

**TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y PECUARIOS EN COMPOST EN
LOS MUNICIPIOS DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN- CAQUETÁ Y BELLO-
ANTIOQUIA.**

Estudiantes: David Camilo Bolaños Mateus

dcamiboma@gmail.com

Código 67201416030

Juan Camilo Botero Botero

jcamilobotero@hotmail.com

Código No. 67201422245

TESIS DE GRADO

DOCENTES: DR. JOHN FREDY BETANCUR

jbetancur@umanizales.edu.co

DR. JUAN CARLOS MONTOYA

jcmontoya_agro@yahoo.com

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE*

Manizales, Caldas.

Agosto 2017

**TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS AGRÍCOLAS Y PECUARIOS EN COMPOST EN
LOS MUNICIPIOS DE SAN VICENTE DEL CAGUÁN- CAQUETÁ Y BELLO-
ANTIOQUIA.**

David Camilo Bolaños Mateus

Juan Camilo Botero Botero

**Trabajo de grado presentado como opción de grado para optar al título de Magister en
Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

ASESOR

DR. JUAN CARLOS MONTOYA

PhD

UNIVERSIDAD DE MANIZALES

MAESTRÍA EN DESARROLLO SOSTENIBLE Y MEDIO AMBIENTE

Manizales, Caldas.

Agosto 2017

Nota de Aceptación

Presidente del jurado

Jurado

Jurado

D (_ _) M (_ _) A (_ _ _ _)

DEDICATORIA

Este documento lo dedico especialmente a Dios, quien me ha regalado la vida, la salud, el tiempo y capacidad para poder participar en la realización de esta tesis de grado.

A mis padres Bertha María y Julio Alberto, hermanos Luis Felipe y Carlos Andrés, y a mi hijo Juan Camilo, gracias por todo su apoyo incondicional, su generosa comprensión y su tolerancia infinita.

Con amor,

Camilo

A mis padres Ricardo Ernesto y Lucero por su apoyo incondicional, a mis hermanos Ricardo, Mateo y Nicolás, esto lo hago por ustedes y para el bienestar de nuestros queridos Padres. Siempre mi familia a anhelado verme triunfar en la vida por lo tanto este triunfo se los dedico a ustedes hermosa familia, con mucho cariño,

David

AGRADECIMIENTOS

Expreso mis más sinceros agradecimientos al asesor por su apoyo profesional e incondicional por su mirada ética al impulso de un trabajo con la misión de ser buen material de apoyo al gremio agricultor.

Expreso mis agradecimientos a la Universidad de Manizales por darme la oportunidad de culminar mis estudios profesionales, a las directivas por su apoyo, al asesor y al jurado por su disposición constante de orientar y motivar en circunstancias donde un ser humano lo requiere para salir adelante con sus sueños y esperanzas de forjar un mejor porvenir

David

Agradezco rotundamente a Dios, a mi compañero David Bolaños, al doctor Jhon Fredy Betancur, a nuestro asesor Juan Carlos Montoya (Directivos y Docentes de la Universidad de Manizales), por toda la amabilidad y ayuda que me brindaron para poder culminar con éxito esta maestría y avanzar en mi proyecto de vida. Con aprecio,

Camilo

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
<i>INTRODUCCIÓN</i>	14
1. JUSTIFICACIÓN	16
2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	18
3. ANTECEDENTES	20
4. ESTADO DEL ARTE	23
5. MARCO LEGISLATIVO	27
6. MARCO TEÓRICO	29
6.1 <i>ACTIVIDADES AGROPECUARIAS</i>	29
6.2 <i>RESIDUOS</i>	29
6.3 <i>CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS</i>	30
6.4 <i>ABONOS ORGÁNICOS</i>	30
6.5 <i>COMPOSTAJE</i>	31
6.5.1 <i>Beneficios del uso del compost</i>	32
6.5.2 <i>Fases del compostaje</i>	32
6.5.2.1 <i>Mesofilica primaria</i>	33
6.5.2.2 <i>Fase termófila</i>	33
6.6 <i>Parámetros de control durante el compostaje</i>	34
6.6.1 <i>Humedad</i>	34
6.6.2 <i>Relación Carbono-Nitrógeno</i>	35
6.6.3 <i>Estructura y tamaño de los residuos</i>	35
6.6.4 <i>pH</i>	35
6.6.5 <i>Oxígeno</i>	36
6.6.6 <i>Temperatura</i>	36
6.7 <i>PASOS PARA SEGUIR PARA LA ELABORACIÓN DE UN BUEN COMPOST</i>	36
6.7.1 <i>Condiciones ideales del compostaje</i>	37
6.8 UTILIZACIÓN DEL COMPOST	37

7.8.1 <i>Compost como acondicionador de suelos</i>	38
7. <i>OBJETIVOS</i>	39
7.1 <i>GENERALES</i>	39
7.2 <i>ESPECÍFICOS</i>	39
8. <i>PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN</i>	40
9. <i>METODOLOGÍA</i>	41
9.1 <i>ÁREA DE ESTUDIO</i>	41
9.2 <i>SELECCIÓN DEL SUSTRATO Y PREPARACIÓN DEL COMPOST</i>	43
9.3 <i>MEDICIÓN DE VARIABLES</i>	44
9.4 <i>CUANTIFICACIÓN DEL CARBONO ORGÁNICO</i>	47
9.5 <i>TOMA Y PROCESAMIENTO DE MUESTRAS</i>	47
9.6 <i>CARACTERIZACIÓN FÍSICO, QUÍMICA DEL COMPOST</i>	48
10. <i>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</i>	49
10.1 <i>CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DEL COMPOST</i>	51
10.2 <i>Variables Evaluadas durante el Proceso de Compostaje</i>	52
10.2.1 <i>pH</i>	52
10.2.2 <i>Temperatura</i>	54
10.2.3 <i>Humedad</i>	55
10.3 <i>VARIABLES QUÍMICAS</i>	57
10.3.1 <i>Tasa de conversión de la materia orgánica</i>	57
10.2.4 <i>Calcio</i>	58
10.3.3 <i>Magnesio</i>	60
10.3.4 <i>Potasio</i>	61
10.3.5 <i>Sodio</i>	62
10.3.6 <i>Zinc</i>	64
10.3.7 <i>Porcentaje de Carbono orgánico</i>	65
10.3.8 <i>Conductividad eléctrica</i>	66
10.3.9 <i>Nitrógeno</i>	68
10.3.10 <i>Relación C/N</i>	69
10.3.11 <i>Fosforo</i>	71
10.3.12 <i>Boro</i>	72

10.3.13 Azufre.....	74
10.4 <i>CORRELACIÓN DE VARIABLES</i>	76
10.4.1 <i>Boro y Tasa de conversión de la materia orgánica</i>	76
10.4.2 <i>Calcio y pH</i>	76
10.4.3 <i>Zinc y Boro</i>	77
10.4.4 <i>Contenido de C/N y Magnesio</i>	78
10.4.5 <i>Contenido de C/N y Nitrógeno</i>	78
10.4.6 <i>Potasio y conductividad eléctrica</i>	79
10.4.7 <i>Azufre y conductividad eléctrica</i>	80
11. <i>CONCLUSIONES</i>	81
12. <i>RECOMENDACIONES</i>	82
13. <i>BIBLIOGRFÍA</i>	83

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Condiciones ideales de compostaje.....	37
Tabla 2. Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del compost para ser utilizado como acondicionador de suelo.....	38
Tabla 3. Materiales utilizados para elaborar cada una de las mezclas.....	43
Tabla 4. Evaluación de las variables en las unidades experimentales correspondientes al Municipio de San Vicente del Caguán, Caquetá. M: mezcla, T: temperatura °C, H: humedad y.....	49
Tabla 5. Evaluación de las variables en las unidades experimentales correspondientes al Municipio de Bello, Antioquía; M: mezcla, T: temperatura °C, H: Humedad y pH.....	50
Tabla 6. Material descompuesto en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello.....	50
Tabla 7. Material sin descomponer en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello.....	50
Tabla 8. Variables evaluadas en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello Antioquía.....	51
Tabla 9. Variables evaluadas en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello Antioquía.....	51
Tabla 10. pH. final del compost de las tres mezclas en San Vicente y Bello.....	53

LISTA DE FIGURAS Y GRÁFICAS

	Pág.
Figura 1. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.....	34
Figura 2. Localización geográfica del Municipio de Bello.....	41
Figura 3. Localización geográfica del Municipio de San Vicente.....	41
Figura 4. Estructura formada a partir de estantillos y láminas de zinc.....	42
Figura 5. Cajones que servirán como composteras.....	43
Figura 6. Medición de humedad.....	44
Figura 7. Medición de temperatura.....	45
Figura 8. Medición del pH de las muestras de compost.....	46
Figura 9. Aireación del compostaje.....	46
Figura 10. Medición del peso de los materiales.....	47
Figura 11. Recolección y empaque de las muestras.....	48
Figura 12. Compost de la muestra 3.....	48
Gráfica 1. pH obtenido en las tres mezclas en San Vicente del Caguán.....	52
Gráfica 2. pH obtenido en las tres mezclas en Bello.....	53
Gráfica 3. Temperatura de las tres mezclas en San Vicente.....	54
Gráfica 4. Temperatura de las tres mezclas en Bello.....	55
Gráfica 5. Humedad de las tres mezclas en San Vicente.....	56
Gráfica 6. Humedad de las tres mezclas en Bello.....	56
Gráfica 7. Tasa de conversión de la materia orgánica en San Vicente y Bello.....	57
Gráfica 8. Tasa de conversión de la materia orgánica en las tres mezclas.....	58

Gráfica 9. % de calcio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	59
Gráfica 10. % de calcio obtenido en las tres mezclas.....	60
Gráfica 11. % de Magnesio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	60
Gráfica 12. % de Magnesio obtenido en las tres mezclas.....	61
Gráfica 13. % de Potasio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	61
Gráfica 14. % de Potasio obtenido en las tres mezclas.....	62
Gráfica 15. % de Sodio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	63
Gráfica 16. % de Sodio obtenido en las tres mezclas.....	63
Gráfica 17. % de Zinc obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	64
Gráfica 18. % de Zinc obtenido en las tres mezclas.....	65
Gráfica 19. % de Carbono orgánico obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	65
Gráfica 20. % de Carbono orgánico obtenido en las tres mezclas.....	66
Gráfica 21. Conductividad eléctrica obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello En las tres mezclas.....	67
Gráfica 23. % de Nitrógeno obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	68
Gráfica 24. % de Nitrógeno obtenido en las tres mezclas.....	69
Gráfica 25. Relación C/N en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	70
Gráfica 26. Relación C/N en las tres mezclas.....	70
Gráfica 27. % de Fosforo obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	71
Gráfica 28. % de Fosforo obtenido en las tres mezclas.....	72
Gráfica 29. % de Boro obtenido en ambas localidades, San Vicente del Caguán y Bello.....	73
Gráfica 30. % de Boro obtenido en las tres mezclas.....	73
Gráfica 31. % azufre obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello.....	74

Gráfica 32. % azufre obtenido en las tres mezclas.....	75
Gráfica 33. Correlación del porcentaje de Boro y tasa de conversión M.O, realizado con el coeficiente de Pearson.....	76
Gráfica 34. Correlación del porcentaje de Calcio y Ph.....	77
Gráfica 35. Correlación del porcentaje de zinc y boro.....	77
Gráfica 36. Correlación del porcentaje de Magnesio y cantidad de C/N.....	78
Gráfica 37. Correlación del porcentaje de nitrógeno y cantidad de C/N.....	79
Gráfica 38. Correlación del porcentaje de Potasio y conductividad eléctrica.....	80
Gráfica 39. Correlación del porcentaje de azufre y conductividad eléctrica.....	80

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Glosario.....	88
Anexo 2. Materiales mezcla 1.....	92
Anexo 3. Materiales mezcla 2.....	93
Anexo 4. Materiales mezcla 3.....	94
Anexo 5. Reducción del material.....	95
Anexo 6. Pesado del material.....	96
Anexo 7. Adición de melaza.....	97
Anexo 8. Mezclas y recipientes de Bello.....	98
Anexo 9. Mezclas y recipientes de San Vicente.....	99
Anexo 10. Humedecimiento del compostaje.....	100
Anexo 11. Prueba de puño para medir humedad.....	101
Anexo 12. Mezclado del compostaje.....	102
Anexo 13. Medición de temperatura interna.....	103
Anexo 14. Medición de pH.....	104
Anexo 15. Cernido de la muestra.....	105
Anexo 16. Pesado de la muestra para envío a laboratorio.....	106
Anexo 17. Análisis físico-químico.....	107

INTRODUCCIÓN

Los Sistemas agrícolas son un conjunto de interacciones entre las personas, los recursos naturales y la producción de alimentos dentro de un predio o un campo específico; estos sistemas agrícolas presentan una gran modificación con relación al sistema natural cuando el hombre actúa sobre él, alterando el ecosistema a un estado artificial. Los sistemas que requieren más recursos e intervención, generalmente dependen de altos insumos de energía y recursos para mantener niveles de producción deseables, están usualmente asociados con un mayor desgaste de recursos y con mayores impactos sociales negativos (Restrepo, Angel y Prager, 2000). En la actualidad, los medios de producción están padeciendo una escasez de recursos, sin que el futuro parezca ofrecer mejores perspectivas. Los recursos hídricos, la energía y los fertilizantes químicos son cada día más caros, con riesgo de escasez y, sin embargo, diariamente se realizan vertidos masivos de residuos líquidos, lodos y residuos sólidos que afectan negativamente al medio ambiente (Santos, 2007).

Las actividades agrarias generan grandes cantidades de residuos orgánicos, que se transforman en contaminantes del ambiente al provocar una serie de daños al ecosistema. A pesar de estos efectos negativos, dichos residuos también pueden ser reutilizados como fuente de nutrientes para las plantas en la agricultura si se les da un tratamiento adecuado, una alternativa de solución es el compostaje (Hernández y Rodríguez, 2013).

El compostaje es una alternativa para la restauración de suelos degradados y de solución a los problemas de contaminación de los desechos orgánicos que se generan en la industria; es una estrategia que consiste en la conversión, de un material orgánico inestable, a un producto estabilizado, a través de respiración aerobia (Adams y Frostick, 2007). El componente activo de los procesos de biodegradación y conversión durante el compostaje son las poblaciones microbianas, entre las cuales se encuentran los hongos filamentosos, saprobios, patógenos y posibles agentes de control biológico (Anastasi, Varese, y Filipello, 2005).

El compost forma parte de los llamados residuos orgánicos, su función es mantener y mejorar la disponibilidad de nutrimentos en el suelo y obtener mayores rendimientos en los cultivos debido al

enriquecimiento con carbono orgánico y el mejoramiento de las características fisicoquímicas y biológicas del suelo (Sagarpa,s.f.). La calidad del compost se determina a través de las propiedades mencionadas, así como de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo (Santamaria, 2001).

Una de las principales fortalezas que presenta el compostaje es su amplia capacidad de aplicación y utilización en todo tipo de suelo con potencial agrícola, incluyendo los suelos de zonas áridas y semiáridas, y en general a todos los que presentan pobreza de fertilidad; esto es debido a que proporciona los nutrimentos y las propiedades físico- químicas que son alteradas por las labores culturales propias de la agricultura (Nieto, 2002).

La ventaja de la utilización de abonos orgánicos es que contribuyen a preservar, recuperar y mejorar las características de los suelos para garantizar su productividad en el tiempo, también mediante el compost, se incorpora el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo y se repone la diversidad de la flora microbiana benéfica, restableciendo los nutrimentos esenciales demandados por los cultivos que el suelo no puede suplir, de esta manera permite mantener el nivel óptimo de los suelos y preservar los ecosistemas en el tiempo. La agricultura orgánica mejora la composición del suelo, la fertilidad y la fauna del suelo que en el largo plazo tiene un efecto beneficioso en la producción de cultivos (Matheus, Graterol, Simancas y Fernández, 2007).

1. JUSTIFICACIÓN

La agricultura convencional aumentó la productividad con el uso de grandes dosis de fertilizantes inorgánicos que han causado contaminación química de la tierra y el agua. Este modelo también ha traído consigo una deficiencia cada vez mayor de micronutrientes en el suelo y un descenso preocupante en el contenido de materia orgánica en los suelos, debido al uso intensivo de fertilizantes sintéticos, este descenso de los rendimientos y el aumento del costo de los insumos son factores que llevan a buscar un nuevo enfoque de los sistemas agrícolas más ligado al medio ambiente y a la sostenibilidad ecológica del sistema de producción (Restrepo et al., 2000).

La agroecología presenta una nueva estrategia de desarrollo agropecuario que pretenden desarrollar modelos de producción donde haya un aprovechamiento sostenible de los ecosistemas productivos y los ciclos vitales de la naturaleza donde todos sus componentes se conserven. Este modelo se basa en la idea que un campo de cultivo es un ecosistema dentro del cual hay procesos y relaciones, entonces los sistemas agroecosistemas son una interacción compleja entre procesos sociales externos e internos y entre procesos biológicos y ambientales, en busca de cualidades de sustentabilidad, estabilidad biológica, conservación de recursos y una mayor productividad (Restrepo et al., 2000).

La agricultura orgánica es una alternativa favorable para sanear los efectos negativos ya que nos permite desarrollar un entendimiento más profundo de la ecología de los sistemas agrícolas. El Mantener e incrementar la fertilización del terreno es uno de los ideales de la agricultura ecológica, este concepto se logra a partir de la incorporación de materia orgánica al suelo, que puede provenir de distintas prácticas como los abonos verdes, la incorporación de estiércoles y la utilización de compost (López y Llorente, 2010).

En el sector agropecuario, los residuos orgánicos se han vuelto un problema para las producciones por el alto nivel de contaminación, siendo los más importantes los de ganadería y los desechos de cultivo, también el uso excesivo de agroquímicos y su sobre-explotación trae la pérdida de la materia orgánica, pérdida de la fertilidad y la contaminación de los suelos (Nieto, 2002).

El Municipio de Bello posee un área aproximada de 142 km², de los cuales solo 19 km² se clasifican como Suelo Urbano, esta proporción determina la magnitud e importancia que cobra, el área Rural. A nivel territorial se cuenta con el corregimiento de San Félix y 19 veredas. En esta zona, existen 42.8 hectáreas cultivadas, de las cuales el 48.33% cuenta con cultivos de Cebolla Junca, produciendo 649 toneladas de cebolla al año, 5 hectáreas (19,73%) se encuentran sembradas con plátano hartón produciendo 75 toneladas anuales, 9 hectáreas (13,54%) se encuentran sembradas de café. Entre los cultivos de menor proporción se encuentran el tomate de árbol, papa capira, tomate chonto y frijón cargamanto. La producción de ganado vacuno, porcícola y la producción avícola son las actividades más predominantes y en menor proporción se encuentra la cría de caballos. En la agroindustria se destaca la producción de leche y lácteos en general (Plan de desarrollo municipal Bello, 2017).

Como fuente económica del Municipio de San Vicente del Caguán, las actividades relacionadas con el sector agropecuario ocupan un renglón significativo para el Municipio.

Agricultura: es de tipo tradicional, en la que predominan los bajos rendimientos que obedecen principalmente a las características edafológicas, y al tipo de modelo agrícola desarrollado; Según las Evaluaciones Agropecuarias el área dedicada a cultivos de pan coger, cultivos agrícolas anuales y transitorios en el Municipio de San Vicente durante el año 2017 es de 3101 has.

El compostaje es una alternativa a la problemática de contaminación de los desechos orgánicos que se generan en las actividades agropecuarias. El éxito de un proceso de compostaje, dependerá de aplicar los conocimientos de microbiología, manejando la pila de compost como un medio de cultivo, también factores como tipo de sustrato (residuos orgánicos) y los que manipula el hombre (aireación, humedad, pH, temperatura), además varían en su composición química de acuerdo al proceso de elaboración, duración del proceso, actividad biológica y tipos de materiales que se utilicen, por tanto el conocimiento y la valoración de los procesos microbianos nos demuestra su efecto sobre el grado de maduración del compost. La medición de la evolución de los principales parámetros químicos y biológicos permite monitorear el grado de estabilidad alcanzado por los residuos orgánicos (Sánchez, 2009).

2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

En el mundo se producen aproximadamente 1600 millones de toneladas por año de residuos sólidos, se estima que los servicios de disposición, tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos mueven mundialmente un mercado anual de 100,000 millones de dólares, de los cuales 43,000 millones corresponden a Norteamérica, 42,000 millones a la Unión Europea y sólo 6,000 millones a Suramérica, siendo la producción de residuos de 250, 200 y 150 millones de toneladas por año respectivamente (Skinner, 2000). En el caso de Colombia, las cifras del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial indican que en un día el país produce 27,300 toneladas de basura de las cuales el 65% son residuos orgánicos y el 35% inorgánicos. Los componentes que constituyen la fracción orgánica de las basuras colombianas son residuos de alimentos, papel, cartón, madera y residuos de jardín (Stoecklein y Suárez, 1998). Sólo el 40% de los residuos sólidos municipales tiene un manejo adecuado, el 50% es manejado de forma indebida y el 10% es recuperado gracias al reciclaje.

Los sistemas agropecuarios representan un gran aporte a los porcentajes establecidos anteriormente, estos generan cantidades considerables de residuos orgánicos que ocasionan efectos ambientales negativos como la generación gases efecto invernadero por la descomposición de dichos residuos, que adicionalmente generan lixiviados desfavorables principalmente por su inadecuada gestión, esto crea la necesidad de buscar alternativas y opciones de tratamiento que puedan ofrecer ventajas sobre la eliminación de los residuos (Angulo, 2012).

El aumento en la generación de residuos sólidos asociado al crecimiento poblacional y la globalización que genera cultura consumista; ha llevado a la aplicación de tecnologías apropiadas para la disposición final de residuos sólidos que permitan un control racional de los impactos producidos por los residuos, sin que se ponga en alto riesgo el medio ambiente y la salud pública (Jaramillo y Zapata, 2008).

