

**MAXIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS; EVALUACIÓN DEL
PROCESO DE COMPOSTAJE Y DEL COMPOST EN LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA AGRÍCOLA JOSE ACEVEDO Y GÓMEZ DEL MUNICIPIO DE
SANTA ROSA - CAUCA**



ALVARO LEON CATUCHE HOYOS

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
POPAYÁN
2018**

**MAXIMIZACIÓN DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS; EVALUACIÓN DEL
PROCESO DE COMPOSTAJE Y DEL COMPOST EN LA INSTITUCIÓN
EDUCATIVA AGRÍCOLA JOSE ACEVEDO Y GÓMEZ DEL MUNICIPIO DE
SANTA ROSA - CAUCA**

ALVARO LEON CATUCHE HOYOS

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de Químico

Director: EDIER HUMBERTO PEREZ. Ph.D.

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES, EXACTAS Y DE LA EDUCACIÓN
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
POPAYÁN
2018**

Nota de Aceptación

Director _____
Edier Humberto Pérez. Ph.D.

Jurado _____
Nilza Velasco Palomino. Msc.

Jurado _____
Juan Carlos Argoti. Ph.D.

Fecha de sustentación: 08 Febrero 2018

DEDICATORIA

Con toda humildad que de mí puede emanar, dedico primeramente mi trabajo a Dios, por ser mi guía, por darme sabiduría para superarme cada día y por brindarme la mejor familia a la cual amo.

A mis padres Amelia Hoyos Rivera y Cayo Gaspar Catuche Macias, por haberme brindado su apoyo y amor incondicional, por inculcarme valores para ser buen hijo y una persona útil para la sociedad, es una satisfacción que me llena de orgullo poder compartir este triunfo junto a mis padres queridos.

A mis hermanos, quienes sentaron en mí las bases de responsabilidad y deseos de superación, por su comprensión y apoyo constante durante mi carrera, sin ustedes hubiese sido más difícil alcanzar esta meta.

A mi hija por ser la razón para nunca desfallecer en este propósito.

A mí amada Rocio del Mar por ser mi apoyo en los momentos difíciles y brindarme su amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por ser la fortaleza y guía en mi camino y permitirme llegar a este momento especial en mi vida.

A mis padres por apoyarme incondicionalmente, por encomendarme al todo poderoso en sus oraciones, porque siempre me han dado su amor y afecto sembrando en mí seguridad para salir triunfante en cada lucha.

A mis hermanos mi más sincera gratitud por ser parte fundamental de este logro, a mi hermana Crispina y Carlos, por ser el cimiento para la construcción de mi vida profesional, a mi hermana Nelcy por hacerme sentir como su hijo con sus cuidados desinteresados, a mis hermanos Edwin, Lucina, Sofía, Mabel y Numnyla por estar presentes aportando buenas cosas a mi vida y por los grandes lotes de felicidad y de diversas emociones que siempre me han causado. Muchas gracias hermanos

A mi director de trabajo por guiarme acertadamente y permitirme aprender de su conocimiento, humildad y generosidad.

A mis compañeros del grupo de agroquímica por brindarme su amistad y apoyo en el desarrollo de este trabajo, un agradecimiento especial a James Muñoz, Ximena Prieto, Alexander Jimenez, Leydi Conú, Andrés Parra y Camilo arcos.

A mi prima Damaris por el acompañamiento técnico en el trabajo de campo.

Al departamento de química, a sus profesores y tecnólogos y a la unidad de análisis industriales.

Al departamento de Biología, a su Profesora Yenifer Tovar, a Maribel Rocero y Clandia Caicedo.

A la Alcaldía municipal de Santa Rosa – Cauca, en Cabeza de su alcalde Jaime Alberto Urrutia Joaqui por el apoyo recibido para la realización de este trabajo.

Al profesor Ariel Pérez y a los estudiantes de la institución educativa agrícola José Acevedo y Gómez del municipio de Santa Rosa - Cauca

TABLA DE CONTENIDO

	Pág
Lista de acrónimos.....	8
lista de tablas.....	10
lista de figuras	11
Resumen	12
Introducción	13
1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
2 OBJETIVOS.....	15
2.1 OBJETIVO GENERAL.....	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	15
3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE	16
3.1 RESIDUOS SÓLIDOS	17
3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS.....	17
3.2.1 Residuos domiciliarios y municipales.	17
3.2.2 Residuos agrícolas, pecuarios y forestales.	17
3.2.3 Residuos hospitalarios o de centros de atención de salud.	17
3.2.4 Residuos industriales.	18
3.3 EL COMPOSTAJE.....	18
3.3.1 La materia prima (MP).....	19
3.3.2 Proceso de compostaje.....	19
3.3.3 Variables físicas y químicas en el proceso de compostaje.	21
3.4 TÉCNICAS DE COMPOSTAJE	24
3.4.1 Sistemas Abiertos.	24
3.4.2 Sistemas Cerrados.....	25
3.4.3 Microbiología del Compostaje.	25
4 METODOLOGÍA	26
4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA	26
4.2 ADECUACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO.....	26
4.2.1 Infraestructura.	26
4.2.2 Descripción del proceso de compostaje.	28
4.3 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE	31

4.3.1	Evaluación de parámetros físicos y químicos del proceso de compostaje.....	32
4.3.2	Análisis físicos.....	32
4.3.3	Análisis químicos.....	33
4.4	EVALUACIÓN DEL GRADO DE MADUREZ DEL COMPOST.....	34
4.4.1	Análisis Físicos.	34
4.4.2	Análisis Químicos.....	35
4.4.3	Análisis Microbiológico.....	37
5	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	38
5.1	VALORACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	38
5.1.1	Análisis físicos.....	38
5.1.2	Análisis químicos.....	40
5.2	VALORACIÓN DE LA MADUREZ DEL COMPOST.....	46
5.3	FORMULACIÓN DEL COMPOST A UNA MUESTRA DE SUELO.....	55
6	CONCLUSIONES.....	58
7	RECOMENDACIONES.....	60
8	BIBLIOGRAFÍA.....	61
	ANEXOS.....	66

LISTA DE ACRÓNIMOS

ANOVA:	Análisis de Varianza
C/N:	Relación carbono/nitrógeno
CaT:	Calcio total
CE:	Conductividad eléctrica
CO:	Carbono orgánico
COOT:	Carbono orgánico oxidable Total
CIC:	Capacidad de intercambio catiónico
CRH:	Capacidad de retención de humedad
DR:	Densidad real
EAA:	Espectroscopia de absorción atómica
FAO:	Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura.
GRS:	Gestión de residuos sólidos
Hc:	Humedad de campo
Hh:	Humedad higroscópica
IEAJAyG:	Institución educativa agrícola José Acevedo y Gómez
KD:	Potasio disponible
KT:	Potasio total
K₂O:	Óxido de potasio
MO:	Materia orgánica
MP:	Materia prima
MgD:	Magnesio disponible
MgT:	Magnesio total
MgO:	Óxido de magnesio
NaT:	Sodio total
NaD:	Sodio disponible
NMP:	Numero más probable
PD:	Fósforo disponible
PT:	Fósforo total

PV:	Porcentaje pérdidas por volatilización
P₂O₅:	Óxido de fósforo (V)
RIA:	Residuo Insoluble en ácido
RO:	Residuos orgánicos
RSU:	Residuos sólidos urbanos
T1:	Tratamiento de compostaje número 1
T2:	Tratamiento de compostaje número 2
T3:	Tratamiento de compostaje número 3

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Métodos de análisis de las muestras de compost.	31
Tabla 2. Parámetros de calidad para T1, T2 y T3.	48
Tabla 3. Resultado microbiológico.	54
Tabla 4. Porcentaje de N disponible según condiciones climáticas y de altitud. .	55
Tabla 5. Resultados análisis muestra de suelo.	56
Tabla 6. Contenido de MO respecto al clima y altura.	56
Tabla 7. Niveles de fósforo según método Bray II.	56
Tabla 8. Niveles óptimos de bases de cambio.	57
Tabla 9. Niveles críticos de micro elementos en el suelo.	57
Tabla 10. Formulación del compost (T2) al suelo.	57

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Productos de compostaje.....	18
Figura 2. Fases térmicas del proceso de compostaje.	19
Figura 3. Ubicación geográfica de la planta compostaje.	26
Figura 4. Adecuación del área de recibimiento.	27
Figura 5. Construcción de cajones.	27
Figura 6. Materia prima (MP).	28
Figura 7. Recepción y acondicionamiento de la MP	29
Figura 8. Formación de cajones.	29
Figura 9. Control de humedad.	30
Figura 10. Medición de la temperatura.	32
Figura 11. Seguimiento de la temperatura para T1, T2 y T3.	39
Figura 12. Seguimiento a la humedad para T1, T2 y T3.	40
Figura 13. Seguimiento del pH para T1, T2 y T3.	41
Figura 14. Seguimiento conductividad eléctrica.	42
Figura 15. Seguimiento Carbono orgánico total.	43
Figura 16. Seguimiento Nitrógeno orgánico.	44
Figura 17. Seguimiento relación C/N.	45
Figura 18. Carbonatos, densidad, cenizas, CE, pH y CRH del compost final.	49
Figura 19. Nitrógeno, CO, CIC, RIA y azufre del compost final.	51
Figura 20. Fósforo total y disponible del compost final.	52
Figura 21. Bases totales del compost final.	53

RESUMEN

En Santa Rosa, cabecera municipal del municipio de Santa Rosa Cauca, se viene promoviendo el reciclaje por más de una década, los residuos orgánicos urbanos generados constituyen aproximadamente cerca del 60% de sus residuos y estos residuos orgánicos son tratados en la Institución educativa Agrícola José Acevedo y Gómez (IEAJAyG) con el propósito de obtener abono orgánico; este trabajo busca mejorar la metodología aplicada, estableciendo parámetros, realizando seguimiento físico químico a tres tratamientos T1, T2 y T3, para al final de cada proceso evaluar la calidad del compost obtenido. Cada tratamiento es de 1.5 m³, con un periodo de duración de 105 días de compostaje de residuos urbanos que están compuestos por restos de frutas, hortalizas, alimentos estropeados, semillas y cáscaras de frutos, huevo, naranja y cítricos; restos de cosechas, ramas trituradas, hojas caídas de árboles, césped o pasto, virutas de aserrín, aceites y grasas comestibles esparcidas en muy pequeña cantidad. En el proceso se manejaron tres variables: aserrín, aireación y cantidad de Cal adicionada; La cantidad de aserrín se varió con relación a 3:1 2:1 y 3:1 en volumen con la MP, el número de agujeros 6,9,12 y el carbonato de calcio adicionado de 3, 4 y 5 kg para tratamientos T1, T2 Y T3 respectivamente. La valoración de la evolución del proceso de compostaje se realizó mediante la medida, análisis y control de las variables de pH, temperatura, humedad, conductividad, relación C/N. La evaluación del producto final se realizó mediante los parámetros establecidos en la NTC 5167 2004 segunda actualización para un abono orgánico. Con el desarrollo de este trabajo se determinó que la cantidad de aserrín es importante para optimizar la relación C/N como parte fundamental del proceso. Se puede decir que las variables y composición del T2 son ideales para establecer un sistema de compostaje; la aireación mediante volteo se recomienda cada 10 días en el primer mes y en adelante cada 20 días hasta la maduración (105 días aprox), lo que permite mantener un control óptimo de la temperatura que inhibe la proliferación de microorganismos patógenos. El rendimiento en volumen para los tratamientos T1, T2 y T3 fueron 33, 41 y 44% respectivamente.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento poblacional y la industrialización han direccionado a las poblaciones a reestructurar la manera de manejar sus desechos, con visión a la minimización, prevención, aprovechamiento y reúso de los recursos presentes en dichos desechos. Además de la implementación y mejoramiento de sistemas de tratamiento para eliminar desechos, se debe promover la sostenibilidad ambiental de manera adecuada, se tiene la obligación de crear alianzas con la cultura en todas sus dimensiones, que permitan reforzar la ética que debe poseer la sostenibilidad ambiental en materia de conocimiento hacia el respeto por nuestro ambiente, en este caso con el sistema de compostaje. Los residuos municipales o residuos sólidos urbanos (RSU) contienen gran porcentaje de desechos orgánicos 50-70% (Jaramillo y Zapata 2008) que se producen en las cocinas, mercados municipales, restaurantes, jardinería, entre otras fuentes; siendo estos materia prima para la obtención de compost, en un proceso biológico aerobio en donde los sustratos orgánicos son oxidados a formas biológicamente. El compostaje es la forma más adaptable que no necesita de grandes inversiones económicas para transformar los desechos orgánicos, potenciando el producto final y minimizando un gran número de impactos ambientales que conllevan a la sostenibilidad de los recursos naturales (Cabeza *et al* 2013). Este proceso debe realizarse con los cuidados necesarios para lograr unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación, donde se establezcan tomas de muestras y controles a lo largo del mismo para seguir su funcionamiento con el fin de obtener un producto de calidad (Torrento 2011).

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 baja o nula fertilidad; esto es debido a que proporciona nutrientes y mejora las propiedades físico- químicas que son alteradas por las labores culturales propias de la agricultura (Nieto *et al*. 2002). La ventaja de la utilización de abonos orgánicos es que ayuda a preservar, recuperar y mejorar las características de los suelos para garantizar su productividad y sostenibilidad en el tiempo, restablece el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo y repone la diversidad de la flora microbiana benéfica, los nutrimentos esenciales demandados por los cultivos que el suelo no puede suplir, de esta manera permite mantener el nivel óptimo de fertilidad 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 a largo plazo tiene un efecto beneficioso en la producción de cultivos (Matheus *et al*. 2007).

1 PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA

El municipio de Santa Rosa ubicado al sur del departamento del Cauca, no cuenta con un relleno sanitario certificado y presenta una pobre gestión de residuos sólidos (GRS). Existe un relleno sanitario manual en la cabecera municipal donde se atiende el 17% del total de viviendas del municipio, el 83% restante de las viviendas realizan tratamiento individual a las basuras, algunos las entierran y otros las depositan en sus huertas o lugares cercanos (Alcaldía Municipal 2016). Se resalta el hecho de que en la cabecera municipal de Santa Rosa por más de una década se viene promoviendo el reciclaje, los habitantes clasifican los residuos y el material orgánico resultante es recolectado en un vehículo de atracción animal hasta una planta para tal fin, se produce alrededor de media tonelada de residuos orgánicos (RO) semanalmente que son manejados por la institución educativa agrícola José Acevedo y Gómez (I.E.A.J.A y G.) con el propósito de realizar compostaje, este compost obtenido en el colegio carece de seguimiento desde el inicio al fin del proceso de compostaje; por lo tanto, no se conoce el tipo de efecto que esté causando el abono en las condiciones actuales sobre el suelo o en los distintos compartimientos ambientales, generando incertidumbre relacionada con los riesgos ambientales inherentes (Muñoz T. 2005) (Muñoz T. 2005). Este trabajo busca desarrollar un proceso de compostaje, teniendo como base el estudio de la evaluación y el producto final de tres tratamientos experimentales, generando conocimiento para establecer parámetros del proceso de compostaje con el propósito de obtener un compost de calidad, generando un valor agregado al material orgánico que puede ser utilizado en el mismo municipio donde la economía en el contexto municipal se estructura en los subsectores agrícola y pecuario, en el que la producción es de tipo familiar y artesanal.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el proceso de compostaje de los residuos orgánicos generados en la cabecera municipal de Santa Rosa, con el propósito de contribuir a la minimización de riesgos ambientales y sanitarios generados por estos y obtener un abono maduro debidamente formulado útil para la región.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Acondicionar el espacio para la puesta en marcha del sistema de compostaje

Evaluar el proceso de compostaje mediante los diferentes parámetros físicos y químicos requeridos para tal fin.

Evaluar el compost obtenido de acuerdo a la Norma Técnica Colombiana ICONTEC NTC-5167/2004 segunda actualización.

3 MARCO TEÓRICO Y ESTADO DEL ARTE

La compostación es una técnica ambiental deseable en el manejo de los residuos orgánicos, este proceso es la conversión de desechos orgánicos para obtener el compost higienizado, rico en humus, relativamente estabilizado que aplicado al suelo mejora las condiciones para la productividad, capaz de reducir la erosión, de mejorar la vida vegetal sirviendo como fertilizante a las plantas (Dalzell *et al.* 1991). Siendo en algunos casos necesario aportar materia orgánica a los suelos y el compostaje es la opción más barata y sencilla para hacerlo. El uso del compost inmaduro puede generar riesgos como; disminución del oxígeno en la zona radical; residuos con elevada relación C/N que produce inmovilización del nitrógeno, generando una competencia por éste en el suelo entre los microorganismos y las plantas, aumento de la temperatura del suelo, lo que es incompatible con el desarrollo vegetal; acumulación de ácidos orgánicos de bajo peso molecular y de otros metabolitos orgánicos que son fitotóxicos; destrucción incompleta de organismos patógenos, como consecuencia de una compactación o una mala aireación de los residuos durante el compostaje (Román *et al.* 2013).

Tanto el reciclaje como el uso de compost tienen un gran número de ventajas tales como que no se requiere de gran inversión económica, utiliza tecnología de fácil manejo, se obtiene un producto útil y no hay malos olores, además que a diferencia de otros métodos para combatir el problema de la basura, estos no afectan el agua, el aire ni la tierra. Por todo esto, un gran número de instituciones emplean este proceso para la eliminación de residuos (Dalzell, 1991).

En el contexto puntual, al realizar el debido seguimiento en la producción del compost permite minimizar los riesgos ambientales porque hay certeza del abono producido, dando garantías para la aplicación en el suelo con cultivos establecidos, sin desconocer la potencia de la naturaleza, sin dejar de lado la complejidad del ambiente; pues se tiene presente que para promover la sostenibilidad ambiental de manera adecuada en la producción de abono, se tiene la obligación de crear alianzas con la cultura en todas sus dimensiones, que permitan reforzar la ética que debe poseer la sostenibilidad ambiental en materia de conocimiento hacia el respeto por nuestro ambiente, en este caso con el abono orgánico. La aplicación del compost al suelo lo hace saludable porque tiene grandes y diversas poblaciones de microorganismos, cuenta con abundante MO y resiste las alteraciones causadas por la labranza, la sequía y las inundaciones (Doran y Zeiss 2000).

3.1 RESIDUOS SÓLIDOS

Es cualquier objeto, material, sustancia o elemento sólido resultante del consumo o uso de un bien en actividades domésticas, industriales, comerciales, institucionales, de servicios, que el generador abandona, rechaza o entrega y que es susceptible de aprovechamiento o transformación en un nuevo bien, con valor económico o de disposición final (Decreto 1713 de 2002).

3.2 CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS

Los residuos sólidos (RS) se pueden clasificar por su origen, es una clasificación sectorial y no existe límite en cuanto a la cantidad de categorías o agrupaciones que se pueden realizar (Jaramillo H. y Zapata M. 2008). Algunas categorías son:

3.2.1 Residuos domiciliarios y municipales.

También llamados residuos urbanos (RU), son los generados en las viviendas, comercio, oficina, establecimientos, escuelas, mantenimiento de vías y espacios públicos.

3.2.2 Residuos agrícolas, pecuarios y forestales.

Los residuos agrícolas son los materiales que quedan después de recoger el producto principal del cultivo. Entre los más abundantes se encuentran: Los residuos de cosecha del maíz (cascarón, capacho y mata seca o rastrojo), de yuca (hojas y tallos), de frijol (hojas, vainas y tallos tiernos), de café: (la cascarilla y pulpa). Los desechos de las explotaciones pecuarias incluyen las excretas fecales y urinarias de animales, desperdicios de alimento y las aguas de lavado y otros materiales como pajas y aserrines usados como cama, constituyen una fuente importante de carbono, nitrógeno y microorganismos.

3.2.3 Residuos hospitalarios o de centros de atención de salud.

Restos del trabajo clínico o de investigación. La composición de los residuos hospitalarios varía desde el residuo tipo residencial y comercial, a residuos de tipo médico que contienen sustancias peligrosas.

3.2.4 Residuos industriales.

Es el resultante de los procesos de fabricación, transformación, utilización, consumo, limpieza o mantenimiento generados por la actividad industrial. La cantidad de residuos que genera una industria es función de la tecnología del proceso productivo, calidad de las materias primas o productos intermedios, propiedades físicas y químicas de las materias auxiliares empleadas, combustibles utilizados y los envases y embalajes del proceso.

3.3 EL COMPOSTAJE

Es un proceso muy versátil que puede aplicarse a muchos tipos de materiales y mezclas, a diferentes escalas de trabajo empleando o no equipos especializados. El compostaje permite la degradación y estabilización de la MO por parte de microorganismos. Con una adecuada humedad y sustratos orgánicos heterogéneos, se asegura una transformación higiénica de los restos orgánicos en un material homogéneo, biológicamente estable, libre de agente patógeno y asimilable por las plantas (Román et al. 2013).

El proceso de compostaje y sus productos se describe en la figura 1.

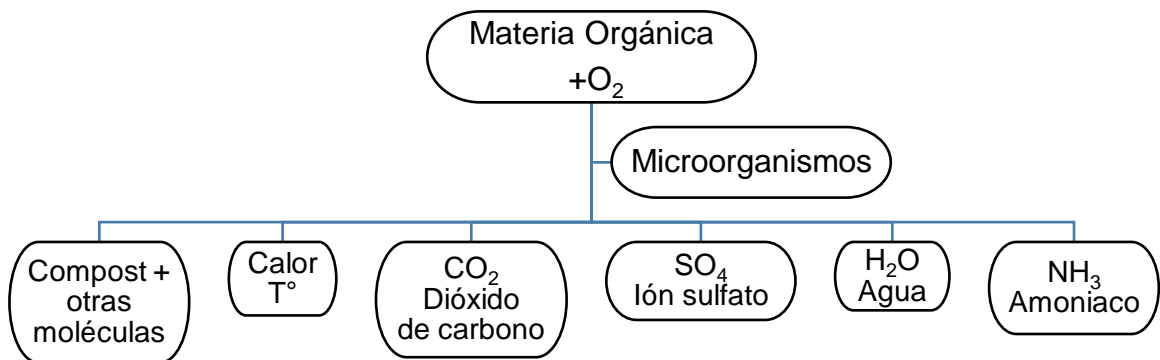


Figura 1. Productos del compostaje

La calidad del compost no es un concepto absoluto, sino que depende de los usos a que se destine. Puede definirse como “la capacidad o aptitud del compost para satisfacer las necesidades de las plantas, con un mínimo impacto ambiental y sin riesgo para la salud pública” (García et al. 2014).

Los criterios relevantes en la evaluación de la calidad son: destino del producto, protección del entorno y los requerimientos del mercado (Soliva y López 2004). Por

otro lado, la forma de preparación del compostaje no es rígida y se ajusta a las condiciones y a los materiales de la región; es decir que no existe una receta única para hacer el compost; lo más importante es la creatividad y el entusiasmo que se ponga (Bongcam V. 2003).

Se ha informado que el compost de los residuos sólidos urbanos (RSU) suministra eficazmente P al suelo con una concentración que aumenta con las tasas de aplicación crecientes, éste es importante debido a que cuando el compost es aplicado al suelo luego del tercer mes empieza a proveer el suficiente fósforo para el crecimiento de las plantas; Algunos informes observaron que el compost de RSU proporciona cantidades equivalentes de P al suelo como fertilizantes minerales (Jimenez *et al.* 1993).

