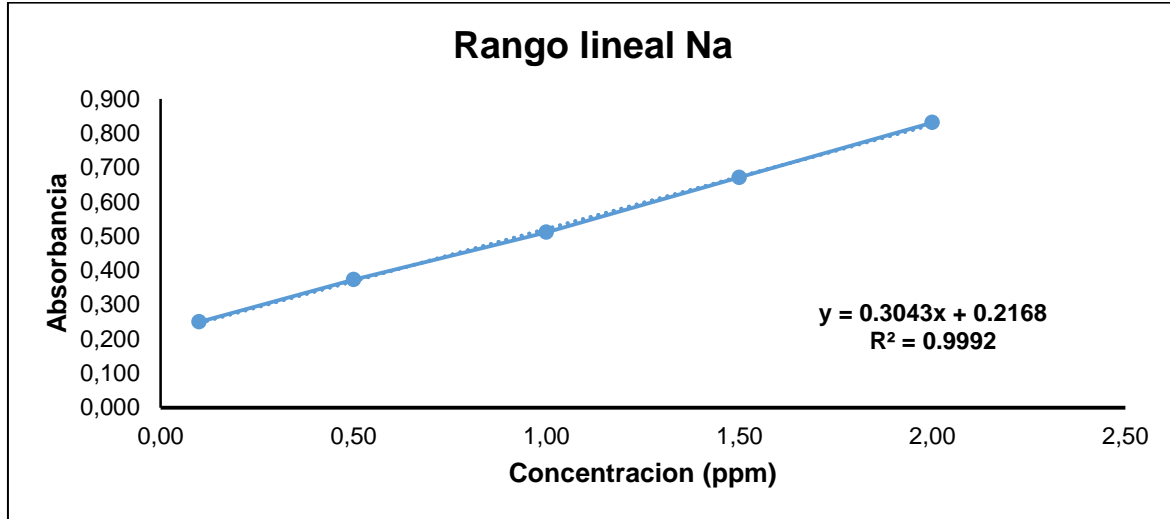


Figura 11. Rango lineal de trabajo de Na

En la figura 11 se observa la relación directamente proporcional entre absorbancias y concentración, con un coeficiente de correlación de 0,9992 el cual es aceptable, debido a que se encuentra cercano a 1. Por tanto, la linealidad del método es hasta 2.0 mg/L de Na.

6.7.3 Repetibilidad y reproducibilidad del método.

El tercer paso para la implementación del método analítico para la determinación de micronutrientes en abonos por absorción atómica con llama, es evaluar la repetitividad y reproducibilidad del método. La repetitividad se evaluó elaborando cuatro curvas de calibración en un intervalo de tiempo de una semana (Apéndice G. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Sodio) los resultados se muestran en la figura 12. Los estándares utilizados para la elaboración de las curvas de calibración fueron preparados a partir de patrones certificados de Panreac de 1000 mg/L de Na.

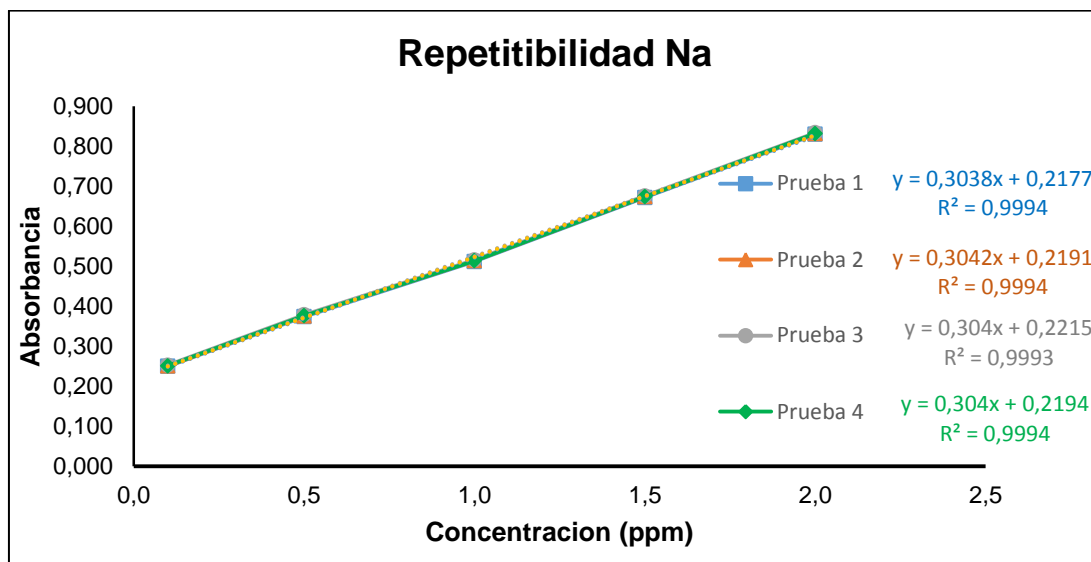


Figura 12. Repetibilidad – Analista 1

Las curvas de calibración para el método analítico de Na es repetitiva, además todas las curvas cuentan con un coeficiente de correlación (R^2) aceptable, cercano a 1, es decir existe una relación directamente proporcional entre la absorbancia de los estándares y la concentración de las mismas. Lo cual indica que los estándares empleados fueron preparados correctamente y que toda muestra analizada que se encuentre dentro del intervalo de dichas curvas, obtendrá resultados confiables. La curva de calibración de trabajo se realizó con el promedio de las cuatro curvas de calibración (Apéndice G) y la curva de trabajo resultante para Na se presenta en la figura 13.

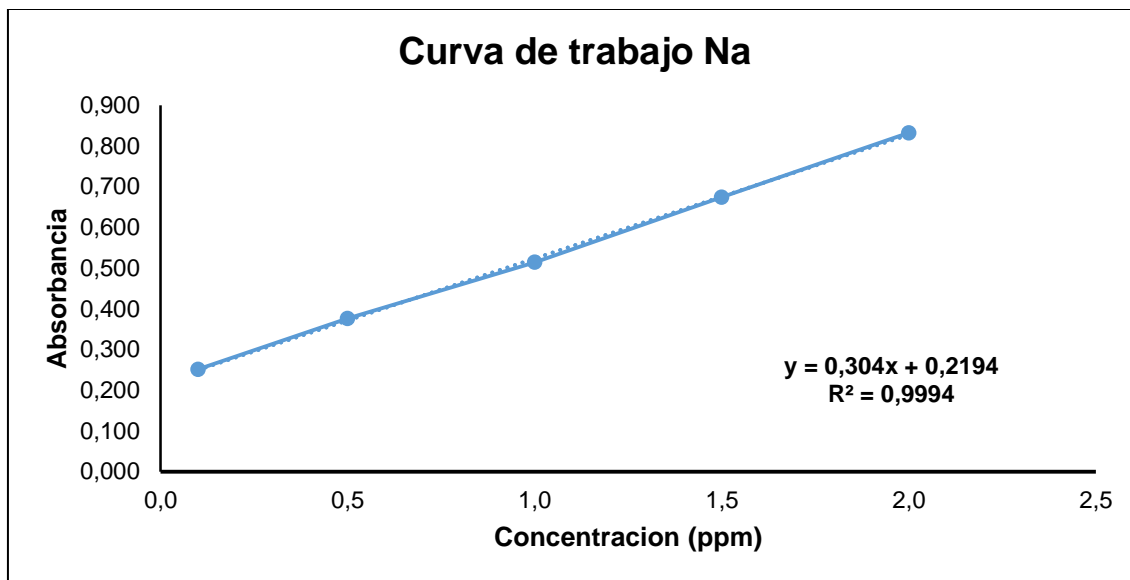


Figura 13. Curva de trabajo Na

De tal forma la ecuación para calcular la concentración de Sodio en las muestras de abono es:

Ecuación 5

$$[\text{Concentración}] = \frac{\text{Absorbancia} - 0,2194}{0,304}$$

Para evaluar la reproducibilidad se realizó el mismo procedimiento por un segundo analista. Los resultados se muestran en la figura 14. Los estándares utilizados para la elaboración de las curvas de calibración fueron preparados a partir de patrones certificados de Panreac de 1000 mg/L de Sodio.