El manejo de los abonos orgánicos ha sido tradicionalmente utilizado por los agricultores de pequeñas extensiones de tierra, incorporando directamente materiales orgánicos al agrosistema. El compost es rico en nutrientes como nitrógeno, fósforo y bacterias, y puede ser aplicado nuevamente a los cultivos

para la recuperación de suelos. Sin embargo, este proceso puede resultar perjudicial para el ambiente sino se desarrolla un proceso adecuado (Nieto, 2002).

Los municipios de Bello-Antioquia y San Vicente del Caguán-Caquetá, cuentan con una producción agropecuaria generadora de residuos sólidos; en los cuales, predominan los que generan la ganadería, el cultivo del plátano, de la cebolla junca, de la producción café y de los cultivos de pan coger, a través de la disminución de espacios verdes, invasión de zonas de retiro de las fuentes hídricas y contaminación de las mismas, alteración de los ecosistemas naturales, sustracción de recursos naturales no renovables, cambios en los usos del suelo, ampliación de la frontera agropecuaria y alteración del paisaje (Plan de desarrollo municipal Bello, 2012- Plan de desarrollo municipal de San Vicente del Caguán, 2012).

Debido a la problemática mencionada en el párrafo anterior, se tomó la decisión, de buscar alternativas de solución a estas, por medio de la transformación de residuos agrícolas y pecuarios en compost en los dos municipios; siendo una alternativa a la problemática de contaminación de los desechos orgánicos que se generan en estas actividades (Sánchez, 2009).

3. ANTECEDENTES

Los seres humanos desde tiempos antiguos se han dedicado a las actividades agrícolas en aras de mejorar la calidad de vida de las poblaciones; el desarrollo de la ganadería y la especialización en el dominio de técnicas de cultivo permitieron solucionar los problemas de abastecimiento de alimentos y por ende la reducción de la mortandad de las poblaciones en el mundo, de esta forma debido al progreso económico y también social que implicó el suministro de alimentos y luego por el desarrollo del comercio, se logró un impulso para el crecimiento económico de los países (Bellarby, Foereid, Hastings, y Smith, 2008).

Las actividades como la agricultura y la ganadería en los últimos años se han desarrollado con una mayor intensidad fomentando al crecimiento económico de las personas que se dedican a estas labores, no obstante, las realizaciones de estas acciones también repercuten en el medio ambiente, esto es debido a que este sector es el principal contaminador de los recursos ambientales terrestres y acuáticos (Silva, Cevallos, Sarabia y Boza, 2016).

Los residuos sólidos que resultan de estas actividades han ocasionado impactos ambientales negativos por su disposición inadecuada y porque cada vez son más, asunto asociados con el incremento de la población humana, a los procesos de transformación industrial (globalización), y a los hábitos de consumo de los individuos (Jaramillo y Zapata, 2008).

Según el informe El medio ambiente en Europa: tercera evaluación (citado en Jaramillo y Zapata, 2008), la cantidad total de residuos municipales que se recoge es cada vez mayor en un gran número de los países Europeos. En Europa se generan cada año más de 3.000 millones de toneladas de residuos. Esto equivale a 3,8 toneladas por persona en Europa Occidental, 4,4 toneladas por persona en Europa Central y Oriental y 6,3 toneladas en los países de EECA (Europa del Este, Cáucaso y Asia Central). En países subdesarrollados el porcentaje en peso de la fracción orgánica es del 40% al 55% y en países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado. De los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado

para su aprovechamiento; al resto de residuos se les da un manejo inadecuado generando problemas ambientales (Dante, 2001).

La agricultura alternativa surge en respuesta a la degradación ambiental causada por la agricultura industrializada en la década de 1970 a 1980, la conciencia ambiental constituyó un hecho social que permeó a Latinoamérica y que en Colombia dio lugar a la conformación del movimiento ambiental ecológico, orientados a la producción agrícola ecológica, proponiendo la integración de saberes tradicionales con conocimientos científicos y métodos de la ecología, con el objetivo de potenciar la agricultura tradicional hacia modelos más eficientes y que al mismo tiempo fueran compatibles con los conceptos y métodos de la ecología. Tales agriculturas alternativas proponen manejos de los recursos naturales que van desde el sistema orgánico que no utiliza insumos químicos sintéticos, hasta aquellos que los aceptan para controlar ciertas plagas y enfermedades (Rivera y León, 2013).

Es así como los sistemas de producción cada vez más se hacen de manera sustentable, promoviendo prácticas que preserven los recursos naturales y permitan hacer un uso eficiente y adecuado de los residuos que se derivan directa o indirectamente del sector agropecuario. Dichos residuos pueden ser reutilizados si se les da un tratamiento sostenible. El compostaje es una alternativa de solución a los problemas de contaminación generada por residuos, es una práctica ampliamente aceptada como sostenible y utilizada en todos los sistemas asociados a la agricultura climáticamente inteligente. Ofrece un enorme potencial para todos los tamaños de fincas y sistemas agroecológicos y combina la protección del medio ambiente con una producción agrícola sostenible (FAO, 2013).

El uso y aprovechamiento de los residuos agropecuarios como fuente de materia orgánica en la agricultura se viene practicando desde hace mucho tiempo, siendo difícil atribuir a una persona, sociedad o época en específico los inicios del compostaje, es claro que desde la invención de la agricultura los campesinos aseguraron la fertilidad de sus campos mediante materiales orgánicos descompuestos (Puerta, 2004).

Según (López y Llorente, 2010), el mantener e incrementar la fertilización del terreno, es uno de los ideales de la agricultura ecológica, este concepto se logra a partir de la incorporación de materia orgánica al suelo, que puede provenir de distintas prácticas como los abonos verdes, la incorporación

de estiércoles y la utilización de compost. Esta última alternativa, es la que se está aplicando en los municipios de Bello-Antioquia y San Vicente del Caguán-Caquetá, en los cuales se genera una gran cantidad de residuos agropecuarios.

4. ESTADO DEL ARTE

El aprovechamiento de residuos orgánicos que resultan de las actividades agrícolas es una práctica que se viene desarrollando desde la antigüedad, pero que en los últimos años se ha venido perfeccionando y que surge por la necesidad de crear prácticas ambientalmente sostenibles, en aras de reducir los daños a los ecosistemas y mejoramiento de la calidad de vida de los seres humanos. Realizar prácticas como el compostaje de residuos es el común pensar en la actualidad en diferentes países del mundo; organizaciones mundiales, centros de investigaciones y agricultores para reducir los problemas de contaminación, erosión del suelo, desertificación entre otros. En el mundo la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, mundialmente conocida como FAO en el año 2013, reuniendo las experiencias obtenidas en América Latina, desarrolló el Manual del Compostaje Del Agricultor como una estrategia para afianzar y consolidar más las experiencias individuales de todos los agricultores, el principal objetivo de este trabajo fue difundir tecnologías apropiadas para la elaboración de un producto sano y seguro para uso como abono en huertas familiares. El manual presenta un enfoque respecto a la agricultura: intensificación sostenible de la producción agrícola, en la que se produce más en la misma superficie de tierra a la vez que permite conservar los recursos, reducir las repercusiones negativas en el medio ambiente y potenciar el capital natural y el suministro de servicios del ecosistema. Otras organizaciones como la Fundación para la Investigación y el Desarrollo Agrícola-FIDAR y el Centro Internacional de Agricultura Tropical-CIAT en el año 2014 realizan un manual con el propósito de proporcionar criterios y metodologías para convertir los residuos orgánicos, en un valioso recurso para la agricultura, por medio de la habilitación de procesos conocidos como; el compost, el lombricompost, compost de bocashi, producción de viores y las sustancias húmicas. Adicionalmente, en América Latina se han realizado diferentes investigaciones relacionadas con el manejo de residuos y compost.

En una investigación realizada por Acurio *et al.*, en el año 1997, se realizó un diagnóstico de la Situación del Manejo de Residuos Sólidos Municipales en Latinoamérica y el Caribe realizado conjuntamente por el Banco Interamericano de Desarrollo la Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud, el cual sirve como instrumento para establecer programas de acción en el área de residuos sólidos Municipales. En Latinoamérica, específicamente en Argentina,

Castillo *et al.*, (2000) realizaron la caracterización química y física del compost de lombrices elaborados a partir de residuos orgánicos puros y combinados, en esta investigación se realizaron cinco tratamientos para determinar la mezcla de mayor rendimiento y calidad, los materiales usados para compostar fueron estiércol y residuos de cocina; se obtuvo que el mejor rendimiento corresponde al tratamiento 1 cuya composición es estiércol al 100%. En trabajos similares se realizó en Argentina la producción de biogás y compost a partir de las aguas residuales de proyectos arqueológicos para remediar el problema de contaminación causado por lixiviados que resultan de los desechos orgánicos acumulados en los pozos sépticos (Padilla y Mendez, 2015).

Las técnicas de compostaje han venido mejorando gracias a las investigaciones realizadas por distintos autores, tal es el caso de Cariello *et al.*, en el año 2007 quienes prepararon un inoculante de microorganismos para acelerar el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos para optimizar tiempo y tener un mayor rendimiento, en esta investigación se inocularon pilas de material con una mezcla de microorganismos endógenos. Las bacterias se identificaron como *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* y un hongo, *Aspergillus fumigatus*. Los resultados mostraron que las pilas inoculadas alcanzaron las características de estabilidad y madurez, cuatro semanas antes de la pila control sin inoculación. Estos resultados indicaron que el inóculo fue útil para acelerar el proceso de compostaje en residuos urbanos.

Los procesos más importantes en la degradación de residuos tienen que ver con los microorganismos encargados de la descomposición de los materiales y producción de biomasa, en este caso compost, esto justifica las investigaciones realizadas por Pérez, *et al.*, (2010) quienes centraron sus estudios en la identificación de las especies fúngicas que actúan durante el proceso de maduración del compost, se encontraron varios hongos de interés para la agricultura; *Alternaria alternata*, *Trichoderma harzianum*, *T. Longibrachiatum*, *Ulocladium atrum*. Estudios similares los ha realizado Sanchez Tybaide en su artículo “Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros”, donde se observó la presencia dominante del hongo *Aspergillus flavus* en la fase inicial, *A. fumigatus* en la fase termofílica y en la de estabilización ocasionalmente se observó la presencia de *A. terreus*, *A. flavus*, *A. níger* y otras especies de *Aspergillus*.

Actualmente existen recomendaciones e investigaciones sobre el proceso de compostaje, así, Negro, M. *et al* (2000) explican en qué consiste la producción y gestión del compost, los beneficios y las desventajas de producirlo; el acondicionamiento del suelo, el mejoramiento del manejo de estiércoles, disminución de los riesgos de contaminación y malos olores, destrucción de patógenos, entre otros, forman parte de los beneficios; sin embargo, pueden haber desventajas de tipo económico y de espacio cuando no se cuenta con equipos e instalaciones mínimas y cuando no hay un lugar para almacenar los materiales, otra desventaja es la de tipo climatológico ya que si hace mucho frío el proceso se puede alargar.

La FAO (2012), también hace sus aportes a través de un taller realizado de Cambio Climático y Sostenibilidad Ambiental, da una serie de pautas relacionadas con las técnicas de compostaje que se pueden implementar, haciendo hincapié en el control de parámetros relacionados con la temperatura, oxígeno, humedad, pH y el contenido de C: N, como variables que ayudan a optimizar este proceso; también se han realizado investigaciones donde han llevado el control de estos parámetros, tal es el caso de la investigación realizada por Acosta y Peralta (2015) en su trabajo titulado “Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá” quienes realizaron el seguimiento a las variables físicas: temperatura, humedad, y químicas: pH, cada 3 días, y cuantificación microbiológica de bacterias y hongos, se realizó la caracterización microbiológica para determinar los géneros más representativos de hongos y bacterias. Por último se realizó un bioensayo con los extractos de cada mezcla, utilizando semillas de una gramínea Pasto Braquiaria (*Brachiaria decumbens*) y una leguminosa Alfalfa (*Medicago sativa*) para determinar el índice de fitotoxicidad de los abonos, los resultados indican que la mezcla 6 (Porquinaza, Bovinaza, Pasto estrella, Plantas de tomate) presentó los valores más altos en cuanto a indicadores de calidad como químicos (C/N, Nitrógeno, Potasio, Sodio, Calcio, Fosforo, Boro y azufre), físicos (Color y Olor) y mayor concentración final de microorganismos.

En Ecuador, las investigaciones realizadas están relacionadas con las descritas anteriormente, Jara *et al* (2016) evaluaron los parámetros físico-químicos y el contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos. Se determinó el pH y la temperatura en función del tiempo durante el proceso de digestión aeróbico-bacteriológico. Se obtuvo un compost sólido Bio-sol y se determinaron parámetros físico-químicos y microbiológicos. En otra investigación realizada por

Vasquez (2008) se produjeron y evaluaron cuatro tipos de bioabonos: compost, bocashi, té de estiércol y boil. Los resultados demuestran que en la composición química de los bioabonos el compost presenta los mejores valores en relación a nutrientes. Sin embargo, el mejor índice de beneficio-costos al producir bioabonos se produjo con Biol y en la producción de pastos el mayor índice lo obtuvo el bocashi. En un trabajo similar realizado en República Dominicana, luego de realizar la caracterización físico-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos, se concluyó que los abonos orgánicos de tipo de bocashi de la planta Jarabacoa “BPJ” presentó valores superiores de materia orgánica (MO) con 44%, P (6.1%), K (3.6%), Ca (21.7%) y micro nutrientes (Mn y Zn) que los otros bocashi evaluados. El mayor contenido de MO (52%) entre los materiales compostados se observó en el tipo Justino Peguero “CJP”, pero con contenidos de nutrientes similares a los otros compost. El contenido de MO fue superior en humus de lombriz (76% promedio) comparado con los bocashi y los compost. Los resultados mostraron que las características físicas, químicas y biológicas de las enmiendas orgánicas evaluadas varían con las condiciones de manejo, tipo de material utilizado en su preparación, condiciones ambientales y procesos de elaboración (Pérez, *et al.* 2008).

En países como Costa Rica, investigadores como Soto y Muñoz (2002) realizaron consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica, las consideraciones finales de este trabajo explican que el compost cumple una función vital en las fincas durante el proceso de transición de producción convencional a orgánica, no tanto como fuente de nutrientes, sino para mejorar la capacidad del suelo para el manejo de nutrientes y agua. En el año 2012 en México, Olivares *et al.*, luego de evaluar la aplicación de Lombricomposta y composta de estiércol de Ganado vacuno obtuvieron las mejores condiciones de MO y en la concentración de macronutrientes en los suelos con fertilización a base de lombricomposta y composta.

Finalmente, en Colombia se han realizado diferentes investigaciones que involucran la producción de abonos orgánicos a partir de residuos orgánicos que resultan de la secretaría de salud, residuos orgánicos de plazas de Mercado, residuos de gallinaza, residuos orgánicos urbanos (Acosta y Peralta, 2012; López y Florez, 2017 y Cardona, *et al.*, 2004).

5. MARCO LEGISLATIVO

En Colombia, se inició la legitimación de la agricultura alternativa a través de la Resolución 544 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural 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. En esta resolución la agricultura ecológica es tratada como tema exclusivo de exportaciones, es decir que lo que se busca privilegiar es una agricultura apta para un mercado “verde” internacional. Ésta resolución fue reemplazada en 2002 por la 0074 del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural en la que se establecen los requisitos para obtener productos sin residuos de compuestos de síntesis química y sin producir desequilibrios en el ecosistema; reglamento para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización de productos agropecuarios ecológicos. El prefijo BIO únicamente puede ser utilizado en acondicionadores orgánicos registrados para agricultura ecológica, que involucren microorganismos en su composición (Rivera y León, 2013).

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 base en estándares internacionales para contribuir a mejorar las condiciones de su producción, comercialización, utilización y su disposición final, elevando los niveles de calidad, de eficacia y de seguridad para la salud humana y el ambiente. Norma técnica colombiana NTC 5167 del 2003: Productos para la industria agrícola, materiales orgánicos utilizados como fertilizantes o acondicionadores de suelos, donde se reglamentan los limitantes actuales para el uso de materiales orgánicos, los parámetros físico – químicos de los análisis de las muestras de materia orgánica, los límites máximos de metales pesados y enuncia algunos parámetros para los análisis microbiológicos (Puerta, 2004).

El término ecológico es ratificado por la Resolución 0187 de 2006, del Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, que define el “sistema de producción ecológica”, y asume los términos ecológico, orgánico o biológico, como sinónimos. En estos se incluyen todos los sistemas agrícolas que promueven la producción agropecuaria de manera sana y segura, desde el punto de vista ambiental, social y económico. Con los principios generales de respeto por la biodiversidad, enfoque y

reconocimiento de la diversidad agroecosistémica. Como se observa, la agroecología en Colombia se encuentra en proceso de expansión y crecimiento, que viene de la mano de las distintas formas de practicar las agriculturas alternativas y que se van expresando de manera lenta y no completamente formalizado ni aceptado en consenso. Desde el punto de vista institucional el gobierno colombiano creó en 1995 el grupo de Sostenibilidad Agropecuaria y Gestión Ambiental (Rivera y León, 2013).

6. MARCO TEÓRICO

6.1 Actividades agropecuarias

Son las actividades que resultan del sector agrícola y el sector pecuario y que forman parte de un importante sector de la economía en distintas partes del mundo especialmente por la explotación de recursos naturales. En esta actividad, se generan una gran variedad de residuos de origen vegetal y animal. Los residuos vegetales están integrados por restos de cosechas y cultivos (tallos, fibras, cutículas, cáscaras, bagazos, rastrojos, restos de podas, frutas, etc., procedentes de diversas especies cultivadas. Entre los residuos animales, se incluyen excrementos sólidos y semisólidos (estiércoles) y líquidos purines. Desechos de faena, cadáveres, sobrantes de suero y leche, etc. Los estiércoles y purines son los residuos que presentan mayor interés por la concentración espacial que alcanzan en producciones como la lechera, cunicultura, avicultura, entre otros y por el impacto ambiental negativo que producen en la mayoría de los casos (Sztern y Pravia, 2008).

6.2 Residuos

Se define como residuo o desecho a todo material, o resto de material generadas en las actividades de producción y consumo, que no tiene uso alguno. En función de los recursos disponibles, los “desechos”, son materiales fuera de lugar y desde el punto de vista económico son el producto del uso ineficiente de los recursos en la producción de bienes y servicios; residuo es cualquier sustancia u objeto del cual se desprenda su poseedor, en el caso específico de los residuos agrícolas se define como todo aquel material sobrante o desperdiciable generado en un establecimiento agropecuario, a menudo son reutilizables y se pueden considerar como un recurso al ser considerados como materia prima para algún proceso, rápidamente adopta un valor en el mercado. Para definir si determinados residuos tienen potencial de reaprovechamiento, es necesario conocer su naturaleza u origen (Valderrama, 2013). En el decreto 1713 de 2002, se define como residuo a cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades industriales, comerciales, institucionales, 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.

6.3 Clasificación de los residuos

Los residuos se pueden clasificar en diferentes tipos de acuerdo a su estado, origen y tipo de manejo (Jaramillo y Zapata, 2008):

1) Clasificación de acuerdo a su estado:

Un residuo es definido por estado, según el estado físico en que se encuentre. Existe por lo tanto tres tipos de residuos desde este punto de vista: sólidos, líquidos y gaseosos

2) Clasificación de acuerdo a su origen:

- Residuos sólidos urbanos: Los que componen la basura doméstica.
- Residuos Industriales: La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo.
- Inertes: son los escombros y materiales similares. Es un residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.
- Residuos radiactivos: materiales que emiten radiactividad.
- Residuos tóxicos y peligrosos
- Residuos mineros: los residuos mineros incluyen los materiales que son removidos para ganar acceso a los minerales y todos los residuos provenientes de los procesos mineros.
- Residuos hospitalarios: Restos del trabajo clínico o de investigación.

3) Clasificación de acuerdo a su manejo:

- Residuo peligroso: residuos que por su naturaleza son inherentemente peligrosos de manejar y/o disponer y pueden causar muerte, enfermedad; o que son peligrosos para la salud o el medio ambiente cuando son manejados en forma inapropiada.
- Residuo inerte: Residuo estable en el tiempo, el cual no producirá efectos ambientales apreciables al interactuar en el medio ambiente.

6.4 Abonos orgánicos

La aplicación de estiércoles y purines es una práctica tradicional de abonado orgánico, el abono orgánico abarca los abonos elaborados con estiércol de ganado, compost rurales y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. En esta categoría se puede incluir los abonos verdes. Para aprovechar el potencial que tienen los desechos orgánicos como abonos, estos deben pasar por un

proceso previo antes de su integración al suelo, de forma tal que, el material que definitivamente se aporte, haya transcurrido por los procesos más enérgicos de la mineralización y presente formas lo más estable posible, con los macro y micro nutrientes en las formas más asimilables posibles. Una de las técnicas que permite esta biodegradación controlada de la materia orgánica previa a su integración al suelo es el Compostaje y el producto final es conocido como Compost (Sztern, 2008).

6.5 Compostaje

El compostaje es la transformación de residuos orgánicos (estiércol animal, hojas, verduras, residuos de alimentos, frutas, etc.), por acción controlada de los microorganismos descomponedores que dan como resultado un producto totalmente orgánico, estable e higienizado aprovechable por el suelo y por las plantas. En principio, toda materia orgánica tales como desechos vegetales y animales, y restos de alimentos, entre otros, pueden ser utilizados como materia prima para el compostaje (Puerta, 2004).

El compostaje puede definirse como un proceso biológico aeróbico (biooxidativo) controlado, en el que intervienen numerosos microorganismos quienes alteran la estructura molecular de los compuestos orgánicos, que incluye un sustrato orgánico heterogéneo en estado sólido, que evoluciona pasando a través de diferentes fases las cuales ocasiona cambios de temperatura y pH durante el proceso, dando lugar a la producción de materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos (Penagos *et al.*, 2011).

La humedad y la temperatura adecuada hacen de este proceso una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo y asimilable por las plantas. Es posible interpretar el compostaje como el sumatorio de procesos metabólicos complejos realizados por parte de diferentes microorganismos, que en presencia de oxígeno, aprovechan el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su propia biomasa. En este proceso, adicionalmente, los microorganismos generan calor y un sustrato sólido, con menos C y N, pero más estable, que es llamado compost (FAO, 2012).