3.3.1 La materia prima (MP).

La mayoría de los residuos agrícolas, pecuarios y forestales son compostables y susceptibles de ser degradados por una amplia variedad de microorganismos que hacen más rápido el proceso.

3.3.2 Proceso de compostaje.

El proceso implica el paso por cuatro etapas: Mesofila, termofila, enfriamiento y maduración según la temperatura (Román, Martínez, y Pantoja 2013) ver Figura 2



Figura 2. Fases térmicas del proceso de compostaje

Fase mesófila: Es la primera fase del compostaje e inicia a temperatura ambiente, se consumen rápidamente azúcares, almidón proteínas y grasas por la presencia de bacterias y hongos mesófilos y termo tolerantes, las bacterias con metabolismo

oxidativo y fermentativo, son las que alcanzan mayores niveles en esta fase, principalmente bacterias Gram-negativas y productoras de ácido láctico, entre otros ácidos orgánicos que hacen descender el pH. La actividad metabólica aumenta rápido la temperatura hasta unos 40°C, también hay liberación de CO₂ y H₂O lo cual reduce el contenido de carbono (Valderrama Ramírez 2013). Iniciando de este modo la transición de microbiota mesófila a termófila, aumentando de este modo los microorganismos termófilos.

Fase mesófila: Es la primera fase del compostaje e inicia a temperatura ambiente, se consumen rápidamente azúcares, almidón, proteínas y grasas por la presencia de bacterias y hongos mesófilos y termo tolerantes, las bacterias con metabolismo oxidativo y fermentativo, son las que alcanzan mayores niveles en esta fase, principalmente bacterias Gram-negativas y productoras de ácido láctico, entre otros ácidos orgánicos que hacen descender el pH. La actividad metabólica aumenta rápido la temperatura hasta unos 40 °C, también hay liberación de CO₂ y H₂O lo cual reduce el contenido de carbono (Valderrama Ramírez 2013). Iniciando de este modo la transición de microbiota mesófila a termófila, aumentando de este modo los microorganismos termófilos.

Fase termófila: Es la segunda fase del proceso, en esta fase proliferan los microorganismos termo tolerantes tales como actinomicetos (*Thermoactinomyces* sp), diversos *Bacillus* spp y bacterias Gram negativas como *Thermus* e *Hydrogenobacter*, los hongos y las levaduras son reducidos desde el inicio de la fase, y son eliminados completamente a partir de los 60 °C (Bernal, Albuquerque, y Moral 2009). Las bacterias que más abundan a temperaturas de 45 °C a 50 °C son las esporuladas como *Bacillus* spp y los actinomicetos termo resistentes. Las bacterias no esporuladas *Hydrogenobacter* spp y *Thermus* spp y algunas esporuladas del genero *Bacillus* predominan a temperaturas de 70 a 82 °C. La transición a la tercera fase inicia cuando la temperatura es elevada y la fuente de carbono disponible comienza a ser factor limitante. (Acosta Carrión y Peralta Franco 2015). Es beneficioso que estas temperaturas se mantengan unos 6 días para asegurar que mueran malas hierbas y microorganismo patógenos, sin embargo temperaturas muy altas causan la muerte a muchos microorganismos importantes (Jaramillo H. y Zapata M. 2008). El pH sube debido a la degradación de ácidos orgánicos y por la liberación de amoniaco proveniente de la descomposición de las proteínas.

Fase enfriamiento: Esta etapa se caracteriza porque el pH desciende levemente y una vez agotada la MO biodegradable disminuye la temperatura, el grado de descomposición y reaparecen los microorganismos mesófilos. Desaparecen los

hongos termófilos y el proceso continúa gracias a los organismos esporulados y actinomicetos. Los hongos termófilos que resistieron en las zonas menos calientes del proceso, realizan la degradación mediante enzimas extracelulares compuestos más complejos como la celulosa. (Zárate N. 2013).

Fase de maduración: Es la última fase del proceso y la temperatura desciende continuamente hasta alcanzar la temperatura ambiente generada por la reducción microbiana, conforme avanza la maduración se hace más estable y compleja la MO, apareciendo microorganismos típicos como *Arthrobacter*. (Acosta Carrión y Peralta Franco 2015). A la actividad de hongos y bacterias se les unen otros organismos como los protozoos, nematodos y miriápodos, que contribuyen a la degradación y estabilización final de la MO. La mayor parte del alimento es consumido, las poblaciones de microorganismo disminuyen y se producen complejas reacciones de condensación que estabilizan la MO dando como resultado complejos conocidos como humus o ácidos húmicos. (Hurtado V. 2014).

3.3.3 Variables físicas y químicas en el proceso de compostaje.

Tamaño de partícula: El tamaño de partícula debe ser óptimo, ya que si es muy fino formará una pasta compacta que impide la entrada y circulación de aire, resultando esto en condiciones anaeróbicas afectando la actividad microbiana. Por otra parte si las partículas tienen un tamaño muy grande se disminuye la superficie de ataque de los microorganismos y la descomposición es más lenta. El tamaño ideal de los materiales para comenzar el compostaje es de 5 a 20 cm (Román, Martínez, y Pantoja 2013). Por lo tanto, el troceado y desfibrado del material facilitará el ataque de los microorganismos y aumenta la velocidad del proceso (Zárate N. 2013).

Relación Carbono/Nitrógeno: La eficiencia del compostaje puede variar en un amplio intervalo que puede variar dependiendo del tipo de residuos orgánicos y sus características. Algunos autores dicen que los residuos orgánicos de la fracción municipal poseen un mayor porcentaje de carbono orgánico que otro tipo de residuos como es el caso de los estiércoles (Lu *et al.* 2009; (Dimambro *et al.* 2007). El comportamiento presentado por el nitrógeno en diferentes estudios es una disminución a medida que la actividad microbiana va degradando los residuos sólidos, este comportamiento se le atribuye también a la frecuencia de los volteos al sistema (Oviedo O., Marmolejo R., y Torres L. 2014) y la síntesis realizada por los microorganismos (Lu, Wu, y Guo 2009). El C y el N son los elementos más importantes para el crecimiento bacteriano, el CO es fuente de energía en los procesos metabólicos y el N hace parte del material básico para la síntesis de material celular. Se sabe que uno de los factores cruciales para lograr un proceso

de compostaje eficaz es la relación C/N de la MP. Cuando tienen una relación C/N de alrededor de 100:1 se dice que la relación es alta. Para proveer cantidades apropiadas de estos elementos la relación C/N debe ser aproximadamente de 30:1 por lo cual los restos orgánicos contienen suficiente nitrógeno para soportar una intensa actividad microbiana; una alta concentración de CO limita la síntesis de material celular, al contrario una baja relación C/N ocasiona pérdidas de N en forma de amonio. Por lo general los residuos verdes y frescos son ricos en N y los oscuros y secos son ricos en carbono, se puede estimar las condiciones óptimas simplemente usando una combinación de estos residuos. (Tituaña Morocho 2009). Existe también la reducción de nitrógeno a amonio llevada a cabo por bacterias de vida libre o en simbiosis con algunas especies vegetales (leguminosas y algunas leñosas no leguminosas), se conoce como fijación biológica de nitrógeno (FBN), Los organismos capaces de fijar nitrógeno se conocen como diazótrofos (Paredes. 2013).

Humedad: El contenido en humedad de campo (Hc) de los desechos orgánicos crudos es muy variable, si la humedad inicial de los residuos crudos es superior a un 50%, necesariamente se debe buscar la forma de que el material pierda humedad, antes de conformar los cajones, la humedad idónea para una biodegradación con dominio de la respiración aeróbica, se sitúa en el orden del 15 al 35 % (del 40 al 60 %, sí se puede mantener una buena aireación) (Sztern y Pravia 1999). Humedades superiores a los valores indicados producirían un desplazamiento del aire entre las partículas de la materia orgánica, con lo que el medio se volvería anaerobio, favoreciendo los metabolismos fermentativos y las respiraciones anaeróbicas. Si la humedad se sitúa en valores inferiores al 10%, desciende la actividad biológica general y el proceso se vuelve extremadamente lento. (Robles M. 2015). Sin embargo, existen productos compostados con humedades de alrededor del 55% y puede variar dependiendo del estado físico y tamaño de las partículas y del sistema de compostaje (Vicente, Carrasco, y Negro 1996).

Volteo y Aireación: Para el metabolismo de los microorganismos es esencial el oxígeno y es necesario que se encuentre homogéneamente distribuido, según Bongcam (2003) el mínimo de aireación se calcula de 10 a un 15% de concentración en la masa total. El volteo permite aireación y la frecuencia depende del tipo de materiales a compostar, de la humedad y de la rapidez que se desea se realice el proceso; para establecer esta frecuencia es preciso controlar la temperatura de la pila o percibir si se desprenden malos olores (Tituaña Morocho 2009). Para conseguir una correcta distribución del oxígeno es necesario agregar un material, que proporcione porosidad a los sustratos a compostar (aserrín) o bien realizar agujeros verticales (Muñoz, Dorado, y Pérez 2015). El volteo sirve para

liberar calor, vapor de agua y gases; también para acelerar el proceso de compostaje (Bohórquez P. 2013). El volteo mecánico es la manera convencional de airear el cajón de compostaje además de conseguir homogeneizar la mezcla. La frecuencia de volteo depende de las necesidades del sistema y puede realizarse cada 10 días.

Temperatura: La variación de la temperatura es la primera manifestación del proceso oxidativo que ocurre en el sistema de compostaje, es la forma más conveniente y significativa de monitorear el progreso del compostaje. En cada fase de temperatura se presentan diferentes grupos de microorganismos (Robles M. 2015). Al principio el proceso inicia a temperatura ambiente ascendiendo hasta alcanzar temperaturas de los 65 °C (Waksman, Cordon, y Hulpoi 1939). Entre mayor sea la diversidad biológica de los materiales, más rápido será la variación de la temperatura. Si la temperatura excede los 71 °C debe voltearse para liberar calor ya que de otro modo los microorganismos descomponedores de la MO se mueren. La temperatura ideal se determina por su capacidad para producir y mantener la temperatura necesaria y permitir que el oxígeno llegue al punto central de la masa de compostaje.

pH: Los valores de pH varían de acuerdo a la composición de la MP y a los productos de la degradación de la MO. En general, se puede compostar MO con un amplio rango de pH (Vicente, Carrasco, y Negro 1996). Al inicio del proceso el pH disminuye debido a la producción de ácidos orgánicos, en la segunda etapa esos mismos ácidos son consumidos por otras poblaciones de microorganismos y además se genera NH_4^+ que contribuye a aumentar el pH. La determinación del pH puede ser un buen indicativo del grado de evolución del compostaje, puesto que al principio baja levemente para luego subir a medida que el material se estabiliza. La cal no debe usarse si el compost tiene una cantidad apreciable de estiércol, sangre, etc., pues los materiales que contengan mucho nitrógeno, de por sí pueden corregir la acidez.(Tituaña Morocho 2009). El compost de residuos de cocina, que tiene muchos hidratos de carbono rápidamente asequibles para los microorganismos, requiere unos 22 kg de cal por tonelada; pero en la mayoría de los casos los desperdicios urbanos tendrán suficiente cal, e incluso demasiada en algunas zonas (Tituaña Morocho 2009). (Muñoz, Dorado, y Pérez 2015) manifiesta que el pH no es un parámetro crítico en el proceso, pero es importante no tener niveles ácidos que puedan llevar a procesos anaeróbicos. El pH es un parámetro que informa acerca de la maduración o grado de humificación del compost.

Conductividad eléctrica (CE): La CE tiende a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la mineralización de la materia orgánica, que lleva al aumento de la concentración de sales y al incremento en la concentración relativa de iones

debido a la pérdida de masa de la pila. Sin embargo, también puede tender a disminuir, si la humectación del material es excesiva; desde el punto de vista físico-químico la CE de un compost está determinada por la naturaleza y composición del material de partida, fundamentalmente por su concentración de sales y, en menor grado, por la presencia de los iones amonio o nitrato formados durante el proceso (Sánchez-Monedero et al. 2001); (Sánchez-Monedero, Roig, y Bernal 2001) causa de los fenómenos de lixiviación. (Moreno C. y Moral H. 2008). Según (Hassouneh, Jamrah, y Qaisi 1999), Brady y Weil (1996), se ha encontrado que la CE de los compost de residuos municipales varía de 3.69 a 7.49 mS/cm citados por (Hargreaves, Adl, y Warman 2008), donde señala que encontró que los valores aumentados de CE en el suelo disminuyeron con el tiempo, tal vez debido a la eliminación de nutrientes por los cultivos y la lixiviación. El crecimiento de la planta no se inhibe en experimentos realizados; sin embargo, los autores sospecharon una disminución de la actividad biológica del suelo debido a los niveles elevados de CE, que fueron más altos que el valor umbral para la actividad biológica óptima del suelo (Iglesias-Jimenez y Alvarez 1993).

Tamaño de la pila: Las dimensiones de la pila dependen principalmente de la cantidad y tipo de materiales a compostar, del espacio con que se cuenta y la técnica de proceso de compostaje. La altura y ancho de una pila de compostaje dependen de la porosidad y el contenido de humedad (Cooperband 2002). Pilas pequeñas pueden mantener saturaciones de oxígeno más altas que una pila grande, pero por otra parte, pilas grandes pueden mantener mejor la temperatura.

3.4 TÉCNICAS DE COMPOSTAJE

Existen numerosos métodos para transformar materiales orgánicos mediante el compostaje, casi todos ellos se basan en el control de la aireación ya que su dosificación acelera el proceso. Las técnicas de compostaje generalmente se dividen en sistemas abiertos y cerrados.

3.4.1 Sistemas Abiertos.

Son los sistemas más tradicionales de compostaje y se aplican en zonas rurales y, en general, donde el terreno es abundante. Son de bajo costo y tecnología relativamente sencilla. En estos sistemas de compostaje la altura de la masa de residuos varía entre 1 y 3 m, con un ancho de hasta aproximadamente 4-5 m.

3.4.2 Sistemas Cerrados.

En estos sistemas los residuos se procesan en instalaciones por lo general metálicas, de forma cilíndrica o rectangular que se conocen como reactores, diseñados para reducir área y tiempo de compostaje y hacer un mejor control de los parámetros del proceso, como por ejemplo, la humedad, la aireación, la temperatura, etc. sin embargo sus costos son elevados.

Estos sistemas van desde recipientes simples hasta sistemas muy complejos que combinan agitación mecánica y aireación forzada de los residuos a compostar. Pueden ser reactores verticales u horizontales, los verticales a su vez pueden ser continuos o discontinuos y los horizontales a su vez, según incorporen funciones de mezclado pueden configurarse en estáticos o dinámicos.

3.4.3 Microbiología del Compostaje.

Los microorganismos que intervienen en el proceso de compostaje proceden de la atmósfera, del agua y del suelo o de los mismos residuos, cada grupo de microorganismos requiere una temperatura óptima para realizar su actividad; existen termófilos y mesófilos, entre ellos los más importantes son bacterias, actinomicetos, hongos y protozoos. (Ryckeboer *et al.* 2003).

En el proceso de compostaje de los residuos orgánicos existen actividades metabólicas combinadas de una gama amplia de microorganismos sumamente eficientes en la descomposición y estabilización de la materia orgánica. El compostaje es, por tanto un proceso de transformación microbiana donde las poblaciones que intervienen varían continuamente, sustituyéndose unos grupos a otros, ya que el carácter dinámico del proceso implica la aparición gradual de diferentes sustratos y distintas condiciones ecológicas. (Iglesias J. 2003).

Para proteger las plantas contra enfermedades y mantener el suelo saludable y productivo, la agricultura orgánica debe recurrir a una diversidad de comunidades de microorganismos, como: bacterias, hongos, micro algas y protozoos que forman parte del ecosistema del suelo, y que junto con las plantas y los animales dependen del suelo para sobrevivir. Todos estos microorganismos forman la microfauna y la microflora del suelo y constituyen la base de la cadena alimenticia, esta cadena juega un papel muy importante en el ciclo de los nutrientes que mantienen la vida de las plantas y animales; son agentes de cambios biológicos químicos y físicos logrando transformar las propiedades del suelo. (FAO 2006)

Para mejorar la calidad y diversificación del sistema del suelo a largo tiempo, se deben utilizar técnicas que mantengan o aumenten la cantidad de materia orgánica y de microorganismos, entre ellas el uso de cultivos de cobertura, rotación de cultivos y la incorporación de compost que pueden proporcionar nuevas poblaciones de microorganismos antagónicos al suelo.

4 METODOLOGÍA

4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA

El sistema de compostaje está ubicado en la Bota Caucana, al sur del Cauca en el municipio de Santa Rosa, en la cabecera municipal a 270 Km aproximadamente de la ciudad de Popayán (figura 3), en la I.E.A.J.A. y G., con una temperatura promedio de 19°C, altura de 1697 m.s.n.m. y Coordenadas 1° 42' 2" N, 76° 34' 22" W

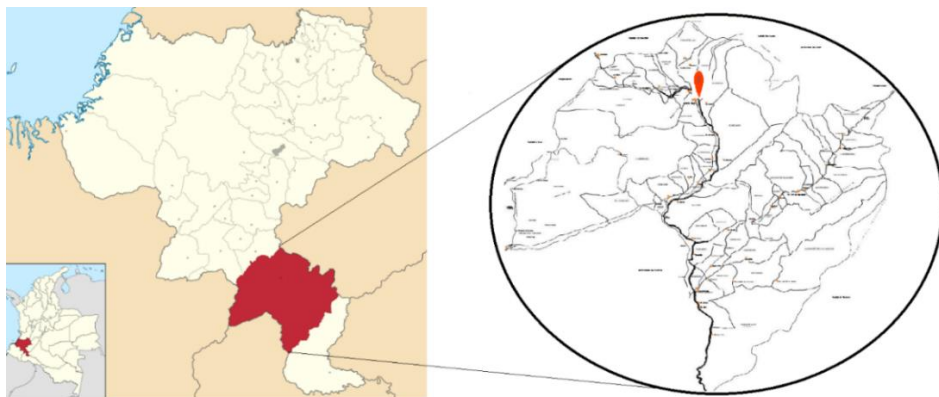


Figura 3. Ubicación geográfica de la Planta de Compostaje

4.2 ADECUACIÓN Y ADAPTACIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

4.2.1 Infraestructura.

Existe una infraestructura física para el tratamiento de RO en la I.E.A.J.A. y G. que consta de un área de recibimiento con piso de cemento (4x5.20 m), área para el triturado (4x1.50 m) y un área de compostación (4x6.2 m).

Adecuación del área de recibimiento: Esta área mide 4 m de ancho, 5.2 m de largo y se organizó de tal manera que los RO siguieran un trayecto controlado desde su recepción hasta el lugar de trituración; la MP es recibida en un espacio específico del área de recibimiento (parte frontal), también se designó un espacio para depositar el aserrín requerido para la homogenización con cal (CaCO_3) y la MP en su llegada, este espacio está ubicado en la parte central del lateral izquierdo del área de recibimiento. De este mismo modo se asigna un espacio para

almacenar la MP homogenizada con aserrín, lista para ser triturada y está ubicado en la parte izquierda trasera del área de recibimiento. De esta manera, la materia prima en el área de recibimiento es volteada hacia otra pila cada semana desde su llegada hasta llegar al espacio de almacenamiento para ser triturada. Figura 4.



Figura 4. Adecuación del área de recibimiento

Adecuación del área de triturado: Esta área mide 1.5x4 m y se establece el sistema de trituración, se instala una maquina desintegradora de RO marca JJ Sierra 3HP x 3800 RPM (Cali, Colombia). Para el proceso de trituración la MP homogenizada es adicionada mediante pala a la tolva dispuesta en la máquina. La materia prima triturada es recibida es coletas y es llevada al área de compostaje.

Adecuación del área de compostaje: Esta área mide 4 m de ancho por 6.2 m de largo y se construyen los cajones para el sistema de compostaje. Figura 5. Se construyen ocho cajones de 1m de ancho por 1m de alto y 1,50m de largo, organizados de 4 cajones a cada lado del área de compostaje. Están contruidos con listones y tabla sin pulir, sostenidos con clavos de 3.1/2”



Figura 5 Construcción de cajones

4.2.2 Descripción del proceso de compostaje.

Materia Prima (MP): La base de la MP son los restos orgánicos de cocina en general, recolectados en el mes de noviembre y diciembre, están compuestos por restos de frutas, hortalizas, alimentos estropeados, semillas y cáscaras de frutos, huevo, naranja y cítricos, restos de cosechas, ramas trituradas, hojas caídas de árboles, césped o pasto, virutas de aserrín, aceites y grasas comestibles esparcidas en muy pequeña cantidad. Figura 6.



Figura 6. Materia prima

Clasificación de la MP: Los habitantes en sus hogares clasifican los residuos generados y el material orgánico resultante, es recolectado y llevado a la planta de tratamiento. En el área de recibimiento y de manera manual se extraen cantidades menores de residuos inorgánicos (plástico, tapas de cerveza, envolturas de dulces, etc) que pudieron haber llegado hasta este lugar.

Recolección de la MP: Los RO de los lugareños de la cabecera municipal de Santa Rosa, generados en sus hogares, galería, escuela y colegio; son recogidos por la empresa de servicios públicos los días lunes y jueves, trasladados mediante atracción animal a la planta de compostaje ubicada en la I.E.A.J.A. y G.

Recepción de la MP: Los RO son transportados hasta la planta de tratamiento; se reciben en promedio entre 300 y 400 kg de RO por semana. Son depositados en el área de recibimiento en donde se mezclan con aserrín seco, en diferentes proporciones en volumen con la MP para cada tratamiento T1, T2 y T3 (3:1, 2:1, 1:1 respectivamente); estas relaciones buscan disminuir la humedad inicial y a su vez mejorar la relación C/N de la MP (10,549884). Del mismo modo, en el área de recibimiento, se adiciona de forma manual y dispersa cal (CaCO_3) en diferentes proporciones; para el primer tratamiento se agregó un total de 3 kg, el segundo tratamiento un total 4 kg, y para el tercer tratamiento un total de 5 kg. (Estas cantidades de cal son basadas en la empleada por Muñoz *et al* 2015, en el que para compostaje de residuos municipales emplean una capa de 1 cm de cal cada

20 cm de espesor en residuos orgánicos en un cajón capacidad 2 m³). Cada vez que llega material orgánico a la planta, los residuos existentes en el área de recibimiento son volteados y movidos a otra pila, hasta llegar a la zona de triturado; se mezclan los residuos de dos semanas para montar cada cajón. Figura 7.



Figura 7. Recepción y acondicionamiento de la MP

Trituración: Los residuos orgánicos, aserrín y cal, homogenizados mediante volteo, están notablemente menos húmedos que a su llegada y son dispuestos para ser triturados con una maquina desintegradora de RO marca JJ SIERRA 3HP, en partículas de entre 2 y 3 cm de grosor para ser adicionados al cajón.

