

**EVALUACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL COMPOST DE RESIDUOS
AGRÍCOLAS PRODUCIDO POR EL CENTRO DE BIOSISTEMAS DE LA
UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ JORGE TADEO LOZANO**

Juanita Rubio Robledo

*Estudiante de Biología Ambiental, Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Facultad
de Ciencias Naturales e Ingeniería, Departamento de Ciencias Biológicas y Ambientales*

Pregunta de investigación.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Justificación	3
Introducción	4
Marco teórico.....	5
• Características físico-químicas del compost	5
Relación C/N.....	5
pH.....	5
Tamaño de las partículas	6
Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)	6
Contenido de humedad	6
Cámaras de aire y aireación	6
Temperatura	7
Tamaño de la pila	8
Control de moscas y olores	8
Actividad metabólica.....	8
• Implicaciones de un compost inmaduro.....	9
• Norma técnica.....	10
Estado del arte	10
Materiales y métodos	11
Área de estudio	11
Diseño experimental	11
Análisis fisicoquímicos.	12
Resultados	14
Análisis y discusión.....	19

• Análisis fisicoquímicos.....	19
• Análisis microbiológicos.....	21
Conclusiones	21
Bibliografía	22

Pregunta de investigación

¿El compost producido por el Centro de Biosistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano cumple con los criterios de calidad establecidos en la norma técnica NTC 6157 para un compost maduro?

Objetivo general

Evaluar la madurez y estabilidad del compost producido por el Centro de Biosistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano a partir de los residuos orgánicos que genera de sus actividades agrícolas.

Objetivos específicos

Caracterizar fisicoquímicamente el compost de diferentes lotes de producción.

Evaluar la presencia de patógenos microbiológicos el compost de diferentes lotes de producción.

Estimar la actividad microbiana como posible indicador de madurez en las diferentes fases del proceso del compost.

Comparar los parámetros de caracterización del compost en estudio frente a los requisitos establecidos en la NTC 5167:2022 para abonos o fertilizantes orgánicos sólidos.

Problema de investigación

El Centro de Biosistemas (CBios) de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano aprovecha los residuos de materia orgánica provenientes de los cultivos de hortalizas, flores, frutas y de la poda de césped y arbustos para la elaboración del compost.

Con la intención de verificar el proceso de compostaje se realizó una visita técnica que evidenció que hasta el momento no se cumple con un protocolo estándar: no se lleva un control de temperaturas, no hay conocimiento preciso de los residuos que se incorporan al proceso y en algunos casos se añaden residuos que ya comenzaron una fase de pudrición.

Los residuos se acumulan hasta que hay suficientes y se disponen para el compostaje en cubículos 2,5m de ancho por 5m de largo y 1,8m de alto aproximadamente. Se realiza una aireación manual por mezcla una vez cada mes y medio pasando el material compostado de

una cabina a otra hasta que se cumple un tiempo de maduración de 4 meses. El compost producido es tamizado para su uso y comercialización.

A los 4 meses tiene el aspecto típico de un compost “maduro”, un sustrato oscuro, desagregado, con una humedad del 50% aproximadamente y un olor característico a tierra húmeda. Sin embargo, el producto final carece de criterios técnicos estandarizados para establecer la madurez del compost.

En Colombia la norma técnica que determina las especificaciones y requisitos para la producción y uso del compost es la NTC 5167:2022. La norma establece las especificaciones físicas, químicas y biológicas que deben cumplir los productos de compost para garantizar su calidad y seguridad en su uso como fertilizante orgánico en diferentes aplicaciones, como la agricultura, la jardinería y la restauración de suelos.

Teniendo en cuenta que la elaboración del compost en el (CBios) se realiza bajo condiciones no estandarizadas, se propone realizar una evaluación del proceso y caracterizar el compost a lo largo de sus fases de maduración con el fin de determinar si este cumple con las características de un compost maduro, así como con la NTC 5167 y proponer alternativas y mejoras para optimizar la producción del compost.