6.5.1 Beneficios del uso del compost

Entre los beneficios del compostaje se incluyen: a) Acondicionamiento del suelo: La utilización de compost como enmienda orgánica o producto restituidor de materia orgánica en los terrenos de labor

tiene un gran potencial e interés en nuestro país, ya que la presencia de dicha materia orgánica en el suelo en proporciones adecuadas es fundamental para asegurar la fertilidad y evitar la desertización. Además, cabe comentar que la materia orgánica en el suelo produce una serie de efectos de repercusión agrobiológica muy favorable. Entre estos están: Mejora de las propiedades físicas del suelo: la materia orgánica contribuye favorablemente a mejorar la estabilidad de la estructura de los agregados del suelo agrícola (serán más permeables los suelos pesados y más compactos los ligeros), aumenta la permeabilidad hídrica y gaseosa, y contribuye a aumentar la capacidad de retención hídrica del suelo mediante la formación de agregados.)

Mejora las propiedades químicas: la materia orgánica aporta macronutrientes N, P, K y micronutrientes, y mejora la capacidad de intercambio de cationes del suelo, esta propiedad consiste en absorber los nutrientes catiónicos del suelo, poniéndolos más adelante a disposición de las plantas, evitándose de esta forma la lixiviación. Por otra parte, los compuestos húmicos presentes en la materia orgánica forman complejos y quelatos estables, aumentando la posibilidad de ser asimilados por las plantas. Mejora la actividad biológica del suelo: la materia orgánica del suelo actúa como fuente de energía y nutrición para los microorganismos presentes en el suelo. Estos viven a expensas del humus y contribuyen a su mineralización. Una población microbiana activa es índice de un suelo fértil.

6.5.2 Fases del compostaje

Al descomponer el C, el N y toda la materia orgánica inicial, los microorganismos desprenden calor medible a través de las variaciones de temperatura a lo largo del tiempo. Según la temperatura generada durante el proceso, se reconocen tres etapas principales en un compostaje, además de una etapa de maduración de duración variable. Las diferentes fases del compostaje se dividen según la temperatura, en (Manual FAO, 2013):

6.5.2.1 Mesofílica primaria

Los microorganismos mesófilos, actinomicetos y hongos a temperatura ambiente (menor 40°C) degradan aminoácidos, carbohidratos y fuentes sencillas de carbono y Nitrógeno por lo tanto producen ácidos orgánicos que ocasionan la disminución del pH entre (4 – 5) y generan un aumento de

temperatura hasta los 45°C. La fase Mesofilica se encuentra en un rango de temperatura entre 20°C – 40°C (López, 2017). En este inicio del proceso mesofílico hay abundancia de amoníaco (NH₃), que prima sobre el nitratos (N - NO₃); dominan las bacterias y los hongos mesófilos. También hay liberación de CO₂ y H₂O, lo cual reduce el contenido de carbono (C) del compost y el porcentaje de la fracción mineral tiende a aumentar (Román, 2013).

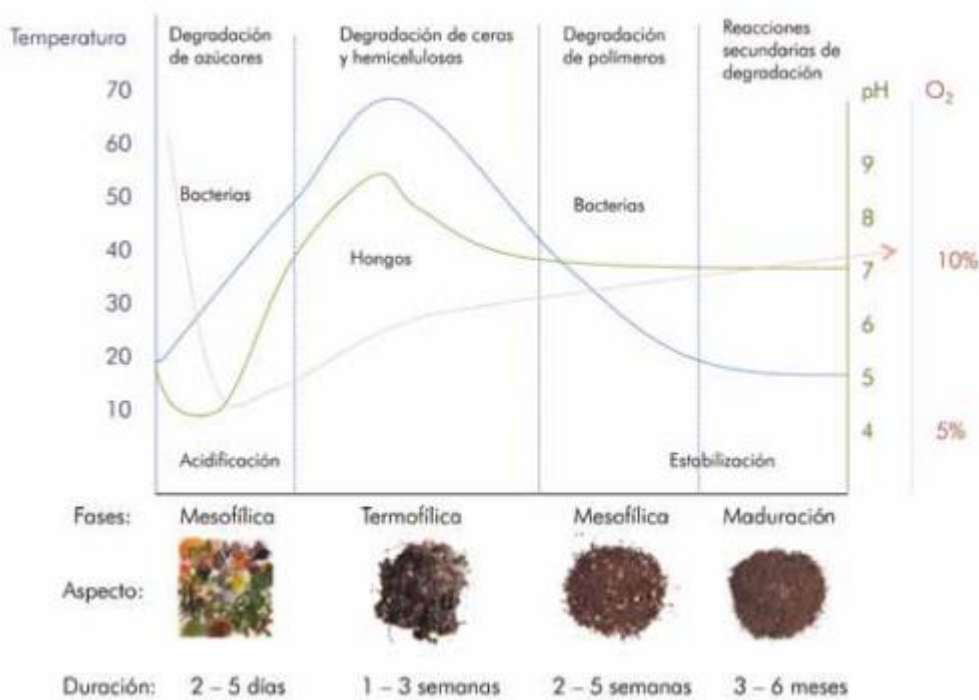
6.5.2.2 Fase termófila

Los microorganismos termófilos, actinomicetos y hongos, descomponen, proteínas, ceras, lignina, quitina, celulosa y hemicelulosa. También transforman el Nitrógeno (N), en Amoníaco (NH₃), por consiguiente el pH del medio aumente. La fase termofílica se encuentra en un rango de temperatura entre 45°C - 65°C producto del aumento de la temperatura se destruyen microorganismos de origen fecal, quistes, esporas de hongos patógenos, y huevos de helminto (López, 2017). Esta fase puede durar desde unos días hasta meses, según el material de partida, las condiciones climáticas y del lugar, y otros factores (FAO, 2013).

Mesofilica secundaria. Producto del consumo de las principales fuentes de carbono la temperatura desciende hasta los 20°C – 40°C en donde los microorganismos mesófilos, actinomicetos y hongos reinician su actividad metabólica con las fuentes de carbono restantes (López, 2017).

Maduración. En el periodo de maduración se desarrolla principalmente microorganismos fijadores de nitrógeno, denitrificadoras, sulfato reductoras. También con actividades amonificante, celulolítica, y amilolítica. Lo anterior permite la oxidación y mineralización de hierro, manganeso, fosforo nitrógeno inorgánico, compuestos azufrados y polimerización de compuesto orgánicos, que producen la formación de ácidos húmicos, fúlvicos y sales insolubles. (López, 2017-biotransformación de residuos orgánicos).

Figura 1. Temperatura, oxígeno y pH en el proceso de compostaje.



Fuente: P. Román (FAO, 2013).

6.6 Parámetros de control durante el compostaje

Ya que el compostaje es un proceso biológico llevado a cabo por microorganismos, se deben tener en cuenta los parámetros que afectan su crecimiento y reproducción. Estos factores incluyen el oxígeno o aireación, la humedad de substrato, temperatura, pH y la relación C:N (FAO, 2013). Para que el compostaje se desarrolle adecuadamente es imprescindible un buen control de los parámetros determinantes, que son los siguientes:

6.6.1 Humedad

Es uno de los principales parámetros a controlar, ya que cuando ésta es muy alta, el agua desplazará al aire contenido en los espacios intersticiales dando lugar a reacciones de anaerobiosis, lo que además de reducir la velocidad del proceso, suele generar malos olores y pérdidas de nutrientes por lixiviación. Si la humedad es muy baja, disminuye la actividad

microbiana, especialmente de las bacterias ya que los hongos pueden permanecer activos biológicamente (Sztern, 2008).

6.6.2 Relación Carbono-Nitrógeno (C/N)

La relación C/N, expresa las unidades de Carbono por unidades de Nitrógeno que contiene un material. El Carbono es una fuente de energía para los microorganismos y el Nitrógeno es un elemento necesario para la síntesis proteica. Una relación C/N óptima de entrada, es decir de material "crudo o fresco" a compostar es de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir $C (25)/N (1) = 25$. En términos generales, una relación C/N inicial de 20 a 30 se considera como adecuada para iniciar un proceso de compostaje. Si la relación C/N está en el orden de 10 nos indica que el material tiene relativamente más Nitrógeno. Si la relación es de por ejemplo 40, manifiesta que el material tiene relativamente más Carbono (Manual Uruguay).

6.6.3 Estructura y Tamaño de lo Residuos

Numerosos materiales pierden rápidamente su estructura física cuando ingresan al proceso de compostaje (por ej.: excretas), otros no obstante son muy resistentes a los cambios, tal es el caso de materiales leñosos y fibras vegetales en general. En este caso la superficie de contacto entre el microorganismo y los desechos es pobre, no olvide el carácter osmótrofo de la gran mayoría de las bacterias.

6.6.4 pH

Considerado como indicador de la evolución del compostaje. Durante el proceso el pH desciende inicialmente como consecuencia de la formación de ácidos orgánicos, a medida que el proceso avanza el valor del pH aumenta hasta valores entre 6,5 y 8,5. El pH tiene influencia directa sobre la disposición de los nutrientes, y además influye en el valor de la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica. Los valores adecuados de pH deben estar próximos a la neutralidad o ligeramente ácidos (Cruz, 2009).

6.6.5 Oxígeno

El compostaje es un proceso aerobio y se debe mantener una aireación adecuada para permitir la respiración de los microorganismos, liberando a su vez, dióxido de carbono (CO₂) a la atmosfera. Así mismo, la aireación evita que el material se compacte o se encharque. Las necesidades de oxígeno varían durante el proceso, alcanzando la mayor tasa de consumo durante la fase termofílica (FAO, 2013).

6.6.6 Temperatura

La temperatura tiene un amplio rango de variación en función de la fase del proceso (Figura 5). El compostaje inicia a temperatura ambiente y puede subir hasta los 65°C sin necesidad de ninguna actividad antrópica (calentamiento externo), para llegar nuevamente durante la fase de maduración a una temperatura ambiente. Es deseable que la temperatura no decaiga demasiado rápido, ya que a mayor temperatura y tiempo, mayor es la velocidad de descomposición y mayor higienización (FAO, 2013).

6.7 Pasos a seguir para la elaboración de un buen compost (FIDAR, 2014).

- 1) Escoger un lugar adecuado con buen drenaje y espacio que facilite el volteo.
- 2) Selección de materias primas.
- 3) Hacer dos pilas o montones y evaluar la humedad de cada pila.
- 4) Construir una pila alargada o en forma piramidal con los dos montones. La mezcla debe ser rica en celulosa, lignina (podas de hojas, pajas) y en azúcares (restos de hortalizas y frutas). Es importante agregar estiércol o restos de matadero.
- 5) Realizar volteos periódicos a la pila para garantizar el oxígeno. Los volteos se inician después de dos semanas de construida la pila y se repiten 2 o 3 veces cada 15 días.
- 6) Mantener la humedad adecuada. Si la pila está muy húmeda y apelmazada no es lo adecuado. Si se deja secar demasiado se pierde actividad microbial. El nivel de humedad debe oscilar entre 40 y 60%. Se puede evaluar tomando una muestra de compost la mano y apretarla, no deben salir más de dos gotas de agua.

- 7) Medir la temperatura cada 15 días con un termómetro, la temperatura ideal debe estar entre 45 y 60°C.
- 8) Esperar tres meses o menos de acuerdo a las condiciones del clima donde se encuentre la compostera para obtener un compost de buena calidad.
- 9) Medir al inicio y al final del proceso la relación carbono-nitrógeno.

6.7.1 Condiciones ideales del compostaje

Dado que el compostaje es un proceso de descomposición predominantemente aeróbico, las prácticas de manejo deben crear las condiciones óptimas para el establecimiento y desarrollo de estos organismos. Las condiciones que favorecen el crecimiento de los microorganismos aeróbicos son: presencia de oxígeno, temperatura, agua y una nutrición balanceada (Tabla 1). Hay otros factores que también pueden afectar su desarrollo tales como: pH, fuentes energéticas de fácil solubilización como azúcares simples (melaza), y mayor superficie de contacto o tamaño de partícula.

Tabla 1. Condiciones ideales de compostaje (Soto y Muñoz, 2002).

Condición	Ambito Aceptable	Condición óptima
Relación C:N	20:1 - 40:1	25:1 -30:1
Humedad	40 - 65 %	50 - 60%
Oxígeno	5%	8%
pH	5,5 - 9,0	6,5 - 8,0
Temperatura °C	55 - 75	65 - 70°C
Tamaño de la partícula	0,5 - 1,0	Variable

Fuente: Rynk (1992).

6.8 Utilización del compost

Según su composición y sus características, el compost puede tener diferentes usos. Cuando el compost muestra contenidos relativamente altos de metales pesados, puede utilizarse en parques y jardines urbanos, pero si se presenta cierto exceso de sales se puede utilizar con las debidas precauciones en la recuperación de suelos degradados. Aunque, es variable el grado de salinidad que puede presentar un compost, siempre está dentro de unos niveles que no revisten riesgo aparente de salinización para el suelo; no obstante, el nivel en sodio no deberá sobrepasar el límite del 0,5% sobre su contenido total

de materia seca. Si el compost contiene buenos nutrientes y materia orgánica, y no presenta las contraindicaciones anteriores, se puede utilizar como abono en los cultivos para la alimentación humana o animal. Y si tiene unas propiedades físicas adecuadas, puede utilizarse como sustituto parcial de las turbas y como abono en el cultivo de plantas ornamentales, aún cuando muestre un contenido de metales pesados relativamente elevado, (Penagos, *et al*, 2011).

6.8.1 Compost como acondicionador de suelos:

Los parámetros físico-químicos y microbiológicos óptimos del compost para ser utilizado como acondicionador del suelo, según la NTC 5167 y resolución 00150 de 2003, se muestran en la tabla 2.

Tabla 2. Límites permisibles de parámetros físico-químicos y microbiológicos del compost para ser utilizado como acondicionador de suelo (FAO, 2013).

Parámetro	Límites permisibles
Humedad	15 % máximo
Contenido de Carbono Orgánico Total	5 –15 %
N total +P ₂ O ₅ + K ₂ O	10% mínimo
riqueza mínima de cada elemento	2%
CaO + MgO + elementos menores	10% mínimo
Densidad	> 1 g/cc
pH,	reportario
Residuo Insoluble	50% del contenido de cenizas
Metales pesados*	
Arsénico	15 mg/kg
Cadmio	0,7 mg/kg
Cromo	70 mg/kg
Mercurio	1 mg/kg
Níquel	25 mg/kg
Plomo	140 mg/kg

7. OBJETIVOS

7.1 GENERAL

Evaluar la calidad del compost producido a partir de la transformación de residuos agrícolas y pecuarios en los Municipios de San Vicente del Caguán- Caquetá y Bello-Antioquia.

7.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar indicadores físicos (color, olor), químicos (relación C/N, CIC, MO, micro y macroelementos) en sustratos orgánicos elaborados.
- Evaluar y controlar parámetros físico- químicos como la humedad, temperatura, aireación y pH del compost elaborado.
- Realizar la caracterización físico-química del compost obtenido.

8. PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN

¿Cómo Evaluar la calidad del compost producido a partir de la transformación de residuos agrícolas y pecuarios en los Municipios de San Vicente del Caguán- Caquetá y Bello-Antioquia?

9. METODOLOGÍA

10.1 Área de estudio

Figura 2. Localización geográfica del Municipio de Bello

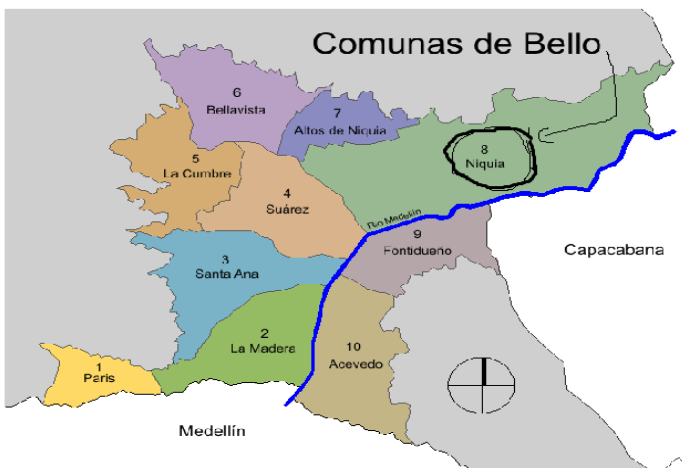


Figura 3. Localización geográfica del Municipio de San Vicente



El proyecto se evaluó en dos zonas geográficamente distintas, correspondientes al Municipio de Bello ubicado en el norte del Valle de Aburrá del Departamento de Antioquia y San Vicente del Caguán localizado en el Departamento del Caquetá, a 151 km al nororiente de Florencia, la capital departamental. En ambas regiones se seleccionaron áreas de trabajo teniendo en cuenta como criterios el fácil acceso y sitios que estén alejados para evitar la contaminación por la emisión de olores putrefactos. Para el caso específico del Municipio de Bello, el proceso de compostaje se desarrolla en una zona aislada el barrio Niquía.

Mientras que en San Vicente del Caguán el compostaje se realiza en la Institución Educativa Domingo Savio ubicada en la vía Palestro. En los sitios seleccionados se construyeron estructuras formadas a partir de estantillos y láminas de Zinc donde se ubicaron las respectivas composteras, (ver figura 4).



Figura 4. Estructura formada a partir de estantillos y láminas de zinc.

Fuente: Autores

También se realizaron calicatas de 50 cm aproximadamente de profundidad con una leve inclinación para que en los días lluviosos el agua no se estanque. En uno de los montajes, se ubicaron tres cajones contruidos en madera cuyas dimensiones corresponden a 60 cm de largo, 40 cm de ancho y 80 cm de alto, (ver figura 5); mientras en el otro se ubicaron tres costales de fibra, cuyas medidas son 65 cm de ancho y 104 cm de alto.



Figura 5. Cajones que servirán como composteras.

Fuente: Autores

10.2 Selección del sustrato y preparación del compost

En ambas regiones se realizó un diagnóstico sobre la zona urbana para determinar los residuos agropecuarios en común, fáciles de adquirir y que se ajustan perfectamente al proceso de degradación. Se hicieron tres tipos de mezclas correspondientes a los tres tratamientos. Las tres mezclas (tratamiento 1,2 y 3) tienen la misma composición de materiales para ambas regiones en iguales cantidades peso a peso, (ver tabla 3). Los sustratos colectados se cortaron en trozos pequeños para ser agregados en los respectivos cajones de madera.

Tabla 3. Materiales utilizados para elaborar cada una de las mezclas. (Fuente: Autores, 2017).

TRATAMIENTO	RESIDUOS UTILIZADOS
M1	Gallinaza 13 kg + Bovinaza 13 kg + Hojarasca 13 kg + Melaza 1 kg
M2	Porquinaza 13 kg + Restos de hortalizas 13 kg + Bagazo de caña 13 kg + Melaza 1 kg
M3	Equinaza 13 kg + Desperdicios de cocina 13 kg + Hierba seca 13 kg + Melaza 1 kg

10.3 Medición de variables durante el proceso de compostaje: A partir de la primer semana de haber realizado las mezclas a compostar, se midieron las variables: humedad, temperatura, pH y aireación. La evaluación de estos parámetros se realizó una vez cada semana hasta la obtención del compost.

- **Humedad:** Para determinar la humedad del compost, se aplicó el método empírico propuesto por Sztern (2008); se tomó con la mano una muestra de material, luego se cierra la mano y se aprieta fuertemente el mismo. Si con esta operación se verifica que sale un hilo de agua continuo del material, (ver figura 4, se muestra la medición de la humedad del material), entonces se establece que el material contiene más de un 60% de humedad. Si el material no gotea y cuando se abre el puño de la mano permanece moldeado, se estima que la humedad es aproximadamente de un 50%. Finalmente si al abrir el puño el material se disgrega, se asume que el material contiene una humedad inferior al 30 %.



Figura 6. Medición de humedad.

Fuente: Autores

- **Temperatura:** Para la medición de la temperatura se tuvo en cuenta dos profundidades; 1) temperatura externa que corresponde a 5 cm de profundidad en el compost y 2) temperatura interna cuya profundidad se encuentra en la mitad del recipiente. La medición se realizó utilizando un termómetro de chuzo, (ver figura 7). Para el caso específico de la temperatura interna, antes de

introducir el termómetro se hará hueco con la ayuda de un palo de 3 cm de diámetro para luego introducir el instrumento medidor.



Figura 7. Medición de temperatura.

Fuente: Autores

- pH: Para la medición del pH se homogenizó la muestra revolviendo el compost, se tomaron muestras en recipientes por cada tratamiento para ser llevadas al laboratorio, una vez tomada la muestra, se procedió a pesar en la balanza electrónica 10 g de muestra de compost, el cual se añadirá en un beaker con 200 ml de agua destilada esterilizada, con el agitador se revuelve la mezcla durante 5 minutos hasta alcanzar una dilución totalmente homogénea. Finalmente se introduce el pH metro en cada una de las soluciones y se anota el valor correspondiente al pH, (ver figura 8).



Figura 8. Medición del pH de las muestras de compost.
Fuente: Autores.

- Aireación: Para controlar la aireación, dos veces por semana se revuelve el compost utilizando una pala y moviendo cada uno de los cajones para oxigenar las mezclas, (ver figura 9).



Figura 9. Aireación del compostaje.
Fuente: Autores

- Tasa de conversión de la materia orgánica descompuesta: Todos los sustratos utilizados para el proceso de compostaje se pesaron antes de ser agregados en los seis recipientes (tres costales: Bello,

Antioquía y tres cajones: San Vicente del Caguán, Caquetá) el peso inicial de cada mezcla para los tres tratamientos en ambas regiones corresponde a 40 kg. Finalizado el proceso de compostaje se realizará nuevamente la medición del peso, (ver figura 10).