Formación de los Cajones: Para la formación de los cajones de compostaje, la MP triturada y homogenizada se adiciona a cada cajón y de manera simultánea se realizan agujeros verticales de aireación con tubos PVC de 3". Cada tratamiento T1, T2 y T3 tiene agujeros, 6,9 y 12 respectivamente. (El número de agujeros, son comparables con los realizados (15) por Muñoz *et al* 2015). En este procedimiento también se adiciona agua con una manguera considerando organolépticamente mediante la prueba de puño la cantidad de agua a agregar. Cuando finalmente el cajón está lleno totalmente se retira los tubos. Figura 8.



Figura 8. Formación de cajones

Aireación y Volteo: Con el objetivo de coadyuvar a la aireación del compostaje se realizan durante el primer mes agujeros verticales con tubos PVC de 3" de diámetro hasta el fondo del cajón. El volteo garantiza la presencia de oxígeno y mejora la homogenización de la MP favoreciendo la uniformidad de la temperatura en todas las zonas del cajón. El volteo se realiza manualmente con pala cada 5 días en el primer mes y en adelante cada 15 hasta los 105 días. Cada volteo consiste en mover el contenido de cada cajón a un segundo cajón y luego es regresado al primero (doble volteo). A los 15 días siguientes el contenido del cajón es pasado al tercer cajón y el primer cajón se llena nuevamente con RO para iniciar el proceso.

Humedad: Para monitorear la humedad de campo (Hc) se realiza la prueba de puño y generalmente la adición de agua se realiza cuando se hace volteo facilitando su homogenización. Figura 9.



Figura 9 Control de humedad

Maduración: Esta última etapa del proceso termina a los 105 días de haber iniciado el tratamiento; al final se estabiliza la descomposición de RO y la MP llega a un estado de descomposición tal que es imposible determinar su origen y de esta manera ya está listo el compost. El control de la temperatura es un parámetro que permite saber cuándo el proceso ha terminado y el compost ha conseguido madurez, ya que en esta última fase se alcanzan temperaturas cercanas a la temperatura ambiente.

Tamizaje y empacado: Finalizado el proceso de compostaje, el producto final se tamizó por malla 0,5 cm y se procedió a colocarlo dentro de sacos de 50 kg; el proceso de tamizaje se realiza con el fin de separar las partículas que al finalizar el proceso aún son demasiado grandes, así como las que no han cumplido la compostación total, para ser nuevamente incorporadas en otro tratamiento.

4.3 SEGUIMIENTO Y EVALUACIÓN DEL COMPOSTAJE

Los métodos de análisis para el proceso de compostaje y el compost se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. Métodos de análisis de las muestras de compost

parámetro	unidades	Método (NTC 5167)
Densidad	g/cm ³	Gravimétrico
pH		Potenciómetro
Conductividad	mS/cm	Conductímetro
humedad	%	Gravimétrico
Cenizas	%	Gravimétrico
PV	%	Gravimétrico
% CRH	%	Gravimétrico
N orgánico	%	Kjeldhal
C orgánico	%	Walkley-Black
MO	%	
carbonatos	%	volumétrico
CIC	(meq/100g)	volumétrico
RIA	%	Gravimétrico
Fosforo total	%	Colorimétrico
Fosforo disponible	%	Colorimétrico
Azufre	%	Turbidimétrico
bases	%	EAA
micro elementos	%	EAA
Metales pesados	(mg/Kg)	EAA

Toma y preparación de las muestras: Para evaluar los parámetros físicos y químicos en el proceso de compostaje, se toma 1 kg de muestra compuesta con réplica de la parte alta, media y baja de cada tratamiento, desde el inicio del proceso cada 5 días durante el primer mes y en adelante cada quince días hasta el tercer mes (105 días). De cada muestra se toma aproximadamente 10 g en una caja de Petri la cual es rotulada, sellada con papel vinipel y congelada mientras se envía lo más inmediatamente posible al laboratorio de agroquímica de la Universidad del Cauca para determinar humedad de campo. El restante de la muestra se seca al aire para posteriormente ser triturada con molino marca Retsch y luego pasada por el tamiz número 35 de acuerdo con la NTC 5167, seguidamente mediante la técnica de cuarteo se toma de muestra para los respectivos procedimientos de análisis.

4.3.1 Evaluación de parámetros físicos y químicos del proceso de compostaje.

La evaluación de parámetros físicos y químicos (T° , Hc, Hh, pH, CE, COT, Nt, C/N) se realizó mediante la metodología establecida por la NTC 5167 segunda actualización y por el manual de prácticas de agroquímica elaborado por el grupo de agroquímica (Bravo y Giraldo 2003) de la universidad del Cauca.

4.3.2 Análisis físicos.

Temperatura: La temperatura se evaluó 4 veces al día durante el primer mes en cada tratamiento. Posteriormente se mide una vez por día hasta el final del proceso. Se muestrea la parte alta, media y baja para un total de 18 puntos de muestreo (6 en cada nivel). Dicha temperatura se la mide con un termómetro marca TECPEL 315 tipo K. figura 10.



Figura 10 Medición de la temperatura

Humedad de Campo (Hc): Este parámetro se determina mediante el método gravimétrico en el laboratorio, donde la muestra se pesa antes y después del calentamiento a 105°C por 24 horas, con el objetivo de eliminar el agua superficial en una estufa marca *WTC binder* con circulación de aire forzado.

Humedad Higroscópica (Hh): Para este procedimiento, la muestra secada al aire se determina la Hh mediante el método gravimétrico, donde la muestra es sometida a calentamiento por 24 horas a 70°C .

4.3.3 Análisis químicos.

Cada muestra requerida para los respectivos análisis en el laboratorio se obtiene mediante la técnica de cuarteo, que se utiliza para reducir las muestras obtenidas en campo hasta el tamaño apropiado para la prueba requerida. Se coloca la muestra sobre una superficie plana, dura y limpia, donde no pueda haber pérdida de material ni contaminación con materias extrañas, se homogeneiza toda la muestra y se acomoda en una pila cónica, se aplanan con cuidado la pila hasta que obtener un espesor y un diámetro uniformes; el diámetro obtenido es aproximadamente de cuatro veces el espesor de la muestra, seguidamente se divide la pila aplanada en cuatro partes iguales, se eliminan dos de las partes diagonalmente opuestas, se mezcla y homogeneiza el material restante y se cuarteo sucesivamente hasta reducir la muestra al tamaño requerido para las pruebas.

pH: El pH se determina con un potenciómetro marca *Metrohm* modelo 744, formando una pasta saturada con agua desionizada. Posteriormente se deja reposar durante 2 horas y se mide el pH. El método consiste en llevar la muestra hasta la saturación con agua destilada, por un espacio de tiempo. Luego se extrae la solución de suelo a través de una bomba de vacío, previamente filtrada la muestra.

Conductividad Eléctrica (CE): La conductividad es medida mediante un conductímetro marca *ORION* modelo 105, formando previamente una pasta saturada con agua desionizada, luego se deja reposar durante 2 horas y se mide la CE.

Determinación del Carbono Orgánico Oxidable Total (COOT) y de la Materia orgánica: Para determinar el contenido de COOT se pesa aproximadamente 0.02 g de muestra en un Erlenmeyer de 250 mL y se utilizó el método colorimétrico de Walkley Black, descrito por Bravo y Giraldo 2003, que consiste en oxidar el CO presente en la muestra con dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) y ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado. La cuantificación se realiza en un espectrofotómetro marca *UNICO* modelo 1205 a una longitud de onda de 585 nm.

Determinación de Nitrógeno Total por el Método de Kjeldahl: Este método consta de 3 etapas y se realizó en un equipo marca *BUCHI*, (unidad digestor 426, Scrubber B-414, unidad destilación K-314 y con tubos digestores de 250 mL). Se pesó 0.1 g de muestra pre-tratada y se procede de acuerdo al manual de prácticas de agroquímica de la Universidad del Cauca según Bravo y Giraldo 2003.

Relación C/N: Se determina mediante la relación entre el porcentaje de carbono orgánico total y el porcentaje de nitrógeno total.

4.4 EVALUACIÓN DEL GRADO DE MADUREZ DEL COMPOST

Los parámetros a caracterizar para evaluar la calidad del compost obtenido, son los análisis físicos y químicos establecidos en la NTC 5167 del 2004 segunda actualización.

4.4.1 Análisis Físicos.

Para determinar la Hc y Hh del producto se realiza del igual manera que en el numeral 4.3.2

Densidad: Se pesa una probeta limpia y seca de 50 mL, seguidamente se deja caer libremente muestra seca, previamente pasada por un tamiz N° 35 malla 0.5mm, hasta completar un volumen de 30 mL, luego se pesa la probeta con la muestra. La densidad se expresa en g/cm³ y se calcula según la ecuación 1.

$$D = (W_2 - W_1) / V \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

W₁ = Masa en gramos de la probeta vacía limpia y seca

W₂ = Masa en gramos de la probeta más la muestra

V = Volumen en cm³ ocupado por la muestra en la probeta

Capacidad de Retención de Humedad (CRH): Se comprueba determinando el porcentaje de saturación de agua (%SA) de 10 g de muestra. Ver ecuación 2.

$$\%SA = V \times (100 + Hh) / Pm \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

V = Volumen de agua adicionada para formar la pasta saturada

Hh = Humedad higroscópica

Pm = peso en gramos de la muestra.

Cenizas y Pérdidas por Volatilización (PV): Se pesa en un crisol 5 g de muestra seca, previamente pasada por un tamiz N° 35 malla 0,5 mm. Seguidamente se lleva a la mufla y gradualmente se eleva la temperatura hasta 650 °C y se deja durante 4 horas obteniendo cenizas blancas y/o grisáceas, se deja enfriar en el desecador y finalmente se pesa todo el contenido.

El cálculo se realiza de acuerdo las ecuaciones 3 y 4

$$\% \text{ Cenizas} = (W_2 / W_1 * 100) / ((100 - Hh) / 100) \quad \text{Ecuación 3}$$

W1 = peso inicial de la muestra
 W2 = peso final de la muestra en cenizas
 Hh = humedad higroscópica

$$\%P V = 100 - \%Cenizas$$

Ecuación 4

4.4.2 Análisis Químicos.

El contenido de COOT, nitrógeno total, pH y relación C/N se determinan con el mismo procedimiento que en el numeral 4.3.2

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC): En un erlenmeyer de 250 mL se pesan aproximadamente 5 g de muestra previamente tamizada por malla 0,5 mm. Se adicionan 100 mL de solución extractora de acetato de amonio 1N pH 7.0, se agita por 2 horas, se deja reposar por una noche. Se filtra la suspensión en embudos Buchner aplicando poca succión, se lava 5 veces con porciones de 10 mL de acetato de amonio y se reúnen estas soluciones de acetatos; (esta solución se emplea para determinar las bases de cambio Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} , K^{+1}). Ahora se lava cuantitativamente el residuo de muestra 5 veces con porciones de 10 mL de etanol al 95 %, se desconecta el erlenmeyer donde se recibió el filtrado y se sustituye por otro limpio. Seguidamente se lixivia el residuo de muestra con solución de cloruro de sodio al 10 % agregando 5 porciones de 10 mL cada una. Se toma el filtrado y se adicionan 10 mL de formaldehido al 37 %, tres gotas de indicador de fenolftaleína y se titula con NaOH 0.1N. Ecuación 5

$$C.I.C. \text{ cmol}(+)Kg^{-1} \left(\frac{meq}{100g} \right) = \frac{[(VNaOHm) - (VNaOHb) \times NNaOH \times 100]}{Wm} \times \frac{[100 - \%Hh]}{10}$$

Ecuación 5

En donde:

VNaOHm = mL de NaOH titulando la muestra

VNaOHb = mL de NaOH titulando el blanco

NNaOH = Normalidad de la solución de NaOH

Wm = peso en gramos de la muestra seca

%Hh = Humedad higroscópica

Bases de Cambio: Para la determinar Calcio, Magnesio, Sodio y Potasio cambiables, se emplea la solución de acetatos obtenida en el proceso anterior. Ver anexo 1.

Metales: La determinación de fósforo total, potasio, calcio, magnesio, sodio, hierro, cobre, manganeso, zinc, azufre y los metales pesados tales como cadmio, plomo, níquel y cromo, se determinan como se describe a continuación:

Se pesan 0,5 g de muestra en un erlenmeyer de 50 mL, para ser digeridos con una mezcla de ácido perclórico-nítrico, se adicionan 5 mL de ácido nítrico, se lleva a ebullición logrando oxidar toda la MO, se deja enfriar y se adicionan 3 mL de ácido perclórico al 70 %, se calienta nuevamente hasta que la solución se torne incolora. Luego se enfría un poco y se adicionan 10 mL de agua destilada y se calienta hasta ebullición por pocos minutos. Se enfría y se lleva a un volumen de 50 mL con agua destilada y se filtra con poro 0.45 μm ; el papel filtro junto con el residuo se seca en la estufa a 80 °C hasta obtener peso constante (constituye el residuo insoluble en ácido RIA). El fósforo y el azufre se determinan por espectroscopía UV visible y los restantes elementos se determinan mediante espectroscopia de absorción atómica (EAA).

Fosforo Total: Para la determinación de fósforo total se procede según Bravo y Giraldo 2003 descrito en el manual de laboratorio de agroquímica y se parte de la digestión realizada para metales. Se realizó dilución de 1 a 25 ml y de esta solución se toman 2 mL en un frasco de vidrio y se adicionan 18 mL de la solución coloreadora (ver Anexo 1), se esperan exactamente 15 minutos y se efectúa la lectura en espectrofotómetro a 660nm. Se realizó curva de calibración con patrón de $\text{K}_2\text{H}_2\text{PO}_4$ con los siguientes puntos: 0.5, 1, 2, 5, 10,15 ppm.

Fosforo Asimilable: Para cuantificar el fósforo asimilable se pesa aproximadamente 0,5 g de muestra y se determina de acuerdo con la NTC 234 (Primera actualización) mediante extracción con citrato –EDTA y su posterior cuantificación por UV visible a 660 nm.

Azufre total: Para la determinación de azufre total se parte de la digestión realizada para metales. Se toman 10 mL del extracto de saturación en un frasco de vidrio y se adicionan 10 mL de la solución de semilla acida, se agita manualmente, luego se adiciona 4 mL de reactivo turbidimétrico (ver anexo 1), se agita manualmente, se afora a 25 mL, se esperan exactamente 20 minutos y se efectúa la lectura en espectrofotómetro a 420 nm. Se realizó curva de calibración con patrón de K_2SO_4 con los siguientes puntos: 1, 3, 5, 10,15, 20, 30, 40, 50 ppm.

Carbonatos: En un erlenmeyer de 250 mL se pesan 0,5 g de muestra seca, previamente pasada por un tamiz N° 35 malla 0,5mm, se adicionan 25 mL de HCL 0,5N y se lleva a ebullición suave durante 5 minutos. Luego se deja enfriar y se valora con NaOH 0,5N usando fenolftaleína como indicador. El porcentaje de carbonatos se determina como se expresa en la ecuación 6.

$$\%CO3 = \frac{[(VHCl) \times (NHCl) - (VNaOH \times NNaOH) \times 0,03 \times 100]}{Wm} \times \frac{[100 - \%Hh]}{100}$$

Ecuación 6

Donde:

VHCl = Volumen de ácido clorhídrico.

NHCl = Normalidad de ácido clorhídrico.

VNaOH = Volumen de hidróxido de sodio.

NNaOH = Normalidad de hidróxido de sodio.

Wm = Peso de la muestra.

%Hh = Humedad higroscópica.

4.4.3 Análisis Microbiológico.

Con el propósito de analizar el producto obtenido de acuerdo a los parámetros requeridos por la NTC 5167 (segunda actualización) se realizaron las siguientes determinaciones siguiendo el manual de prácticas de microbiología del laboratorio de biología de la Universidad del Cauca, procesando la muestra de compost de manera similar que a una muestra de suelo. Cada tratamiento fue analizado de manera similar; se pesan 10 g de compost seco que son adicionados en 90 mL de agua peptonada 0.1 % constituyéndose como la primera dilución (10^{-1}), a partir de esta se realizan las diluciones seriadas (10^{-2} y 10^{-3}).

Coliformes totales y fecales: La determinación se realizó por medio del método de sustrato definido (Rivas y Giraldo 2015), utilizando el medio de cultivo caldo Fluorocult LMX. (Annarella *et al* 2003). A partir de la primera dilución (10^{-1}), se realiza la segunda dilución (10^{-2}) tomando 0.1 mL en 9.9 mL de agua peptonada al 0.1 % y finalmente se realiza la tercera dilución (10^{-3}). Posteriormente se sembró por triplicado 1 mL de cada una de las diluciones en 9mL del caldo cultivo Fluorocult LMX, y se incubó a 37 °C durante 24 h. Transcurrido el tiempo de incubación, los tubos que presentan cambio de color a azul se tomaban como positivos para coliformes totales, al exponerlos a luz ultravioleta y emitir fluorescencia se registraban como positivos para coliformes fecales.

La prueba confirmatoria de *Escherichia Coli* se realizó adicionando 0.2 mL del reactivo de Kovac's a los tubos que presentaban fluorescencia, tomando como positivos aquellos en los que de 2 a 10 segundos formaban un anillo color fucsia en la parte superior del caldo nutritivo.

5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se analizan un total de 72 muestras por cada tratamiento. La cantidad de producto final para los tratamientos T1, T2 y T3 con respecto al volumen inicial es del 33, 41 y 44 % respectivamente.

5.1 VALORACIÓN DEL PROCESO DE COMPOSTAJE

Las variables a considerar en la evolución del compostaje son tamaño de partícula, Hc, pH, CE, CO, N, C/N y MO.

5.1.1 Análisis físicos.

Tamaño de partícula: Para todos los tratamientos T1, T2 y T3 la trituración fue similar, el tamaño de partícula es considerablemente similar con una longitud de 2 a 3 centímetros. El tamaño de las partículas es un factor fundamental para la optimización del proceso, ya que cuanto mayor sea la superficie específica de la mezcla de residuos, mejor y más rápido será el ataque microbiano.

Temperatura: La figura 11 muestra el comportamiento clásico de la temperatura en un sistema de compostaje para los tratamientos T1, T2 y T3; en este caso iniciando a temperatura entre 22,5 y 23,7 °C con un máximo de temperatura entre 58 y 60,1 °C y terminando a una temperatura promedio de 22 °C. Se realiza la prueba estadística de ANOVA en función de la altura de muestreo y no hay diferencias significativas en los valores de temperatura. Ver anexo 4. Cada tratamiento T1, T2 y T3, a las 24 horas siguientes de haber iniciado el proceso la temperatura aumenta rápidamente hasta alcanzar los 50°C; este periodo corresponde a la fase mesófila. El incremento continúa leve hasta alcanzar temperaturas máximas entre 58.3, 56.8 y 60.1°C respectivamente para T1, T2 y T3, manteniéndose así durante 10 y 12 días cumpliendo con la fase termófila del proceso. Luego de este tiempo se empieza a presentar un descenso marcado de la temperatura que corresponde a la fase de enfriamiento del proceso que dura hasta los tres meses donde se estabiliza en un valor aproximado de 22°C. También se pueden observar picos de caída en la temperatura debido al volteo y adición de agua. El incremento acelerado de la temperatura en el inicio del proceso corresponde a la alta actividad microbiana presente en los residuos vegetales, esto coincide con (Van Heerden et al. 2002). De esta manera tenemos que la

temperatura es un indicador de la acción de los microorganismos durante el proceso, siendo este factor la manera más fácil de monitorear el proceso; teniendo en cuenta que, según (Dalzell et al. 1991) por encima de 70°C puede ocasionar la inactividad de los microorganismos ocasionando ignición perdiendo de esta manera la materia orgánica (MO).

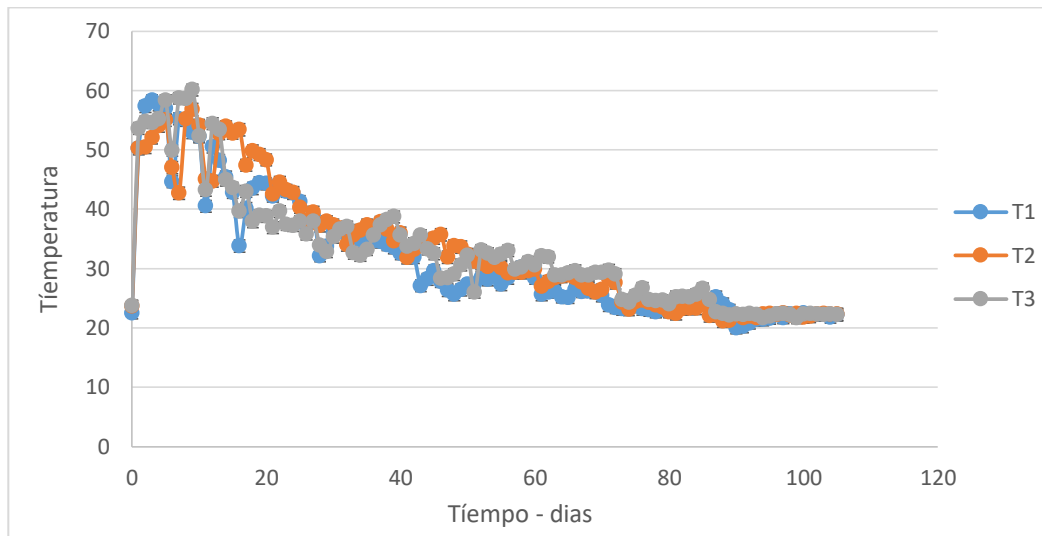


Figura. 11 Seguimiento de la temperatura para los tratamientos T1 T2 y T3

Para controlar el aumento de la temperatura se realiza “doble volteo” a cada pila cada 5 días durante el primer mes y cada 15 días hasta el tercer mes, se adiciona agua evitando el exceso, verificando mediante la prueba de puño para no provocar un ambiente anaerobio por saturación de agua. Teniendo en cuenta que los tratamientos T1, T2 y T3 tienen diferentes cantidades de aserrín (3:1, 2:1 y 1:1 respectivamente) y del mismo modo, para mejorar la aireación se realizaron agujeros verticales en cada tratamiento 6, 9 y 12 respectivamente, las curvas de temperatura presentan el mismo comportamiento clásico.

El T3 que contiene menor cantidad de aserrín presenta una mayor temperatura (60.1 °C) en la etapa termófila, el T2 que contiene más aserrín que T3 presenta una temperatura (55.2 °C), menor que el T3; mientras que el T1 que contiene mayor aserrín presenta una temperatura (55.2 °C) similar a T2, con la característica de que el T1 presenta menor humedad durante esta etapa, lo cual se le atribuye ese comportamiento.

La cantidad de aserrín, el número de agujeros y el volteo son determinantes para mantener una temperatura óptima (< 70 °C) consiguiendo una aireación moderada para maximizar la degradación y obtener un producto estable. La temperatura también se encuentra altamente influenciada por las dimensiones de la pila y en menor grado por las condiciones ambientales.