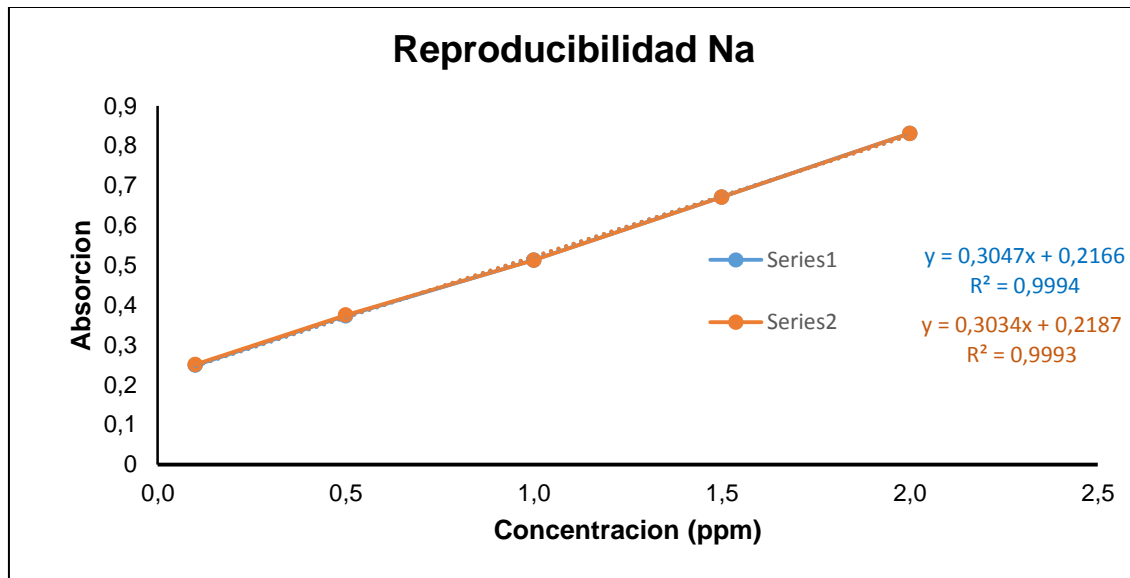


Figura 14. Reproducibilidad – Analista 2

En la figura 14, se demostró que el método es reproducible por otro analista, las absorbancias obtenidas en las curvas del analista 2 son similares a las obtenidas por el analista 1 y los coeficientes de correlación (R^2) son aceptables, es decir cercano a 1. (Apéndice J). Se evidencio la buena reproducibilidad del método analítico.

Con estos ensayos se demostró que la técnica analítica para determinar sodio en abonos además de ser repetitiva es reproducible ya que los datos fueron similares para ambos analistas.

6.7.4 Determinación de sodio presente en las muestras de abono.

La determinación de sodio se realizó siguiendo el procedimiento 5.5 Determinación de Nutrientes K, Na, Mg en muestras de compost.. Para calcular la concentración de sodio en los abonos se utilizó la Ecuación 5. En la tabla 20 se encuentran las concentraciones de sodio de las

muestras de abonos, los resultados están dados en base seca y se representan en unidades de mg/Kg (ppm).

Tabla 20. *Resultados obtenidos de las muestras de abono*

Muestra	Na (m _{eq} /100g)	%Na
Limonal	15.8	0.36
Capote	13.0	0.30
Abono orgánico comercial	16.5	0.38
Humus	1.8	0.04

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 20) las muestras Limonal, Capote y Abono orgánico comercial son las dos muestras que reportaron mayor porcentaje de sodio con 0.36%, 0.30 y 0.38%, respectivamente. La muestra Humus contiene un bajo porcentaje de sodio. Teniendo en cuenta que el sodio es uno de los 17 nutrientes esenciales para el crecimiento, desarrollo y sostenimiento de las plantas. La NTC 5167 establece que el porcentaje mínimo de sodio es de 2% de tal forma que ninguna de las muestras cumple.

6.8 Determinación de magnesio (Mg)

A continuación, se pueden observar los resultados que se obtuvieron para la implementación de la técnica de Magnesio:

6.8.1 Límite de detección y cuantificación

El primer paso para la implementación del método, fue calcular el límite de detección y el límite de cuantificación.

Para la determinación del límite de detección se realizó diez veces la lectura del blanco ($\text{H}_2\text{O} + 0.1\% \text{ m/v La}_2\text{O}_3$), para poder evaluar la repetitividad (Apéndice E. Absorbancias de blancos: determinación límite de detección)

Tabla 21. *Parámetros estadísticos para la determinación del límite de detección de Mg*

Promedio	-0.0015
Desviación estándar	0.0005
Coefficiente de variación, %	-35.1
Número de datos	10

Se observa precisión en los resultados obtenidos por las réplicas de la muestra blanco (Apéndice E), lo cual se ve reflejado por el grado de concordancia de los datos, expresado en términos de desviación estándar y coeficiente de variación. En la tabla 21, se observa que el promedio de los datos es -0,0015 el cual es cercano al cero de absorbancia. La desviación estándar y el coeficiente de variación demuestran que los datos obtenidos son precisos y confiables, ya que se encuentra dentro del rango menor al 10% para el coeficiente de variación y para la desviación estándar es < 1 . El número de datos que se utilizó para el análisis estadístico fueron 10.

En la tabla 22, se puede observar que el valor mínimo de los datos es -0,002 y el valor máximo es -0,001. El intervalo de confianza es bueno ya que el valor mínimo y máximo se encuentra dentro de las lecturas realizadas en la absorbancia (Apéndice D).

Tabla 22. Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LD de Mg

	ENSAYO
Valor mínimo	-0.002
Valor máximo	-0.001
Intervalo de confianza (95%)	(-0.002) – (-0.001)

Adicionalmente, se realizó el análisis de t-Student, el cual nos ayuda a evaluar la estimación de la incertidumbre de medición del equipo y poder garantizar la efectividad del método que se implementó, y la efectividad del límite de detección a través de esta prueba (tabla 23).

Tabla 23. Prueba *t* – Student. Datos estadísticos LD de Mg

T_{bajo}	0.95
T_{alto}	-2.66
T_{Teórico 95%}	2.18

En la tabla 23, se compararon los resultados de las muestras blanco (Apéndice D) y se determinó si la diferencia son significativas entre ellos; para esto se precedió a calcular el T_{bajo} y el T_{alto}; se comparó con el T_{teórico} (T95%) (Apéndice M. Valores t para el 95% de rechazo de datos). Se puede observar con claridad que los valores T_{bajo} y T_{alto} no superan el valor T_{teórico} correspondiente a 10 datos (2.18) (Apéndice M. Valores t para el 95% de rechazo de datos), lo que significa que tienen buena repetibilidad en las mediciones, demostrando así que existen diferencias significativas entre ellos, igualmente no es necesario rechazar datos en el análisis.

De acuerdo con los resultados se puede dar confiabilidad en el cálculo del límite de detección.

Tabla 24. Determinación del límite de detección de Mg

	ENSAYO
	1
t(n-1) 99%	3.25
LDM: $\bar{X} + 3 \times S$ (mg/L)	0.003

De acuerdo con la veracidad de los resultados reflejado en el análisis estadístico, se determina que el límite de detección del método para Mg es de 0.003 ppm (tabla 24).

Para el límite de cuantificación, se realizó las lecturas de diez veces el patrón de referencia de concentración 0.05 ppm (Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación) y Para dar veracidad se calculó promedio, desviación estándar. Coeficiente de variación, % de error. (Tabla 25)

Tabla 25. *Determinación de límite de cuantificación de Mg*

	Valor
Promedio (mg/L)	0.046
Desviación estándar	0.001
Coeficiente de variación, %	1.87
Porcentaje de Error, %	8.1
Número de datos	10

Los resultados obtenidos en la lectura del patrón de 0.05 mg/L de Mg (Apéndice F) muestran que las mediciones realizadas no varían significativamente entre sí. En la tabla 25 se observa que el valor promedio es 0.046 mg/L, siendo un resultado cercano al valor teórico o esperado, también se obtuvo un porcentaje de error del 8.1 %, una desviación estándar < 1 (0.001) y un coeficiente de variación menor al 10% (1.81%), lo cual representa mediciones con precisión y exactitud estadísticamente aceptables.

Tabla 26. Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LC de Mg

	ENSAYO 1 (mg/L)
Valor mínimo	0.045
Valor máximo	0.048
Intervalo de confianza (95%)	0.045– 0.048

En la tabla 26, se puede observar que el valor mínimo de los datos es 0.045 mg/L magnesio y el valor máximo es 0.048 mg/L. Por lo tanto el intervalo de concentración es de 0.045–0.048mg/L. Si la concentración del patrón de 0.05 ppm reportada esta fuera de este rango no puede ser asumida con precisión.

Tabla 27. Prueba *t* – Student. Datos estadísticos LC de Mg

	ENSAYO 1
T_{bajo}	1.12
T_{alto}	-2.37
T_{teórico 95%}	2.18

En la tabla 27, se compararon los resultados de las muestras con concentración conocida (Apéndice E) y se determinó si la diferencia son significativas entre ellos; para esto se precedió a calcular el T_{bajo} y el T_{alto}; se comparó con el T_{teórico} (T95%) (Apéndice M). Se puede observar con claridad que los valores T_{bajo} y T_{alto} no superan el valor T_{teórico}, lo q significa q tienen buena repetibilidad en las mediciones, demostrando así que existen diferencias significativas entre ellos, verificando que el límite de cuantificación efectivamente es 0.05 ppm.

6.8.2 Intervalo lineal.

El intervalo línea se evaluó en el intervalo desde el límite de cuantificación 0.05ppm hasta 1.5 ppm, los resultados obtenidos se representan en la figura 15 y el Apéndice H. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Magnesio.