Figura 10. Medición del peso de los materiales.
Fuente: Autores

10.4 Cuantificación del carbono orgánico: Para la determinación del carbono orgánico se tomaron muestras de cada una de las mezclas y se enviarán al laboratorio de suelos de la Universidad Nacional para su respectiva medición por el método de Walkey y Black. Este método se fundamenta en la reducción del ión dicromato tras una digestión en caliente con ácido sulfúrico, el contenido de carbono se mide por el ión dicromato no reducido (NTC 5167, 2004).

10.5 Toma y procesamiento de muestras: Se tomaran muestras al final de proceso del compostaje, estas serán colectadas en bolsas de cierre hermético para ser enviados al laboratorio de análisis de suelos, (ver figura 11).



Figura 11. Recolección y empaque de las muestras.
Fuente: Autores

10.6 Caracterización físico, química del compost: Una vez obtenido el compost, se realizará el respectivo análisis físico-químico en todas las mezclas para determinar parámetros como capacidad de intercambio catiónico, Calcio, Magnesio, Potasio, Sodio, Fósforo Nitrógeno, aluminio de cambio, saturación de bases, carbón orgánico, textura, pH y una recomendación por muestra, (ver figura 12).



Figura 12. Compost de la muestra 3.
Fuente: Autores

11. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los Municipios de San Vicente del Caguán, Caquetá y Bello, Antioquia durante los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo en las unidades experimentales correspondientes a las composteras, se evaluaron y controlaron los parámetros: temperatura, pH, humedad y aireación, adicionalmente se halló el valor de la tasa de conversión de la materia orgánica. A continuación se relacionan los datos obtenidos durante los meses mencionados de muestreo (Ver Tabla 4).

Tabla 4. Evaluación de las variables en las unidades experimentales correspondientes al Municipio de San Vicente del Caguán, Caquetá; M: mezcla, T: temperatura °C, H: Humedad y pH.

Tratamiento	Variable	Febrero		Marzo				Abril				Mayo			
		Semana		Semana				Semana				Semana			
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
M1	pH	4,6	4,7	4,8	4,9	5,1	5,2	5,2	5,3	5,5	5,9	6,6	6,9	7,5	8,1
	T	39	37	35	33	32	30	29	28	27	26	25	26	25	25
	H	50	48	47	46	43	37	36	35	35	36	35	34	34	35
M2	pH	4,5	4,6	4,9	5	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	6,1	6,4	7	7,3	7,6
	T	42	39	36	33	31	30	29	28	26	25	24	25	24	24
	H	45	44	42	41	39	37	35	35	34	35	35	35	33	34
M3	pH	4,5	4,6	4,9	5	5,2	5,5	5,7	5,8	6	6,4	6,9	7,6	8,2	8,5
	T	38,5	37	35	33	31	30	29	28	26	26	25	26	24	25
	H	40	38	38	37	37	36	36	35	34	34	34	33	34	33

En la región correspondiente al Municipio de San Vicente del Caguán durante las semanas de muestreo se ha caracterizado por tener un alto régimen de lluvias y temperatura media ambiental de 27 a 32°C, lo cual infiere directamente en los parámetros evaluados.

Las variables pH, temperatura y humedad también fueron evaluados en el Municipio de Bello en cada una de las tres mezclas (ver tabla 5).

Tabla 5. Evaluación de las variables en las unidades experimentales correspondientes al Municipio de Bello, Antioquia; M: mezcla, T: temperatura °C, H: Humedad y pH.

Tratamiento	Variable	Febrero		Marzo				Abril				Mayo			
		Semana		Semana				Semana				Semana			
		3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
M1	pH	4,4	4,5	4,8	4,9	5,2	5,3	5,5	5,6	5,8	6,2	6,5	6,8	7,3	7,7
	T	38	36	35	33	31	29	28	27	26	25	24	26	25	23
	H	54	53	49	47	45	41	39	38	37	36	35	35	34	35
M2	pH	4,6	4,6	4,9	5	5,1	5,3	5,4	5,5	5,6	6	6,6	7,3	7,9	8,3
	T	41	39	36	33	32	30	28	26	25	24	25	25	24	23
	H	50	48	46	44	41	40	39	37	36	36	36	35	34	34
M3	pH	4,5	4,6	4,9	5,1	5,4	5,6	5,7	5,9	6,5	7,1	7,8	8,3	8,9	
	T	37,5	37	36	35	33	30	29	28	25	25	25	24	24	
	H	44	43	42	41	39	39	37	36	35	35	34	34	35	35

En la región correspondiente al Municipio de Bello, Antioquia, durante las semanas de muestreo se ha caracterizado por tener en lluvias un promedio de 110 mm, temperatura promedio ambiental de 23°C, humedad relativa promedio de 61% y una velocidad de viento promedio de 6,5 km/hora.

Se midió la cantidad en peso (kg) del material descompuesto en cada una de las mezclas en ambas localidades (tabla 6).

Tabla 6. Material descompuesto en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello.

Tratamiento	Material descompuesto	
	San Vicente	Bello
M1	20.5 kg	21 kg
M2	20kg	19 kg
M3	23 kg	23 kg

También, se tuvo en cuenta la cantidad de material sin descomponer en cada una de las mezclas en ambas localidades (tabla 7).

Tabla 7. Material sin descomponer en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello.

Tratamiento	Material sin descomponer	
	San Vicente	Bello
M1	2.12 kg	2.4 kg
M2	3.7kg	5.9 kg
M3	1.8 kg	2.3 kg

Variables evaluadas del compost: En las tres mezclas de los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello, Antioquía se evaluaron los parámetros químicos M.O%: Tasa de conversión de la materia orgánica, % Ca: Calcio, % Mg: Magnesio, % K: Potasio, % Na: Sodio, % Zn: Zinc, % CO: Carbono orgánico.

Tabla 8. Variables evaluadas en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello Antioquía.

Mezcla	Localidad	Tasa de conversión M.O %	Ca (%)	Mg (%)	K(%)	Na (%)	Zn(%)	CO (%)
M1	San Vicente	58	1,034	0,4495	1,397	0,069	0,01182	26
M2	San Vicente	61	7,68	1,146	1,038	0,2516	0,01962	32,6
M3	San Vicente	63,5	4,32	0,4932	0,862	0,2056	0,0066	23,3
M1	Bello	60	5,33	1,38	1,0554	0,1455	0,02118	22,2
M2	Bello	64	3,242	0,802	1,906	0,2671	0,157	25,9
M3	Bello	65	2,3047	0,873	2,59	0,1038	0,0335	23,2

Variables evaluadas del compost: % N: Nitrógeno, C/N: Relación Carbono, nitrógeno, pH, % P: Fósforo, % B: Boro, % S: Azufre y Conductividad eléctrica (tabla 12).

Tabla 9. Variables evaluadas en los Municipios de San Vicente del Caguán y Bello Antioquía.

Mezcla	Localidad	N (%)	C/N	pH	P (%)	B(%)	S (%)	Cond. eléctrica (dsM 1/200)
M1	San Vicente	0,63	41,6	8,74	0,54	0,128	0,2	0,027
M2	San Vicente	0,65	50,4	7,97	1,04	0,097	0,2	0,027
M3	San Vicente	0,81	28,8	8,98	2,54	0,08	0,18	0,021
M1	Bello	0,1	222	8,17	1,05	0,077	0,41	0,033
M2	Bello	0,74	34,8	8,85	0,74	0,037	0,35	0,039
M3	Bello	0,87	26,7	9,53	1,42	0,06	0,41	0,067

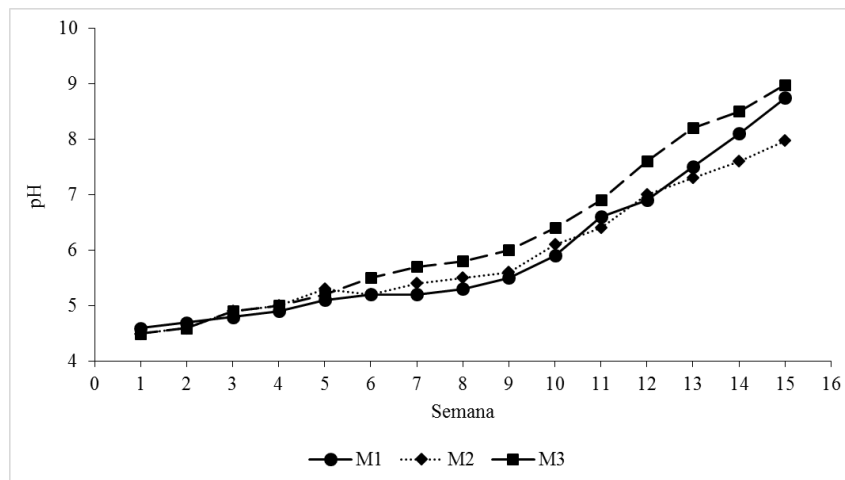
11.1 Caracterización fisico-química del compost

Los resultados del análisis de las propiedades físicas y químicas del compostaje obtenido en San vicente y Bello mostraron diferencias significativas ($p < 0,10$) en el porcentaje de Boro y azufre. Las demás variables no presentaron diferencias significativas.

11.2 Variables Evaluadas durante el proceso de compostaje

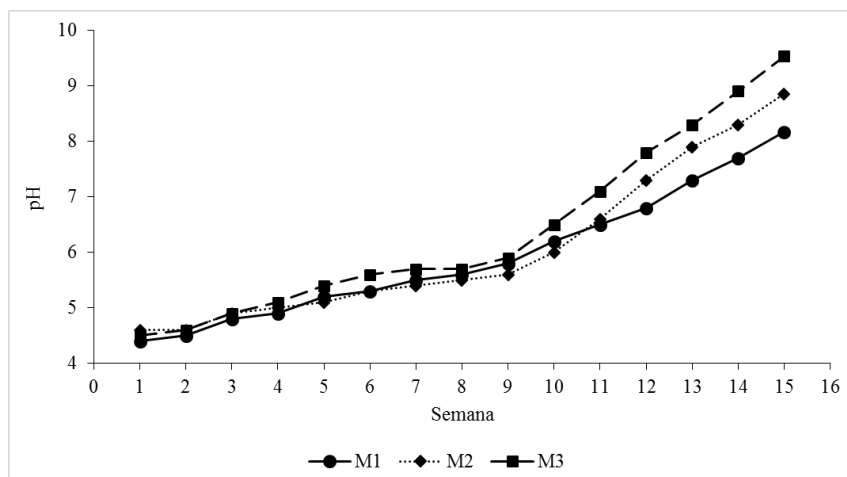
11.2.1 pH.

La gráfica 1 ilustra los valores obtenidos de pH en San Vicente del Caguán en cada uno de los tratamientos, se observa que durante las 15 semanas el pH fue aumentando paulatinamente desde un rango de 4,5 a 9 aproximadamente, debido a la conversión del amonio en amoniac, el pH sube y se alcaliniza el medio, para finalmente estabilizarse en valores cercanos al neutro (FAO, 2012).



Gráfica 1. pH. obtenido en las tres mezclas en San Vicente del Caguán.

La gráfica 2 indica los valores obtenidos de pH de las tres mezclas para el Municipio de Bello, se observa un aumento progresivo durante las 15 semanas. Los valores obtenidos varían de un rango de 4 a 9,53 en su punto máximo.



Gráfica 2. pH. obtenido en las tres mezclas en Bello

De las seis muestras, la mezcla M1b y la mezcla M2s concuerdan con los parámetros establecidos por la FAO (2013), en la etapa de maduración del compost se debe tener un rango ideal de valores de pH que oscilen de 6,5 a 8,5. Los valores obtenidos de pH en la última semana fueron más altos en la mezcla 3 de Bello (9.53), el cual es más alto que lo reportado debido a la alta cantidad de elementos P y Na.

Tabla 10. pH. final del compost de las tres mezclas en San Vicente y Bello.

Mezcla	Localidad	pH
M1	San Vicente	8,74
M2	San Vicente	7,97
M3	San Vicente	8,98
M1	Bello	8,17
M2	Bello	8,85
M3	Bello	9,53

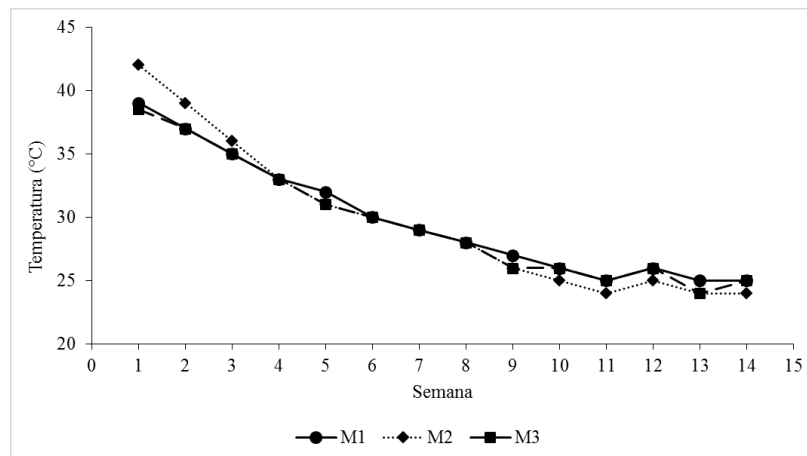
Los valores obtenidos concuerdan con Carrión y Franco (2015) quienes reportan valores de pH finales ligeramente básicos que oscilan de 7,2 a 8. Las valoraciones del pH final de las 6 mezclas corresponden a valores que oscilan desde 7,97 a 9,53, estos resultados concuerdan con los parámetros que la FAO recomiendan para un compost que ha alcanzado su etapa de maduración, ahí se indica que el rango ideal de un compost maduro son valores que oscilan entre 6,5 a 8,5. Las mezclas M1S, M3S, M2B y

M3B, están por encima del rango ideal con valores de pH de 8,74 a 9,53, la alta cantidad de elementos Na, P, K y Ca obtenidos en estas mezclas soporta los resultados obtenidos.

11.2.2 Temperatura

La temperatura fue evaluada desde la semana 1 hasta la semana 14 en las tres mezclas. La gráfica 3 ilustra la variación de la temperatura en función del tiempo en el Municipio de San Vicente del Caguán, la tendencia indica que existe una relación inversamente proporcional; la temperatura baja hasta estabilizarse en la fase de maduración del compost en la medida en que transcurre el tiempo. MacGregor *et al.* (1981), señalaron que cuando las temperaturas del sustrato descienden a valores próximos a la temperatura ambiente es porque el material se acerca a la madurez.

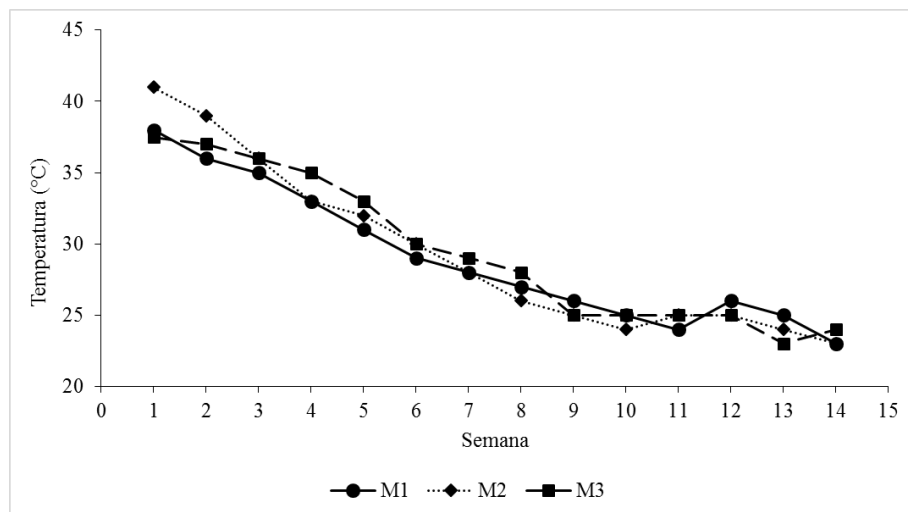
En las primeras semanas se reportan los datos más altos (38° y 45°C), lo cual concuerda con lo reportado por Carrión (2015) después de haber alcanzado los 30 días del proceso (40 a 60°C).



Gráfica 3. Temperatura de las tres mezclas en San Vicente

Los valores registrados de temperatura en el Municipio de Bello para las tres mezclas presentaron un patrón similar al obtenido en San Vicente (ver gráfica 4), una de las razones tiene que ver con el tamaño de los recipientes y la cantidad en peso total de los materiales utilizados para compostar; con estos resultados surge la necesidad de implementar composteras de mayor tamaño y agregar mayor cantidad de los materiales utilizados en cada una de las mezclas. Sin embargo, a pesar de tener valores similares,

los resultados obtenidos concuerdan con lo establecido por la FAO (Manual). También presentan similitud con los resultados obtenidos por Cariello (2015) a partir del día 30 al día 75 donde se evidencia un comportamiento similar en las gráficas.



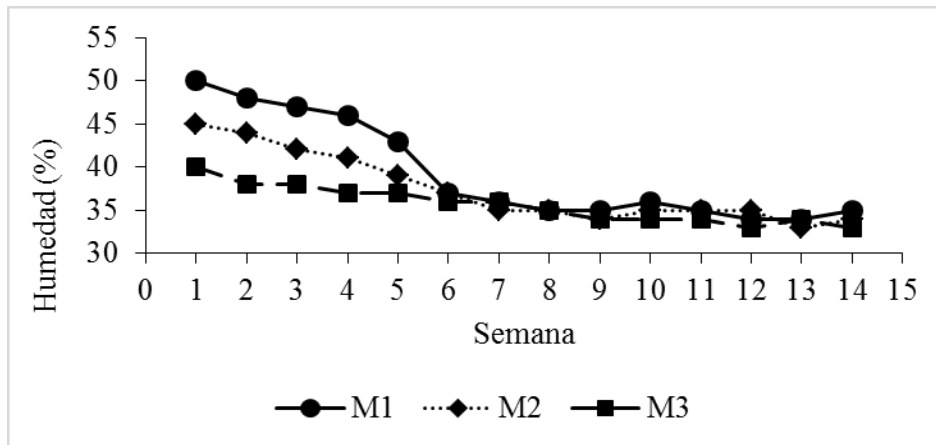
Gráfica 4. Temperatura de las tres mezclas en Bello

En el material de partida comienza el proceso de compostaje a temperatura ambiente y en pocos días (e incluso en horas), la temperatura aumenta hasta los 45°C, este aumento de temperatura es debido a actividad microbiana, ya que en esta fase los microorganismos utilizan las fuentes sencillas de C y N generando calor. Cuando el material alcanza temperaturas mayores que los 45°C, los microorganismos que se desarrollan a temperaturas medias (microorganismos mesófilos), son reemplazados por aquellos que crecen a mayores temperaturas, en su mayoría bacterias (bacterias termófilas), la temperatura sigue subiendo hasta llegar a los 60°, cuando se agotan las fuentes de carbono y, en especial el nitrógeno en el material en compostaje, la temperatura desciende nuevamente hasta los 40-45°C (FAO, 2013).

11.2.3 Humedad

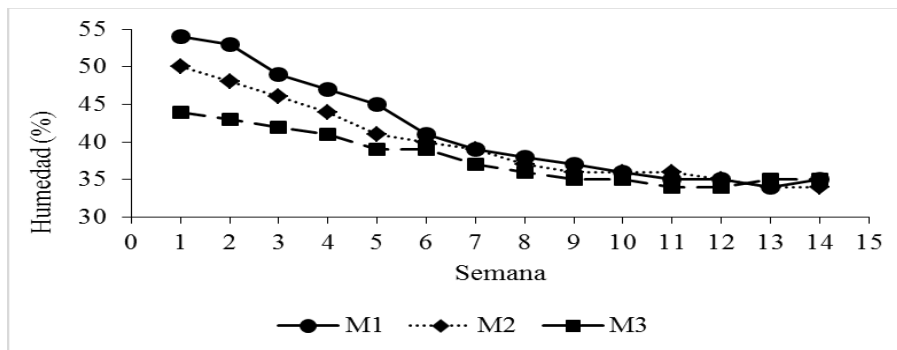
La humedad al igual que la temperatura tienen una relación inversamente proporcional respecto al tiempo, su rango varía de 33 a 50°C para San Vicente y 35 a 55°C para Bello. Se obtuvieron valores menores en San Vicente debido a las condiciones climáticas de cada localidad; Bello se caracteriza por

tener un clima templado diferente al clima cálido de San Vicente. A menor calor es menor la pérdida de la humedad por lo tanto esta será mayor en las mezclas.



Gráfica 5. Humedad de las tres mezclas en San Vicente.

Las tres mezclas cumplen con el rango ideal de humedad para un compost maduro; 30% y 40% (gráfica 5) según el manual de compostaje para el agricultor de la FAO (2013). La pérdida de la humedad se debe al resultado de la actividad de los microorganismos en cada una de las etapas de descomposición de los sustratos empleados en las mezclas.



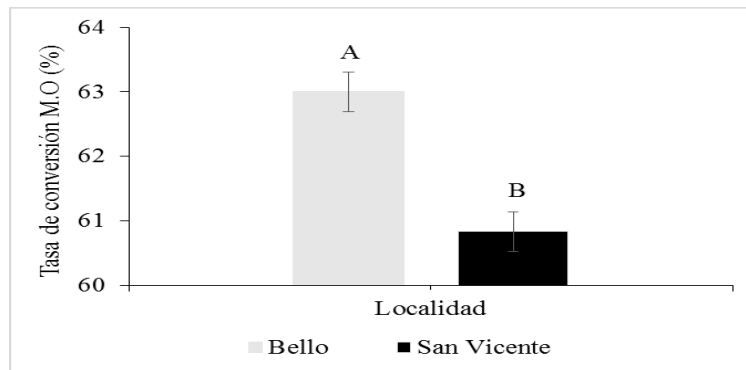
Gráfica 6. Humedad de las tres mezclas en Bello

Las tres mezclas cumplen con el rango ideal de humedad para compost maduro: 30% y 40% (gráfica 6), según manual de compostaje para el agricultor de la FAO (2013). El porcentaje de humedad fue mayor en la mezcla 1 (40,32%), seguido de la mezcla 2 (38,57%) y mezcla 3 (36,71%).