Humedad de campo (Hc): La figura 12 muestra los valores de humedad durante el proceso de compostaje en los tratamientos T1, T2 y T3. En el inicio del proceso, el porcentaje de humedad promedio en cada tratamiento es de 47.5, 64.8, 58.8 % para T1, T2 y T3 respectivamente. Considerando que la humedad apropiada para el crecimiento bacteriano se encuentra entre 50 y 70 %, se observa que T1 se encuentra por debajo de la humedad apropiada para iniciar un proceso de compostaje. Según (Haug 1993), por encima del 70 % de humedad el agua cubre los espacios libres entre partículas generando un proceso anaerobio por falta de oxígeno y por debajo del 30 % la actividad microbiana disminuye. Para lograr que T1 aumentara la humedad se adicionó considerable cantidad de agua durante los primeros volteos, hasta lograr la humedad apropiada determinándola mediante la prueba de puño. El bajo contenido de humedad de T1 está relacionado con el alto contenido de aserrín y la poca agua adicionada al inicio del proceso de compostaje.

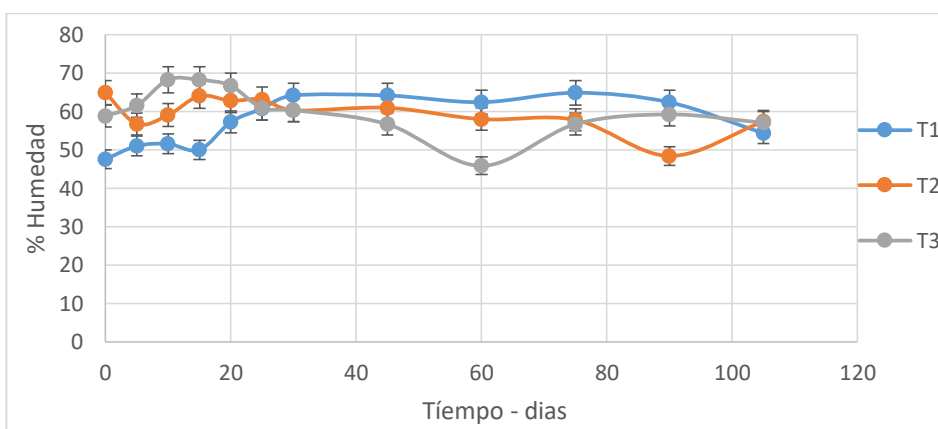


Figura 12. Seguimiento humedad para los tratamientos T1, T2 y T3

T2 y T3 presentan la humedad ideal al inicio del proceso hasta los 45 días, sin embargo, T3 a los 60 días presenta una disminución de la humedad por debajo de lo recomendado, generando una posible disminución de la actividad microbiana. T2 presenta el mismo comportamiento que T3 en menor proporción al final del proceso. Estas caídas del porcentaje de humedad pueden estar relacionadas con la poca cantidad de agua adicionada durante el volteo y en menor proporción por la evaporación por efecto de la temperatura. De este modo, la humedad del compost depende también de la composición de la materia orgánica, de la exposición al sol y de la frecuencia de los volteos.

5.1.2 Análisis químicos.

pH: La figura 13 muestra los resultados de pH durante el proceso de compostaje. El pH observado de T3 en todo el proceso es mayor que T1 y T2, esto se puede atribuir a que inicialmente a T3 se le adicionó mayor cantidad de Cal (CaCO_3). La

variación de pH más notable ocurre para T1 y T2 al inicio del proceso durante los primeros 10 a 20 días, donde ocurre la mayor actividad microbiana que afecta el pH y además se tiene en cuenta que estos tratamientos contienen menor contenido de cal.

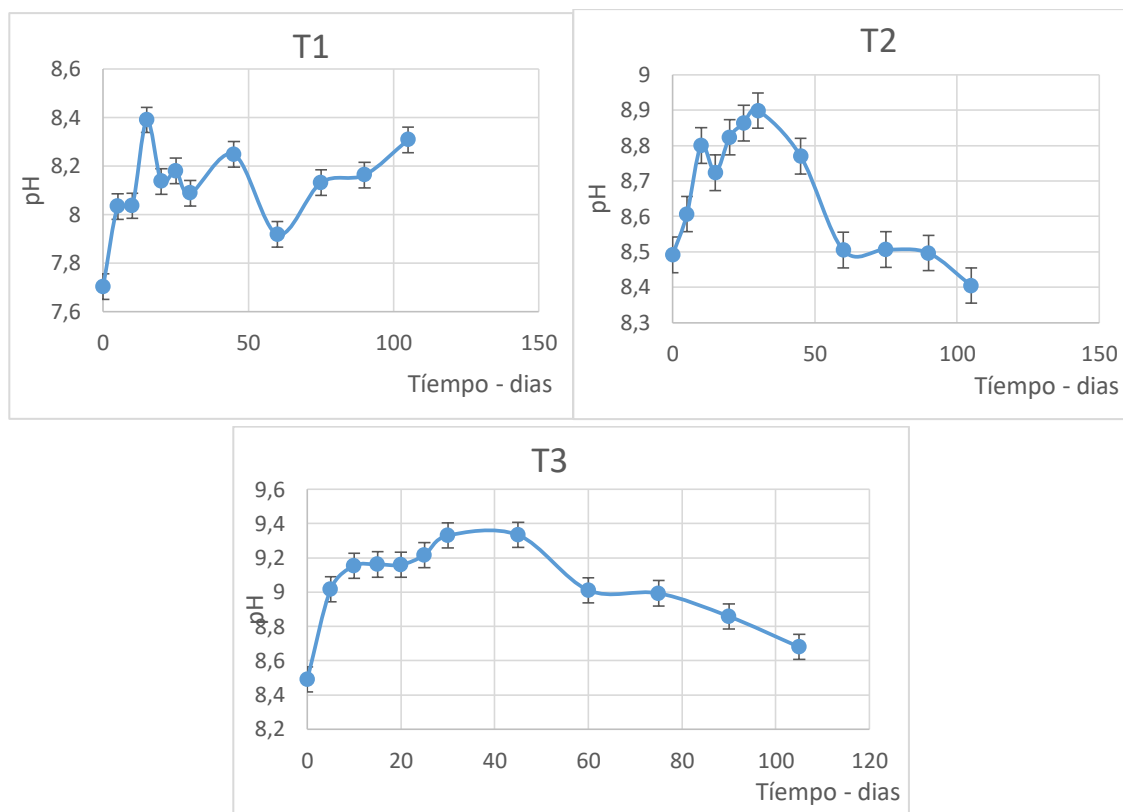


Figura 13. Seguimiento del pH para T1, T2 y T3

El tratamiento T3 de mayor contenido de cal presenta una curva con menos variación, se atribuye a que la cal no reacciona inmediatamente, sino a medida que avanza el proceso de compostaje, modificando la velocidad de descomposición; neutralizando los ácidos orgánicos en la primera fase del proceso y del mismo modo reduce los malos olores. Se puede observar también, que para T2 y T3 presentan un valor máximo de pH a los 30 y 45 días, lo que indica que para esta etapa la cal ha reaccionado completamente liberando el calcio a lo que se le atribuye este comportamiento de ascenso en el pH. Normalmente al inicio de un proceso se presenta una caída del pH debido a la liberación de ácidos orgánicos, este comportamiento se puede notar de manera pasiva en T1 a los 10 días, teniendo en cuenta que la cal adicionada es poca y no afectó en gran medida el comportamiento del pH en esta fase. T1 y T2 presentan picos característicos de aumento en el pH a los 15 y 10 días respectivamente debido a la producción de amoníaco producto de la descomposición de compuestos orgánicos nitrogenados que se producen en la fase termófila del proceso. (Hernández *et al.* 2013)

El valor final del pH se ajusta a la NTC 5167, la cual sugiere para un abono orgánico un pH mayor a 5 y menor a 9. El comportamiento mostrado durante todos los procesos permitió que la actividad microbiana fuera la adecuada, ya que no se presentaron valores extremos que llevaran a la inhibición del crecimiento de los microorganismos, indicando así que se mantuvo en un rango favorable.

Conductividad Eléctrica (CE): La CE tiende a aumentar durante el proceso de compostaje debido a la pérdida de masa de la pila. Este comportamiento se puede observar de manera más marcada en T3, hecho que se produce por el incremento en la concentración final de nutrientes. (Campitelli y Ceppi 2008) sugieren que el valor máximo para la CE en compost es de 4 mS/cm, el cual es un punto considerable y aceptado para la sensibilidad salina media de las plantas. De esta manera se tiene que solo T1 cumple con este parámetro, mientras tanto la elevada conductividad para T2 y T3 se atribuye también a la cantidad de cal adicionada y a la sal proveniente de los restos de comida en los desechos de cocina. Sin embargo la NTC-5167 sólo exige que ésta sea reportada. La disminución de la conductividad eléctrica para los sistemas T1 y T2 en los primeros días, ver figura 14, se puede atribuir a la transformación de compuestos orgánicos complejos en formas más simples que pueden consumir algunas moléculas iónicas.

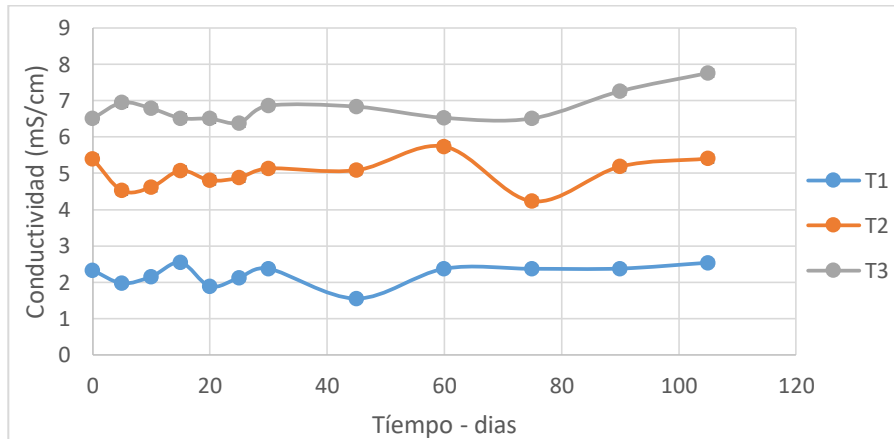


Figura 14. Seguimiento conductividad eléctrica con respecto al tiempo para T1, T2 y T3

Carbono orgánico Total (COT): La figura 15 muestra la evolución del COT en el proceso de compostaje para T1, T2 y T3. Durante las primeras semanas del proceso se da una pérdida considerable de CO₂, debido a la alta actividad microbiana presente en las primeras fases, para luego irse estabilizando en el tiempo. El comportamiento presentado por el COT en el desarrollo de este trabajo es el esperado, debido a que los microorganismos van consumiendo y mineralizando el carbono presente dentro de la pila, llevando entonces a que la MO vaya disminuyendo en el sistema.

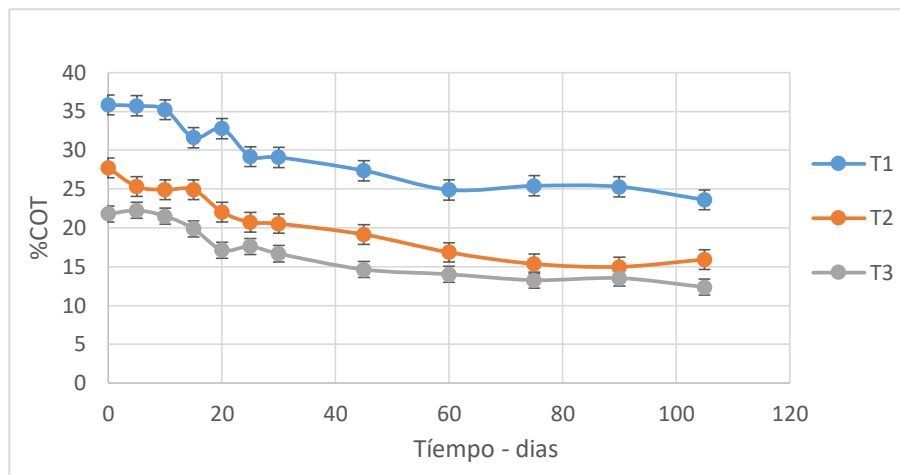


Figura 15. Seguimiento COT con respecto al tiempo para T1, T2 y T3

El T1 presenta mayor contenido de CO que T2 y éste a su vez que T3, esto coincide con la cantidad de aserrín adicionado al inicio del proceso. T1 inicia con un 35.8 % de CO y termina con un 26.6 % (74.3 de humificación). Mientras tanto que T2 inicia con un 27.7 % y termina con 15.9 % (57.4 % de humificación). y T3 inicia con 21.7 % y termina con 12.4 % (57,1 % de humificación). Según la NTC-5167 para un abono orgánico exige un valor mínimo de 15 %, por lo que el valor obtenido para T2 puede considerarse como apropiado. T1 presenta el mayor % de CO y T3 obtuvo un valor por debajo del nivel recomendado. Por lo tanto el contenido final es consecuencia del valor inicial de CO, de su degradabilidad y de la transformación que haya sufrido durante el tratamiento. Resulta fundamental examinar, en un compostaje, los contenidos inicial y final de materia orgánica para tener idea de la transformación sufrida por el material.

Nitrógeno Orgánico Total: La figura 16 muestra la evolución de nitrógeno en el proceso de compostaje para T1, T2 y T3, se evidencia un comportamiento variado en el transcurso del tiempo de compostación, T1 y T2 muestran una disminución en los primeros días que puede atribuirse a una pérdida de nitrógeno volátil y a la frecuencia del volteo (cada 5 días). En todos los tratamientos se observan picos de crecimiento más marcados en los primeros días del proceso, con mayor pronunciamiento en T3, el pronunciamiento es menos marcado en la mitad del proceso en todos los tratamientos. T2 y T3 al final del proceso tienen menor contenido que al inicio, mientras que T1 terminó con mayor contenido que al inicio del proceso, esto puede atribuirse o explicarse por el efecto de la concentración causado por la mineralización de la MO; también puede atribuirse a una presunta presencia de microorganismos fijadores de nitrógeno (*Azotobacter* y *el Azospirillum*), esto puede explicar también los picos de crecimiento observados durante el proceso. Es frecuente que el compost se enriquezca en nitrógeno

durante el compostaje (fijación biológica), disminuyendo las pérdidas de este elemento como amoníaco, mejorando su valor agronómico.

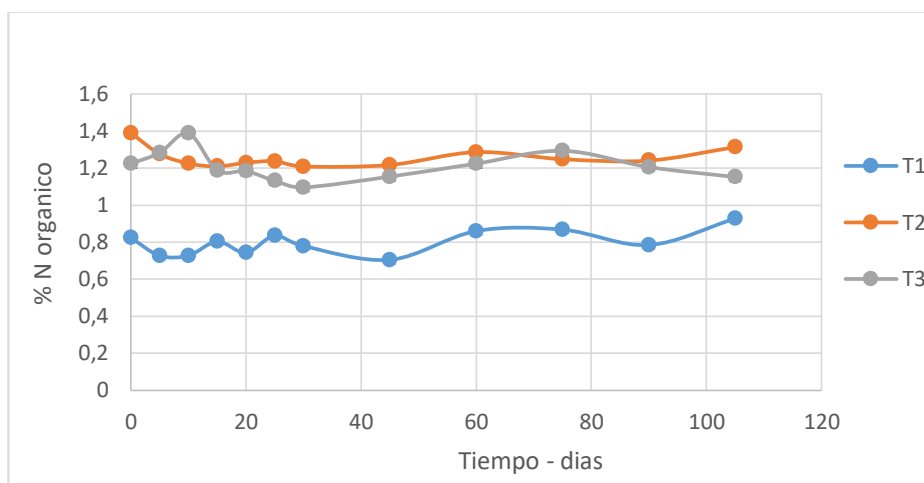


Figura 16. Seguimiento del % de Nitrógeno Orgánico con respecto al tiempo para T1, T2 y T3

Después de la disminución en los primeros días de compostaje, T2 presenta un comportamiento más estable durante el proceso, que puede estar relacionado a las pérdidas de la MO, llevando entonces a que éste fuera tomado y dejado por los microorganismos.

La NTC-5167 para enmiendas tiene un valor máximo permisible de 1 %, por lo que el valor obtenido en T1 puede considerarse como aceptable, mientras que T2 y T3 está por encima de este nivel, pero con valores no muy lejanos, 1.3 y 1.1 respectivamente. Así mismo, la evolución de este parámetro dentro del proceso permitió mostrar que las pérdidas de amonio en T2 y T3 fueron mínimas dándole un valor económico y agronómico al producto final. Además la generación de olores dentro del proceso en todos los tratamientos fue inapreciables.

Relación Carbono nitrógeno (C/N): La figura 17 muestra el comportamiento de la relación C/N durante el proceso de compostaje que proporciona una estimación directa de las fracciones biológicamente degradables en el compost. Cuando ocurre el proceso de mineralización de la MO, el CO disminuye mientras que el nitrógeno se conserva, ocasionando por lo tanto una disminución de la relación C/N. La relación C/N influye de manera importante en la velocidad del proceso y en la pérdida de amoníaco durante el compostaje, por lo que si la relación C/N es mayor de 40 la actividad microbiana disminuye debido a la deficiencia en la disponibilidad de N para la síntesis proteica.

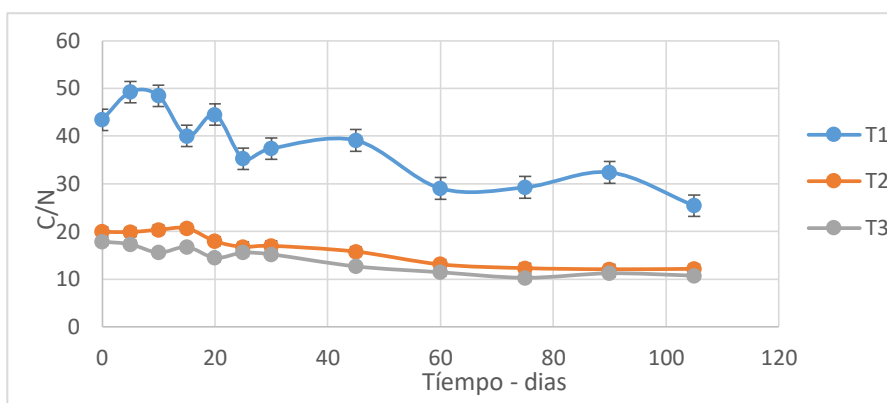


Figura 17. Seguimiento de la relación C/N con respecto al tiempo

Esta relación dentro del proceso es muy importante, debido a que permite que la actividad microbiana sea adecuada; ya que altos contenidos de nitrógeno pueden acelerar la descomposición de la MO pero con pérdidas considerables de nitrógeno, y una alta cantidad de carbono puede disminuir la actividad microbiana por tanto se muestra que el proceso fue llevado de tal forma que la degradación de la MO, permitió que al final la relación C/N presentara un valor aceptable para un abono orgánico.

Para analizar las propiedades en los tratamientos en las diferentes alturas de muestreo se realiza la prueba estadística ANOVA y la comparación estadística de medias. Ver Anexo 2. (Tablas 1, 2 y 4) donde no se observan diferencias significativas con respecto a la altura de muestreo, a excepción del pH en T2 ($p < 0,05$); para saber en qué altura existe la diferencia se realiza la prueba Tukey para T2 (Anexo 2, tablas 3) donde se encuentra que el pH en la parte baja del cajón es mayor, presentando diferencia significativa con la parte alta del cajón, sin embargo la parte media no presenta diferencias significativas con la parte alta y baja.

Se realizó análisis de correlación de Pearson de las variables estudiadas en el proceso de compostaje, en el Anexo 3 (Tablas 1, 2 y 3) se registran los resultados obtenidos para cada tratamiento. En T1 se observa que respecto a la altura de muestreo no hay correlación con las variables del proceso ($p > 0,05$). El tiempo de compostaje tiene correlación con todas las variables del proceso, sin embargo las correlaciones con CO y C/N son altas y negativas ($-0,835^{**}$) y ($-0,794^{**}$), indicando que a medida que avanza el compostaje el CO y la C/N disminuyen por efecto de la mineralización del MO, entendiendo que cuando aumenta el N disminuye el CO que es lo que muestra su correlación ($-0,510^{**}$). La correlación del pH y el tiempo ($0,323^{**}$) indican que a medida que se mineraliza la MO el pH se vuelve más alcalino debido a la disminución de compuestos orgánicos y a la liberación de compuestos amoniacales; la correlación del tiempo y la Hc ($0,589^{**}$) indican que a lo largo del tiempo la Hc aumento, sin embargo la Hc tiene una correlación alta y negativa con el CO ($-0,668^{**}$) y la C/N ($-0,479^{**}$) indicando que a medida que se

aumente la Hc disminuye el CO y la C/N. También se observa una alta correlación y negativa (-0,803**) entre el N y la relación C/N, en la evolución del proceso es normal este comportamiento debido a que el compost aun no alcanza su madurez y que se sigue mineralizando compuestos de N. La CE tiene una correlación directa con el tiempo de compostaje (0,245*) y con el N (0,504**) indicando que a medida que avanza el tiempo también avanza la mineralización de la MO lo que tiene como efecto el aumento de la CE, sin embargo la CE tiene una correlación negativa con la C/N (-0,406**), indicando que en la evolución del proceso la CE aumenta y disminuye C/N. también tiene alta correlación entre CO y la C/N (0,918**) como era de esperarse.

Con respecto a T2 (Anexo 2, tabla 2) se observa que el tiempo de compostaje tiene correlación con las variables del proceso a excepción de la CE, sin embargo la CE tiene correlación con CO (-0,315**), N (0,515**), C/N (-0,475**), MO (-0,315**) con las mismas características de T1, la correlación del pH y el tiempo de compostaje (-0,539**) indica que el pH disminuye en el proceso contrario a T1. El mismo comportamiento correlacionado con CO, C/N y MO en T2, de este modo se tiene que el pH presenta correlación con N (-0,215*) lo que indica que no hubieron pérdidas de N, esta correlación en T1 no presentó. La correlación de Hc con el tiempo de compostaje es alta y negativa (-0,615**) lo que indica que a medida que avanzó el proceso de compostaje en T2 la Hc disminuyó. La correlación del CO con el tiempo de compostaje es alta y negativa (-0,836**) similar a T1 que fue negativa indicando que hubieron pérdidas.

Con respecto a T3 se observa que la altura de muestreo sólo tiene correlación con el pH (0,223*) y CE (0,230*), para ver la significancia se analiza la homogeneidad de varianzas a T3 (ver Anexo 2 tabla 5) notándose que no hay homogeneidad en las variables por lo que se aplica la prueba de Duncan (ver Anexo 2 tabla 6 y 7) para ver en qué altura existe la diferencia, observando que el pH es mayor en la parte baja del cajón y presenta diferencia significativa con la parte alta, sin embargo la parte media del cajón no presenta diferencia significativa con la parte alta y baja del cajón; por su parte la CE no presenta diferencias significativa con respecto a la altura de muestreo. Existe una alta correlación entre N y CO (0,309**) contrario a la observada en T1 que fue negativa, indicando que el N y CO disminuyen al evolucionar el proceso, situación similar se presenta con la correlación entre la MO y N (0,309**) donde en T1 fue negativa.

5.2 VALORACIÓN DE LA MADUREZ DEL COMPOST

Se realiza la prueba estadística de ANOVA del compost final en función de la altura de muestreo (ver Anexo 5 tabla 1) donde no se observan significancia en las variables de los tratamientos. Del mismo modo se realiza la prueba ANOVA y de

Tukey en función del tratamiento (ver Anexo 6 tabla 1) donde se observa significancia en las variables, la prueba Tukey determina la diferencia significativa en los tratamientos (ver Anexo 6, tabla 2 a 31): donde se tiene que para C/N, %CRH, PV, RIA, Pb y cenizas no presentan diferencias significativas entre T2 y T3, pero si son significativamente diferentes con respecto a T1; la Hh en T3 es mayor pero no presenta diferencia significativa con T1. T2 presento menor %Hh; el PT no presenta diferencia significativa entre T1 y T2, pero lo son con respecto a T3. El Mn en T1 y T3 no presentan significancia.