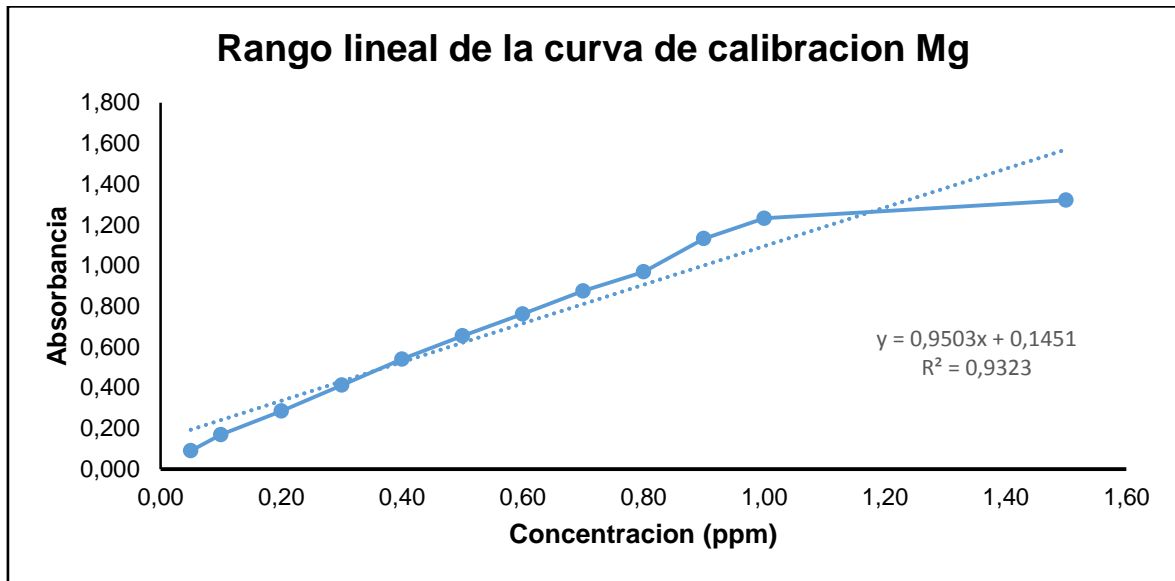


Figura 15. Intervalo lineal desde 0.003 a 1.5 ppm de Mg

En la figura 15, se puede observar que el coeficiente de correlación es de 0.9323 un valor no aceptable ya que la curva de calibración es poco cuantificable. Además se puede apreciar que la linealidad se pierde a partir de 0.8 ppm. Con los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es posible asegurar la conservación de la linealidad en el método y la relación directamente proporción entre absorbancias y concentración desde 0.1 a 0.8 ppm (figura 16).

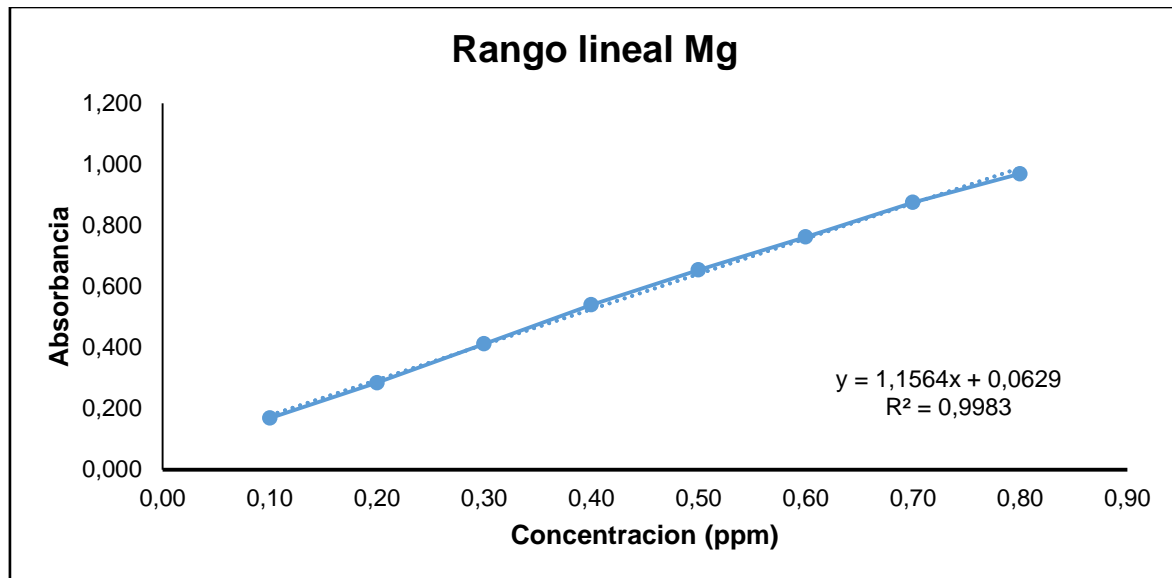


Figura 16. Rango lineal de trabajo de Mg

En la figura 16 se observa la relación directamente proporcional entre absorbancias y concentración, obtiene un coeficiente de correlación de 0,9983 el cual es aceptable, debido a que se encuentra cercano a 1. Por tanto la linealidad del método es hasta 0.8 mg/L de Mg.

6.8.3 Repetibilidad y reproducibilidad del método.

En el tercer paso para la implementación del método analítico para la determinación de micronutrientes en abonos por absorción atómica con llama, se evaluó la repetitividad y reproducibilidad del método. La repetitividad se evaluó elaborando cuatro curvas de calibración en un intervalo de tiempo de una semana (Apéndice H) los resultados se muestran en la **¡Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.** Los estándares utilizados para la elaboración de las curvas de calibración fueron preparados a partir de patrones certificados de Panreac de 1000 mg/L de Mg.

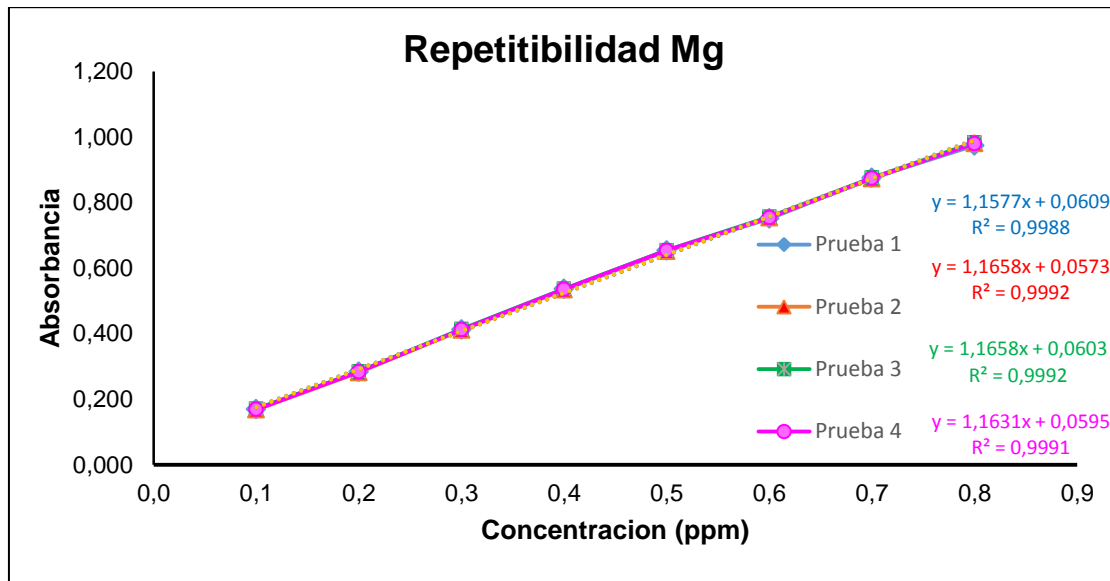


Figura 17. Repetibilidad – Analista 1

En la figura 17, se evidencia en las curvas de calibración que el método analítico de Mg es repetible, además todas las curvas cuentan con un coeficiente de correlación (R^2) aceptable, cercano a 1, es decir existe una relación directamente proporcional entre la absorbancia de los estándares y la concentración de las mismas. Lo cual indica que los estándares empleados fueron preparados correctamente y que toda muestra analizada que se encuentre dentro del intervalo de dichas curvas, obtendrá resultados confiables.

La curva de calibración de trabajo se realizó con el promedio de las cuatro curvas de calibración (Apéndice H) y la curva de trabajo resultante para Mg se presenta en la figura 18.