11.3 Variables Químicas

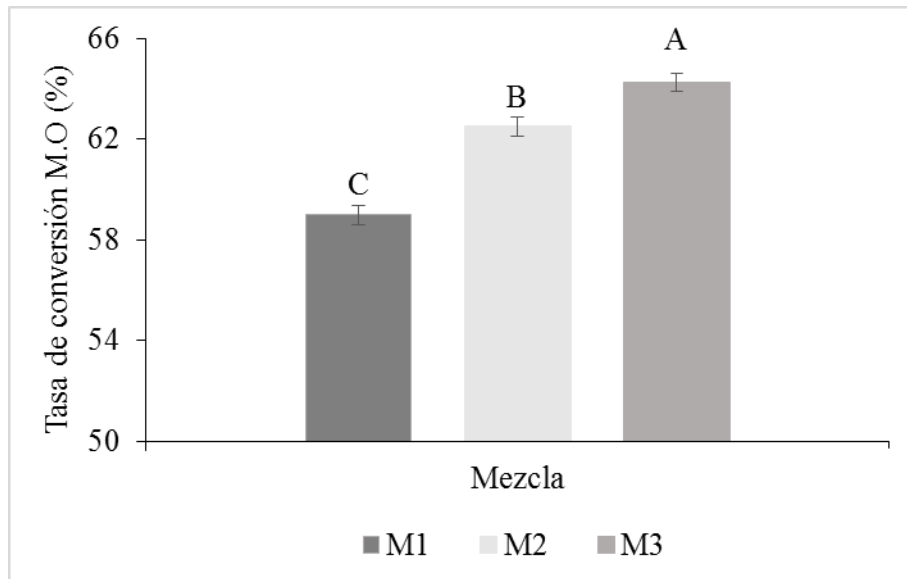
11.3.1 Tasa de conversión de la materia orgánica

La gráfica 7 muestra la relación que existe entre la tasa de conversión de la materia orgánica respecto a la localidad, Bello-Antioquía y San Vicente del Caguán-Caquetá. En el Municipio de Bello se obtuvo la mayor descomposición (63%) respecto a San Vicente del Caguán (60,8%).



Gráfica 7. Tasa de conversión de la materia orgánica en San Vicente y Bello. Prueba de Tukey (p<0,10)

La gráfica 8 muestra la relación que existe entre la tasa de conversión de la materia orgánica y las mezclas, hubo diferencias significativas ($p < 0,10$) lo cual quiere decir que las tres mezclas presentan una tasa de conversión diferente debido a que los materiales utilizados en cada tratamiento varían en composición y nutrientes.

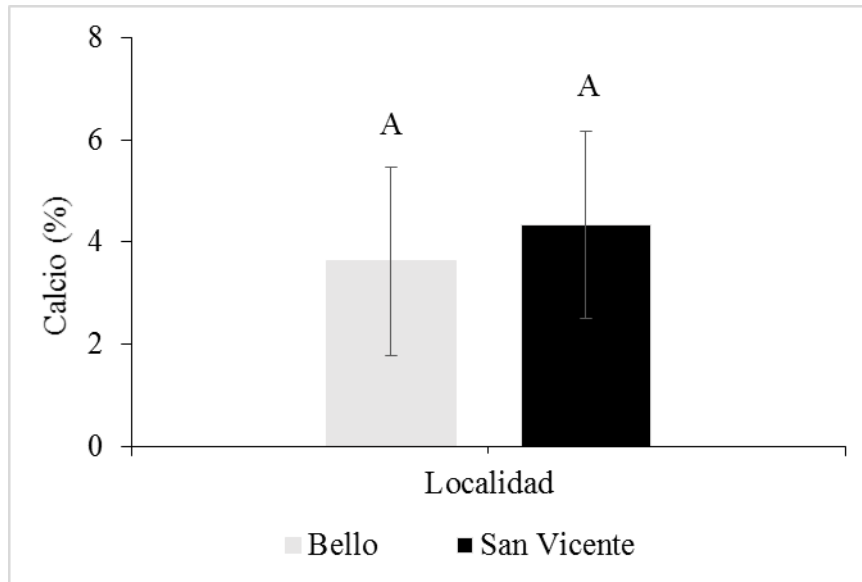


Gráfica 8. Tasa de conversión de la materia orgánica en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

Para este parámetro las mezclas presentaron diferencias significativas ($p < 0,02$), en orden descendente la mezcla 3 presentó el mayor valor, seguida por la mezcla 2 y mezcla 1.

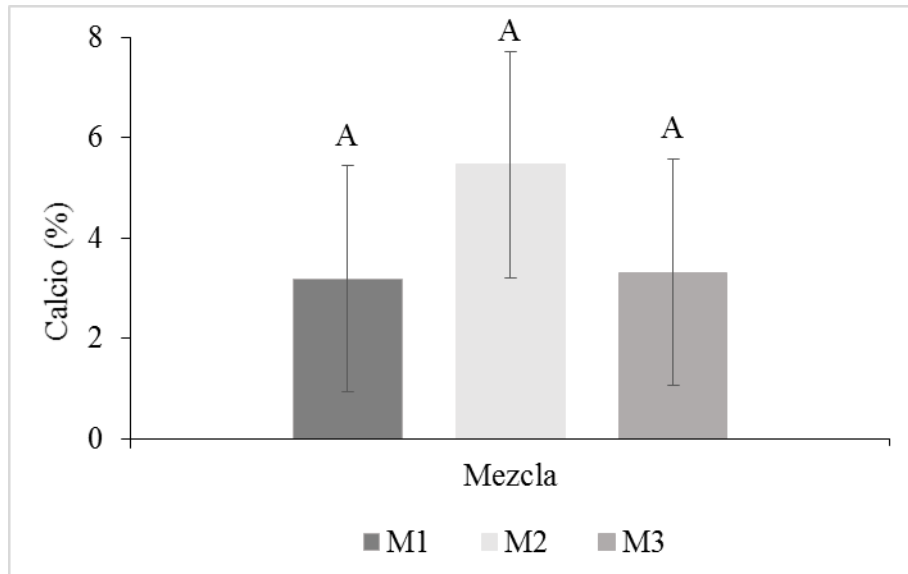
11.3.2 Calcio

En la gráfica 9 se representa el % de Calcio en ambas localidades, no hubo diferencias significativas. La concentración de calcio fue 0,71% mayor en el Municipio de San Vicente del Caguán (4,34%) en comparación al Municipio de Bello (3,63%).



Gráfica 9. % de calcio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$).

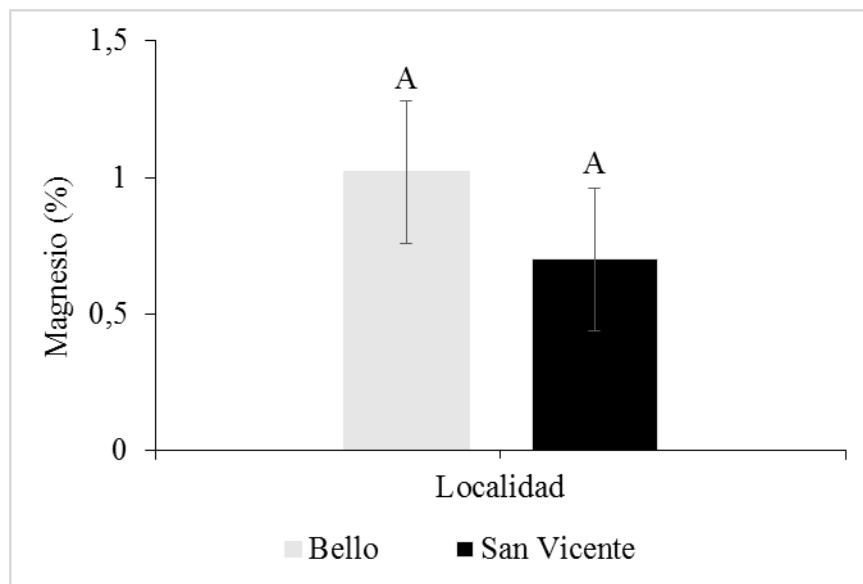
La gráfica 10 ilustra la cantidad de calcio obtenida para las tres mezclas. En las mezclas 1 y 3 el porcentaje de Calcio obtenido fue similar (3,18% y 3,31% respectivamente) pero diferente a la cantidad de calcio obtenida en la mezcla 2 (5,46%). Carrión y Franco (2015), reportan datos similares para los seis tratamientos realizados, los porcentajes de calcio varían desde un 5% a 5,9% para los tratamientos 2, 5 y 6, los cuales son similares al valor obtenido en la mezcla 2, debido a que los materiales utilizados para estos tratamientos comparten sustratos similares (porquinaza y restos de hortalizas). De las tres mezclas, el mayor valor se obtuvo en la mezcla 2 puesto que las hortalizas aportan mayor cantidad de calcio e influyen directamente sobre los resultados finales.



Gráfica 10. % de calcio obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

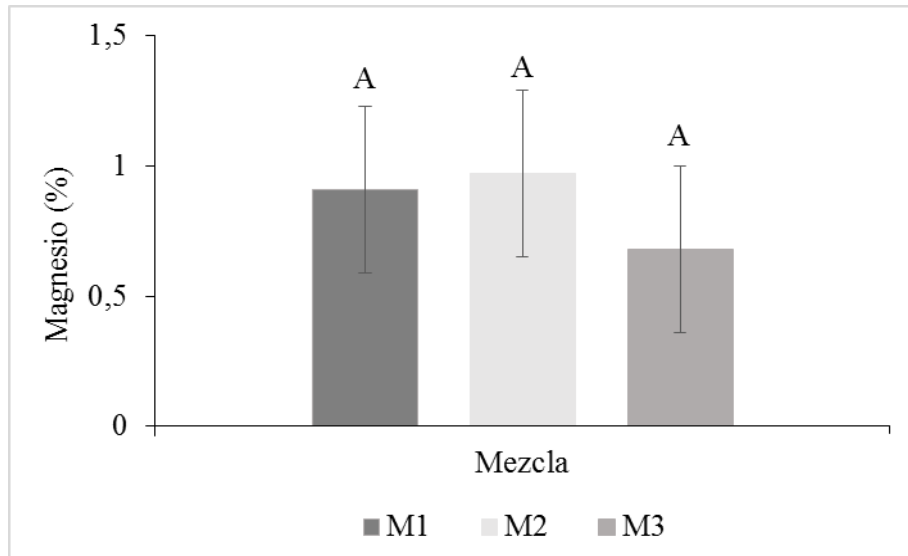
11.3.3 Magnesio

La gráfica 11 muestra el porcentaje de Magnesio obtenido para las tres mezclas de compost, los resultados indican que no hay diferencias significativas tanto para localidades como para tratamientos (ver gráfica 11 y 12). Sin embargo, el porcentaje de Mg fue mayor en Bello Antioquía (1,01%) en comparación a San Vicente del Caguán (0,69%).



Gráfica 11. % de Magnesio obtenido en el compost comparado entre las localidades de, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

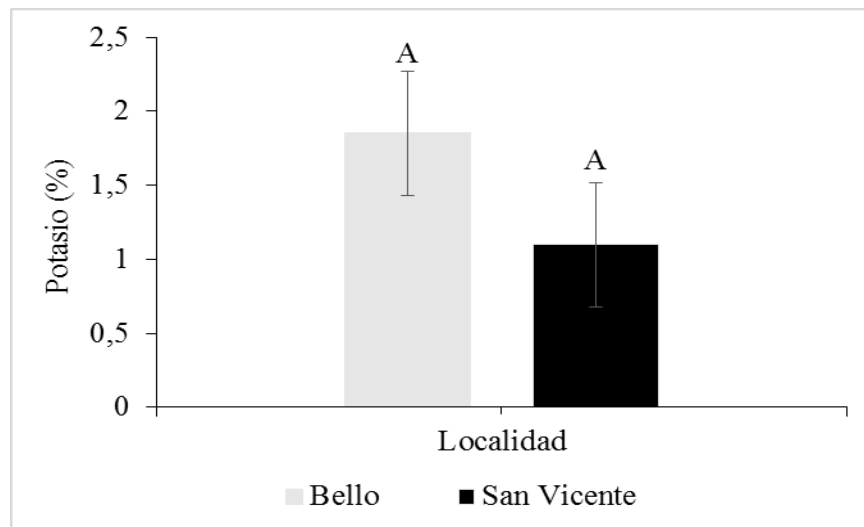
Respecto a la mezclas, tampoco hubo diferencias significativas entre tratamientos, las mezclas 1 y 2 tuvieron valores similares.



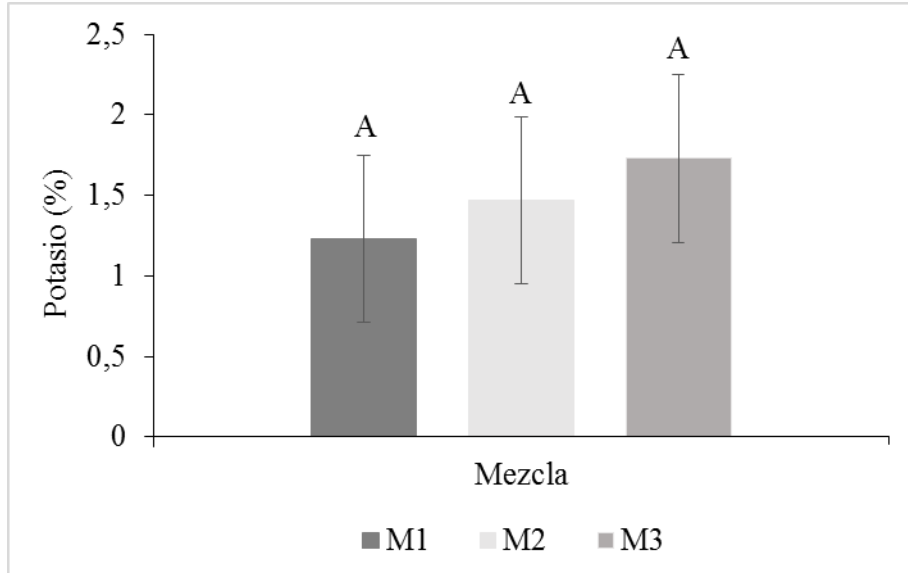
Gráfica 12. % de Magnesio obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

11.3.4 Potasio

Los mayores valores de Potasio se obtuvieron en el Municipio de Bello (1,85) y los menores fueron obtenidos en San Vicente (1,0), tal como se muestra en la gráfica 13.



Gráfica 13. % de Potasio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)



Gráfica 14. % de Potasio obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

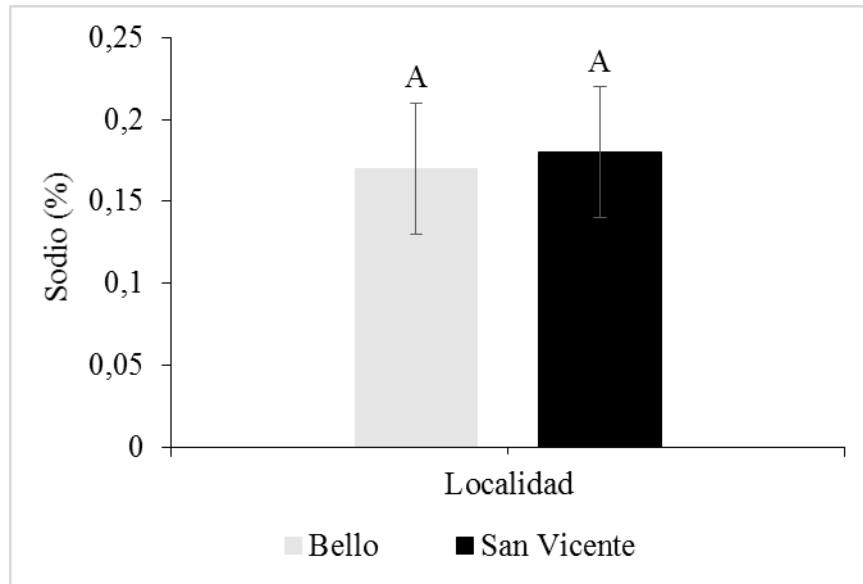
A pesar de que no existieron diferencias mínimas significativas entre las mezclas, se puede apreciar que hay un mayor porcentaje de potasio en la mezcla 3 (gráfica 14). La muestra 3 de Bello, tiene el pH más alcalino (9.53), debido a la cantidad de Potasio que tiene (2.59%), sirviendo para neutralizar suelos ácidos (como se muestra en la tabla 8).

Las seis mezclas cumplen con el rango ideal de contenido de Potasio para compost maduro (entre 0.3% y 1.0%), siendo de gran importancia, debido al aporte de este macroelemento a la planta, brindándole a esta, una gran resistencia a las heladas, a temperaturas altas, al ataque de plagas y enfermedades, y contribuyendo al llenado de cada uno de sus frutos, según manual de compostaje para el agricultor, de la FAO 2013).

11.3.5 Sodio

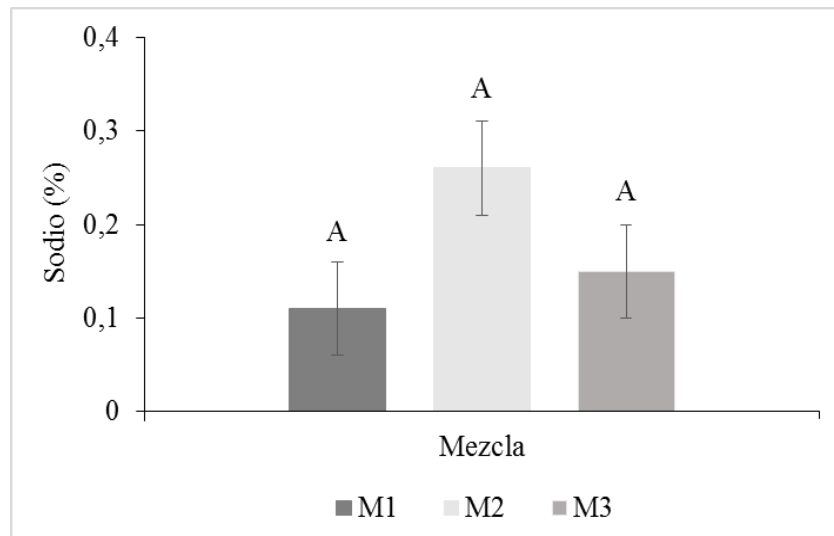
El porcentaje de sodio en ambas localidades no presentó diferencias significativas, y la cantidad en porcentaje de sodio fue igual para ambas localidades (0,17%). La mezcla 2 de ambos municipios, fue la que presentó mayor cantidad de Na, esto debido a los restos de hortatizas agregados a ella.

La mínima concentración de Sodio en cada una de las muestras tomadas, se debe a la poca cantidad de melaza adicionada a cada mezcla (1 kg), aportando solo 430 mg de Na a cada mezcla.



Gráfica 15. % de Sodio obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

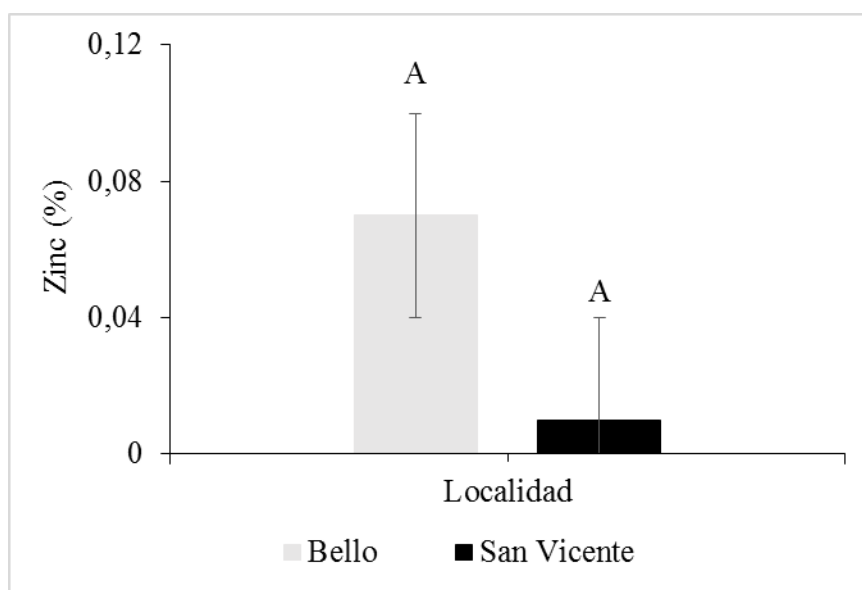
La mezcla 2 presentó el mayor porcentaje de sodio (0,25%) en comparación a la mezcla 1 (0,10%) y mezcla 3 (0,15%).



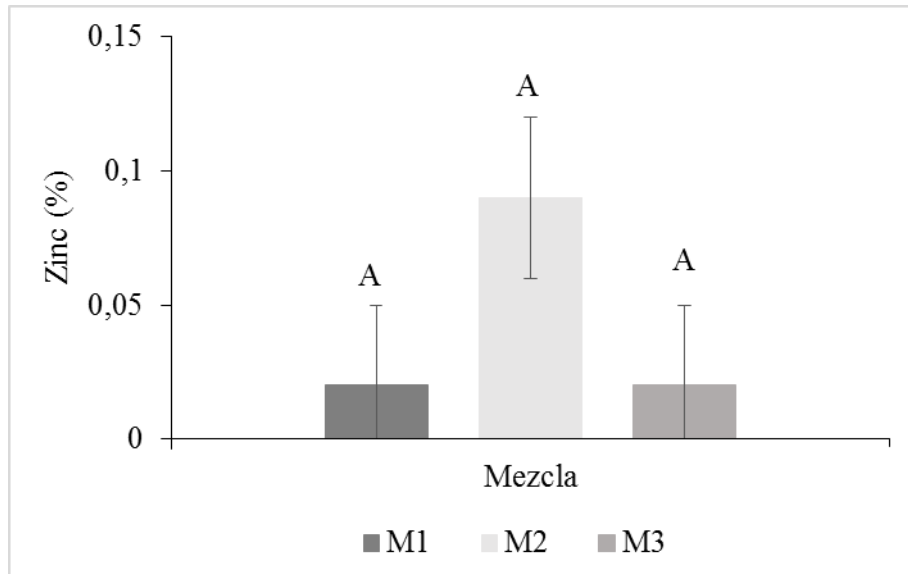
Gráfica 16. % de Sodio obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

11.3.6 Zinc

A pesar de que no existieron diferencias mínimas significativas entre las localidades, se puede apreciar que hay un mayor porcentaje de Zinc en los residuos en el Municipio de Bello (0,070%) en comparación al obtenido en San Vicente (0,012%); estas bajas concentraciones, obedecen a que es normal el poco contenido de este mineral en el humus producido, según La Biblioteca del campo-Granja integral autosuficiente, donde registran de 133-1611 ppm de Zn, en cada uno de los abonos o humus producido.