También se realizó la prueba ANOVA y de Tukey en función de la cantidad de aserrín adicionado (ver Anexo 7, tabla 1) donde se observa significancia en las variables, estas diferencias se pueden ver en el Anexo 6, tabla 2 a 31. Se observa que C/N, CRH, PV, %RIA, %cenizas no son significativamente diferentes entre T2 y T3, pero si con respecto a T1. La Hh es significativamente igual entre T1 y T3, pero no con respecto a T2. el PT (%P₂O₅) es significativamente igual en T1 y T2, pero son significativamente diferentes con T3. También se realizó la prueba ANOVA y de Tukey en función de la cantidad de cal (ver Anexo 7, tabla 1). Las pruebas de Tukey se interpretan igual que las del Anexo 7, tablas 2 a 31. También se realizó la prueba ANOVA y de Tukey en función de la aireación (cantidad de agujeros) (ver Anexo 9, tabla 1).

En la tabla 2 se muestra los parámetros de calidad de los tres tratamientos (T1, T2 y T3) de acuerdo con la NTC 5167 2004 segunda actualización. En ella se puede observar que la Hc promedio de cada tratamiento es 54.3, 57.4 y 57.1% para T1, T2 y T3 respectivamente, valores que están por encima de los recomendados en la norma donde sugiere un máximo de 30% para materiales de origen vegetal. . Con respecto al pH todos los tratamientos cumplen con lo requerido en la noma, teniendo pH básicos pero menores de 9. (8.3, 8.4 y 8.7 para T1, T2 y T3 respectivamente). Las PV para T1, T2 y T3 son 60.9, 47.7 y 46.8% respectivamente; el porcentaje de cenizas de todos los tratamientos cumplen con lo recomendado en la norma, tienen menos del 60%, indicando un buen control y de los tres tratamientos, T3 presentó mayor contenido y T1 el que menor contenido de cenizas tiene. La prueba de Tukey (Ver Anexo 6 tabla 10) muestra que T2 y T3 no presentan diferencias significativas entre sí pero son significativamente diferentes con T1. El contenido de cenizas está relacionado con la mineralización de la MO, cuando hay alto contenido de cenizas hay alta mineralización de la MO, de modo que T3 presentó mayor mineralización, que a su vez está relacionada con la cantidad de MP adicionada (relación 1:1 con el aserrín). Por otra parte el contenido de cenizas está relacionada también con la cantidad de nitrógeno y potasio (Himanen y Hänninen 2009), lo que coincide con los resultados obtenidos ya que T1 tiene menor contenido de N y K en todos los tratamientos. Mientras que T2 y T3 tienen valores muy similares, debido a que T2 presenta mayor contenido de N pero menor cantidad de K. La CRH en los tres tratamientos cumple con lo recomendado en la

norma (mínimo su propio peso) con valores promedios de 207.6, 117 y 116.2% de saturación para T1, T2 y T3 respectivamente. Con respecto a la densidad, la norma recomienda un valor máximo de 0.6 g/cm³, de este modo T2 no cumple con este parámetro obteniendo una densidad de 0.7 g/cm³, mientras que T1 cumple con 0.4 g/cm³ y T3 está en el límite de lo recomendado con 0.6 g/cm³.

Tabla 2. Parámetros de calidad según NTC 5167 2004 para T1, T2 y T3

Parámetro	Requisito						
	T1	T2	T3	NTC 5167 2004	T1	T2	T3
Hh (%)	7,27 ^a	4.84 ^b	7,46 ^a	NA			
Hc(%)	54.3	57.4	57	Máximo 30%	NC	NC	NC
pH	8.3 ^a	8.4 ^b	8.68 ^c	4-9	C	C	C
CE (mS/cm)	2.54 ^a	5.4 ^b	7.76 ^c	NA			
CRH (%)	207.64 ^a	116.98 ^b	116.25 ^b	Mínimo 100%	C	C	C
DR (g/cm ³)	0.44 ^a	0.7 ^b	0.67 ^c	Máximo 0,6	C	NC	C
Cenizas (%)	39.01 ^a	52.33 ^b	53.2 ^b	Máximo 60	C	C	C
PV (%)	60.98 ^a	47.66 ^b	46.8 ^b	Mínimo 40	C	C	C
(%CO ₃ ²⁻)	3.77 ^a	4.57 ^b	5.9 ^c	NA			
CO (%)	23.6 ^a	16.02 ^b	12.37 ^c	Mínimo 15	C	C	NC
MO (%)	47.21 ^a	31.86 ^b	24.74 ^c	Mínimo 30			
N (%)	0.93 ^a	1.31 ^b	1.15 ^c	(Declarar) >1	NC	C	C
Relación C/N	25.41 ^a	12.2 ^b	10.7 ^b	*<20	NC	C	C
CIC	50.88 ^a	57.8 ^b	55.54 ^c	Mínimo 30	C	C	C
(meq/100g)							
PT (%P ₂ O ₅)	1.72 ^a	1.72 ^a	1.62 ^b	(Declarar) >1	C	C	C
PD (%P ₂ O ₅)	0.22 ^a	0.35 ^b	0.51 ^c	NA			
RIA (%)	26.82 ^a	25.42 ^b	25.02 ^b	NA			
Azufre (%)	0.17 ^a	0.32 ^b	0.37 ^b	NA			
	Bases totales (%)						
CaO	2.62 ^a	7.1 ^b	8.27 ^c	*Mínimo 1	C	C	C
MgO	0.42 ^a	0.71 ^b	0.87 ^c	*Mínimo 1	C	C	C
K ₂ O	1.85 ^a	2.03 ^b	2.13 ^c	(Declarar)>1	C	C	C
Na	0.06 ^a	0.09 ^b	0.11 ^c	NA			
	Micro elementos (ppm)						
Fe	15846 ^a	19670.4 ^b	20862.6 ^c	NA			
Cu	7.8 ^a	24.7 ^b	34.1 ^c	NA			
Mn	192.1 ^a	278.2 ^b	340.9 ^a	NA			
Zn	132 ^a	215.3 ^b	235.8 ^c	NA			
	Metales pesados(ppm)						
Ni	Nd	Nd	Nd	Máximo 420	C	C	C
Cr	26.72	Nd	Nd	Máximo 1200	C	C	C
Cd	Nd	Nd	Nd	Máximo 39	C	C	C
Pb	9.59 ^a	32.47 ^b	33.16 ^b	Máximo 300	C	C	C

* Valores recomendados por autores. Letras diferentes significa diferencia significativa. NA: No Aplica en la NTC 5167, C: Cumple, NC: No cumple, CE: conductividad eléctrica, CRH: capacidad de retención de humedad, PV: porcentaje de volatilización, DR: densidad real, RIA: residuo insoluble en ácido, PT: fósforo total, PD: fósforo disponible.

La figura 18 muestra los resultados de Carbonatos, Densidad, Conductividad, Cenizas, pH y CRH del producto final en T1, T2 y T3.

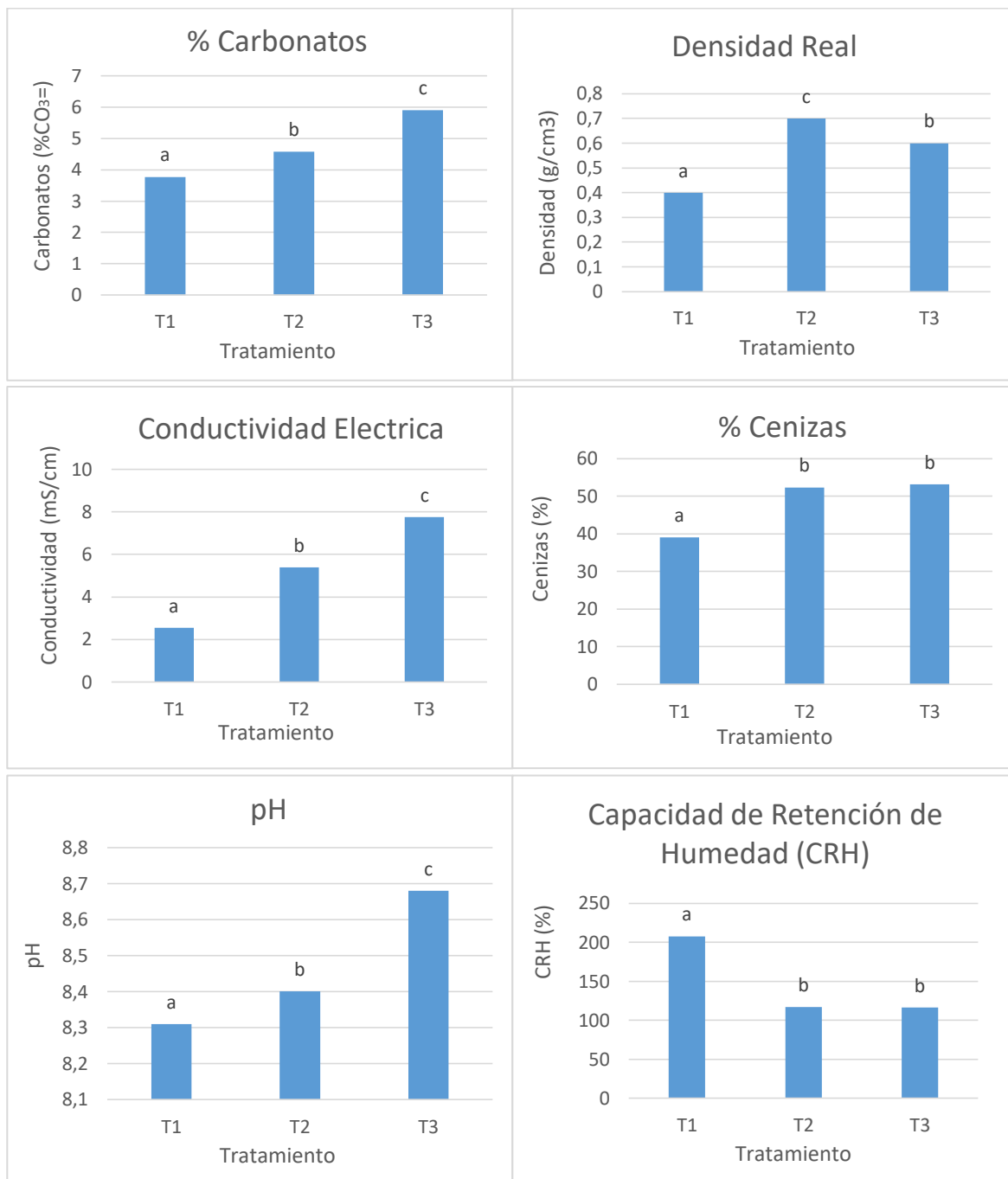


Figura 18 Carbonatos, Densidad, CE, Cenizas, pH y CRH del producto final en T1, T2 y T3. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas. Prueba de Tukey en función del Tratamiento

El contenido de $\text{CO}_3^{=}$ no es un parámetro requerido por la NTC 5167, sin embargo se tiene que los valores obtenidos se deben generalmente al contenido de cal adicionada, si se compara con los valores obtenidos por Muñoz *et al* (2015) son

menores, teniendo en cuenta que las cantidades de cal adicionada a los tratamientos es mucho mayor.

El residuo insoluble en ácido no es un parámetro requerido por la NTC 5167, sin embargo los valores obtenidos en los tres tratamientos es comparable con los obtenidos por Muñoz, Dorado, y Pérez (2015) y su presencia se debe generalmente a la presencia de minerales tipo arena presentes en la MP.

Con respecto al contenido del CO oxidable la norma sugiere un mínimo del 15 %, por lo que T3 no cumple este requisito con un 12.4 %; mientras que T1 y T2 tienen 23.6 y 16 % respectivamente, cumpliendo de este modo con los requerimientos de la norma. Se puede decir que T3 presentó alta mineralización y además, en este tratamiento se notó mayor temperatura en la fase termófila que contribuye a dicha mineralización.

El contenido de N debe reportarse si es mayor al 1 % según la NTC 5167 segunda actualización, se puede notar que T1 presenta un valor menor con 0.9 %, mientras que T2 y T3 contienen 1.3 y 1.1 % respectivamente. Estos valores son comparables con los obtenidos por Castro *et al* (2016) donde el mayor valor fue de 1.2 y por obtenidos por Muñoz *et al* (2015) donde obtuvieron un valor máximo de 1.47 % a partir de residuos de galería.

La relación C/N es un indicador de madurez y estabilidad de la materia orgánica del compost ya que la aplicación de un compost inmaduro tiene como efecto el bloqueo biológico del nitrógeno asimilable del suelo por las poblaciones de microorganismos, lo cual puede dar lugar a deficiencias de N en la planta, afectando de este modo el rendimiento de los cultivos. Varios autores establecen un valor inferior a 20 como óptimo, esta relación depende de la naturaleza química de los residuos utilizados según Acosta y Peralta (2015). Un valor de C/N entre 10 y 20 se propone como aceptable, y se considera que los abonos con valores menores de 10 tienen una liberación más rápida de nutrientes que aquellos con valores mayores de 20 (Pérez C, Pérez C, y Vertel M 2010). De este modo se observa que T1 tiene una relación C/N alta (25.4), mientras que T2 y T3 tienen relaciones aceptables con valores de 12.2 y 10.7 respectivamente. Según la NTC-5167, para abonos orgánicos no se tiene un rango establecido, sin embargo algunos autores aseguran que para una buena calidad del producto, se debe tener una relación de C/N en un rango entre 15 a 20 (Sharma *et al*. 1997). Sin embargo, Collins *et al*. (2013) sugieren que un compost maduro se presenta cuando la relación es 10, donde no se presenta alta actividad metabólica y la energía bioquímica disminuye como resultado de la actividad enzimática de los microorganismos. Por otra parte, (Muñoz A. 2001) asegura que una condición favorable del compost que va ser incorporado al suelo es que presente una relación C/N de 10 a 12, por lo que T2 y T3 serían aptos para la aplicación en cultivos agrícolas, mientras tanto que T1 presenta una relación superior al nivel recomendado.

La figura 19. Muestra los resultados de Carbono orgánico, Nitrógeno, CIC, C/N, RIA y Azufre en T1, T2 y T3.

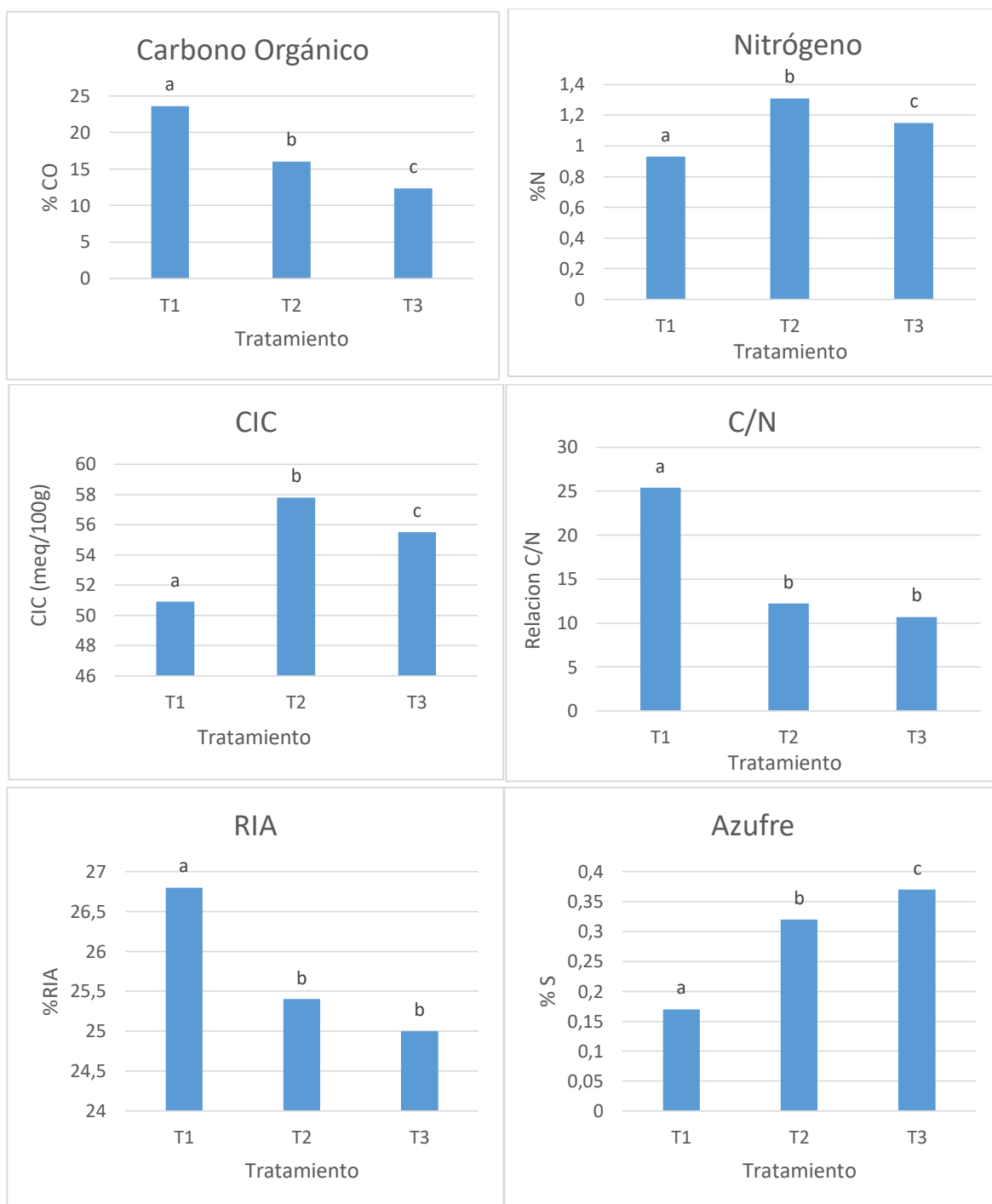


Figura 19. CO, Nitrógeno, CIC, C/N, RIA, Azufre del compost final para T1, T2 y T3. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas. Prueba de Tukey en función del Tratamiento

La CIC se ha evaluado como un parámetro de control de la madurez del compost, encontrando que ésta incrementa junto con la estabilización de la MO, en función de la humificación que conlleva a la formación de grupos funcionales carboxílicos y fenólicos provenientes de estructuras carbonadas de la MO. La CIC de los tres tratamientos cumple con los requerimientos de la norma donde sugiere como mínimo 30 meq/100g. Los resultados obtenidos fueron 50.9, 57.8 y 55.5 meq/100g para T1, T2 y T3 respectivamente. Los valores finales muestran entonces que el compost obtenido tiene una buena capacidad de intercambiar o retener cationes por iones de suelo que estén cargados negativamente, llevando entonces a mejorar las condiciones del suelo.

El contenido de S en los tres tratamientos es menor al 1% con valores de 0.17, 0.32 y 0.37 % para T1, T2 y T3 respectivamente siendo comparables con los obtenidos por Acosta y Peralta (2015)

Según la norma NTC-5167 para un abono orgánico se debe declarar si el fósforo total expresado como P_2O_5 es mayor del 1 %. Los valores de P_2O_5 promedios obtenidos para los tratamientos T1, T2 y T3 son 1.7, 1.7 y 1.6 % respectivamente. Figura 20. Donde se observa también los niveles de Fósforo disponible. La concentración de fósforo dentro del proceso de compostaje se encuentra en bajas proporciones, El alto contenido observado se puede atribuir a que en el proceso de estabilización de la MO, las pérdidas de P por lixiviación o volatilización son casi nulas y su concentración se debe a la pérdida en masa de la pila.

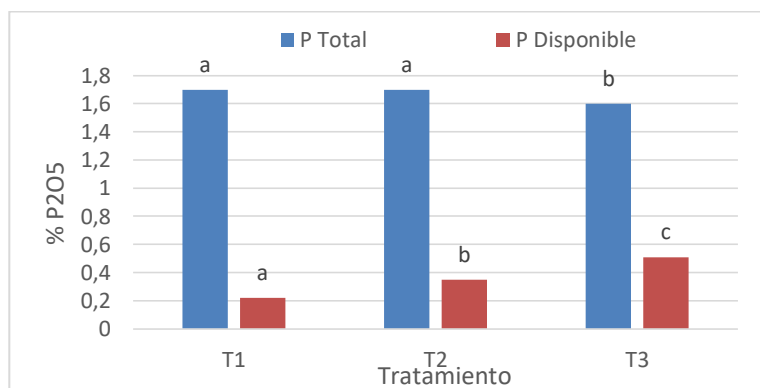


Figura 20. Fosforo Total y Disponible del compost final para T1, T2 y T3. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas. Prueba de Tukey en función del Tratamiento

Con respecto al contenido de K la NTC 5167 pide reportar contenidos mayores de 1%; los valores obtenidos son 1.8, 2 y 2.1% K_2O para T1, T2 y T3 respectivamente. Estos valores a pesar de que son mayores al nivel sugerido por la norma, son comparables con los obtenidos por Castro *et al* (2016) donde para compost de RSU se obtuvieron 1.9; 2.2 y 2.5 %.

El contenido de Na en los tratamientos es relativamente menor que los obtenidos por Muñoz et al. (2015), donde a partir de desechos de galería obtuvieron valores superiores al 0.1 %. Sin embargo el Na obtenido influye en la CE del compost. El contenido de Ca es mayor al 1 % en todos los tratamientos, T3 presenta mayor contenido siendo relacionado con la cantidad de CaCO_3 adicionada, por su parte el contenido de Mg en todos los tratamientos es menor al 1 %, donde T3 es el de mayor contenido y T1 el de menor contenido. Ver figura 21.