Justificación

El compostaje es una práctica integral que permite la gestión de residuos agrícolas por medio del reciclaje y el uso del compost como fertilizante y enmienda que al mezclarse con el suelo le confiere a este una mejora de su estructura y características fisicoquímicas como la porosidad (Scotti et al., 2013), la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y las actividades biológicas ya que influye directamente en la microflora del suelo y por competencia tiende a suprimir muchas enfermedades patógenas (Szczech y Smolińska, 2001; Borrero et al., 2004).

La madurez del compost es esencial para su uso óptimo como enmienda para el suelo y como fuente de nutrientes; un compost inmaduro presenta problemas de malos olores, posibilidad de prenderse en fuego durante su almacenamiento, así como problemas fitosanitarios que incluyen la presencia de moscas y larvas y una vez en uso, puede inmovilizar nutrientes determinantes para el crecimiento de las plantas (Mathur et al., 1993). La evaluación de la estabilidad, es decir la madurez del compost, ha sido ampliamente reconocida como uno de los principales problemas en el uso y la aplicación de compost en la agricultura, especialmente la agricultura intensiva pues puede afectar de forma directa la productividad del cultivo (Antil et al., 2014; Mathur, 1991).

El uso de compost permite gestionar los residuos orgánicos (Pérez-Piqueres et al., 2006) ya que los reduce por medio de su degradación y se reciclan elementos nutritivos para los cultivos contribuyendo al mantenimiento de un suelo saludable al que se le aplica (Borrero et al., 2004) al aumentar el contenido de Carbono orgánico y la actividad microbiana (Scotti et al., 2015), ofreciendo una mayor concentración de nutrientes para las plantas como

Nitrogeno, Fósforo, Potasio y Magnesio, mejorando la porosidad del suelo y el aumento de agua disponible para las plantas (Scotti et al., 2013).

La producción de compostaje de forma tecnificada y estandarizada en el (CBios) podría ser un proceso eficiente, rentable y ambientalmente seguro para el reciclaje de residuos agrícolas, así como el uso de un compost caracterizado y que cumpla con la NTC ya mencionada, puede asegurar y proporcionar a los agricultores un abono de calidad para la mejora de la de la estructura y microbiota del suelo.

Introducción

El compostaje es un proceso que replica de forma acelerada los procesos de mineralización y humificación del suelo que realizan los microorganismos y los resultados de la oxidación del carbono, los metabolitos secundarios y su biomasa son condensados y polimerizados con presencia de radicales libres en un sustrato llamado compost formado por humus (Mathur,1998). No solamente es un proceso que permite reducir la contaminación, el vertido de desechos y limitar las emisiones de gases de efecto invernadero (Antil et al., 2014), sino también mejora la calidad del suelo, al ser mezclado como enmienda proporcionando sostenibilidad en la agricultura, permitiendo la disminución en el uso, la frecuencia y las cantidades de insumos químicos inorgánicos y del aumento de los niveles de materia orgánica del suelo. Sin embargo, para lograrlo de manera eficiente es necesaria la aplicación de compostaje de buena calidad (Scotti et al., 2015).

Todos los residuos biodegradables pueden ser compostado lo que permite una amplia gama de posibilidades, así como resultados de compost, es importante tener en cuenta que un compost de buena calidad debe ser inocuo y con características fisicoquímicas específicas en cuanto a la humedad, la capacidad de intercambio catiónico, pH, relación C:N, entre otras, para que mejore los suelos y nutra las plantas, es decir, debe ser maduro y estable (Mathur, 1991).

El uso de compost como abono para los cultivos tiene un gran potencial y en Colombia existe una norma técnica que proporciona los requisitos y parámetros de calidad para que su uso sea seguro y beneficioso para el suelo. La NTC 5167: 2022, establece los requisitos y parámetros que deben medirse y controlarse durante el proceso de compostaje, el cumplimiento de esta norma asegura que el compost no contenga contaminantes, como metales pesados, patógenos, pesticidas y herbicidas, que puedan ser dañinos para la salud humana o el medio ambiente. Además, el cumplimiento de la norma garantiza que el compost tenga una composición adecuada en términos de nutrientes, pH y densidad, lo que garantiza que el producto final sea efectivo como fertilizante.