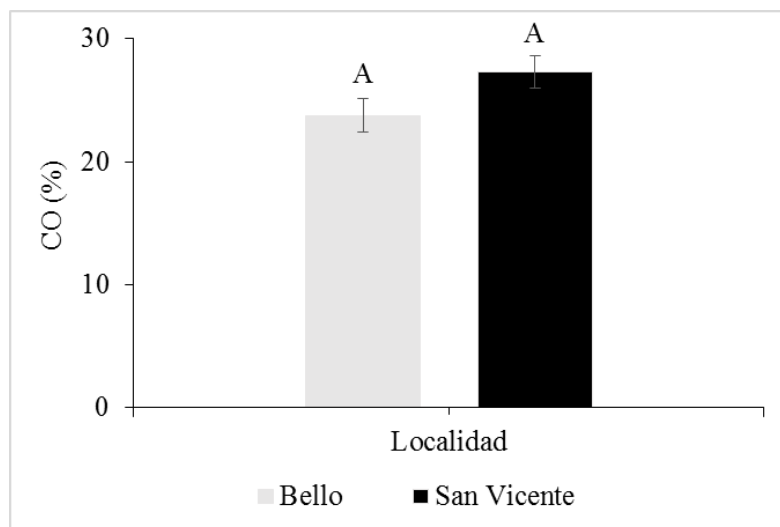
Gráfica 17. % de Zinc obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)



Gráfica 18. % de Zinc obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

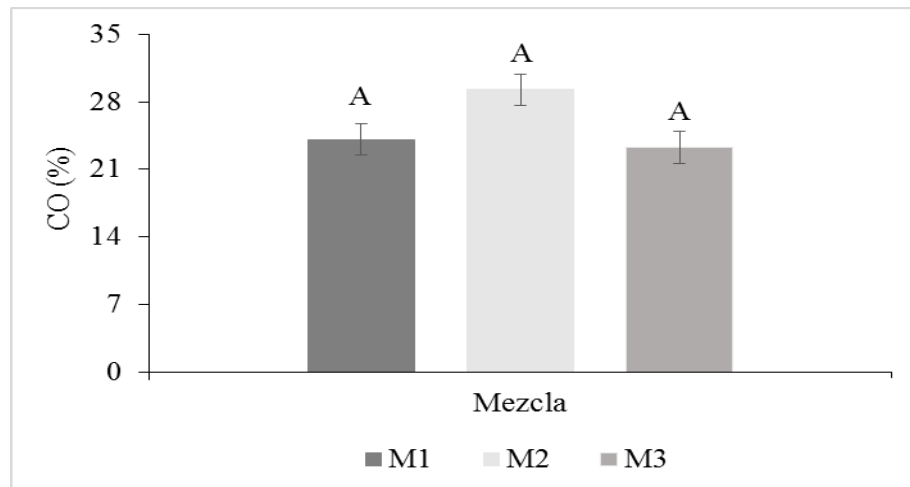
11.3.7 % Carbono orgánico

La gráfica 19 indica que a pesar de que no existieron diferencias mínimas significativas entre las localidades, se puede apreciar que hay un mayor porcentaje de carbono orgánico en el Municipio de San Vicente (23,7% CO) en comparación al Municipio de Bello.



Gráfica 19. % de Carbono orgánico obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

La norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004, expresa que la cantidad mínima de Carbono Orgánico contenida en el compost, debe ser del 15%, por lo cual, todas las mezclas de Bello y San Vicente, cumplen con este requisito, ya que la cantidad de este elemento, en ellas, oscila entre el 22.2% y 32.6%.

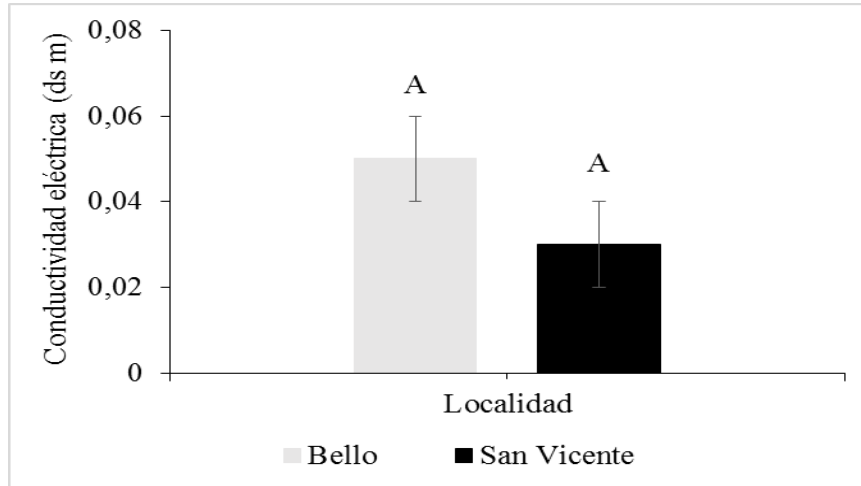


Gráfica 20. % de Carbono orgánico obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

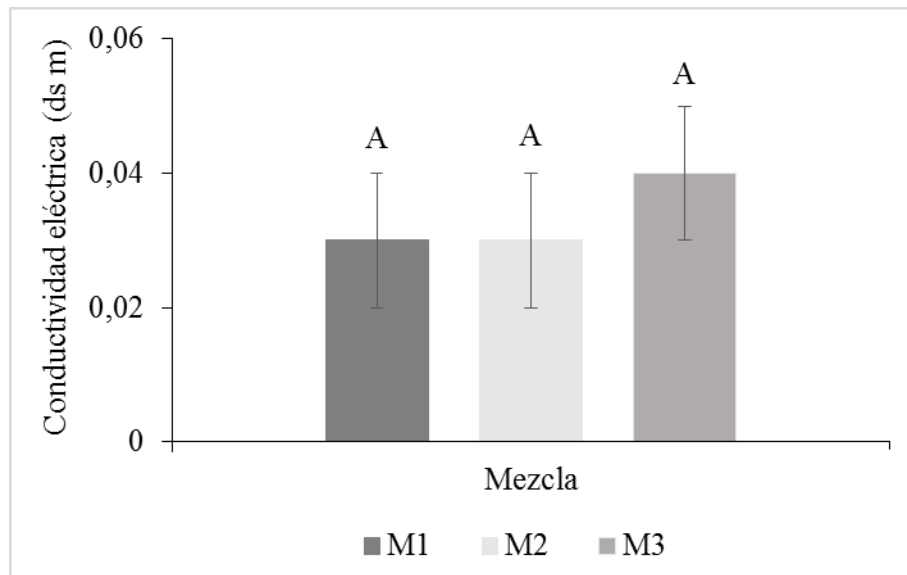
La norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004, expresa que la cantidad mínima de Carbono Orgánico contenida en el compost, debe ser del 15%, por lo cual, todas las mezclas de Bello y San Vicente, cumplen con este requisito, ya que la cantidad de este elemento, en ellas, oscila entre el 22.2% y 32.6%.

11.3.8 Conductividad eléctrica

No se presentaron diferencias significativas entre tratamientos y en localidades, sin embargo, se puede apreciar que la mayor conductividad eléctrica se obtuvo en el Municipio de Bello en relación a San Vicente, ver gráfica 21.



Gráfica 21. Conductividad eléctrica obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello En las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)



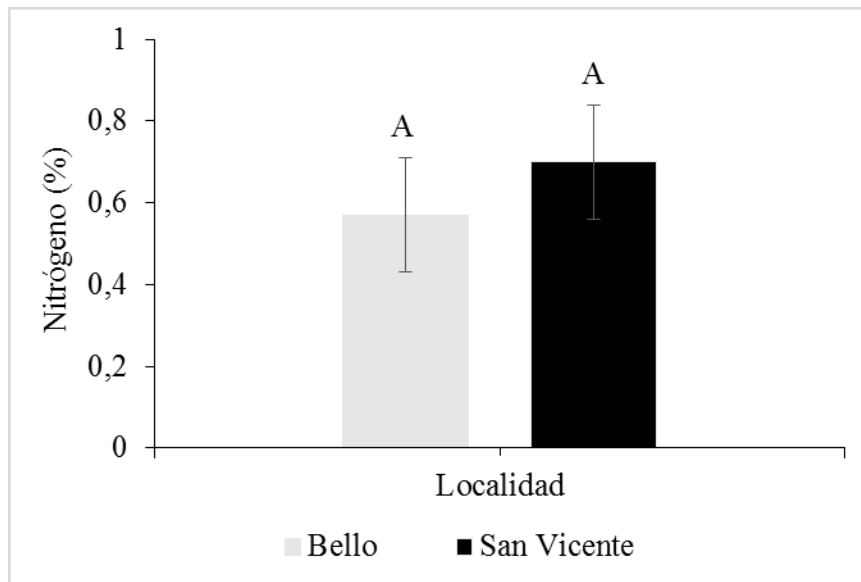
Gráfica 22. Conductividad eléctrica obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

Al analizar la conductividad eléctrica del compost obtenido agrupando las dos localidades, no se presentó diferencias significativas entre las mezclas. Sin embargo, se puede apreciar en la gráfica 22 que la mezcla 3 presenta el mayor porcentaje de conductividad eléctrica, seguido de la mezcla dos y mezcla uno, el valor de la conductividad eléctrica está determinada por la cantidad de sales disueltas

en la solución del suelo y al existir más sales el pH sube, esto explica que la mezcla 3 presente los valores más altos de pH y conductividad eléctrica. Estos resultados concuerdan con los obtenidos por (<http://www.redalyc.org/html/302/30235401/>) quién también presentó los mayores valores de Conductividad eléctrica en los tratamientos que presentaron los valores de pH más altos. Además, los niveles de Ca son útiles para corregir el pH ácido en el suelo.

11.3.9 Nitrógeno

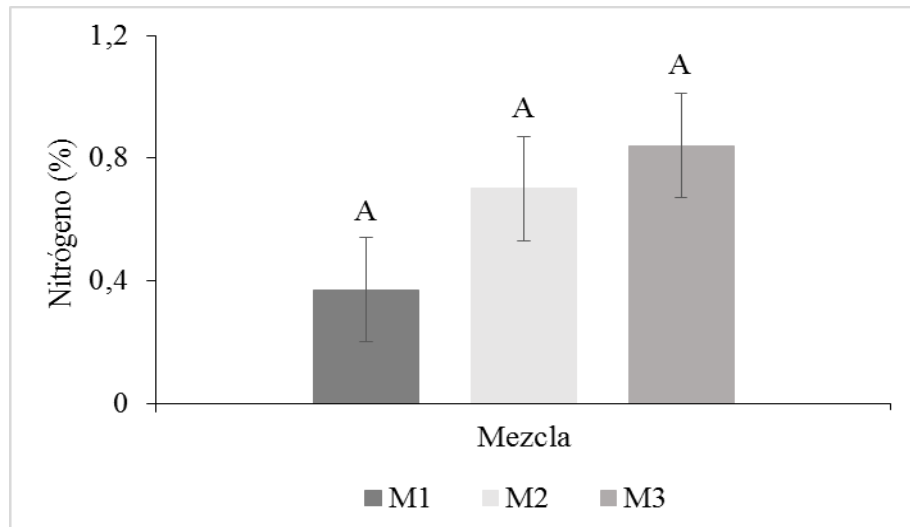
Todas las muestras de San Vicente y de Bello, cumplen con el rango ideal de contenido de Nitrógeno para compost (entre 0.3% y 1.5%), según manual de compostaje para el agricultor, de la FAO 2013. A pesar de que no existieron diferencias mínimas significativas entre las mezclas, se puede apreciar que hay un mayor porcentaje de nitrógeno en los residuos de San Vicente (0,69) en comparación a la cantidad de nitrógeno obtenido en Bello (0,57).



Gráfica 23. % de Nitrógeno obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

En las tres mezclas no hubo diferencias significativas para el porcentaje de nitrógeno obtenido, los resultados varían de 0,36 a 0,84% (gráfica 24), el porcentaje más alto se obtuvo en la mezcla 3, mezcla

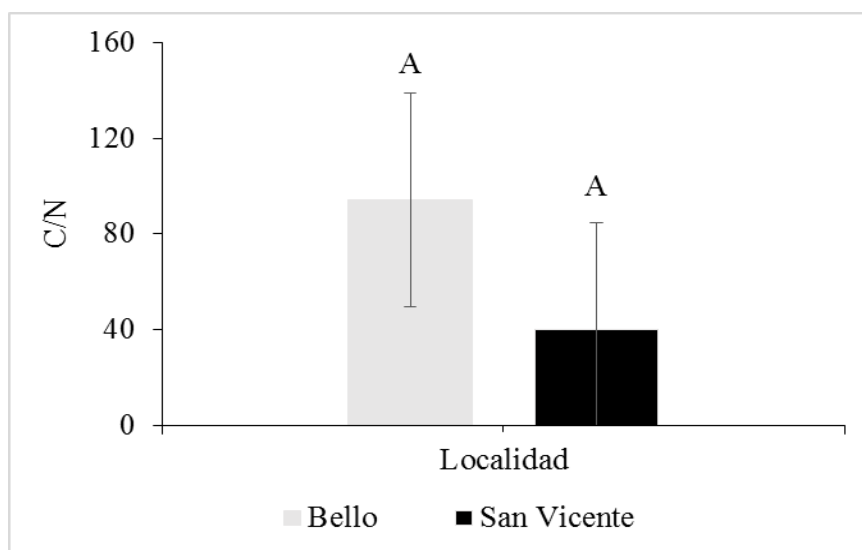
2 y el más bajo en la mezcla 1, 0,84%, 0,69% y 0,84% respectivamente. La cantidad más alta en la mezcla 3 se debe a los sustratos utilizados en la mezcla, especialmente a la relación C/N de cada uno de los materiales; la hierba seca y las virutas de aserrín aportan mayores valores en la cantidad de carbono, lo mismo ocurre en la mezcla 2 cuyos sustratos se caracterizan por tener carbono en buena cantidad (bagazo de caña).



Gráfica 24. % de Nitrógeno obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

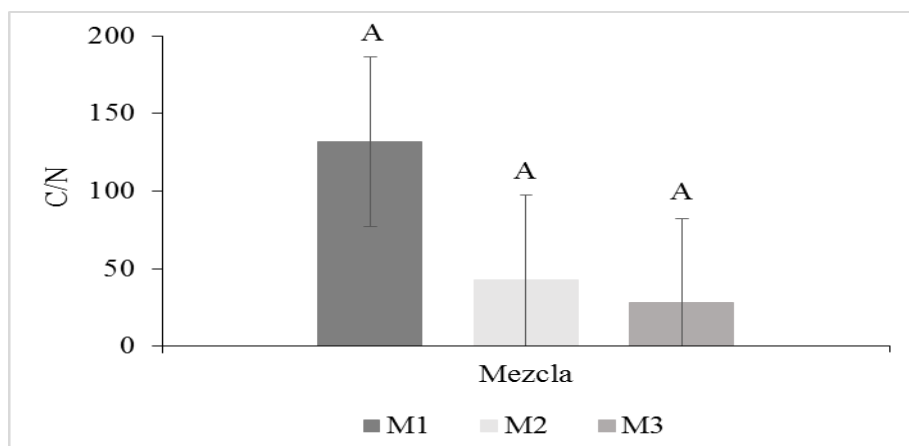
11.3.10 Relación C/N

El porcentaje de C/N no presentó diferencias significativas entre localidades y tratamientos (gráfica 25 y 26). Sin embargo, se aprecia que los valores más altos corresponden al Municipio de Bello donde se obtuvo una relación de carbono/nitrógeno alta (94,5:1), este resultado se debe a que en la mezcla M1 de Bello se obtuvo un elevado valor en la relación C/N (222:1) por la poca degradación de los materiales utilizados como sustratos, entre ellos viruta de aserrín el cual posee un valor de carbono de 400. De acuerdo con la FAO (2013, manual) las causas asociadas se deben a que la mezcla presenta unos materiales ricos en carbono, por lo cual el proceso tiende a enfriarse y retardarse. En San Vicente se obtuvo 40,2: 1 en la relación C/N.



Gráfica 25. Relación C/N en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

Adicionalmente, en San Vicente del Caguán la relación C/N dio un valor aproximado de 40, debido que en la etapa inicial del proceso de compostaje, el clima se caracterizó por ser bastante lluvioso, no hubo temperaturas altas que aceleraran los procesos de descomposición de la materia orgánica. En la gráfica 26 de forma ascendente los mayores valores fueron obtenidos en la mezcla 1 (131,8), seguido de la mezcla 2 (42,6) y 3 (27,7).

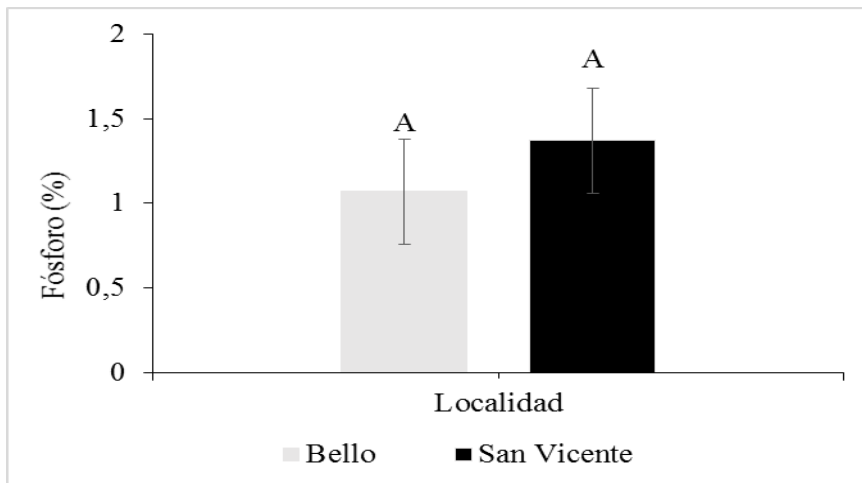


Gráfica 26. Relación C/N en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

La relación C/N obtenida en la mezcla 1 de Bello se debe al poco porcentaje de nitrógeno obtenido, ya que el nitrógeno es un indicador de la variabilidad de esta relación, y más teniendo en cuenta que los materiales que fueron usados para compostar presentan alto contenido en carbono, lo cual hace que esta relación aumente.

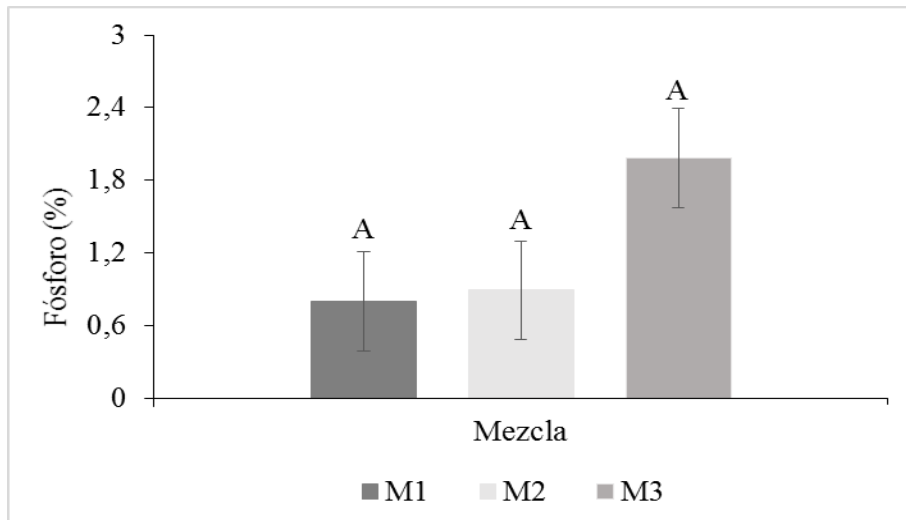
11.3.11 Fosforo

Todas las muestras de San Vicente y de Bello, cumplen con el rango ideal de contenido de Fosforo para compost, (entre 0,1% y 1.0%), e incluso, la mezcla 3 supera este rango, según manual de compostaje para el agricultor, de la FAO 2013). Ver gráficas 27 y 28.



Gráfica 27. % de Fosforo obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

A pesar de que no existieron diferencias mínimas significativas entre las mezclas, se puede apreciar que hay un mayor porcentaje de fósforo en los residuos de San Vicente en comparación a la cantidad de fósforo obtenida en Bello.