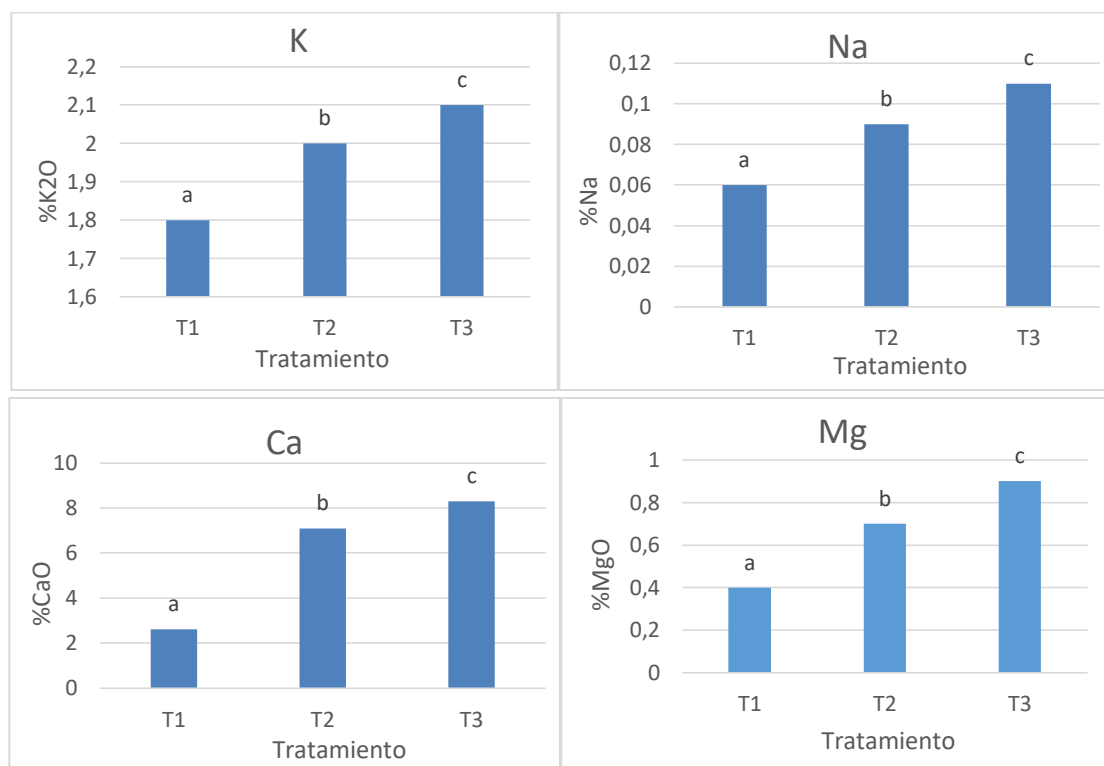


Figura 21. Bases Totales del compost final para T1, T2 y T3. Letras iguales indican que no hay diferencias significativas. Prueba de Tukey en función del Tratamiento

El contenido de micronutrientes como Fe, Mn, Cu y Zn la NTC 5167 no establece niveles críticos. Sin embargo los valores obtenidos en los tres tratamientos son cantidades comparables con otros resultados. La cantidad de Cu para T1, T2 y T3 es 7.8; 24.7 y 34.1 mg/Kg respectivamente, siendo estos valores menores con los obtenido por Madrid *et al.* (2001); Sharma *et al.* (1997). Sin embargo T3 su contenido es comparable con los obtenidos por Bustamante *et al.* (2008) donde obtuvieron valores de 36 y 45 mg/kg. El contenido de Mn para T1, T2 y T3 es 192.1, 278.2 y 340.9 mg/Kg respectivamente, estos valores son comparables con los obtenidos por Madrid *et al.* (2001) donde el valor máximo obtenido fue de 366 mg/kg. Con respecto al contenido de Fe se obtuvieron valores de 15852.9, 19848.4 y 21135.6 mg/Kg siendo estos valores mayores comparados con los obtenidos por Acosta Carrión y Peralta Franco (2015) donde obtuvieron un valor máximo

aproximado de 1120 mg/kg; sin embargo los valores obtenidos son un poco más comparables con los obtenidos por Muñoz et al. (2015) donde obtuvieron valores alrededor de 10283 ppm a partir de desechos de galería. Con respecto a la cantidad de Zn para T1, T2 y T3 es de 132; 215.3 y 235.8 mg/kg respectivamente, siendo estos valores comparables con los obtenidos por Acosta y Peralta (2015) y Bustamante et al. (2008).

Para el contenido de metales pesados la NTC 5167 establece unos límites, los datos obtenidos para los tres tratamientos muestran que se obtuvieron valores mínimos en cuanto a Pb y Cr, mientras que para Cd, Ni no se detectaron concentraciones.

Teniendo en cuenta los parámetros de la NTC 5167 segunda actualización para un abono orgánico, se tiene que el producto final de los tres tratamientos es bueno en modo general, sin embargo existen diferencias entre sí que permite clasificarlos. T1 es el tratamiento que no cumple con el requerimiento de N lo que conlleva a una alta relación C/N siendo este parámetro clave para la mineralización de la MO. Por otro lado T3 no cumple a lo requerido por la NTC 5167 en el contenido de CO lo que afectaría también la mineralización de la MO. Mientras tanto que T2 no cumple con el parámetro de densidad pero podría considerarse como el mejor producto de los tres tratamientos realizados, considerando que la densidad no es un factor relevante en el momento de ser adicionado al suelo para mejorar sus condiciones logrando mayor disponibilidad de los nutrientes para cumplir de mejor manera los requerimientos en las plantas.

Microbiológico: Los resultados del análisis microbiológico dirigido a coliformes totales muestran que todos los tratamientos dieron positivo para coliformes totales. T2 presento fluorescencia lo que indica presencia de coliformes fecales, pero dio negativo para E. Coli. Para coliformes totales el NMP/g es > 1100 en todos los tratamientos. La NTC 5167 sugiere que el NMP/g debe ser <1000 para coliformes totales.

Tabla 3. Resultado microbiológico Coliformes para T1, T2 y T3

Tratamiento	coliformes totales (Cultivo LMX)	coliformes fecales (Luz UV)	E. coli (Kovac's)
T1	positivo	Negativo	
T2	Positivo	Positivo	Negativo
T3	Positivo	Negativo	

La presencia de organismos patógenos implica un riesgo en procesos agrícolas. Los organismos patógenos en el compost es consecuencia de una excesiva aireación que conduce a reducir la temperatura. Los microorganismos que indican

la presencia de patógenos son las bacterias coliformes. De este modo se puede decir que hubo demasiada aireación en los procesos, afectando la temperatura que no alcanzó los 65 °C en ninguno de los tratamientos, lo que permitió que sobrevivieran agentes patógenos durante el proceso.

5.3 FORMULACIÓN DEL COMPOST A UNA MUESTRA DE SUELO

Para la formulación se tiene en cuenta el compost recomendado (T2). La muestra de suelo es tomada del área de producción agrícola de la IEAJAyG del Municipio de Santa Rosa a una altitud de 1700 msnm con clima medio. Los procedimientos se realizan basados en el Manual de laboratorio del grupo agroquímica, en la tabla 5 se muestran los valores obtenidos. Muestra un alto contenido de fósforo disponible (ver referencia tabla 6), un nivel medio de CIC que se debe más a un nivel alto de MO (Ver referencia tabla 7) que a la presencia de arcillas que son relativamente bajas, presenta un pH moderadamente ácido que no afecta en gran medida la CIC. El pH puede atribuirse en mayor proporción al alto contenido de hierro y en menor grado al Aluminio intercambiable que tiene un porcentaje de saturación de 16.95%.

La relación C/N es aceptable (8.2) según fassbender (8 – 14 normal), en este caso no sería necesario adicionar nitrógeno al suelo. Sin embargo según la textura se obtiene bajo porcentaje de nitrógeno disponible lo indica que hay baja mineralización. Ver tabla 4.

$$\%N_{\text{disponible}} = 0,4975\% * \frac{3}{100} = 0,0149\%$$

Tabla 4. % de N disponible según condiciones climáticas y de altitud.

Clima	altitud	Bajo (%)	Medio (%)	Alto (%)
Frio	Alto	<0.25	0.25 – 0.5	>0.50
Medio	Medio	<0.15	0.15 – 0.25	>0.25
Cálido	Bajo	<0.10	0.10 - 0.20	>0.20

Tomado de Fassbender y borniza (1987)

Tabla 5. Resultados Análisis muestra de Suelo

PARAMETRO	RESULTADO	PARAMETRO	RESULTADO
Grava	2.05 (%)	Intercambiables (meq/100gSs)	
Humedad de campo	23.7 (%)	K	0.24
Humedad higroscópica	9.5 (%)	Na	3.9
Densidad Aparente	0.7g/cm ³	Ca	6.4
Cenizas	69.8 (%)	Mg	1
Textura(Bouyoucos)	Franco arenosa	Al	2.5
Arenas	69.1 (%)	H*	0.75
Limo	19.1 (%)	Acidez	3.25
Arcillas	11.8 (%)	Bases Totales (meq/100gSs)	
pH 2:1	5.32	K	136.1
pH pasta saturada	5.29	Na	4.2
Carbono	4.2 (%)	Ca	17.5
Relación C/N	8.2	Mg	25.8
MO	7.1 (%)	Micro elementos (mg/KgSs)	
CIC(meq/100gSs)	23.7	Fe	30531.8
P Total (mg/KgSs)	8365.4	Mn	360.5
P Disponible (mg/KgSs)	30.5	Cu	9.2
% Saturación de bases	78.5%	Zn	86.8
CE (mS/cm)	5.67	S	1596.5

Tabla 6. Niveles de P según método Bray II

Disponibilidad	Nivel crítico
Bajo	< 15 ppm
Medio	15-30 ppm
Alto	> 30 ppm

Tabla 7 Contenido de MO respecto a clima y altura.

Parámetros		%MO		
Clima	Altura msnm	bajo	medio	alto
Frio	>2200	<5	5-10	>10
Medio	1500 – 2200	<3	3-5	>5
alto	<1500	<2	2-4	>4

Tomado de Fassbender y borniza (1987)

La saturación de bases es del 78.02 %; K presenta un nivel óptimo, el Na y Ca están por encima del nivel óptimo, por lo que se les atribuye la elevada conductividad que puede afectar la evolución de las plantas. El Mg está en el límite más bajo, lo que sería necesario suministrarle Mg para aumentar su disponibilidad y cumplir a los requerimientos de las plantas. Ver tabla 8. Con respecto a los micronutrientes todos presentan niveles mayores a los críticos. Ver tabla 9. El Fe el que más lejos está del nivel crítico, lo que puede contribuir a la acidez del suelo en

la formación de óxidos. El Mn está por encima del nivel crítico en menor proporción que el Fe. Cu está por encima del nivel crítico en menor proporción junto al Zn.

Tabla 8. Niveles óptimos Bases de Cambio.

Nutriente	Valor optimo (meq/100gSs)
Ca	3 – 6
Mg	1 – 1.5
K	0.2 – 0.25
Na	< 1

Tomado de Fassbender y borniza (1987)

Tabla 9. Niveles críticos de micro elementos en el suelo.

Elemento	Niveles críticos (ppm)		
	Bajo	Medio	Alto
Mn	<25	25-65	>65
Fe	<25	25-45	>45
Cu	<2	2-3	>3
Zn	<0.5	0.5-1.0	>1

Tomado de Fassbender y borniza (1987)

Se tiene que la adición del compost al suelo se hace con el propósito de aumentar la disponibilidad de N por acción de los microorganismos y para aumentar la disponibilidad de Mg mejorando la relación Ca/Mg; También se busca mejorar el pH. Se recomienda adicionar 5 TonCs/ha para suelo agrícola; en dosis dividida, la primera aplicación se hace antes de la siembra y la segunda intercalada en el desarrollo de los cultivos transitorios (cebolla, frijol, tomate, etc). En la tabla 10 se observa que al aumentar la aplicación de compost disminuye Ca/Mg, se recomienda repetir la dosis 2 veces al año para un cultivo permanente (café, aguacate, etc).

Tabla 10. Formulación del compost (T2) al suelo.

	Mg		Ca		Ca/Mg
	T2	Suelo	T2	Suelo	
Aplicación	<u>Disponibles(meq/100g)</u>				
	12,39	1	38,4	6,4	6,4
2TonCs	tonMg/tonCs	meq/100 gSs	tonCa/TonCs	meq/100 gSs	
/ha	0,00149	0,00885	0,0077	0,0548	
Suma de meq en el Suelo		1,00885		6,4548	6,3982
10TonCs	tonMg/TonCs	meq/100 gSs	tonCa/tonCs	meq/100 gSs	
/ha	0,00149	0,08596	0,0077	0,26654	
Suma de meq en el Suelo		1,08596		6,6665	6,1388

Cs: Compost seco. Ss: suelo seco.

6 CONCLUSIONES

En el proceso de la maximización de los residuos orgánicos urbanos generados en la cabecera municipal de Santa Rosa Cauca a través de un sistema de compostaje en cajones, se tiene que la adición de aserrín es factor importante para optimizar la relación inicial de C/N a partir de este tipo de MP; la cantidad de aserrín utilizada en T1 no es aconsejable porque se obtuvo un producto con alta relación C/N. las cantidades de aserrín empleadas en T2 y T3 son las que mejores productos dan dimensionando la relación C/N. sin embargo T2 sería el tratamiento con mejor proporción de aserrín empleada ya que T3 presenta una relación C/N muy cercana al nivel crítico.

La aireación del sistema puede regularse mediante la realización de agujeros verticales (5 cm de radio), también mediante el volteo de la pila y por la adición de aserrín que proporciona porosidad permitiendo mayor oxígeno y controlar de este modo la temperatura buscando no sobrepase los límites termófilos que inhiban la humificación de la MO y evitando de algún modo la pérdida de nitrógeno por efecto de la temperatura, o también una excesiva aireación tiene como efecto la sobrevivencia de coliformes por lo que para mejorar este defecto bastaría con disminuir la cantidad de volteos. De este modo se demuestra que los agujeros verticales es un método de aireación pasiva muy eficaz evitando gastos de dinero empleando aireación forzada utilizando equipos que implican inversiones y costos de operación.

La calidad del T2 cumple de mejor manera con los requerimientos de un abono orgánico establecido en la NTC 5167 segunda actualización, de este modo se puede concluir que el compost obtenido mezclando aserrín en proporción 2:1 con la MP y con la presencia de nueve agujeros durante su evolución, es apto para el uso de cualquier actividad de tipo agrícola dando estabilidad y nutrientes al suelo logrando un buen desarrollo radicular generando un equilibrio orgánico para las plantaciones.

En todos los tratamientos se obtuvieron valores importantes de CIC sin embargo T3 presenta bajo contenido de MO lo que afecta la disponibilidad de nitrógeno como nutriente para las plantas.

La cantidad de metales pesados en los tres tratamientos cumplen con los niveles permitidos por la NTC 5164 lo que mejora la calidad del producto garantizando inocuidad al ser aplicado al suelo.

Se concluye también que emplear el compostaje como tratamiento de los RO generados en los hogares se constituye es una estrategia que minimiza el impacto

negativo que estos generan, además se propende por el buen uso del suelo y el beneficio ambiental. Lo que significa que los desechos orgánicos se utilizan para construir la salud del suelo y cultivar productos y no ir al vertedero. En las casas pueden contribuir a cerrar su propio ciclo de alimentos en una escala más pequeña usando sus propios restos de verduras de cocina y residuos de patio para crear compost.

La presencia de coliformes en los tratamientos se le atribuye a la cantidad de volteos realizados, sobre todo durante el primer mes (cada 5 días), lo que permitió una excesiva aireación afectando la temperatura impidiendo llegar a los niveles termófilos donde se inhibe el crecimiento de microorganismos patógenos.

7 RECOMENDACIONES

Para producción de compost:

Para la producción de compost con las mejores propiedades se recomienda que el aserrín esté en una proporción en volumen de 2:1 con la MP, garantizando una buena relación C/N para la actividad de los microorganismos. La aireación se recomienda realizarla mediante nueve (9) agujeros verticales de radio aproximado de 5 cm y con volteos cada diez (10) días durante el primer mes y en adelante cada 20 días hasta su maduración; se realizan menos volteos que en el tratamiento experimental con el propósito de tener mejores resultados de temperatura buscando eliminar patógenos; la humedad como factor importante para la actividad de los microorganismos se monitorea mediante la prueba de puño y la adición de agua se hace por aspersión en cada volteo. Se recomienda el uso de poca cantidad de cal. CaCO_3 (3 Kg por tratamiento). Se recomienda compostar por 110 días.

Para la aplicación de compost:

Se recomienda la adición de 5 Ton/ha de compost (T2) con el propósito de mejorar la relación Ca/Mg y mejorar la disponibilidad de N por acción de los microorganismos; se recomienda la dosis dividida.

La recomendación general para mantener la productividad del suelo, se basa en las prácticas agrícolas; Pues se tiene que la no rotación de cultivos, en combinación con el aumento en el uso intensivo de insumos químicos, disminuye la calidad y la biodiversidad del ecosistema del suelo, imposibilitando su resiliencia, sostenibilidad y productividad a largo plazo, estos métodos exponen al suelo a los daños causados por los cambios adversos del clima y a la infestación fácil de plagas y enfermedades, condiciones que reducen su productividad. Por lo que se recomienda la rotación de cultivos y emplear abono orgánico para aumentar la población de microorganismos antagónicos y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo; todo esto afecta positivamente a la planta dando resistencia al ataque de microorganismo evitando el uso de pesticidas.

Investigativas:

Realizar la aplicación del compost recomendado (T2) y evaluar el impacto sobre el suelo y la germinación de semillas.

Realizar estudio microbiológico del compost (T2) para conocer las poblaciones de microorganismos antagónicos y su actividad en la incorporación al suelo.

Realizar un estudio de varianza en la calidad del compost obtenido con residuos de cosecha por temporadas en el año.

8 BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Wilson y Milton, Peralta F. 2015. «Elaboracion de Abonos Orgánicos a partir del Compostaje de Residuos Agrícolas en el Municipio de Fusagasuga.» Universidad de Cundinamarca.
- Alcaldía Municipal, Santa Rosa Cauca. 2016. *Plan de desarrollo «Unidos construimos futuro 2016 - 2019»*. Colombia. <https://goo.gl/RKni4y>.
- Bernal, M P, J A Albuquerque, y R Moral. 2009. «Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment . A review». *Bioresource Technology* 100(22): 5444-53. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.
- Bohórquez P., Alexander. 2013. «Evaluación de la Calidad del Compost producido a partir de la molienda de caña de azucar en la Compañía Riopaila Castilla, Valle del Cauca, Colombia.» Universidad Nacional de Colombia.
- Bongcam V., Elkin. 2003. *Guía para compostaje y manejo de suelos*. Convenio A. Bogotá: Serie Ciencia y Tecnología, No 110.
- Bustamante, M. A. *et al.* 2008. «Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability». *Chemosphere* 72(4): 551-57.
- Cabeza, I. O., R. López, M. Ruiz-Montoya, y M. J. Díaz. 2013. «Maximising municipal solid waste - Legume trimming residue mixture degradation in composting by control parameters optimization». *Journal of Environmental Management* 128: 266-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.05.030>.
- Campitelli, Paola, y Silvia Ceppi. 2008. «Chemical , physical and biological compost and vermicompost characterization : A chemometric study». *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* 90: 64-71.
- Castro, G, M Daza, y L Torres. 2016. «Evaluación de la adecuación de humedad en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en la Planta de Manejo de Residuos Sólidos (PMRS) del Municipio de Versalles, Valle del Cauca». *Gestión y Ambiente* 19(1): 14.
- Collins, Doug, Carol Miles, Craig Cogger, y Rich Koenig. 2013. *soil fertility in organic systems, a guide for gardeners and Small acreage farmers..pdf.crdownload*.
- Cooperband, Leslie. 2002. University of Wisconsin-Madison, Center for Integrated Agricultural Systems *The Art and Science of Composting A resource for farmers and compost producers*. <http://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>.
- Dalzell, H. W., A. J. Biddlestone, K. R. Gray, y K Thurairajan. 1991. «Manejo del Suelo, Producción y Uso del Composte en Ambientes Tropicales y Subtropicales». p 177.

- Dimambro, M. E., R. D. Lillywhite, C. R. Rahn, y M. E. Dimambro. 2007. «The physical, chemical and microbial characteristics of biodegradable municipal waste derived composts». *Compost Science and Utilization* 15(4): 243-52.
- Doran, J W, y M R Zeiss. 2000. «Soil health and sustainability: managing the biotic component of soil quality». *Applied Soil Ecology* 15(June): 3-11.
- FAO. 2006. «Conservación de los recursos naturales para una Agricultura sostenible. Materia orgánica y actividad biológica». *Fertilidad de Suelo*: 1-28.
- García C., D., L. A. Lima C., L. Ruiz G., y P. A. Calderon P. 2014. «Métodos y parámetros para determinar la madurez en el compost a nivel de fincas.» *Revista electrónica de la Agencia de Medio Ambiente* (26): 1-11.
- Hargreaves, J. C., M. S. Adl, y P. R. Warman. 2008. «A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture». *Agriculture, Ecosystems and Environment* 123(1-3): 1-14.
- Hassounah, O., A. Jamrah, y K. Qaisi. 1999. «Sludge stabilization by composting: A Jordanian case study». *Bioprocess Engineering* 20(5): 413-21.
- Haug, R.T. 1993. «The practical handbook of compost engineering». *Lewis publishers*: 717.
- Van Heerden, I., C. Cronjé, S. H. Swart, y J. M. Kotzé. 2002. «Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting». *Bioresource Technology* 81(1): 71-76.
- Hernández R., Ofelia A., Ana. Hernández T., y Cesar. Rivera F. 2013. «Calidad Nutricional de Cuatro Abonos Orgánicos Producidos a partir de Residuos Vegetales y Pecuarios.» *Terra Latinoamericana* 31: 35-46.
- Himanen, M, y K Hänninen. 2009. «Effect of commercial mineral-based additives on composting and compost quality». *Waste Management* 29(8): 2265-73. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.016>.
- Hurtado V., Jaime. 2014. «Evaluación del Efecto Acelerador de Microorganismos Transformadores de Materia Orgánica (TMO) en el Proceso de Compostaje de las Deyecciones de Bovinos, Porcinos y Conejos».
- Iglesias-Jimenez, E., y C. E. Alvarez. 1993. «Apparent availability of nitrogen in composted municipal refuse». *Biology and Fertility of Soils* 16(4): 313-18.
- Iglesias J., Emeterio. 2003. «Aspectos físico- bioquímicos y microbiológicos del proceso de Evaluación de la calidad». En *Master Universitario en gestión, tratamiento y valorización de residuos orgánicos*, p 1-30.
- Jaramillo H., Gladys, y Liliana Maria Zapata M. 2008. «Aprovechamiento de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia». Universidad de Antioquia.
- Jimenez, E. Iglesias, V. Perez Garcia, M. Espino, y J. M. Hernández Moreno. 1993. «City refuse compost as a phosphorus source to overcome the P-fixation capacity of sesquioxide-rich soils». *Plant and Soil* 148(1): 115-27.
- Lu, Yanjun, Xingwu Wu, y Jifeng Guo. 2009. «Characteristics of municipal solid