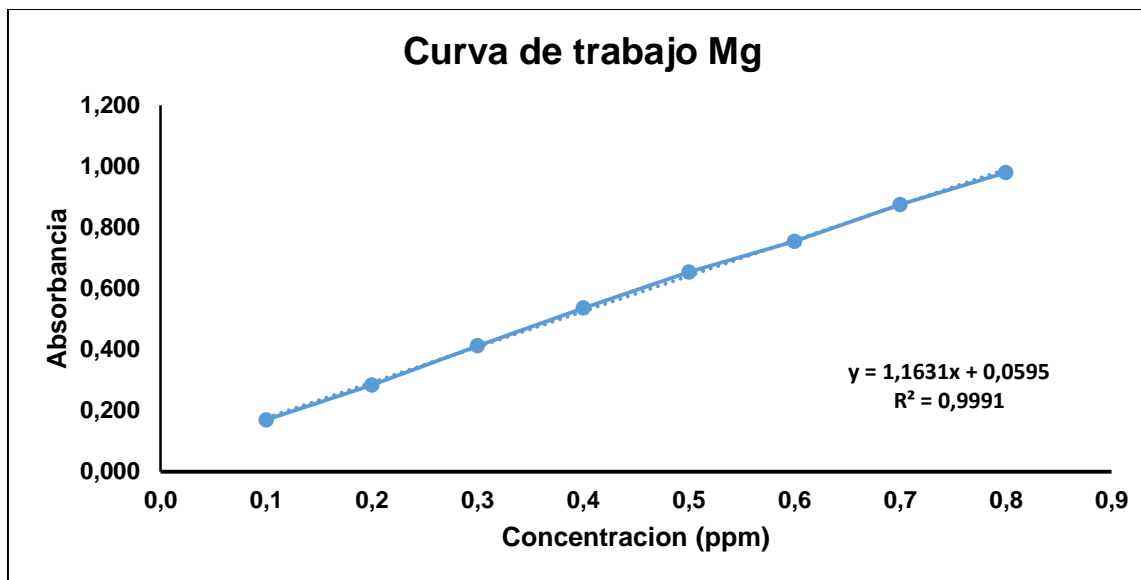


Figura 18. Curva de trabajo Mg

De tal forma la ecuación para calcular la concentración de Magnesio en las muestras de abono orgánico fue:

Ecuación 6

$$[\text{Concentración}] = \frac{\text{Absorbancia} - 0,0595}{1,1631}$$

Para evaluar la reproducibilidad se realizó el mismo procedimiento por el segundo analista. Los resultados se muestran en la figura 19. Los estándares utilizados para la elaboración de las curvas de calibración fueron preparados a partir de patrones certificados de Panreac de 1000 mg/L de Mg.

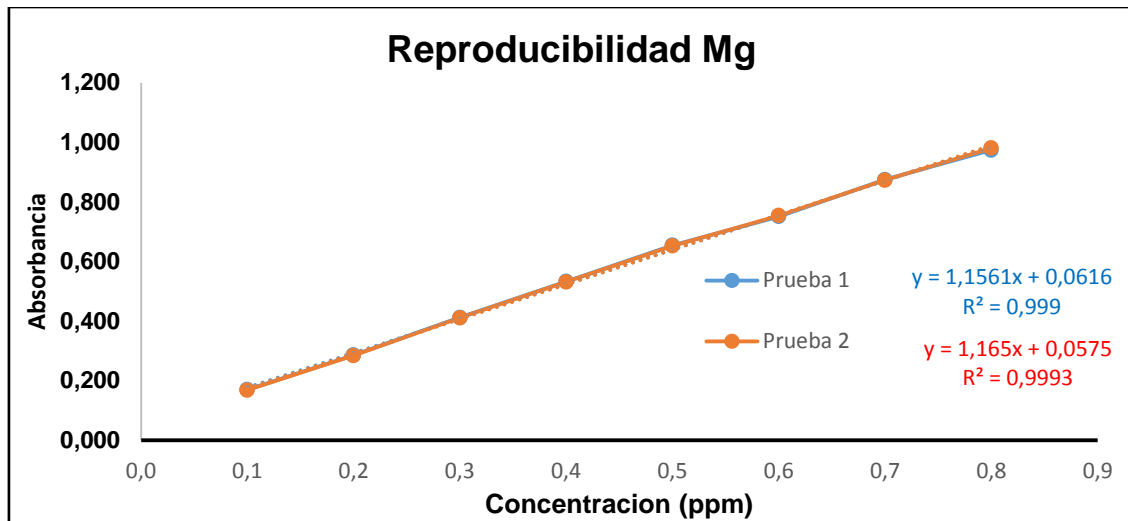


Figura 19. Reproducibilidad – Analista 2

En la figura 19, se demostró que el método es reproducible por otro analista, las absorbancias obtenidas en las curvas del analista 2 son similares a las obtenidas por el analista 1 y los coeficientes de correlación (R^2) son aceptables, es decir cercano a 1. (Apéndice K). Se evidenció la buena reproducibilidad del método analítico.

Con estos ensayos se demostró que la técnica analítica para determinar sodio en abonos orgánicos además de ser repetitiva es reproducible ya que los datos fueron similares para ambos analistas.

6.8.4 Determinación de magnesio presente en las muestras de abono.

La determinación de Magnesio se realizó siguiendo el procedimiento 5.5 Determinación de Nutrientes K, Na, Mg en muestras de compost. Para calcular la concentración de magnesio en los abonos se utilizó la Ecuación 6. En la tabla 28 se encuentran las concentraciones de sodio de las muestras de abonos, los resultados están dados en base seca y se representan en unidades de meq/100g.

Tabla 28. Resultados obtenidos de las muestras de abono

Muestra	Mg(meq/10 0g)	% Mg
Limal	38.3	0.46
Capote	39.2	0.47
Abono orgánico comercial “ el jardín”	76.9	0.92
Humus	23.8	0.29

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 28) las muestras Limal, capote y Abono orgánico comercial “el jardín” son las tres muestras que reportaron mayor porcentaje de Magnesio con 0.46%, 0.47 y 0.92%, respectivamente. La muestra Humus contiene un bajo porcentaje de magnesio 0.29%.

Teniendo en cuenta que el magnesio 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 0.006%-0.03%, todas las muestras analizadas son fértiles y aportan significativamente este nutriente. Pero, teniendo en cuenta la NTC 5167 ninguna de las muestras cumple con tener un porcentaje de magnesio superior al 1% por ello no pueden ser reportadas en la etiqueta (Horneck, Sullivan, Owen, & Hart, 2011).

6.9 Determinación de potasio (K)

A continuación, se pueden observar los resultados que se obtuvieron para la implementación de la técnica de Potasio:

6.9.1 Límite de detección y cuantificación

El primer paso para la implementación del método, fue calcular el límite de detección y el límite de cuantificación.

Para la determinación del límite de detección se realizó diez veces la lectura del blanco (H_2O), para poder evaluar la repetitividad (Apéndice E)

Tabla 29. *Parámetros estadísticos para la determinación del límite de detección de K*

Promedio	0.04
Desviación estándar	0.05
Coefficiente de variación	1.29
Número de datos	10

Se observa precisión en los resultados obtenidos por las réplicas de la muestra blanco Apéndice E, lo cual se ve reflejado por el grado de concordancia de los datos, expresado en términos de desviación estándar y coeficiente de variación. En la tabla 29, se observa que el promedio de los datos es 0.04 el cual es cercano al cero de absorbancia. La desviación estándar y el coeficiente de variación demuestran que los datos obtenidos son precisos y confiables, ya que se encuentra dentro del rango menor al 10% para el coeficiente de variación y para la desviación estándar es < 1 . El número de datos que se utilizó para el análisis estadístico fueron 10.

En la tabla 30, se puede observar que el valor mínimo de los datos es 0 y el valor máximo es 0.1. El intervalo de confianza es bueno ya que el valor mínimo y máximo se encuentra dentro de las lecturas realizadas en la absorbancia (Apéndice E).

Tabla 30. Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LD de K

	ENSAYO
Valor mínimo	0
Valor máximo	0.1
Intervalo de confianza (95%)	(0) – (0.1)

Adicionalmente, se realizó el análisis de t-Student, el cual nos ayuda a evaluar la estimación de la incertidumbre de medición del equipo y poder garantizar la efectividad del método que se implementó, y la efectividad del límite de detección a través de esta prueba (tabla 31).

Tabla 31 Prueba *t* – Student. Datos estadísticos LD de K

T_{bajo}	0.77
T_{alto}	-1.16
T_{Teórico 95%}	2.18

En la tabla 31, se compararon los resultados de las muestras blanco (Apéndice E) y se determinó si la diferencia son significativas entre ellos; para esto se precedió a calcular el T_{bajo} y el T_{alto}; se comparó con el T_{teórico} (T_{95%}) (Apéndice M). Se puede observar con claridad que los valores T_{bajo} y T_{alto} no superan el valor T_{teórico} correspondiente a 10 datos (2.18) (Apéndice M), lo que significa que tienen buena repetibilidad en las mediciones, demostrando así que existen diferencias significativas entre ellos, igualmente no es necesario rechazar datos en el análisis.

De acuerdo con los resultados se puede dar confiabilidad en el cálculo del límite de detección.

Tabla 32. Determinación del límite de detección de K

	ENSAYO
	1
t(n-1) 99%	3.25
LDM: $\bar{X} + 3 \times S$ (mg/L)	0.195

De acuerdo con la veracidad de los resultados reflejado en el análisis estadístico, se determina que el límite de detección del método para K es de 0.195 ppm (tabla 32).

Para el límite de cuantificación, se realizó las lecturas de diez veces el patrón de referencia de concentración 0,05 ppm (Apéndice F) y Para dar veracidad se calculó promedio, desviación estándar. Coeficiente de variación, % de error. (Tabla 33)

Tabla 33. *Determinación de límite de cuantificación de K*

	Valor
Promedio (mg/L)	0.04
Desviación estándar	0.001
Coeficiente de variación, %	1.5
Porcentaje de Error, %	19.2
Número de datos	10

Los resultados obtenidos en la lectura del patrón de 0.05 mg/L de K (Apéndice F) muestran que las mediciones realizadas no varían significativamente entre sí. En la tabla 33 se observa que el valor promedio es 0.040 mg/L, siendo un resultado cercano al valor teórico o esperado, también se obtuvo un porcentaje de error del 19.2 %, una desviación estándar < 1 (0,001) y un coeficiente de variación menor al 10% (1.81%), lo cual representa mediciones con precisión y exactitud estadísticamente aceptables.