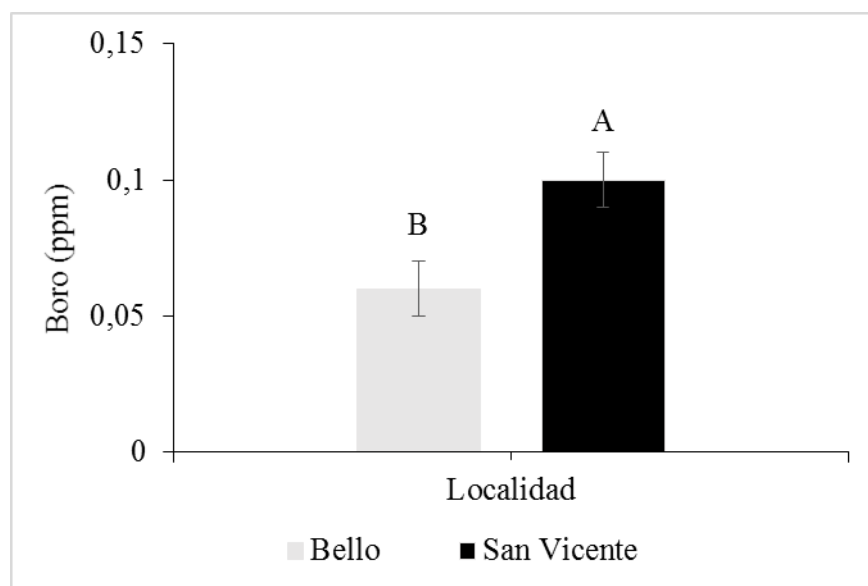


Gráfica 28. % de Fosforo obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

No hubo diferencias significativas entre las mezclas, sin embargo, se puede apreciar en la gráfica 28 que el porcentaje de fósforo es mayor en la mezcla tres en comparación a las mezclas 1 y 2, debido a que uno de los materiales que conforman la mezcla es la equinaza la cual aporta 0,35% de fósforo a la misma (SEPAR, 2004. Boletín de estiércoles).

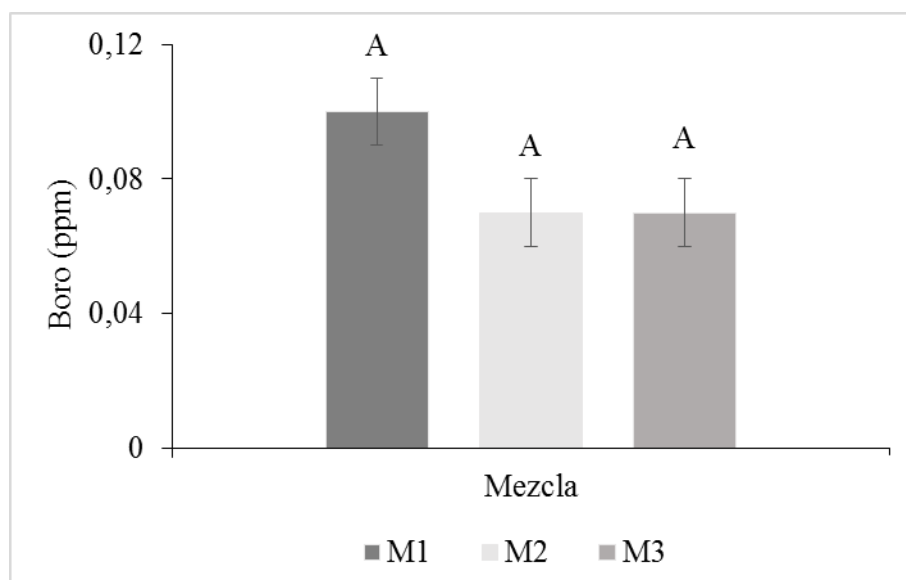
11.3.12 Boro

Los porcentajes de Boro en ambas localidades varían de 0,05 a 0,1%, en San Vicente el porcentaje de Boro fúe mayor (0,10) con diferencias significativas de $p = 0,069$ respecto a Bello (0,058).



Gráfica 29. % de Boro obtenido en ambas localidades, San Vicente del Caguán y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

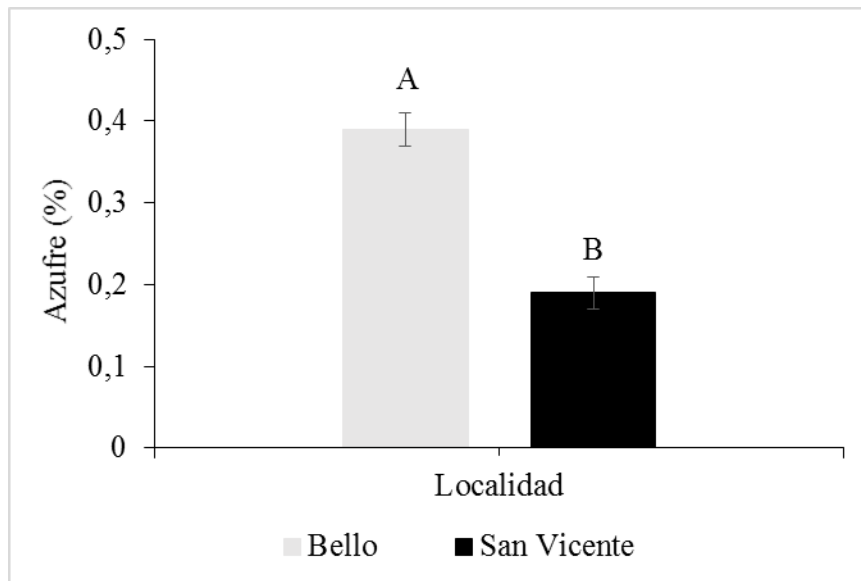
En las tres mezclas no se presentó diferencias significativas, la mayor cantidad de Boro se obtuvo en la mezcla 1, seguida de las mezclas tres y dos, 0,1025, 0,070 y 0,067 respectivamente. Esto se debe, a que la M1 contiene dos tipos de estiércol (bovinaza y gallinaza), que contienen este microelemento.



Gráfica 30. % de Boro obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

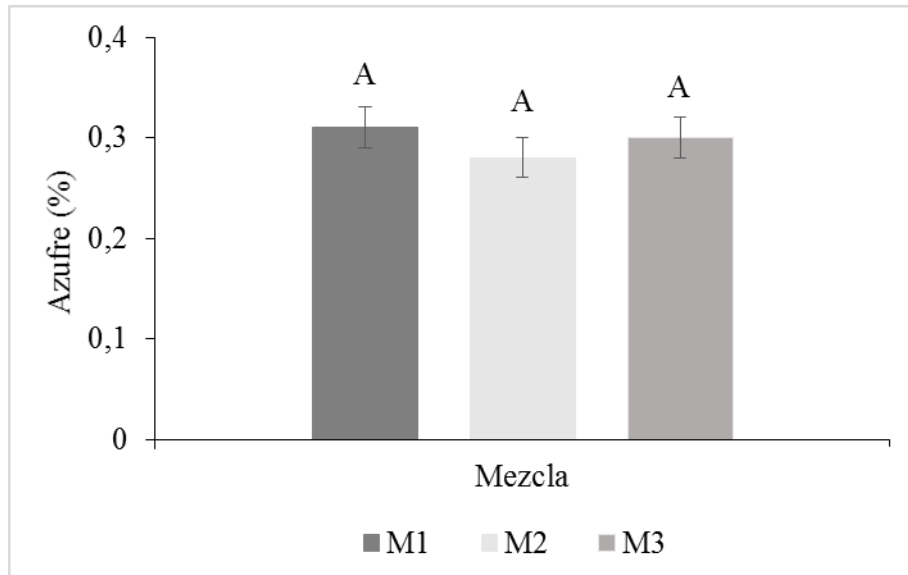
11.3.13 Azufre

El porcentaje de azufre presentó diferencias significativas entre las localidades ($p < 0,10$) pero no entre los tratamientos, San Vicente presentó el mayor porcentaje de azufre en comparación a Bello.



Gráfica 31. % azufre obtenido en ambas localidades, San Vicente y Bello. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

El mayor porcentaje de azufre se obtuvo en la mezcla 1 (0,30%), seguido de la mezcla 3 (0,29%) y mezcla 2 (0,27%); esto se justifica por el alto contenido de este mineral en el estiércol animal, sabiendo que la M1 es la única mezcla que contiene dos de heces (bovinaza y gallinaza).

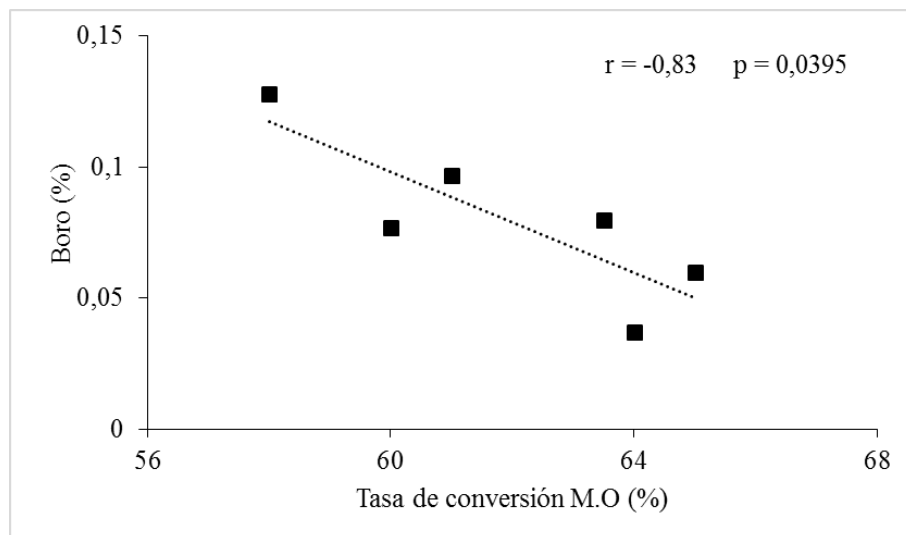


Gráfica 32. % azufre obtenido en las tres mezclas. Prueba de Tukey ($p < 0,10$)

11.4 Correlación de variables:

11.4.1 Boro y Tasa de conversión de la materia orgánica

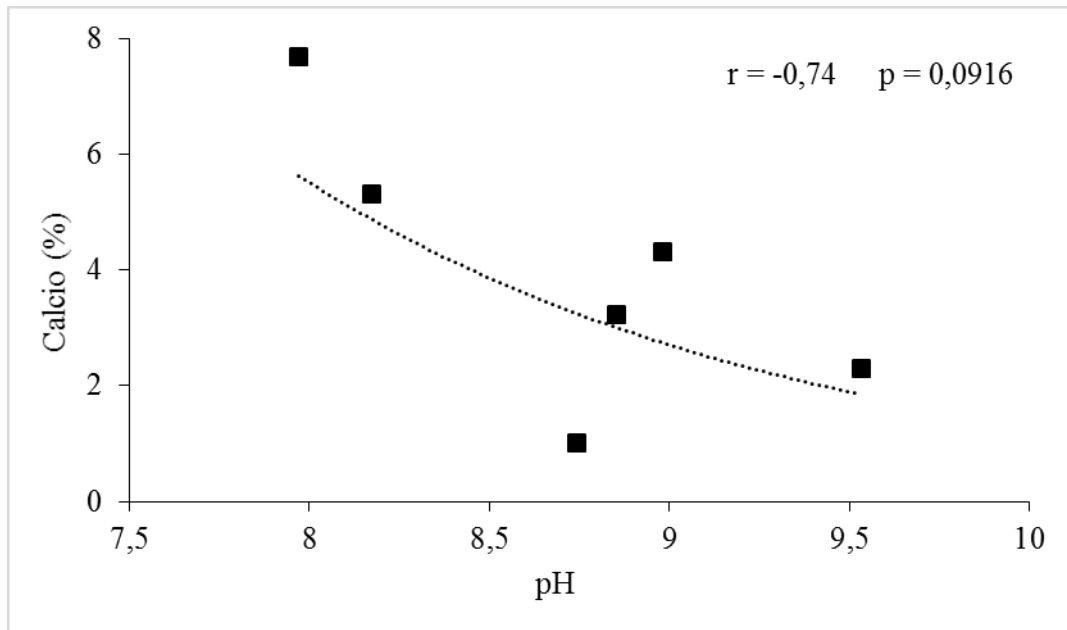
El porcentaje de Boro y la tasa de conversión de la materia orgánica presentan una correlación altamente significativa negativa, a medida que aumenta la tasa de conversión de la materia orgánica el porcentaje de Boro disminuye (Gráfica 33).



Gráfica 33. Correlación del porcentaje de Boro y tasa de conversión M.O, realizado con el coeficiente de pearson.

11.4.2 Calcio y pH

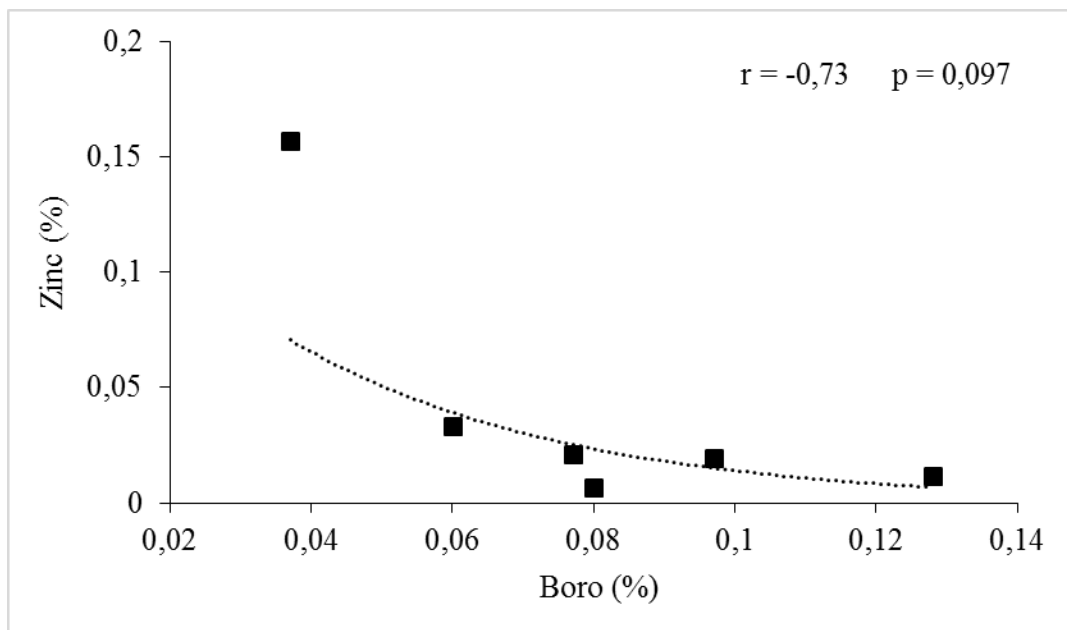
La correlación entre las variables pH y Calcio fue también negativa significativa, a medida que aumenta el pH el % de calcio disminuye, debido a que el Ca es el que neutraliza a los hidrogeniones de la solución del suelo y el desplazamiento de aquellos ubicados en sitios de intercambio del complejo por bases, específicamente el calcio que alcaliniza el pH.



Gráfica 34. Correlación del porcentaje de Calcio y pH.

11.4.3 Zinc y Boro

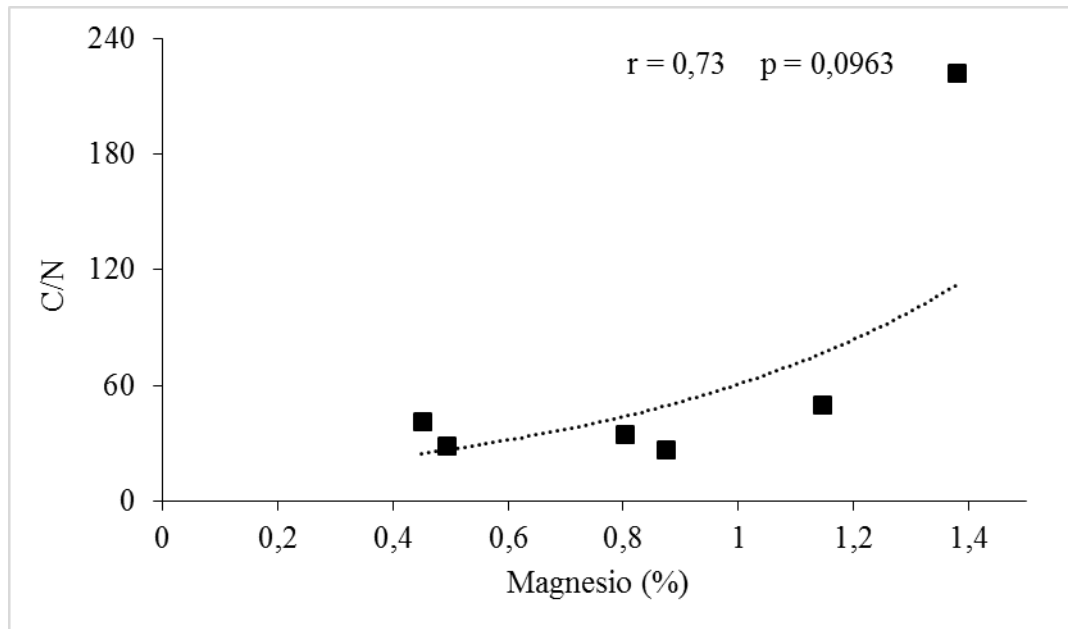
El zinc y el boro presentaron una correlación negativa significativa ($r = -0,73$), el porcentaje de boro disminuye cuando el % zinc aumenta,



Gráfica 35. Correlación del porcentaje de zinc y boro

11.4.4 Contenido de C/N y Magnesio

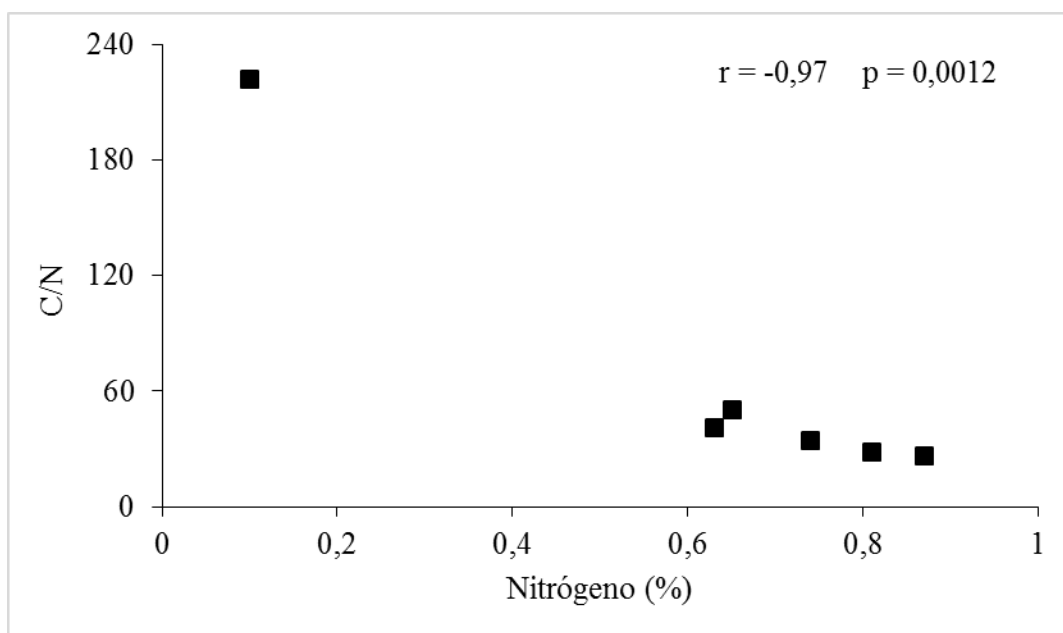
El porcentaje de Magnesio y la cantidad de C/N presenta una correlación significativa positiva, es decir que a medida que aumenta el % de magnesio, aumenta la cantidad de C/N.



Gráfica 36. Correlación del porcentaje de Magnesio y cantidad de C/N

11.4.5 Contenido de C/N y Nitrógeno

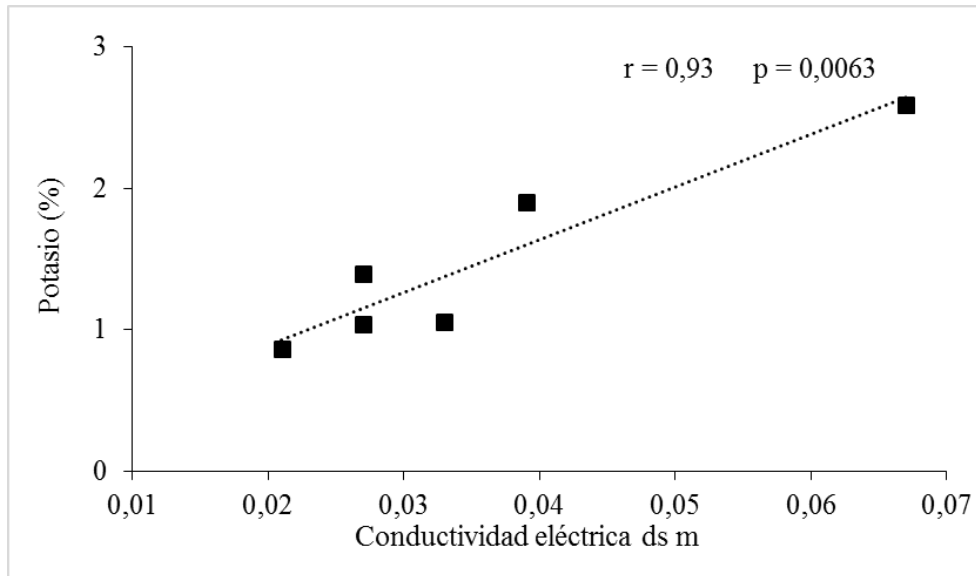
La relación C/N y nitrógeno muestran una correlación negativa significativa ($r = - 0,97$), según los resultados representados en la gráfica 37, cuando el porcentaje de N aumenta, la relación C/N disminuye y viceversa, la principal razón es que la relación C/N es inversamente proporcional, por lo tanto, a mayores valores de N, da como resultado una relación C/N más baja.



Gráfica 37. Correlación del porcentaje de nitrógeno y cantidad de C/N.