- waste and sewage sludge co-composting». *Waste Management* 29(3): 1152-57. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2008.06.030>.
- Madrid, F, R López, F Cabrera, y J M Murillo. 2001. «Caracterización de los composts de residuos sólidos urbanos de la planta de Villarrasa (Huelva)». *Investigación agraria. Producción y protección vegetal* 16(1): 105-17. <http://sia.revistas.inia.es/index.php/iappv/article/view/101%5Cnfile:///C:/Documents and Settings/Martha C. Daza/Mis documentos/GC/EXP/Maestria/PROYECTO DE GRADO/Articulos proyecto/Caracterizaci?n de los composts de residuos s?lidos urbanos.pdf>.
- Matheus L., Jesús, Jose Caracas, Fermin Montilla, y Oswaldo Fernández. 2007. «Eficiencia Agronómica Relativa de tres Abonos Orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza en plantas de Maiz (Zea mays L).» *Agricultura Andina* 13: 27-38. http://chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id_articulo=1837&id_revistas=1&id_revista_numero=185%5Cnhttp://www.chapingo.mx/revistas/horticultura/contenido.php?id_articulo=1493?id_revistas=1%5Cnhttps://dl.science societies.org/publications/aj/abs.
- Moreno C., Joaquin, y Raul Moral H. 2008. Mundiprensa *Compostaje*.
- Muñoz, James E., Jhon Dorado, y Edier H. Pérez. 2015. «Sistema de Compostaje y Lombricompostaje Aplicado en Residuos Organicos de una Galeria Municipal.» *Suelos Ecuatoriales*. 45(2): 72-83.
- Muñoz A., Rodrigo. 2001. *Fertilidad del Suelo. Diagnóstico y control. Abonos orgánicos y su uso en la agricultura*. Segunda. ed. Francisco. silva M. Bogotá, D.C., Colombia: Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelos.
- Muñoz T., Jose S. 2005. «Compostaje en Pescador, Cauca: Tecnología Apropriada para el Manejo de Residuos Orgánicos y su contribución a la Solución los Problemas Medioambientales». Universidad Nacional de Colombia sede Palmira.
- Oviedo O., Ricardo E., Luis F. Marmolejo R., y Patricia Torres L. 2014. «Influencia de la frecuencia de Volteo para el Control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen Municipal». *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 30(1): 91-100.
- Pérez C, Ricardo, Alexander Pérez C, y Melba Vertel M. 2010. «Caracterización nutricional , físicoquímica y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso en agroecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre », *Tumbaga* 5: 27-37.
- Robles M., Marlon B. 2015. «Evaluación de Parámetros de Temperatura, pH y Humedad para el Proceso de Compostaje en la planta de tratamiento de Residuos Solidos Organicos de la Municipalidad Provincial de leoncio Prado.»
- Román, Pilar., Maria M. Martinez, y Alberto. Pantoja. 2013. *Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina*. FAO. Santiago de Chile: organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

- Rivas, S., y Giraldo, C. I. 2015. Manual práctico de microbiología básica. *Universidad del Cauca*. p 51
- Ryckeboer, Jaak et al. 2003. «Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin». *Journal of Applied Microbiology* 94(1): 127-37.
- Sánchez-Monedero, M. A., A. Roig, y M. P. Bernal. 2001. «The water- soluble organic fraction and its relationship to the degree of maturity of organic matter during composting». Department of Soil and Water Conservation and Organic Waste Management. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura. CSIC. P.O.Box 4195. E-30080 Murcia. Spain.
- Sánchez-Monedero, M. A., A. Roig, C. Paredes, y M. P. Bernal. 2001. «Nitrogen transformation during organic waste composting by the Rutgers system and its effects on pH, EC and maturity of the composting mixtures». *Bioresource Technology* 78(3): 301-8.
- Sharma, V.K., M. Canditelli, F. Fortuna, y G. Cornacchia. 1997. «Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: Review». *Energy Conversion and Management* 38(5): 453-78.
- Soliva, Montserrat., y Marga. López. 2004. *Calidad del compost : Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso*. Barcelona.
- Sztern, Daniel, y Miguel A. Pravia. 1999. «Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos». *Organización Panamericana de la Salud*. p 23.
- Tituaña Morocho, Beatriz Elizabeth. 2009. «Elaboración de compost mediante la inoculación de tres fuentes de microorganismos a tres dosis. Tabacundo, Pichincha.»
- Torrento, Soliva. 2011. «Materia orgánica y compostaje. control de la calidad y del proceso». *Artículo: 1-19*. <http://biomusa.net/es/jornadas-y-actividades/jornada-tecnica-sobre-calidad-y-fertilidad-del-suelo/70-materia-organica-y-compostaje-control-de-la-calidad-y-del-proceso/file>.
- Valderrama Ramírez, Alejandra. 2013. «Biodegradación de residuos sólidos agropecuarios y uso del bioabono como acondicionador de suelo». Universidad Pontificia Bolivariana.
- Vicente, J, J. E Carrasco, y M. J Negro. 1996. *El Compostaje como tecnología para el tratamiento de residuos: compostaje de bagazo de sorgo dulce con diferentes fuentes nitrogenadas*. Madrid España.
- Waksman, S. A., T. C. Cordon, y N. Hulpoi. 1939. «Influence of temperature upon the microbiological population and decomposition processes in composts of stable manure». *Soil Science* 47: 83-114.
- Zárate N., Baldomero H. 2013. «Valorización de Subproductos Agrícolas y Forestales como Sustratos de Cultivo en el Estado de Oxaca (MÉXICO)». Universidad Politécnica de Madrid.

ANEXOS.

ANEXO 1

DETERMINACIÓN DE BASES DE CAMBIO; PREPARACIÓN SOLUCIÓN COLOREADORA PARA LA DETERMINACIÓN DE FÓSFORO TOTAL Y PREPARACIÓN REACTIVO TURBIDIMÉTRICO.

Determinación bases de cambio:

Para Ca y Mg: se toman 0,080mL de la solución de acetatos y 5mL de solución de óxido de lantano al 1% y se afora con agua des ionizada a 25mL y se lleva al EAA por ionización con llama.

Para Na: se toman 0,5mL de la solución de acetatos y se afora a 25mL con agua des ionizada y se lleva a EAA por ionización con llama.

Para K: se toman 0,5mL de la solución de acetatos y se afora a 525mL con agua des ionizada, de esta dilución se toman 500microlitros y se afora a 10mL y se lleva a EAA por ionización con llama.

Solución Coloreadora: esta solución se realiza a partir de dos soluciones denominadas A y B. se prepara 1L de solución, tomando 25mL de la solución A sobre 800mL de agua destilada, se mezcla y se añade 10ml de la solución B y se afora a 1L.

Solución A: se disuelven 1,8 g de Molibdato de amonio en 5mL agua destilada, luego se añade 0,0364g de tartrato de antimonio y potasio y disolverlo. Finalmente, con agitación de añaden 17mL de ácido sulfúrico concentrado y se afora a 25mL con agua destilada.

Solución B: se disuelven 1,2g de ácido ascórbico y se afora a 10mL con agua destilada.

Reactivo turbidimétrico: se pesa 1 g de bactogelatina y se adicionan en 300 mL de agua caliente (80°C aprox), a esta solución se le adicionan también 150 g de cloruro de bario dihidratado.

ANEXO 2

RESULTADOS ESTADÍSTICOS DE LAS PROPIEDADES EN LOS TRATAMIENTOS CON RESPECTO A LA ALTURA DE MUESTREO EN LA PILA

Tabla 1. Prueba ANOVA para las propiedades del compostaje en función a la altura de muestreo (T1).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,025	2	,013	,313	,732
	Dentro de grupos	4,257	105	,041		
	Total	4,282	107			
CE (mS/cm)	Entre grupos	,130	2	,065	,424	,655
	Dentro de grupos	16,046	105	,153		
	Total	16,175	107			
Hc (%)	Entre grupos	5,813	2	2,907	,056	,946
	Dentro de grupos	5480,396	105	52,194		
	Total	5486,209	107			
CO (%)	Entre grupos	58,354	2	29,177	1,344	,265
	Dentro de grupos	2278,699	105	21,702		
	Total	2337,054	107			
N (%)	Entre grupos	,000	2	,000	,005	,995
	Dentro de grupos	,670	105	,006		
	Total	,670	107			
C/N	Entre grupos	80,199	2	40,100	,536	,587
	Dentro de grupos	7861,231	105	74,869		
	Total	7941,431	107			
MO (%)	Entre grupos	233,417	2	116,708	1,344	,265
	Dentro de grupos	9114,798	105	86,808		
	Total	9348,215	107			

Tabla 2. Prueba ANOVA para las propiedades del compostaje en función a la altura de muestreo (T2).

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,216	2	,108	3,460	,035
	Dentro de grupos	3,280	105	,031		
	Total	3,496	107			
CE (mS/cm)	Entre grupos	,643	2	,322	1,912	,153
	Dentro de grupos	17,663	105	,168		
	Total	18,306	107			
Hc (%)	Entre grupos	8,400	2	4,200	,176	,839
	Dentro de grupos	2512,849	105	23,932		
	Total	2521,249	107			
CO (%)	Entre grupos	7,957	2	3,978	,205	,815
	Dentro de grupos	2035,705	105	19,388		
	Total	2043,662	107			
N (%)	Entre grupos	,003	2	,001	,301	,741
	Dentro de grupos	,503	105	,005		
	Total	,506	107			
C/N	Entre grupos	3,867	2	1,933	,158	,854
	Dentro de grupos	1287,711	105	12,264		
	Total	1291,578	107			
MO (%)	Entre grupos	31,828	2	15,914	,205	,815
	Dentro de grupos	8142,822	105	77,551		
	Total	8174,650	107			

Tabla 3. Prueba Tukey para pH en función a la altura de muestreo de T2.

Altura de Muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Parte alta del cajón	36	8,5969	
Parte media del cajón	36	8,6681	8,6681
Parte baja del cajón	36		8,7047
Sig.		,207	,654

Tabla 4. Prueba ANOVA para las propiedades del compostaje en función a la altura de muestreo (T3).

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
pH	Entre grupos	,398	2	,199	3,009	,054
	Dentro de grupos	6,948	105	,066		
	Total	7,346	107			
CE (mS/cm)	Entre grupos	,417	2	,209	,756	,472
	Dentro de grupos	28,954	105	,276		
	Total	29,371	107			
Hc (%)	Entre grupos	16,751	2	8,376	,211	,810
	Dentro de grupos	4168,106	105	39,696		
	Total	4184,857	107			
CO (%)	Entre grupos	9,037	2	4,518	,326	,723
	Dentro de grupos	1455,461	105	13,862		
	Total	1464,498	107			
N (%)	Entre grupos	,000	2	,000	,029	,972
	Dentro de grupos	,830	105	,008		
	Total	,830	107			
C/N	Entre grupos	6,819	2	3,410	,417	,660
	Dentro de grupos	858,800	105	8,179		
	Total	865,619	107			
MO (%)	Entre grupos	36,148	2	18,074	,326	,723
	Dentro de grupos	5821,846	105	55,446		
	Total	5857,994	107			

Tabla 5. Homogeneidad de varianzas respecto a la altura de muestreo (T3).

	Estadístico de			
	Levene	gl1	gl2	Sig.
pH	,076	2	105	,926
CE (mS/cm)	,678	2	105	,510
Hc (%)	,040	2	105	,961
CO (%)	,667	2	105	,516
N (%)	,505	2	105	,605
C/N	1,277	2	105	,283
MO(%)	,667	2	105	,516

Tabla 6. Prueba de Duncan para el pH respecto a la altura de muestreo (T3)

Altura de Muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Parte alta del cajón	36	8,9481	
Parte media del cajón	36	9,0650	9,0650
Parte baja del cajón	36		9,0861
Sig.		,056	,728

Tabla 7. Prueba de Duncan para CE respecto a la altura de muestreo (T3)

Altura de Muestreo	N	Subconjunto para alfa = 0.05
		1
Parte alta del cajón	36	6,7072
Parte media del cajón	36	6,7814
Parte baja del cajón	36	6,8594
Sig.		,251

ANEXO 3

CORRELACIONES DE PEARSON PARA LOS TRATAMIENTOS

Tabla 1. Correlación de Pearson para T1

		Tiempo (días)	pH	CE (mS/cm)	Hc	CO (%)	N (%)	C/N	MO (%)
Altura Muestrero	Correlación de Pearson	,000	,068	-,080	,032	,076	-,003	,042	,076
	Sig. (bilateral)	1,000	,482	,409	,741	,437	,975	,663	,437
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
Tiempo (días)	Correlación de Pearson	1	,323**	,245*	,589**	-,835**	,478**	-,794**	-,835**
	Sig. (bilateral)		,001	,011	,000	,000	,000	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
pH	Correlación de Pearson	,323**	1	,149	,215*	-,377**	,149	-,328**	-,377**
	Sig. (bilateral)	,001		,125	,026	,000	,125	,001	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
CE (mS/cm)	Correlación de Pearson	,245*	,149	1	-,070	-,250**	,504**	-,406**	-,250**
	Sig. (bilateral)	,011	,125		,473	,009	,000	,000	,009
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
Hc	Correlación de Pearson	,589**	,215*	-,070	1	-,668**	,032	-,479**	-,668**
	Sig. (bilateral)	,000	,026	,473		,000	,740	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
CO (%)	Correlación de Pearson	-,835**	-,377**	-,250**	-,668**	1	-,510**	,918**	1,000**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,009	,000		,000	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
N (%)	Correlación de Pearson	,478**	,149	,504**	,032	-,510**	1	-,803**	-,510**
	Sig. (bilateral)	,000	,125	,000	,740	,000		,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
C/N	Correlación de Pearson	-,794**	-,328**	-,406**	-,479**	,918**	-,803**	1	,918**
	Sig. (bilateral)	,000	,001	,000	,000	,000	,000		,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108

Continuación tabla 1. Correlaciones de Pearson para T1

MO(%)	Correlación de Pearson	-,835**	-,377**	-,250**	-,668**	1,000**	-,510**	,918**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,009	,000	,000	,000	,000	
	N	108	108	108	108	108	108	108	108

Tabla 2. Correlación de Pearson para T2

		Tiempo (días)	pH	CE (mS/cm)	Hc	CO (%)	N (%)	C/N	MO (%)
Altura de Muestreo	Correlación de Pearson	,000	,235*	,032	,042	-,017	-,162	,043	-,017
	Sig. (bilateral)	1,000	,015	,741	,667	,863	,094	,662	,863
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
Tiempo de compostaje (días)	Correlación de Pearson	1	-,539**	,128	-,615**	-,836**	-,199*	-,756**	-,836**
	Sig. (bilateral)		,000	,186	,000	,000	,038	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
pH	Correlación de Pearson	-,539**	1	-,100	,420**	,259**	-,215*	,334**	,259**
	Sig. (bilateral)	,000		,304	,000	,007	,025	,000	,007
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
CE (mS/cm)	Correlación de Pearson	,128	-,100	1	,048	-,315**	,515**	-,475**	-,315**
	Sig. (bilateral)	,186	,304		,624	,001	,000	,000	,001
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
Hc (%)	Correlación de Pearson	-,615**	,420**	,048	1	,526**	,109	,485**	,526**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,624		,000	,261	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
CO (%)	Correlación de Pearson	-,836**	,259**	-,315**	,526**	1	,107	,943**	1,000**
	Sig. (bilateral)	,000	,007	,001	,000		,271	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
N (%)	Correlación de Pearson	-,199*	-,215*	,515**	,109	,107	1	-,224*	,107
	Sig. (bilateral)	,038	,025	,000	,261	,271		,020	,271
	N	108	108	108	108	108	108	108	108

Continuación tabla 2. Correlación de Pearson para T2

C/N	Correlación de Pearson	-,756**	,334**	-,475**	,485**	,943**	-,224*	1	,943**
	Sig. (bilateral)	,000	,000	,000	,000	,000	,020		,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
MO (%)	Correlación de Pearson	-,836**	,259**	-,315**	,526**	1,000**	,107	,943**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,007	,001	,000	,000	,271	,000	
	N	108	108	108	108	108	108	108	108

Tabla 3. Correlación de Pearson para T3

		Tiempo de compostaje (días)	pH	CE (mS/cm)	Humedad de Campo	CO (%)	N (%)	C/N	MO (%)
Altura de Muestreo	Correlación de Pearson	,000	,223*	,230*	,059	-,045	-,072	-,035	-,045
	Sig. (bilateral)	1,000	,020	,017	,542	,643	,461	,721	,643
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
Tiempo de compostaje (días)	Correlación de Pearson	1	,065	,192*	-,474**	-,727**	-,134	-,709**	-,727**
	Sig. (bilateral)		,504	,047	,000	,000	,166	,000	,000
	N	108	108	108	108	108	108	108	108
pH	Correlación de Pearson	,065	1	-,006	,250**	-,019	-,211*	,052	-,019
	Sig. (bilateral)	,504		,952	,008	,841	,027	,587	,841
	N	108	110	110	110	110	110	110	110
CE (mS/cm)	Correlación de Pearson	,192*	-,006	1	-,048	-,252**	-,128	-,251**	-,252**
	Sig. (bilateral)	,047	,952		,619	,008	,182	,008	,008
	N	108	110	110	110	110	110	110	110

Continuación tabla 3. Correlación de Pearson para T3

Hc (%)	Correlación de Pearson	-,474**	,250**	-,048	1	,530**	,151	,497**	,530**
	Sig. (bilateral)	,000	,008	,619		,000	,115	,000	,000
	N	108	110	110	110	110	110	110	110
CO (%)	Correlación de Pearson	-,727**	-,019	-,252**	,530**	1	,309**	,934**	1,000**
	Sig. (bilateral)	,000	,841	,008	,000		,001	,000	,000
	N	108	110	110	110	110	110	110	110
N (%)	Correlación de Pearson	-,134	-,211*	-,128	,151	,309**	1	-,046	,309**
	Sig. (bilateral)	,166	,027	,182	,115	,001		,633	,001
	N	108	110	110	110	110	110	110	110
C/N	Correlación de Pearson	-,709**	,052	-,251**	,497**	,934**	-,046	1	,934**
	Sig. (bilateral)	,000	,587	,008	,000	,000	,633		,000
	N	108	110	110	110	110	110	110	110
MO (%)	Correlación de Pearson	-,727**	-,019	-,252**	,530**	1,000**	,309**	,934**	1
	Sig. (bilateral)	,000	,841	,008	,000	,000	,001	,000	
	N	108	110	110	110	110	110	110	110

ANEXO 4

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA TEMPERATURA DE LOS TRATAMIENTOS RESPECTO A LA ALTURA DE MUESTREO EN LA PILA

Tabla 1. . Prueba ANOVA para la temperatura en función a la altura de muestreo.

	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	581,310	2	290,655	2,112	,123
Dentro de grupos	44183,901	321	137,645		
Total	44765,212	323			

ANEXO 5

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES DEL COMPOST FINAL DE LOS TRATAMIENTOS RESPECTO A LA ALTURA DE MUESTREO EN LA PILA

Tabla 1. Prueba ANOVA del compost final en función de la altura de muestreo

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
% CO	Entre grupos	6,745	2	3,373	,126	,882
	Dentro de grupos	643,089	24	26,795		
	Total	649,835	26			
% N	Entre grupos	,001	2	,001	,023	,977
	Dentro de grupos	,716	24	,030		
	Total	,718	26			
C/N	Entre grupos	6,757	2	3,379	,067	,936
	Dentro de grupos	1216,018	24	50,667		
	Total	1222,775	26			
Densidad (g/cm ³)	Entre grupos	,002	2	,001	,049	,952
	Dentro de grupos	,383	24	,016		
	Total	,385	26			
pH	Entre grupos	,006	2	,003	,105	,900
	Dentro de grupos	,696	24	,029		
	Total	,702	26			
CE (mS/cm)	Entre grupos	,014	2	,007	,001	,999
	Dentro de grupos	124,356	24	5,181		
	Total	124,370	26			
% CRH	Entre grupos	36,429	2	18,215	,009	,991
	Dentro de grupos	49839,334	24	2076,639		
	Total	49875,764	26			
% Hh	Entre grupos	,234	2	,117	,064	,938
	Dentro de grupos	43,552	24	1,815		
	Total	43,786	26			
% Cenizas	Entre grupos	9,706	2	4,853	,101	,904
	Dentro de grupos	1152,856	24	48,036		
	Total	1162,562	26			
% PV	Entre grupos	9,706	2	4,853	,101	,904
	Dentro de grupos	1152,856	24	48,036		
	Total	1162,562	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función de la altura de muestreo

% MO	Entre grupos	22,370	2	11,185	,103	,902
	Dentro de grupos	2594,472	24	108,103		
	Total	2616,841	26			
% (CO ₃)	Entre grupos	,602	2	,301	,313	,734
	Dentro de grupos	23,107	24	,963		
	Total	23,709	26			
CIC (meq/100g)	Entre grupos	1,083	2	,541	,046	,955
	Dentro de grupos	279,525	24	11,647		
	Total	280,607	26			
% RIA	Entre grupos	1,082	2	,541	,447	,645
	Dentro de grupos	29,017	24	1,209		
	Total	30,099	26			
% S	Entre grupos	,000	2	,000	,020	,980
	Dentro de grupos	,191	24	,008		
	Total	,191	26			
% P T (P ₂ O ₅)	Entre grupos	,004	2	,002	,556	,581
	Dentro de grupos	,082	24	,003		
	Total	,086	26			
% P D (P ₂ O ₅)	Entre grupos	,002	2	,001	,064	,938
	Dentro de grupos	,365	24	,015		
	Total	,367	26			
% K T (K ₂ O)	Entre grupos	,000	2	,000	,000	1,000
	Dentro de grupos	,366	24	,015		
	Total	,366	26			
% Na T	Entre grupos	,000	2	,000	,099	,906
	Dentro de grupos	,012	24	,000		
	Total	,012	26			
% CaT (CaO)	Entre grupos	,189	2	,094	,014	,986
	Dentro de grupos	160,930	24	6,705		
	Total	161,119	26			
% Mg T (MgO)	Entre grupos	,000	2	,000	,004	,996
	Dentro de grupos	,932	24	,039		
	Total	,932	26			
% K D (K ₂ O)	Entre grupos	,000	2	,000	,044	,957
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función de la altura de muestreo

% Na D (Na)	Entre grupos	,000	2	,000	,001	,999
	Dentro de grupos	,014	24	,001		
	Total	,014	26			
% Ca D (CaO)	Entre grupos	,000	2	,000	,085	,919
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Mg D (MgO)	Entre grupos	,000	2	,000	,085	,919
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Fe	Entre grupos	,020	2	,010	,179	,837
	Dentro de grupos	1,324	24	,055		
	Total	1,343	26			
% Mn	Entre grupos	,000	2	,000	,064	,938
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Cu	Entre grupos	,000	2	,000	,184	,833
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Zn	Entre grupos	,000	2	,000	,004	,996
	Dentro de grupos	,001	24	,000		
	Total	,001	26			
Pb (mg/Kg)	Entre grupos	249,364	2	124,682	,872	,431
	Dentro de grupos	3430,735	24	142,947		
	Total	3680,099	26			

ANEXO 6

RESULTADOS DE ANALISIS ESTADISTICO DE LAS PROPIEDADES DEL COMPOST FINAL RESPECTO AL TRATAMIENTO

Tabla 1. ANOVA del compost final en función del tratamiento (T1, T2, T3)

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
% CO	Entre grupos	591,036	2	295,518	120,622	,000
	Dentro de grupos	58,799	24	2,450		
	Total	649,835	26			
% N	Entre grupos	,676	2	,338	192,400	,000
	Dentro de grupos	,042	24	,002		
	Total	,718	26			
C/N	Entre grupos	1172,367	2	586,184	279,092	,000
	Dentro de grupos	50,408	24	2,100		
	Total	1222,775	26			
Densidad (g/cm ³)	Entre grupos	,379	2	,190	810,397	,000
	Dentro de grupos	,006	24	,000		
	Total	,385	26			
pH	Entre grupos	,669	2	,335	242,287	,000
	Dentro de grupos	,033	24	,001		
	Total	,702	26			
CE (mS/cm)	Entre grupos	123,013	2	61,507	1087,969	,000
	Dentro de grupos	1,357	24	,057		
	Total	124,370	26			
% CRH	Entre grupos	49718,294	2	24859,147	3788,786	,000
	Dentro de grupos	157,470	24	6,561		
	Total	49875,764	26			
% Hh	Entre grupos	38,396	2	19,198	85,483	,000
	Dentro de grupos	5,390	24	,225		
	Total	43,786	26			
% Cenizas	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			
% PV	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función del tratamiento (T1, T2, T3)