Tabla 34. Valor mínimo y valor máximo. Datos estadísticos LC de K

	ENSAYO 1 (mg/L)
Valor mínimo	0.039
Valor máximo	0.041
Intervalo de confianza (95%)	0.039– 0.041

En la tabla 34, se puede observar que el valor mínimo de los datos es 0.040 mg/L potasio y el valor máximo es 0.041 mg/L. Por lo tanto el intervalo de concentración es de 0.039– 0.041mg/L. Si la concentración del patrón de 0.05 ppm reportada esta fuera de este rango no puede ser asumida con precisión.

Tabla 35. Prueba *t* – Student. Datos estadísticos LC de K

	ENSAYO 1
T_{bajo}	2.0
T_{alto}	-0.99
T_{teórico 95%}	2.18

En la tabla 35, se compararon los resultados de las muestras con concentración conocida (Apéndice F) y se determinó si la diferencia son significativas entre ellos; para esto se precedió a calcular el T_{bajo} y el T_{alto}; se comparó con el T_{teórico} (T95%) (Apéndice M). Se puede observar con claridad que los valores T_{bajo} y T_{alto} no superan el valor T_{teórico}, lo q significa q tienen buena repetibilidad en las mediciones, demostrando así que existen diferencias significativas entre ellos, verificando que el límite de cuantificación efectivamente es 0.05 ppm.

6.9.2 Intervalo lineal.

El intervalo línea se evaluó en el intervalo desde el límite de cuantificación 0.05 ppm hasta 1 ppm, los resultados obtenidos se representan en la figura 20 y Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación.

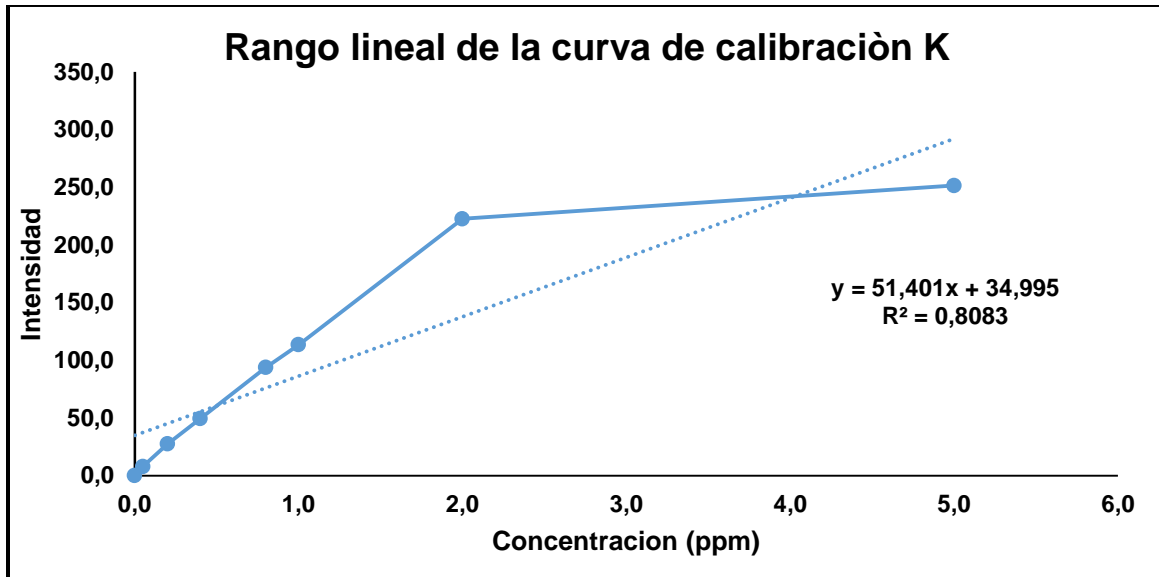


Figura 20. Intervalo lineal desde 0.05 a 5ppm de K

En la figura 20, se puede observar que el coeficiente de correlación es de 0.8083 un valor no aceptable ya que la curva de calibración es poco cuantificable. Además se puede apreciar que la linealidad se pierde a partir de 1 ppm. Con los resultados de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, es posible asegurar la conservación de la linealidad en el método y la relación directamente proporción entre absorbancias y concentración desde 0.05 a 0.8 ppm (figura 21).

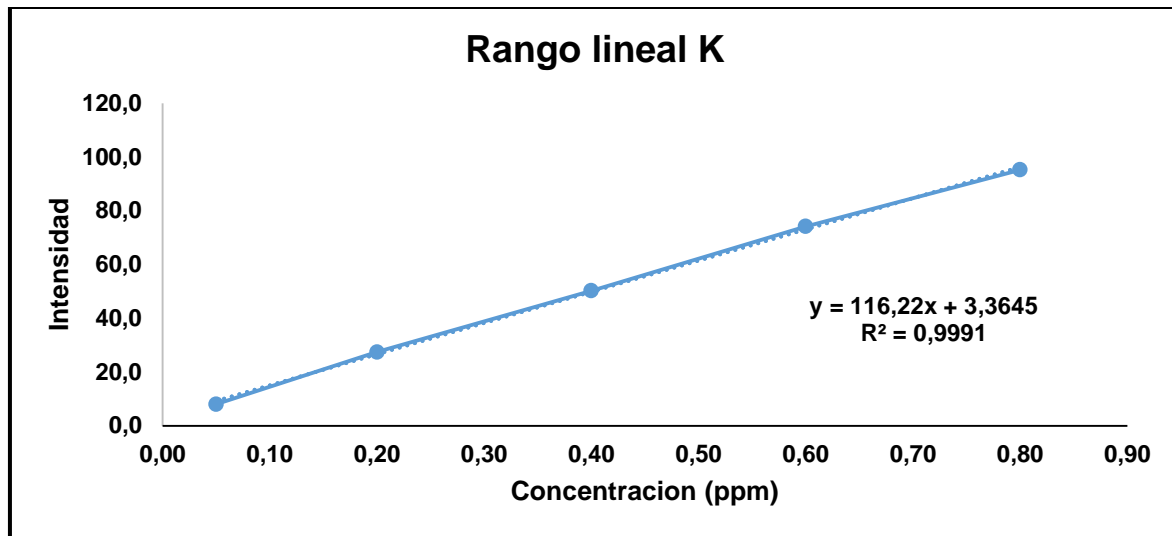


Figura 21. Rango lineal de trabajo de K

En la figura 21 se observa la relación directamente proporcional entre absorbancias y concentración, obtiene un coeficiente de correlación de 0,9991 el cual es aceptable, debido a que se encuentra cercano a 1. Por tanto la linealidad del método es hasta 0.8 mg/L de K.

6.9.3 Repetibilidad y reproducibilidad del método.

En el tercer paso para la implementación del método analítico para la determinación de micronutrientes en abonos por absorción atómica con llama, se evaluó la repetitividad y reproducibilidad del método. La repetitividad se evaluó elaborando cuatro curvas de calibración en un intervalo de tiempo de una semana (Apéndice I) los resultados se muestran en la **¡Error!** **No se encuentra el origen de la referencia.** Los estándares utilizados para la elaboración de las curvas de calibración fueron preparados a partir de patrones certificados de Panreac de 1000 mg/L de K.

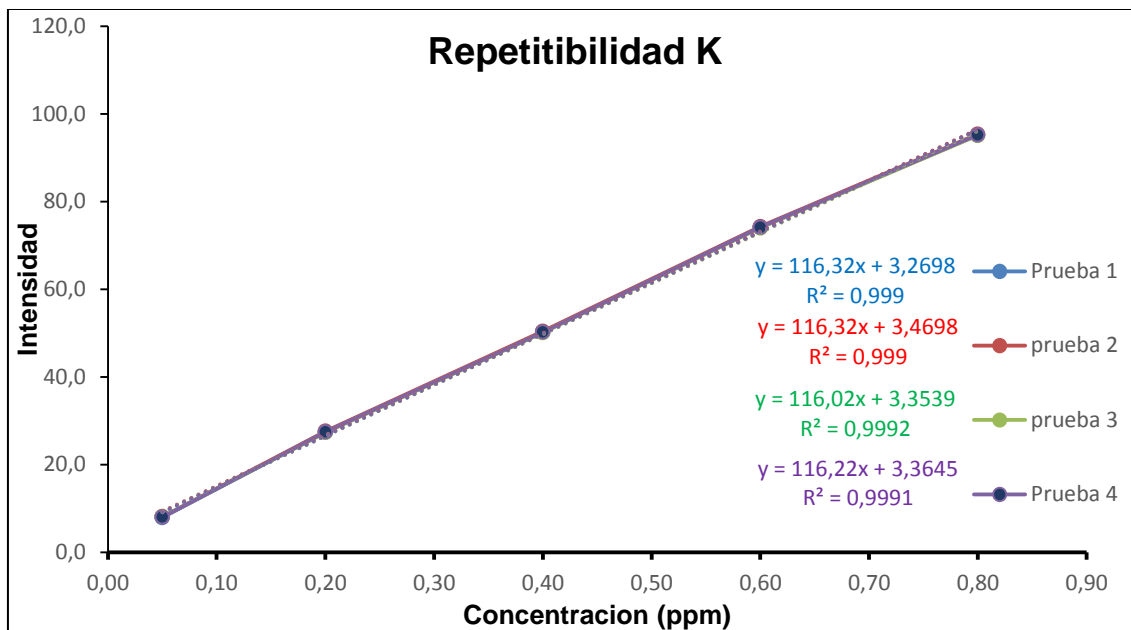


Figura 22. Repetibilidad – Analista 1

En la figura 22, se evidencia en las curvas de calibración que el método analítico de K es repetible, además todas las curvas cuentan con un coeficiente de correlación (R^2) aceptable, cercano a 1, es decir existe una relación directamente proporcional entre la absorbancia de los estándares y la concentración de las mismas. Lo cual indica que los estándares empleados fueron preparados correctamente y que toda muestra analizada que se encuentre dentro del intervalo de dichas curvas, obtendrá resultados confiables.