11.4.6 Potasio y conductividad eléctrica

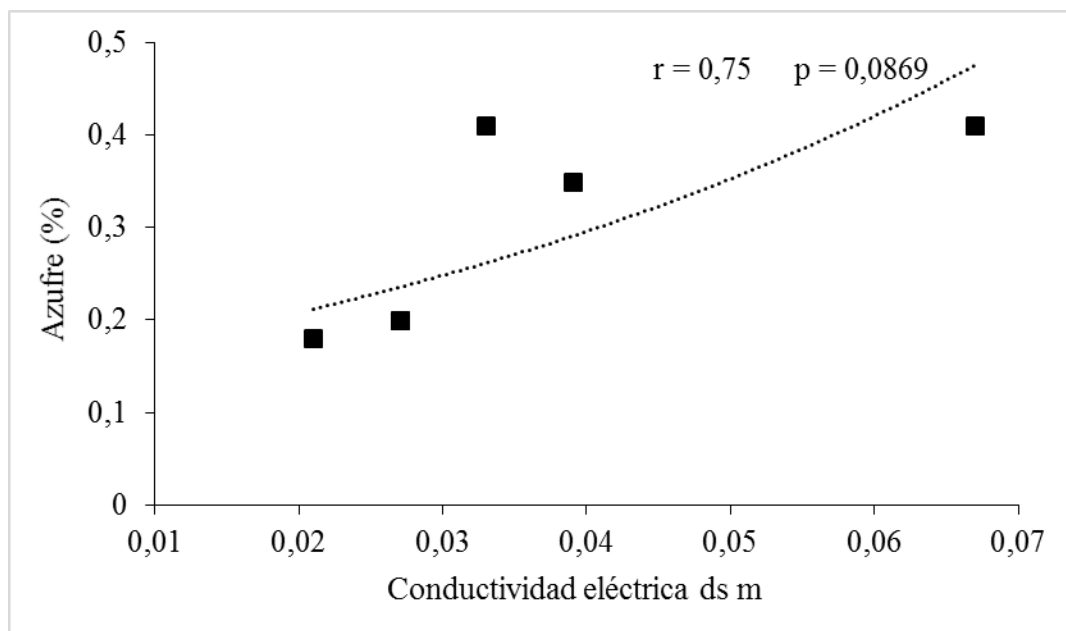
El elemento potasio y la variable conductividad eléctrica presentan una correlación altamente significativa ($r = 0,93$), cuando la conductividad eléctrica aumenta, aumenta el % de potasio, debido a que el K es un electrolito que facilita la conducción.



Gráfica 38. Correlación del porcentaje de Potasio y conductividad eléctrica.

11.4.7 Azufre y conductividad eléctrica

El porcentaje de azufre y la conductividad eléctrica muestran una correlación significativa positiva, debido a que el S es altamente electronegativo, y pide electrones a los elementos como el Na, K, Ca y Mg.



Gráfica 39. Correlación del porcentaje de azufre y conductividad eléctrica.

12. CONCLUSIONES

La determinación de los parámetros físicos, permite definir que la mejor mezcla es la número uno, debido a las características óptimas que presentó (color, textura, estructura, porosidad y permeabilidad), mientras que la mezcla número dos fue la mejor de acuerdo a la caracterización química, por presentar los niveles más altos de los elementos mayores primarios (nitrógeno, fósforo y potasio), los cuales son absorbidos por las plantas en mayores cantidades.

La mezcla número uno, fue la que presentó mayor tasa de descomposición, por ser la única en contener dos fuentes de estiércol, acelerando el proceso debido al mayor aporte de microorganismos presentes en comparación a las otras dos mezclas procesadas a partir de un solo estiércol. Mientras, que la mezcla número dos fue la que presentó menor tasa de descomposición, debido a la lenta meteorización de la porquinaza y del bagazo de caña.

La caracterización físico-química de compost obtenido muestra que para ambas localidades los valores más altos de las variables tasa de conversión de la materia orgánica, % de Mg, % de K, % Zn, conductividad eléctrica, C/N, pH y S se presentaron en el Municipio de Bello a pesar de que no hubo diferencias significativas, mientras que en el Municipio de San Vicente los valores más altos se presentaron en el porcentaje de Ca, Na, CO, N, P y B.

La mezcla dos puede ser utilizada como un acondicionador de suelos, especialmente en los suelos ácidos de la Amazonía debido a alta cantidad presente de los elementos Ca y Na. Además que esta mezcla mejora los requerimientos de carbono pues su aporte del 29,2 % es más alto a lo establecido en la NTC 5167 (15%). También, es importante tener en cuenta que las mezclas evaluadas presentaron valores altamente alcalinos, superiores a un pH de 8,4 por lo que también pueden ser usadas como alternativa para la corrección del pH ácido en suelos.

13. RECOMENDACIONES

- El bagazo de caña, debe ser dispuesto en trozos del menor tamaño posible, debido a la dificultad que presenta para su descomposición.
- Evaluar el compost producido en cultivos, a través de la medición del desarrollo y la producción de los mismos.
- Se recomienda utilizar el abono orgánico producido, como una alternativa de recuperación en suelos degradados, ya que el compost tiene una liberación lenta de nutrientes y además aporta microorganismos benéficos para el suelo.
- Para estudios posteriores se recomienda: realizar repeticiones con el fin de obtener mayor precisión en los datos durante todo el proceso realizado.

14. BIBLIOGRAFÍA

Anastasi, A., Varese, G. C., y Filipello, V. (2005). Isolation and identification of fungal communities in compost and vermicompost. *Mycologia* 97: 33–44.

Acurio, G., Rossin, A., Teixeira, P. F., y Cepeda, F. (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de residuos sólidos municipales en América Latina y el Caribe. Recuperado en <https://publications.iadb.org/bitstream/handle/11319/4768/Diagn%C3%B3stico%20de%20la%20situaci%C3%B3n%20del%20manejo%20de%20residuos%20s%C3%B3lidos%20municipales%20en%20Am%C3%A9rica%20Latina%20y%20el%20Caribe.pdf?sequence=1>

Adams, J. D., y Frostick, L. E. (2007). Investigating microbial activities in compost using mushroom (*agaricus bisporus*) cultivation an experimental system. *Bioresource technology*, 99: 1097-1102.

Angulo, J. (2012). Nutritional evaluation of fruit and vegetable waste as feedstuff for diets of lactating Holstein cows. Universidad de Antioquia. Colombia. 95, S210-S214.

Acosta, W., y Peralta, M. (2015). Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el Municipio de Fusagasugá (Trabajo de grado). Universidad de Cundinamarca, Colombia.

Alarcón Vera. El boro como nutriente esencial. Recuperado en <http://www.horticom.com/pd/imagenes/51/155/51155.pdf>

Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A. F., y Smith, P. (2008). Cool Farming : Climate impacts of agriculture and mitigation potential. *Greenpeace International*, 44. Recuperado de:<http://hdl.handle.net/2164/2205>\n<http://www.greenpeace.org/international/Global/international/planet-2/report/2008/1/cool-farming-full-report.pdf>.

Castillo *et al.*, (2000). Caracterización química y física de compost de lombrices elaboradas a partir de residuos orgánicos puros y combinados. *Agric. Téc. v.60 n.1* Chillán. Pp.74-79.

Cardona, *et al.*, (2004). Biodegradación de residuos orgánicos de plazas de Mercado. *Revista colombiana de biotecnología* vol.vi no. 2 diciembre. 78-89 pp.

SEPAR. (2004). Boletín de estiércol.

Cruz, J. (2009). Valoración agronómica de compost y vermicompost de alperujos mezclados con otros residuos agrícolas, efecto como enmiendas sólidas y líquidas.

Cariello, M. E., Castañeda, L., Riobo, I., y Gonzales, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. R.C.Suelo Nutr. Veg. 7 (3). 26-37 pp.

Dante. (2001). Guía No.2. Para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos. Quito, Guía No. 2. p.10.

FAO. (2012). Taller: Técnicas de compostaje. Cambio climático y sostenibilidad ambiental. Recuperado de http://www.rlc.fao.org/fileadmin/content/events/taller_tcp-par-3303/compost.pdf.

FAO, 2013. Manual de compostaje del agricultor: Experiencias en América Latina. Recuperado en <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>.

FIDAR. (2014). Utilización de los residuos orgánicos en la agricultura. Recuperado en http://ciatlibrary.ciat.cgiar.org/Articulos_CIAT/Residuos_Organicos_Agricultura_FIDAR.pdf.

Guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. Alcaldía mayor de Bogotá-Universidad Nacional de Colombia, 2014.

Hernández, S., y Rodríguez, O. (2013). Calidad nutrimental de cuatro abonos orgánicos producidos a partir de residuos vegetales y pecuarios. México. 31: 35-46.

Jaramillo, G., y Zapata, L. M. (2008). Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia (tesis de especialización). Universidad de Antioquia, Colombia. Recuperado de: <http://uniciencia.ambientalex.info/infoCT/Apressolorgco.pdf>.

Jara, *et al.* (2016). Parámetros físico-químicos y contenido de coliformes de un compost obtenido a partir de residuos orgánicos del Camal Frigorífico Riobamba. *Revista Amazónica Ciencia y Tecnología Volumen 5 N°3*. 252-263pp.

López, V., y Florez, M. (2017). Biotransformación de residuos orgánicos en la secretaría distrital de salud (trabajo de grado). Universidad distrital Francisco José de Caldas, Colombia.

López, 2017. Biotransformación de residuos orgánicos en la secretaria distrital de salud. Colombia.

Matheus, L., Graterol, B., Simancas, G., y Fernández, O. (2007). Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L). Laboratorio de Investigación de Suelos. Trujillo. Venezuela. 13: 27-38.

MacGregor ST, Millar FC, Psarianos KM, Finstein MS (1981) Composting process control based on interaction between microbial heat output and temperature. *Appl. Env. Microbiol.* 41: 1321-1330.

Nieto, A. (2002). El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (*Capsicum annuum* l.) en zonas áridas. *México.* 27(8): 417- 421.

Negro, M. *et al.*, (2000). Producción y gestión del compost. CIEMAT.

Norma Técnica Colombiana 5167-NTC. (2004). Productos para la industria agrícola, productos orgánicos utilizados como abonos fertilizantes y enmiendas del suelo. *Editada 2004 – 06 – 15.*

Olivares, *et al.*, (2012). Lombricomposta y composta de estiércol de ganado vacuno lechero como fertilizantes y mejoradores de suelo. *Universidad y ciencia, Trópico Húmedo*, Vol. 28(1). 27-37 pp.

Pérez, Y., Rebollido, R., y Martínez, J. (2010). Aislamiento e identificación de hongos en compost elaborado a partir de residuos sólidos urbanos. *Agro Sur* 38(1) 1-7.

Padilla, A. W., y Rivero, J. F. (2015). Producción de Biogás y compost a partir de Residuos Orgánicos recolectados del Complejo Arqueológico Huaca de la Luna. *Ciencia y Tecnología*”, Año 12, N° 1, 2016, 29-43.

Puerta, S. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Corporación Universitaria La Sallista.* Colombia. 1(1), 56- 65.

Pérez, *et al* (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *R.C.Suelo Nutr. Veg.* 8 (4) 2008 (10-29).

Penagos et al., 2011. Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido-Colombia.

Penagos, J., Adarraga, J., Aguas, D., y Molina, E. (2011). Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido. Universidad del Norte. Colombia. 11, 37- 44.

Puerta, S. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. Corporación Universitaria Lasallista. Colombia. 1(1), 56- 65.

Rivera, C. y León, T. (2013). Anotaciones para una historia de la Agroecología en Colombia. *Revista Gestión y Ambiente Vol. 16 (3): 73-89.*

Restrepo, J., Angel, D., y Prager, M. (2000). Actualización Profesional en Manejo de Recursos Naturales, Agricultura Sostenible y Pobreza Rural Agroecología. Universidad Nacional de Colombia. 1 – 84.

Román, P., Martínez, M., y Pantoja, A. (2013). Manual de compostaje del agricultor. Experiencias en América Latina. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Oficina Regional para América Latina y el Caribe. 13-43.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-Sagarpa. (s.f.). Abonos orgánicos. Recuperado de: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>.

Skinner, J. H. (2000). Worldwide MSW Market Reaches \$100 Billion: A Report from the ISWA World Congress 2000. Swana CEO Report. Swana Newsletter. Septiembre.

Stoecklein, A., y Suárez, C. (1998). Gestión integral de residuos sólidos. Primer Seminario Regional de Capacitación en Residuos Sólidos. Pereira. 17-84.

Soto y Muñoz. (2002). Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en la agricultura orgánica. *Manejo Integrado de Plagas y Agroecología* (Costa Rica) No. 65. 123-129 pp.

Santos, (2007). Módulo: Contaminación por residuos. Master en Ingeniería y Gestión Ambiental. Recuperado de http://api.eoi.es/api_v1_dev.php/fedora/asset/eoi:45609/componente45607.pdf.

Silva, C. A., Cevallos, R. A., Sarabia, J. J., y Boza, J. A. (2016). Impacto del medio ambiente de las actividades agropecuarias en el Cantón El Empalme, Ecuador”, *Revista Caribeña de Ciencias Sociales*. Recuperado de: <http://www.eumed.net/rev/caribe/2016/08/ganaderia.html>.

Sztern, D. y Pravia, M. (2008). Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Uruguay. 69.

Santamaria, S. (2001). Dinámica y relaciones de microorganismos, C-Orgánico y N-Total durante el composteo y vermicomposteo. *Especialidad de Edafología*. México. 35: 377-384.

Sztern, D. y Pravia, M. (2008). Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Uruguay. 69.

Tybaide, M., & Sanchez, G. (2009). Caracterización microbiológica del proceso de compostaje a partir de residuos azucareros. *Agronomía Trop*. 59(3): 309-316.

Valderrama, A. (2013). Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador del suelo. Universidad pontificia bolivariana. Colombia. 54.

Vasquez, D. (2008). Producción y evaluación de cuatro tipos de bioabonos como alternativa biotecnológica de uso de residuos sólidos (tesis de grado). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Ecuador.

ANEXOS

Anexo 1. 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 y urbanos, otros desechos de origen animal y residuos de cultivos. Los abonos orgánicos son materiales cuya eficacia para mejorar la fertilidad y la productividad de los 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.

Amonio: es una forma inorgánica del nitrógeno. Se encuentra reducido y es soluble en la solución del suelo. Se pierde con más facilidad por volatilización.

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.

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.

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.

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.

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 fitopatogeno cuando la enfermedad se produce en plantas, o patógenos humanos o animales.

Reciclaje de nutrientes: ciclo en el que los nutrientes orgánicos e inorgánicos, se transforman y se mueven el suelo, los organismos vivos, la atmosfera 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.

Anexo 2. Materiales mezcla 1.



Fuente: Autores.

Anexo 3. Materiales mezcla 2.



Fuente: Autores.

Anexo 4. Materiales mezcla 3.



Fuente: Autores.

Anexo 5. Reducción del material.



Fuente: Autores.

Anexo 6. Pesado del material.



Fuente: Autores.

Anexo 7. Adición de melaza.



Fuente: Autores.

Anexo 8. Mezclas y recipientes de Bello.



Fuente: Autores.

Anexo 9. Mezclas y recipientes de San Vicente.



Fuente: Autores.

Anexo 10. Humedecimiento del compostaje.



Fuente: Autores.

Anexo 11. Prueba de puño para medir humedad.



Fuente: Autores.

Anexo 12. Mezclado del compostaje.



Fuente: Autores.

Anexo 13. Medición de temperatura interna.



Fuente: Autores.

Anexo 14. Medición de pH.



Fuente: Autores.

Anexo 15. Cernido de la muestra.



Fuente: Autores.

Anexo 16. Pesado de la muestra para envío a laboratorio.





Fuente: Autores.

Anexo 17. Análisis físico-químico

Municipio de Bello, Antioquía: Mezcla 1

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Código interno	Estado	Color	Textura
06jun1703	Sólida húmeda	Café	Gruesa homogénea

 <p>UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA 1803</p>	<p>REPORTE DE RESULTADOS GRUPO INTERDISCIPLINARIO DE ESTUDIOS MOLECULARES (GIEM)</p> <p>PROCESO GESTIÓN D ELOS SERVICIOS ASOCIADOS A LA INVESTIGACIÓN FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES INSTITUTO DE QUÍMICA</p>	 <p>Universidad de Antioquia GIEM Grupo Interdisciplinario de Estudios Moleculares</p>
	<p>CÓDIGO: F-06-S002 VERSIÓN: 03</p>	
	<p>Página 2 de 3</p>	

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*	5.33	0.09	%
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*	1.38	0.02	%
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*	1.0555	0.0004	%
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*	0.1455	0.0007	%
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*	0.02118	0.00003	%
Azufre	S	Gravimetría	AOAC 98002	0.41	-	%
Boro	B	Espectrofotometría	NTC 1860	0.077	-	%

*Método desarrollado por el GIEM.

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Carbono orgánico oxidable total	No aplica	Titulométrica	NTC 5167	22.2	-	%
Conductividad eléctrica (1/200)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	0.033	-	dS/m
Fósforo total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	NTC 234	1.05	-	%
Nitrógeno orgánico total	N total	Kjeldahl	NTC 370	0.10	-	%
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	8.17	-	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	222	-	-

Nota: Los cálculos de las variables fisicoquímicas se hacen sobre base seca exceptuando el nitrógeno.

Municipio de Bello, Antioquía: Mezcla 2

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Código interno	Estado	Color	Textura
06jun1704	Sólida húmeda	Café	Gruesa homogénea

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*	3.242	0.003	%
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*	0.802	0.009	%
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*	1.906	0.002	%
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*	0.2671	0.0007	%
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*	0.157	0.001	%
Azufre	S	Gravimetría	AOAC 98002	0.35	-	%
Boro	B	Espectrofotometría	NTC 1860	0.037	-	%

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Carbono orgánico oxidable total	No aplica	Titulométrica	NTC 5167	25.9	-	%
Conductividad eléctrica (1/200)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	0.039	-	dS/m
Fósforo total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	NTC 234	0.74	-	%
Nitrógeno orgánico total	N total	Kjeldahl	NTC 370	0.74	-	%
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	8.85	-	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	34.8	-	-

Nota: Los cálculos de las variables fisicoquímicas se hacen sobre base seca exceptuando el nitrógeno.

Municipio de Bello, Antioquía: Mezcla 3

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Código interno	Estado	Color	Textura
06jun1705	Sólida húmeda	Café	Gruesa homogénea

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*	2.3047	0.0005	%
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*	0.873	0.006	%
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*	2.590	0.004	%
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*	0.1038	0.0007	%
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*	0.0335	0.0001	%
Azufre	S	Gravimetría	AOAC 98002	0.41	-	%
Boro	B	Espectrofotometría	NTC 1860	0.060	-	%

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Carbono orgánico oxidable total	No aplica	Titulométrica	NTC 5167	23.2	-	%
Conductividad eléctrica (1/200)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	0.067	-	dS/m
Fósforo total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	NTC 234	1.42	-	%
Nitrógeno orgánico total	N total	Kjeldahl	NTC 370	0.87	-	%
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	9.53	-	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	26.7	-	-

Municipio de San Vicente del Caguán, Caquetá: Mezcla 1

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Código interno	Estado	Color	Textura
07jun1701	Sólida húmeda	Café	Gruesa homogénea

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*	1.034	0.004	%
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*	0.4495	0.0001	%
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*	1.397	0.009	%
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*	0.0690	0.0004	%
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*	0.01182	0.00003	%
Azufre	S	Gravimetría	AOAC 98002	0.19	-	%
Boro	B	Espectrofotometría	NTC 1860	0.128	-	%

*Método desarrollado por el GIEM.

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Carbono orgánico oxidable total	No aplica	Titulométrica	NTC 5167	26.0	-	%
Conductividad eléctrica (1/200)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	0.027	-	dS/m
Fósforo total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	NTC 234	0.54	-	%
Nitrógeno orgánico total	N total	Kjeldahl	NTC 370	0.63	-	%
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	8.74	-	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	41.6	-	-

Nota: Los cálculos de las variables fisicoquímicas se hacen sobre base seca exceptuando el nitrógeno.

Municipio de San Vicente del Caguán, Caquetá: Mezcla 2

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Código interno	Estado	Color	Textura
07jun1702	Sólida húmeda	Café	Gruesa homogénea

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*	7.68	0.04	%
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*	1.146	0.009	%
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*	1.038	0.004	%
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*	0.2516	0.0004	%
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*	0.01962	0.00006	%
Azufre	S	Gravimetría	AOAC 98002	0.20	-	%
Boro	B	Espectrofotometría	NTC 1860	0.097	-	%

*Método desarrollado por el GIEM.

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Carbono orgánico oxidable total	No aplica	Titulométrica	NTC 5167	32.6	-	%
Conductividad eléctrica (1/200)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	0.027	-	dS/m
Fósforo total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	NTC 234	1.04	-	%
Nitrógeno orgánico total	N total	Kjeldahl	NTC 370	0.65	-	%
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	7.97	-	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	50.4	-	-

Nota: Los cálculos de las variables fisicoquímicas se hacen sobre base seca exceptuando el nitrógeno.

Municipio de San Vicente del Caguán, Caquetá: Mezcla 3

ANÁLISIS ORGANOLÉPTICOS

Código interno	Estado	Color	Textura
07jun1703	Sólida húmeda	Café	Gruesa homogénea

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Calcio total	CaO	E.C.	No aplica*	4.32	0.01	%
Magnesio total	MgO	E.C.	No aplica*	0.4932	0.0001	%
Potasio total	K ₂ O	E.C.	No aplica*	0.862	0.003	%
Sodio total	Na	E.C.	No aplica*	0.2056	0.0007	%
Zinc total	Zn	E.C.	No aplica*	0.0066	0.0001	%
Azufre	S	Gravimetría	AOAC 98002	0.18	-	%
Boro	B	Espectrofotometría	NTC 1860	0.080	-	%

*Método desarrollado por el GIEM.

Parámetro	Expresado como	Técnica	Norma	Resultado	d.e	Unid.
Carbono orgánico oxidable total	No aplica	Titulométrica	NTC 5167	23.3	-	%
Conductividad eléctrica (1/200)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	0.021	-	dS/m
Fósforo total	P ₂ O ₅	Espectrofotometría	NTC 234	2.54	-	%
Nitrógeno orgánico total	N total	Kjeldahl	NTC 370	0.81	-	%
pH (10%)	No aplica	Potenciometría	NTC 5167	8.98	-	-
Relación C/N	No aplica	No aplica	No aplica	28.8	-	-

Nota: Los cálculos de las variables fisicoquímicas se hacen sobre base seca exceptuando el nitrógeno.