% MO	Entre grupos	2373,617	2	1186,808	117,108	,000
	Dentro de grupos	243,224	24	10,134		
	Total	2616,841	26			
% (CO ₃)	Entre grupos	20,720	2	10,360	83,196	,000
	Dentro de grupos	2,989	24	,125		
	Total	23,709	26			
CIC (meq/100g)	Entre grupos	223,868	2	111,934	47,347	,000
	Dentro de grupos	56,739	24	2,364		
	Total	280,607	26			
% RIA	Entre grupos	16,036	2	8,018	13,683	,000
	Dentro de grupos	14,063	24	,586		
	Total	30,099	26			
% S	Entre grupos	,191	2	,095	3175,307	,000
	Dentro de grupos	,001	24	,000		
	Total	,191	26			
% PT (P ₂ O ₅)	Entre grupos	,067	2	,033	41,558	,000
	Dentro de grupos	,019	24	,001		
	Total	,086	26			
% PD (P ₂ O ₅)	Entre grupos	,359	2	,180	599,257	,000
	Dentro de grupos	,007	24	,000		
	Total	,367	26			
% KT (K ₂ O)	Entre grupos	,357	2	,179	454,635	,000
	Dentro de grupos	,009	24	,000		
	Total	,366	26			
% NaT (Na)	Entre grupos	,012	2	,006	314,783	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,012	26			
% CaT (CaO)	Entre grupos	159,679	2	79,840	1330,680	,000
	Dentro de grupos	1,440	24	,060		
	Total	161,119	26			
% MgT (MgO)	Entre grupos	,920	2	,460	893,474	,000
	Dentro de grupos	,012	24	,001		
	Total	,932	26			
% KD (K ₂ O)	Entre grupos	,000	2	,000	385,544	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función del tratamiento (T1, T2, T3)

% NaD (Na)	Entre grupos	,014	2	,007	1334,704	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,014	26			
% Ca D (CaO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,798	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% MgD (MgO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,795	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Fe	Entre grupos	1,236	2	,618	137,900	,000
	Dentro de grupos	,108	24	,004		
	Total	1,343	26			
% Mn	Entre grupos	,000	2	,000	85,483	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Cu	Entre grupos	,000	2	,000	225,080	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Zn	Entre grupos	,001	2	,000	343,351	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,001	26			
Pb (mg/Kg)	Entre grupos	3239,903	2	1619,951	88,322	,000
	Dentro de grupos	440,196	24	18,341		
	Total	3680,099	26			

Tabla 2. Prueba Tukey para CO (%CO)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	9	12,3707		
T2	9		16,0282	
T1	9			23,6055
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 3. Prueba Tukey para N (%N)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,9278		
T3	9		1,1519	
T2	9			1,3136
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 4. Prueba Tukey para C/N

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	10,7459	
T2	9	12,2401	
T1	9		25,4113
Sig.		,094	1,000

Tabla 5. Prueba Tukey para la Densidad (g/cm³)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,4377		
T3	9		,6753	
T2	9			,7008
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 6. Prueba Tukey para pH

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	8,3083		
T2	9		8,4050	
T3	9			8,6800
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 7. Prueba Tukey para CE (mS/cm)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	2,5383		
T2	9		5,4050	
T3	9			7,7583
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 8. Prueba Tukey para CRH (%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	116,2471	
T2	9	116,9843	
T1	9		207,6431
Sig.		,816	1,000

Tabla 9. Prueba Tukey para Hh (%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	9	4,8428	
T1	9		7,2678
T3	9		7,4656
Sig.		1,000	,654

Tabla 10. Prueba Tukey para Cenizas (%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	9	39,0161	
T2	9		52,3320
T3	9		53,2019
Sig.		1,000	,184

Tabla 11. Prueba Tukey para PV(%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	46,7981	
T2	9	47,6680	
T1	9		60,9839
Sig.		,184	1,000

Tabla 12. Prueba Tukey para MO (%MO)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	9	24,7415		
T2	9		31,8598	
T1	9			47,2110
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 13. Prueba Tukey para CO₃⁼ (%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	3,7756		
T2	9		4,5693	
T3	9			5,8990
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 14. Prueba Tukey para CIC (meq/100g)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	50,8846		
T3	9		55,5427	
T2	9			57,8004
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 15. Prueba Tukey para RIA (%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	25,0223	
T2	9	25,4172	
T1	9		26,8184
Sig.		,527	1,000

Tabla 16. Prueba Tukey para Azufre (%)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,1708		
T2	9		,3212	
T3	9			,3677
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 17. Prueba Tukey para PT (%P₂O₅)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	1,6190	
T2	9		1,7233
T1	9		1,7259
Sig.		1,000	,979

Tabla 18. Prueba Tukey para PD (%P₂O₅)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,2247		
T2	9		,3517	
T3	9			,5069
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 19. Prueba Tukey para KT(%K₂O)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	1,8541		
T2	9		2,0352	
T3	9			2,1315
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 20. Prueba Tukey para NaT(%Na)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0625		
T2	9		,0882	
T3	9			,1131
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 21. Prueba Tukey para CaT (%CaO)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	2,6250		
T2	9		7,0956	
T3	9			8,2696
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 22. Prueba Tukey para MgT (%MgO)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,4238		
T2	9		,7085	
T3	9			,8704
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 23. Prueba Tukey para KD (%K₂O)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0007		
T2	9		,0010	
T3	9			,0014
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 24. Prueba Tukey para NaD (%Na)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0229		
T2	9		,0620	
T3	9			,0770
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 25. Prueba Tukey para CaD (%CaO)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0000		
T2	9		,0000	
T3	9			,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 26. Prueba Tukey para MgD (%MgO)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0000		
T2	9		,0000	
T3	9			,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 27. Prueba Tukey para %F

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	1,5846		
T2	9		1,9670	
T3	9			2,0862
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 28. Prueba Tukey para %Mn

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T2	9	,00048	
T1	9		,00073
T3	9		,00075
Sig.		1,000	,654

Tabla 29. Prueba Tukey para %Cu

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,000779		
T2	9		,002466	
T3	9			,003410
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 30. Prueba Tukey para %Zn

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0132		
T2	9		,0215	
T3	9			,0236
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 31. Prueba Tukey para Pb (mg/kg)

Tratamiento	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T1	9	9,5874	
T2	9		32,4708
T3	9		33,1636
Sig.		1,000	,937

ANEXO 7

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES DEL COMPOST FINAL DE LOS TRATAMIENTOS RESPECTO A LA CANTIDAD DE ASERRÍN RELACIONADO

Tabla 1. ANOVA del compost final en función del aserrín

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
%CO	Entre grupos	591,036	2	295,518	120,622	,000
	Dentro de grupos	58,799	24	2,450		
	Total	649,835	26			
%N	Entre grupos	,676	2	,338	192,400	,000
	Dentro de grupos	,042	24	,002		
	Total	,718	26			
C/N	Entre grupos	1172,367	2	586,184	279,092	,000
	Dentro de grupos	50,408	24	2,100		
	Total	1222,775	26			
Densidad (g/cm ³)	Entre grupos	,379	2	,190	810,397	,000
	Dentro de grupos	,006	24	,000		
	Total	,385	26			
pH	Entre grupos	,669	2	,335	242,287	,000
	Dentro de grupos	,033	24	,001		
	Total	,702	26			
CE (mS/cm)	Entre grupos	123,013	2	61,507	1087,969	,000
	Dentro de grupos	1,357	24	,057		
	Total	124,370	26			
% CRH	Entre grupos	49718,294	2	24859,147	3788,786	,000
	Dentro de grupos	157,470	24	6,561		
	Total	49875,764	26			
% Hh	Entre grupos	38,396	2	19,198	85,483	,000
	Dentro de grupos	5,390	24	,225		
	Total	43,786	26			
% Cenizas	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			
% PV	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función del aserrín

% MO	Entre grupos	2373,617	2	1186,808	117,108	,000
	Dentro de grupos	243,224	24	10,134		
	Total	2616,841	26			
Carbonatos (CO ₃ ⁼)	Entre grupos	20,720	2	10,360	83,196	,000
	Dentro de grupos	2,989	24	,125		
	Total	23,709	26			
CIC (meq/100g)	Entre grupos	223,868	2	111,934	47,347	,000
	Dentro de grupos	56,739	24	2,364		
	Total	280,607	26			
% RIA	Entre grupos	16,036	2	8,018	13,683	,000
	Dentro de grupos	14,063	24	,586		
	Total	30,099	26			
% Azufre	Entre grupos	,191	2	,095	3175,307	,000
	Dentro de grupos	,001	24	,000		
	Total	,191	26			
% PT (P ₂ O ₅)	Entre grupos	,067	2	,033	41,558	,000
	Dentro de grupos	,019	24	,001		
	Total	,086	26			
% PD (P ₂ O ₅)	Entre grupos	,359	2	,180	599,257	,000
	Dentro de grupos	,007	24	,000		
	Total	,367	26			
% KT (K ₂ O)	Entre grupos	,357	2	,179	454,635	,000
	Dentro de grupos	,009	24	,000		
	Total	,366	26			
% NaT (Na)	Entre grupos	,012	2	,006	314,783	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,012	26			
% CaTI (CaO)	Entre grupos	159,679	2	79,840	1330,680	,000
	Dentro de grupos	1,440	24	,060		
	Total	161,119	26			
% MgT (MgO)	Entre grupos	,920	2	,460	893,474	,000
	Dentro de grupos	,012	24	,001		
	Total	,932	26			
% KD (K ₂ O)	Entre grupos	,000	2	,000	385,544	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función del aserrín

% NaD (Na)	Entre grupos	,014	2	,007	1334,704	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,014	26			
% CaD (CaO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,798	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% MgD (MgO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,795	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Fe	Entre grupos	1,236	2	,618	137,900	,000
	Dentro de grupos	,108	24	,004		
	Total	1,343	26			
% Mn	Entre grupos	,000	2	,000	85,483	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Cu	Entre grupos	,000	2	,000	225,080	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Zn	Entre grupos	,001	2	,000	343,351	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,001	26			
Pb (mg/Kg)	Entre grupos	3239,903	2	1619,951	88,322	,000
	Dentro de grupos	440,196	24	18,341		
	Total	3680,099	26			

Tabla 2. Prueba Tukey para CO (%CO)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T3	9	12,3707			
T2	9		16,0282		
T1	9			23,6055	
Sig.		1,000	1,000	1,000	

Tabla 3. Prueba Tukey para N(%)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	,9278			
T3	9		1,1519		
T2	9			1,3136	
Sig.		1,000	1,000	1,000	

Tabla 4. Prueba Tukey para relación C/N

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T3	9	9	10,7459	
T2	9	9	12,2401	
T1	9	9		25,4113
Sig.			,094	1,000

Tabla 5. Prueba Tukey para la Densidad (g/cm³)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	,4377		
T3	9	9		,6753	
T2	9	9			,7008
Sig.			1,000	1,000	1,000

Tabla 6. Prueba Tukey para pH

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	8,3083		
T2	9	9		8,4050	
T3	9	9			8,6800
Sig.			1,000	1,000	1,000

Tabla 7. Prueba Tukey para CE (mS/cm)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	2,5383		
T2	9	9		5,4050	
T3	9	9			7,7583
Sig.			1,000	1,000	1,000

8. Prueba Tukey para CRH (%)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T3	9	9	116,2471	
T2	9	9	116,9843	
T1	9	9		207,6431
Sig.			,816	1,000

Tabla 9. Prueba Tukey para Hh (%)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T2	9	9	4,8428	
T1	9	9		7,2678
T3	9	9		7,4656
Sig.			1,000	,654

Tabla 10. Prueba Tukey para cenizas (%)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T1	9	9	39,0161	
T2	9	9		52,3320
T3	9	9		53,2019
Sig.			1,000	,184

Tabla 11. Prueba Tukey para PV (%)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T3	9	9	46,7981	
T2	9	9	47,6680	
T1	9	9		60,9839
Sig.			,184	1,000

Tabla 12. Prueba Tukey para MO (%MO)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T3	9	24,7415		
T2	9		31,8598	
T1	9			47,2110
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 13. Prueba Tukey para carbonatos (%CO₃⁼)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	3,7756		
T2	9		4,5693	
T3	9			5,8990
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 14. Prueba Tukey para CIC (meq/100g)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	50,8846		
T3	9		55,5427	
T2	9			57,8004
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 15. Prueba Tukey para RIA (%)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	25,0223	
T2	9	25,4172	
T1	9		26,8184
Sig.		,527	1,000

Tabla 16. Prueba Tukey para Azufre (%)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,1708		
T2	9		,3212	
T3	9			,3677
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 17. Prueba Tukey para PT (%P₂O₅)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
T3	9	1,6190	
T2	9		1,7233
T1	9		1,7259
Sig.		1,000	,979

Tabla 18. Prueba Tukey para PD (%P₂O₅)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,2247		
T2	9		,3517	
T3	9			,5069
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 19. Prueba Tukey para KT(%K₂O)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	1,8542		
T2	9		2,0352	
T3	9			2,1315
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 20. Prueba Tukey para NaT (%Na)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0625		
T2	9		,0882	
T3	9			,1131
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 21. Prueba Tukey para CaT (%CaO)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	2,6250		
T2	9		7,0956	
T3	9			8,2696
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 22. Prueba Tukey para MgT (%MgO)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,4238		
T2	9		,7085	
T3	9			,8704
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 23. Prueba Tukey para KD (%K₂O)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0007		
T2	9		,0010	
T3	9			,0014
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 24. Prueba Tukey para NaD (%Na)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0229		
T2	9		,0620	
T3	9			,0770
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 25. Prueba Tukey para CaD (%CaO)

Aserrín: Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
		1	2	3
T1	9	,0000		
T2	9		,0000	
T3	9			,0000
Sig.		1,000	1,000	1,000

Tabla 26. Prueba Tukey para MgD (%MgO)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	,0000		
T2	9	9		,0000	
T3	9	9			,0000
Sig.			1,000	1,000	1,000

Tabla 27. Prueba Tukey para %Fe

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	1,5846		
T2	9	9		1,9670	
T3	9	9			2,0862
Sig.			1,000	1,000	1,000

Tabla 28. Prueba Tukey para %Mn

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T2	9	9	,0005	
T1	9	9		,0007
T3	9	9		,0007
Sig.			1,000	,654

Tabla 29. Prueba Tukey para %Cu

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	,0008		
T2	9	9		,0025	
T3	9	9			,0034
Sig.			1,000	1,000	1,000

Tabla 30. Prueba Tukey para %Zn

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05		
			1	2	3
T1	9	9	,0132		
T2	9	9		,0215	
T3	9	9			,0236
Sig.			1,000	1,000	1,000

Tabla 31. Prueba Tukey para Pb (mg/Kg)

Aserrín:	Relación en volumen	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
			1	2
T1	9	9	9,5874	
T2	9	9		32,4708
T3	9	9		33,1636
Sig.			1,000	,937

ANEXO 8

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES DEL COMPOST FINAL DE LOS TRATAMIENTOS RESPECTO A LA CANTIDAD DE CAL

Tabla 1. ANOVA del compost final en función de la cantidad de cal adicionada

		Suma de		Media		
		cuadrados	gl	cuadrática	F	Sig.
CO (%)	Entre grupos	591,036	2	295,518	120,622	,000
	Dentro de grupos	58,799	24	2,450		
	Total	649,835	26			
N (%)	Entre grupos	,676	2	,338	192,400	,000
	Dentro de grupos	,042	24	,002		
	Total	,718	26			
C/N	Entre grupos	1172,367	2	586,184	279,092	,000
	Dentro de grupos	50,408	24	2,100		
	Total	1222,775	26			
Densidad (g/cm ³)	Entre grupos	,379	2	,190	810,397	,000
	Dentro de grupos	,006	24	,000		
	Total	,385	26			
pH	Entre grupos	,669	2	,335	242,287	,000
	Dentro de grupos	,033	24	,001		
	Total	,702	26			
CE (mS/cm)	Entre grupos	123,013	2	61,507	1087,969	,000
	Dentro de grupos	1,357	24	,057		
	Total	124,370	26			
CRH (%)	Entre grupos	49718,294	2	24859,147	3788,786	,000
	Dentro de grupos	157,470	24	6,561		
	Total	49875,764	26			
Hh (%)	Entre grupos	38,396	2	19,198	85,483	,000
	Dentro de grupos	5,390	24	,225		
	Total	43,786	26			
Cenizas (%)	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			
PV (%)	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función de cantidad de cal adicionada

MO (%)	Entre grupos	2373,617	2	1186,808	117,108	,000
	Dentro de grupos	243,224	24	10,134		
	Total	2616,841	26			
Carbonatos (%CO ₃ ⁼)	Entre grupos	20,720	2	10,360	83,196	,000
	Dentro de grupos	2,989	24	,125		
	Total	23,709	26			
CIC (meq/100g)	Entre grupos	223,868	2	111,934	47,347	,000
	Dentro de grupos	56,739	24	2,364		
	Total	280,607	26			
RIA (%)	Entre grupos	16,036	2	8,018	13,683	,000
	Dentro de grupos	14,063	24	,586		
	Total	30,099	26			
% Azufre	Entre grupos	,191	2	,095	3175,307	,000
	Dentro de grupos	,001	24	,000		
	Total	,191	26			
PT (%P ₂ O ₅)	Entre grupos	,067	2	,033	41,558	,000
	Dentro de grupos	,019	24	,001		
	Total	,086	26			
PD (%P ₂ O ₅)	Entre grupos	,359	2	,180	599,257	,000
	Dentro de grupos	,007	24	,000		
	Total	,367	26			
KT (%K ₂ O)	Entre grupos	,357	2	,179	454,635	,000
	Dentro de grupos	,009	24	,000		
	Total	,366	26			
NaT (%Na)	Entre grupos	,012	2	,006	314,783	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,012	26			
CaT (%CaO)	Entre grupos	159,679	2	79,840	1330,680	,000
	Dentro de grupos	1,440	24	,060		
	Total	161,119	26			
MgT (%MgO)	Entre grupos	,920	2	,460	893,474	,000
	Dentro de grupos	,012	24	,001		
	Total	,932	26			
KD (%K ₂ O)	Entre grupos	,000	2	,000	385,544	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función de cantidad de cal adicionada

NaD (%Na)	Entre grupos	,014	2	,007	1334,704	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,014	26			
CaD (%CaO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,798	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
MgD (%MgO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,795	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Fe	Entre grupos	1,236	2	,618	137,900	,000
	Dentro de grupos	,108	24	,004		
	Total	1,343	26			
% Mn	Entre grupos	,000	2	,000	85,483	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Cu	Entre grupos	,000	2	,000	225,080	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Zn	Entre grupos	,001	2	,000	343,351	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,001	26			
Plomo (mg/Kg)	Entre grupos	3239,903	2	1619,951	88,322	,000
	Dentro de grupos	440,196	24	18,341		
	Total	3680,099	26			

ANEXO 9

RESULTADOS DE ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS PROPIEDADES DEL COMPOST FINAL DE LOS TRATAMIENTOS RESPECTO A LA AIREACIÓN

Tabla 1. ANOVA del compost final en función de la aireación

		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
CO (%)	Entre grupos	591,036	2	295,518	120,622	,000
	Dentro de grupos	58,799	24	2,450		
	Total	649,835	26			
N (%)	Entre grupos	,676	2	,338	192,400	,000
	Dentro de grupos	,042	24	,002		
	Total	,718	26			
C/N	Entre grupos	1172,367	2	586,184	279,092	,000
	Dentro de grupos	50,408	24	2,100		
	Total	1222,775	26			
Densidad (g/cm ³)	Entre grupos	,379	2	,190	810,397	,000
	Dentro de grupos	,006	24	,000		
	Total	,385	26			
pH	Entre grupos	,669	2	,335	242,287	,000
	Dentro de grupos	,033	24	,001		
	Total	,702	26			
CE (mS/cm)	Entre grupos	123,013	2	61,507	1087,969	,000
	Dentro de grupos	1,357	24	,057		
	Total	124,370	26			
CRH (%)	Entre grupos	49718,294	2	24859,147	3788,786	,000
	Dentro de grupos	157,470	24	6,561		
	Total	49875,764	26			
Hh (%)	Entre grupos	38,396	2	19,198	85,483	,000
	Dentro de grupos	5,390	24	,225		
	Total	43,786	26			
Cenizas (%)	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			
PV (%)	Entre grupos	1137,930	2	568,965	554,364	,000
	Dentro de grupos	24,632	24	1,026		
	Total	1162,562	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función de la aireación

MO (%)	Entre grupos	2373,617	2	1186,808	117,108	,000
	Dentro de grupos	243,224	24	10,134		
	Total	2616,841	26			
Carbonatos (%CO ₃)	Entre grupos	20,720	2	10,360	83,196	,000
	Dentro de grupos	2,989	24	,125		
	Total	23,709	26			
CIC (meq/100g)	Entre grupos	223,868	2	111,934	47,347	,000
	Dentro de grupos	56,739	24	2,364		
	Total	280,607	26			
RIA (%)	Entre grupos	16,036	2	8,018	13,683	,000
	Dentro de grupos	14,063	24	,586		
	Total	30,099	26			
Azufre (%)	Entre grupos	,191	2	,095	3175,307	,000
	Dentro de grupos	,001	24	,000		
	Total	,191	26			
PT (%P ₂ O ₅)	Entre grupos	,067	2	,033	41,558	,000
	Dentro de grupos	,019	24	,001		
	Total	,086	26			
PD (%P ₂ O ₅)	Entre grupos	,359	2	,180	599,257	,000
	Dentro de grupos	,007	24	,000		
	Total	,367	26			
KT (%K ₂ O)	Entre grupos	,357	2	,179	454,635	,000
	Dentro de grupos	,009	24	,000		
	Total	,366	26			
NaT (%Na)	Entre grupos	,012	2	,006	314,783	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,012	26			
CaT (%CaO)	Entre grupos	159,679	2	79,840	1330,680	,000
	Dentro de grupos	1,440	24	,060		
	Total	161,119	26			
MgT (%MgO)	Entre grupos	,920	2	,460	893,474	,000
	Dentro de grupos	,012	24	,001		
	Total	,932	26			
KD (%K ₂ O)	Entre grupos	,000	2	,000	385,544	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			

Continuación tabla 1. ANOVA del compost final en función de la aireación

NaD (%Na)	Entre grupos	,014	2	,007	1334,704	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,014	26			
CaD (%CaO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,798	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
MgD (%MgO)	Entre grupos	,000	2	,000	252,795	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Fe	Entre grupos	1,236	2	,618	137,900	,000
	Dentro de grupos	,108	24	,004		
	Total	1,343	26			
% Mn	Entre grupos	,000	2	,000	85,483	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Cu	Entre grupos	,000	2	,000	225,080	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,000	26			
% Zn	Entre grupos	,001	2	,000	343,351	,000
	Dentro de grupos	,000	24	,000		
	Total	,001	26			
Pb (mg/Kg)	Entre grupos	3239,903	2	1619,951	88,322	,000
	Dentro de grupos	440,196	24	18,341		
	Total	3680,099	26			