La curva de calibración de trabajo se realizó con el promedio de las cuatro curvas de calibración (Apéndice I) y la curva de trabajo resultante para K se presenta en la figura 23.

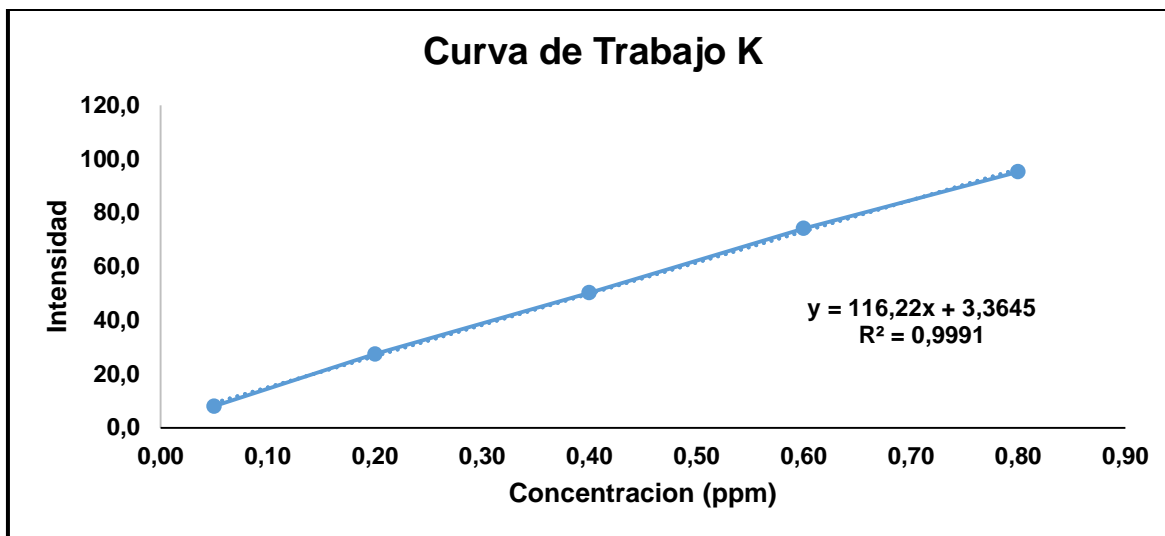


Figura 23. Curva de trabajo K

De tal forma la ecuación para calcular la concentración de Potasio en las muestras de abono orgánico fue:

Ecuación 7

$$[\text{Concentración}] = \frac{\text{Absorbancia} - 3.3645}{116.22}$$

Para evaluar la reproducibilidad se realizó el mismo procedimiento por el segundo analista. Los resultados se muestran en la figura 24. Los estándares utilizados para la elaboración de las curvas de calibración fueron preparados a partir de patrones certificados de Panreac de 1000 mg/L de K.

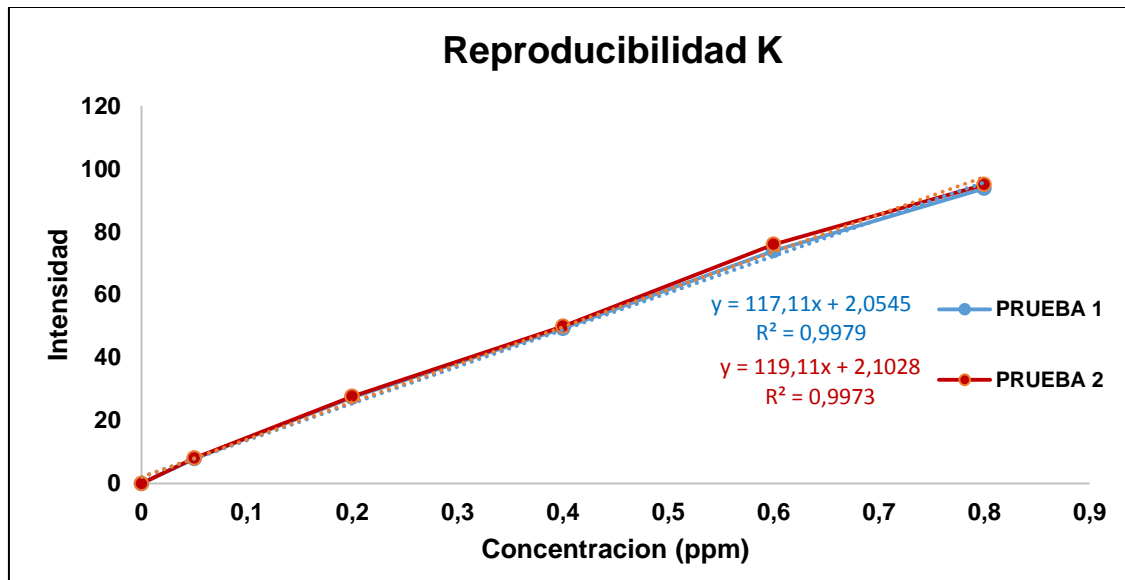


Figura 24. Reproducibilidad – Analista 2

En la figura 24, se demostró que el método es reproducible por otro analista, las absorbancias obtenidas en las curvas del analista 2 son similares a las obtenidas por el analista 1 y los coeficientes de correlación (R^2) son aceptables, es decir cercano a 1. (Apéndice L. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración K– Analista 2). Se evidencio la buena reproducibilidad del método analítico.

Con estos ensayos se demostró que la técnica analítica para determinar sodio en abonos orgánicos además de ser repetitiva es reproducible ya que los datos fueron similares para ambos analistas.

6.9.4 Determinación de potasio presente en las muestras de abono.

La determinación de Potasio se realizó siguiendo el procedimiento 5.5 Determinación de Nutrientes K, Na, Mg en muestras de compost. Para calcular la concentración de magnesio en los abonos se utilizó la Ecuación 7. En la tabla 36 se encuentran las concentraciones de sodio de las

muestras de abonos, los resultados están dados en base seca y se representan en unidades de meq/100g.

Tabla 36. *Resultados obtenidos de las muestras de abono*

Muestra	K(meq/100g)	% K
Limonal	133.3	5.20
Capote	88.4	3.45
Abono orgánico comercial “ el jardín”	224.3	8.75
Humus	45.9	1.79

De acuerdo a los resultados obtenidos (tabla 36) las muestras Limonal, capote y Abono orgánico comercial “el jardín” son las tres muestras que reportaron mayor porcentaje de Potasio con 5.2%, 3.45 y 8.75%, respectivamente. La muestra Humus contiene un bajo porcentaje de potasio 1.79%.

Teniendo en cuenta que el potasio 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 0.01% y 0.03%, todas las muestras analizadas son fértiles y aportan significativamente este nutriente. Teniendo en cuenta la NTC 5167 todas las muestras cumple con tener un porcentaje de potasio superior al 1%.

6.10 Comparación de los resultados con normas internacionales.

Para el desarrollo del proyecto se utilizó como estándar la Norma Técnica Colombiana 5167 segunda actualización de 2011. Adicionalmente se realizó una comparación de los resultados con normas internacionales vigentes como la Norma Chilena 2880 compost clasificación y requisitos y el Real decreto Español 506 sobre productos fertilizantes para clasificarlos como abono orgánico fertilizantes. Teniendo en cuenta que las normas colombianas son muy permisibles. En la tabla 3, se muestran los parámetros exigidos y contemplados por cada norma, con el fin de evaluar las diferencias normativas en cada parámetro.

Tabla 37. Comparación de parámetros físico químicos de, Colombia, Chile y España.

Parámetros	Norma Colombiana	Norma Chilena	Norma Española
Nitrógeno	> al 1%	Contenido \geq 0,8% del contenido total de nitrógeno	> al 1%
Humedad	Máximo 30%	\geq 25%	Entre 30% y 40%
C/N	-	Tipo A de 10 a 25 y tipo B de 10 a 40	\leq 15%
K			> al 1%
pH	> 4 y < 9	Entre 5 y 7,5	-
Materia Orgánica	Mínimo el 15%	Tipo A \geq 45 y tipo B \geq 25	Gallinaza y abono orgánico: 35%. Lombrinaza: 40%. Turba: 45%

Fuente: Autores

Teniendo en cuenta la información de la tabla 3 podemos 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 orgánica que las clasifica en abonos orgánicos, Turba y Gallinaza en la española, Tipo A y Tipo B en la Chilena.

Comparando los resultados con las normas se evidencia que la muestra de abono orgánico el jardín, no cumple con nitrógeno total, ni % humedad en las tres normas. Los demás abonos cumplen con dichas normativas.

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 el humus puesto que no ha sido compostada

Utilizando el Real decreto español como referencia para los resultados de los abonos estudiados, solo la muestra de abono orgánico el jardín no cumple 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.

7. Conclusiones

El método analítico implementado en el laboratorio de investigación de la Universidad Santo Tomás de Bucaramanga para la evaluación del contenido de Potasio (K), Magnesio (Mg) Y Sodio (Na) por espectrometría de emisión y absorción atómica con llama en abonos orgánicos presento los siguientes parámetros de estandarización:

- Potasio (K): Límite de detección (0.04 mg/L), límite de cuantificación (0.04 mg/L), intervalo lineal entre (0.05– 0.8 mg/L), ecuación de trabajo

(*Absorbancia* = 116.22 [*Concentración*] + 3.3645 y coeficiente de correlación (R^2 :0,9991)

- Magnesio (Mg): Límite de detección (0.003 mg/L), límite de cuantificación (0.046mg/L), intervalo lineal entre (0.1 – 0.8 mg/L), ecuación de trabajo (*Absorbancia* = 1.1631 [*Concentración*] + 0.0595) y coeficiente de correlación (R^2 :0,9991)
- Sodio (Na): Límite de detección (0.003mg/L), límite de cuantificación (0.047 mg/L), intervalo lineal entre (0.1 – 2.0 mg/L), ecuación de trabajo (*Absorbancia* = 0.304 [*Concentración*] + 0.2194) y coeficiente de correlación (R^2 :0.9994)

La evaluación estadística utilizada para el análisis de la reproducibilidad y repetitividad de la técnica analítica es aceptable, los cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos, por lo tanto, los resultados obtenidos en la presente investigación son confiables.

Las concentraciones de Potasio (K), Magnesio (Mg) Y Sodio (Na) obtenidos en las muestras fueron:

- Potasio (K): Limonal (5.20%K-133.3 (meq/100g)), Capote (88.4 (meq/100g) -3.45 %K), Abono orgánico comercial “el jardín” (224.3 (meq/100g)-8.75%K), Humus (45.9 (meq/100g) -1.79 %K).
- Magnesio (Mg): Limonal (0.46%Mg-38.3 (meq/100g)), Capote (0.47%Mg-39.2 (meq/100g)), Abono orgánico comercial “el jardín” (0.92%Mg-76.9 (meq/100g)), Humus (0.29%Mg-23.8 (meq/100g)).

- Sodio (Na): Limonal (0.36%Na-15.8 (meq/100g)), Capote (0.30%Na-13.0 (meq/100g)), Abono orgánico comercial “el jardín” (0.38%Na-16.5 (meq/100g)), Humus (0.04%Na-1.8 (meq/100g)).

Los contenidos de Magnesio (Mg) Y Sodio (Na) en las muestras de abono analizadas no se encuentran dentro de lo establecido por la norma de Colombia NTC 5167 para ser reportadas en la etiqueta.

Se evidencia la importancia de realizar un monitoreo constante a la calidad del abono comercial puesto que los resultados obtenidos difieren de los reportados en la etiqueta del producto; Abono orgánico comercial “el jardín” (0.92%Mg) experimental y Abono orgánico comercial “el jardín” (1.47%Mg) etiqueta; Abono orgánico comercial “el jardín” (8.75%K) experimental y Abono orgánico comercial “el jardín” (4.92%K) etiqueta.

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, carbono orgánico oxidable total, nitrógeno total, Magnesio, Sodio y Potasio según la NTC 5167 del 2011 segunda actualización.

La muestra Limonal es un abono producido en la planta de compostaje de la finca el Limonal de la universidad Santo Tomás. Como se evidencia en los resultados se afirma que este es un abono fertilizante sólido capaz de desarrollar y sostener vida vegetal, dado que se destaca sobre las demás muestras estudiadas. Pero, es importante tener en cuenta que este abono es ligeramente básico y con un alto porcentaje de K.

La muestra Capote obtuvo resultados aceptables. Es importante tener en cuenta que El capote es un abono muy húmedo y con un pH básico. Se puede concluir que el capote es un abono Orgánico fertilizante.

Durante el análisis de todos los parámetros la muestra Abono orgánico humus evidencio un bajo contenido nutricional (N, Mg, Na, K). En conclusión esta muestra no es considerada fertilizante, pero, debido a la alta capacidad de retención de agua funciona como abono germinador.

La muestra de abono Comercial es un abono comercializado por EL VIVERO EL BOSQUE, 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 magnesio es parecido. Este abono se puede clasificar como abono orgánico fertilizante.

Teniendo en cuenta las normas de España, Chile y Colombia (NTC 5167) los abonos analizados; abono Limonal, abono capote, abono humus y abono orgánico comercial el jardín pueden ser utilizados como enmiendas orgánicas en suelos agrícolas ecológicos, los cuales son bastantes restrictivos en bien de la seguridad alimentaria, y el medio ambiente.

Referencias Bibliográficas

- Acurio, G., Rossin, A., Paulo, T., & Zepeda, F. (1997). Diagnostico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en America Latina y el Caribe. *Croquis 2 no. 34,*, 130.
- Area Metropolitana de Bucaramanga. (2005). *Capitulo I. Plan De Gestion Integral De Residuos Solidos En El Sector Rural Del Area Metropolitana De Bucaramanga.*
- Barrena, R. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso. *Memoria de Tesis. Universitat Autònoma de Barcelona-Escola Universitaria Politecnica del Medi Ambient*, 316.
- Barreto Reyes, J. R. (2006). Materiales Orgánicos Utilizados como Fertilizantes o Acondicionadores de Suelos. *Tecnicaña 9 no. 8,* 33-40.
- Castañeda Samayoa, O. R. (2008). *Agricultura Orgánica.*
- Castrillón, O., & Puerta, S. (2012). Impacto del manejo integral de los residuos sólidos en la Corporación Universitaria Lasallista. *Lasallista de Investigación 1, no. 1,* 15-21.
- Decreto 838. (23 de marzo de 2005). *por el cual se modifica el Decreto 1713 de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.* Obtenido de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=16123>
- Dimas López, M. J., Díaz, E. A., Martínez, R. E., & D Valdez, C. R. (2001). Abonos orgánicos y su efecto en propiedades físicas y químicas del suelo y rendimiento en maíz. *Terra Latinoamericana 19, no. 4,* 293-299.
- Ellington, E. H., Bastille-Rousseau, G., Austin, C., Landolt, K. N., Pond, B. A., Rees, E. E., y otros. (2015). Using multiple imputation to estimate missing data in meta-regression,. *Ph.D. thesis dec* , 153-163.

Faithfull, N. T. (2002). *Methods on agricultural chemical analysis*.

FAO. (2013). Santiago de Chile.

FAO. (2016). *FAO Term Portal*. Obtenido de <http://www.fao.org/faoterm/en/>

Horneck, D. a., Sullivan, D. M., Owen, J. S., & Hart, J. M. (2011). Soil Test Interpretation Guide. *Oregon State University, Extension Service no. July*, 1-12.

Instituto Colombiano de Normas Tecnicas y Certificaciones. (2004). *NTC 5167: Productos para la Industria Agrícola. Productos Orgánicos Usados como Abonos o Fertilizantes y Enmiendas de Suelo*. Bogotá: ICONTEC.

Instituto Nacional de Normalizacion. (2004). NCh2880 Norma Chilena 2880 Compost: Clasificación y requisitos . 1-27.

Jaramillo, J. (1999). Gestión Integral de Residuos sólidos Municipales- GIRSM. *Feria y seminario internacional Gestión Integral de Residuos Sólidos y Peligrosos*, 1-20.

Kolmans, E., & Vásquez, D. (1999). *Manual de Agricultura Ecológica, segunda ed* . La Habana.

Mayea, S. S. (1992). Tecnología Para La Produccion De Compost (Biotierra) A Partir De La Inoculacion Con Microorganismos De Diversos Restos Vegetales. *CIDA.MINAGRI*, 22.

Melgarejo, P., Romagosa, I., & Duran, N. (2014). Biotecnología agrícola. *Arbor 190 no. 768*, a 152.

Ministerio de la Presidencia. (2013). Boletín oficial del Estado. 77325 - 77332.

Navarro, S., & Navarro, G. (2003). *Química Agrícola, vol. XXXIII*.

Perez, M. (2000). *Bibliociencias*.

Primavesi, A. (2009). *El Suelo Tropical*. Sao Paulo: Venezolana ed.

Puerta Echeverri, S. M. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista Lasallista de Investigación 1*, no. 1, 56-65.

Quintero Duran, R. (1995). Fertilizacion y Nutricion. no. Cvc, CENICAÑA. *El cultivo de la caña en la zona azucarera de Colombia, Cali*, 153-178.

Sanchez Contreras, L. E. (2007). Formulacion para el manejo integral de los residuos solidos urbanos generados en el departamento de Santander . *Ph.D. thesis, Universidad Industrial De Santander*, 1-83.

Sandoval, S. (2010). *Guía Técnica: Validación de métodos y determinación de la incertidumbre de la medición*.

Strasser, S., & Want, W. a. (2000). A Social History of Trash. *A Holt paperback, Henry Holt and Company*.

Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). *Manual para la elaboracion de compost bases conceptuales y procedimientos*; . Montevideo: Organizacion Panamericana De La Salud .

Testing Methods for Fertilizers; . (2013).

TM, S. (s.f.). *Med Educ 28 (1)*, , 68–73.

Victoria, R., Banwart, S., Black, H., Ingram, J., Joosten, H., Milne, E., y otros. (2012). The Benefits of Soil Carbon: Managing soils for multiple economic, societal and environmental benefits. *UNEP Year Book: Emerging Issues in our Global Environment*, 19-33.

Zamora Cardona, J. C., & Cristancho, F. (2008). *La Humedad en las Propiedades Físicas del Suelo*. Departamento de Física, Universidad Nacional de Colombia.

Zimmerman, R. (2002). Fat of the Land. Garbage in New York: The Last Two Hundred Years, by Benjamin Miller. *Journal of Policy Analysis and Management 21 no. 2*, 330-333.

Apéndices

Apéndice A. Resultados pH

Muestra	Repetición				Promedio	DE	CV
	1	2	3	4			
Limona	7.65	7.66	7.66	7.66	7.66	0.00	0.05%
Capote	8.02	8.00	8.01	8.01	8.01	0.01	0.10%
Gallina	6.45	6.47	6.46	6.46	6.46	0.01	0.13%
Humus	8.40	8.40	8.40	8.40	8.40	0.00	0.00%

Apéndice B. Resultados humedad

Muestra	Repetición				Prome dio	DE	CV
	1	2	3	4			
Limonal	41.14	39.55	40.35	40.35	40	0.65	1.61 %
Capote	50.10	51.35	50.73	50.73	51	0.51	1.01 %
Gallinaza	16.18	16.49	16.34	16.34	16	0.13	0.79 %
Humus	52.77	53.00	52.88	52.88	53	0.09	0.17 %

Apéndice C. Resultados Carbono

Muestra	Repetición				Prome dio	DE	CV
	1	2	3	4			
CAPOTE	38.42	36.27	36.37	36.37	36.86	1.04	2.82 %
GALLINA ZA	34.13	34.09	34.11	34.11	34.11	0.02	0.05 %
HUMUS	26.33	25.94	26.13	26.13	26.13	0.16	0.61 %
LIMONAL	20.57	20.38	20.48	20.48	20.48	0.08	0.39 %

Apéndice D. Resultados Nitrógeno

Muestra	Repetición				Prome dio	DE	CV
	1	2	3	4			
LIMONAL	1.6	1.89	1.7	1.79	1.79	0.09	4.80%
	8		9				
CAPOTE	0.9	0.70	0.8	0.84	0.84	0.11	13.61
	8		4				%
HUMUS	0.4	0.63	0.5	0.53	0.53	0.09	16.33
	2		3				%
GALLINAZ	1.3	1.12	1.2	1.23	1.23	0.09	7.00%
A	3		3				

Apéndice E. Absorbancias de blancos: determinación límite de detección

Blanco	Absorbancia Na	Absorbancia Mg	Intensidad de señal K
1	-0.001	-0.001	0
2	0	-0.001	0.1
3	-0,002	-0.001	0
4	-0.001	-0.001	0.1
5	-0.001	-0.001	0.1
6	0	-0.002	0
7	-0,002	-0.002	0
8	-0.002	-0.002	0
9	-0.001	-0.002	0
10	-0,002	-0.002	0.1

Apéndice F. Determinación del límite de cuantificación

Ensayos	Absorbancia Na	0.05 mg/L Na	Absorbancia Mg	0.05 mg/L Mg	Intensidad K	0.05
1	0.231	0.047	0.09	0.047	7.9	0.039
2	0.230	0.043	0.088	0.045	8.1	0.041
3	0.233	0.053	0.089	0.046	8	0.040
4	0.232	0.050	0.088	0.045	8.1	0.041
5	0.231	0.047	0.091	0.048	8.1	0.041
6	0.230	0.043	0.089	0.046	8.1	0.041
7	0.231	0.047	0.089	0.046	8.1	0.041
8	0.231	0.047	0.089	0.046	8.1	0.041
9	0.231	0.047	0.088	0.045	8.1	0.041
10	0.231	0.047	0.09	0.047	8	0.040

Apéndice G. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Sodio

Estándar (mg/L)	curva 1	curva 2	curva 3	curva 4	curva de trabajo
0.1	0.250	0.251	0.253	0.251	0.251
0.5	0.374	0.376	0.379	0.376	0.376
1.0	0.512	0.514	0.516	0.514	0.514
1.5	0.672	0.674	0.676	0.674	0.674
2.0	0.830	0.832	0.834	0.832	0.832
R²	0.9994	0.9994	0.9993	0.9994	0.9994

Apéndice H. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Magnesio

Estándar (mg/L)	curva 1	curva 2	curva 3	curva 4	curva de trabajo
0.1	0.169	0.168	0.171	0.169	0.169
0.2	0.284	0.282	0.285	0.284	0.284
0.3	0.412	0.411	0.414	0.412	0.412
0.4	0.536	0.534	0.537	0.536	0.536
0.5	0.654	0.652	0.655	0.654	0.654
0.6	0.751	0.754	0.757	0.754	0.754
0.7	0.875	0.873	0.876	0.875	0.875
0.8	0.974	0.981	0.984	0.980	0.980
R²	0.9988	0.9992	0.9992	0.9991	0.9991

Apéndice I. Resultados Repetitividad. Curvas de calibración y curva de trabajo Potasio

Estándar (mg/L)	curva 1	curva 2	curva 3	curva 4	curva de trabajo
0.05	7.9	8.10	8.10	8.0	8.0
0.20	27.4	27.60	27.30	27.4	27.4
0.40	50.2	50.40	50.10	50.2	50.2
0.60	74.1	74.30	74.00	74.1	74.1
0.80	95.2	95.40	95.10	95.2	95.2
R²	0.9990	0.9990	0.9992	0.9991	0.9991

Apéndice J. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración Na– Analista 2

Estándar (mg/L)	cur va 1	curv a 2
0.1	0.2 49	0.25 1
0.5	0.3 73	0.37 5
1.0	0.5 13	0.51 3
1.5	0.6 71	0.67 1
2.0	0.8 31	0.83 1
R²	0.9	0.99
	994	93

Apéndice K. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración Mg– Analista 2

Estándar (mg/L)	cur va 1	curv a 2
0.1	0.1 70	0.16 8
0.2	0.2 86	0.28 4
0.3	0.4 12	0.41 1
0.4	0.5 33	0.53 1
0.5	0.6 54	0.65 2
0.6	0.7 51	0.75 4
0.7	0.8 75	0.87 3
0.8	0.9 74	0.98 1
R²	0.9 99	0.99 93

Apéndice L. Resultados Reproducibilidad de curvas de calibración K- Analista 2

Estándar (mg/L)	curv a 1	curv a 2
0.05	7.9	8.1
0.20	27.4	27.7
0.40	49.3	50
0.60	74	76
0.80	93.8	95
R ²	0.99	0.99
	8	7

Apéndice M. Valores t para el 95% de rechazo de datos

n	95%	n	95%	n	95%	n	95%
3	1,15	11	2,24	19	2,53	27	2,69
4	1,46	12	2,29	20	2,56	28	2,71
5	1,67	13	2,33	21	2,58	29	2,72
6	1,82	14	2,37	22	2,60	30	2,74
7	1,94	15	2,41	23	2,62	31	2,87
8	2,03	16	2,44	24	2,64	32	2,96
9	2,11	17	2,47	25	2,66	33	3,03
10	2,18	18	2,50	26	2,67	34	3,21

Apéndice N. Valores t (n-1) para distintos intervalos de confianza

grados de libertad	90%	95%	98%	99%
1	6,31	12,71	31,82	63,66
2	2,92	4,3	6,96	9,92
3	2,35	3,18	4,54	5,84
4	2,13	2,78	3,75	4,60
5	2,02	2,57	3,36	4,03
6	1,94	2,45	3,14	3,71
7	1,89	2,36	3,00	3,50
8	1,86	2,31	2,90	3,36
9	1,83	2,26	2,82	3,25
10	1,81	2,23	2,76	3,17
12	1,78	2,18	2,68	3,05
14	1,76	2,14	2,62	2,98
16	1,75	2,12	2,58	2,92
18	1,73	2,10	2,55	2,88
20	1,72	2,09	2,53	2,85
30	1,70	2,04	2,46	2,75
50	1,68	2,01	2,40	2,68