Se propone realizar una evaluación del compost que se produce, usa y comercializa en el Centro de Biosistemas de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano con el fin de caracterizar el producto, determinar si este es estable y maduro comparándolo con la literatura y los requisitos establecidos en la NTC 5167:2022 (Anexo 1) para abonos o fertilizantes orgánicos sólidos.

Marco teórico

El compostaje es el proceso controlado de conversión de residuos orgánicos a un producto higienizado y relativamente bioestable, el cual contribuye con la salud del suelo y fertiliza las plantas cultivadas. Simula de forma acelerada los procesos de mineralización y humificación del suelo que realizan los microorganismos y los resultados de la oxidación del carbono, los metabolitos secundarios y su biomasa son condensados y polimerizados con presencia de radicales libres en un sustrato llamado compost formado por humus (Mathur,1998).

Para obtener un compost optimo se debe tener en cuenta que las partículas y los agregados dentro de la mezcla formen una estructura estable que por capilaridad permita la retención de líquidos necesarios para el movimiento y flujo de microorganismos y agua, así como la presencia de aire para la respiración (Mathur, 1998).

- **Características fisicoquímicas del compost**

Relación C/N

Como en la naturaleza, en el compostaje no todos los átomos de Carbono y Nitrógeno están biodisponibles ni toda la masa se convierte en humus o biomasa microbiana, la asimilación y mantenimiento de cada átomo de C en la biomasa microbiana requiere la oxidación de alrededor de 2 átomos de C para obtener energía, Waksman (1938) estableció que los microorganismos usan en promedio 30 partes de carbono por cada parte de nitrógeno y Mathur (1998) reporta que un buen compost maduro presenta una relación de 30 a 40. La conservación del N en los residuos es uno de los objetivos del compostaje, si este no tiene una relación óptima puede resultar en un “abono” que roba a las plantas del cultivo el suministro de N del suelo. El compost contiene amonio, nitrato, compuestos amino y sustancias húmicas, por lo que proporciona N a distintas velocidades de descomposición (Mathur et al., 1990). El nitrato es susceptible a la lixiviación y la desnitrificación en condiciones anaeróbicas del suelo o de almacenamiento. El amoníaco, si está en exceso, puede limitar el crecimiento de las plantas (Mathur, 1998).

pH.

Lo ideal para una masa de compost es un pH que tienda a la neutralidad. Si el pH tiende a ser básico los microorganismos tendrán una pérdida osmótica de agua, el exceso de iones OH⁻ provocarán la pérdida de iones de amonio e hidrolizarán las sustancias biológicas esenciales que contienen elementos traza fundamentales como Cu y Zn, así mismo un pH ácido puede causar la pérdida de iones básicos esenciales como Ca y Mg (Mathur, 1998). Sin embargo, numerosas investigaciones demuestran que realmente el pH puede oscilar entre 4 y 9 puede depender de la materia orgánica inicial del proceso de compostaje y al estar estable durante un periodo prolongado indica la madurez (Wichuk y McCartney, 2008).

Tamaño de las partículas

El éxito del compostaje depende de la interacción entre los microorganismos, de la acción de las enzimas que producen y de la disponibilidad de oxígeno. Por ello entre más pequeñas sean las partículas que se añaden a la mezcla, más fácil es el contacto de los diferentes reactivos. Sin embargo, como en el suelo, tanto los microporos como los macroporos se necesitan entre las partículas para que el agua pueda ser retenida, el CO₂ producido y el aire necesario puedan moverse fácilmente. Por ello las partículas deben tener diferentes tamaños y se ha reportado que lo ideal es que sean de 5 cm en su mayor dimensión (Mathur, 1998).

Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

Los compuestos húmicos tienen una gran capacidad para adsorber iones con carga positiva, que luego se intercambian fácilmente con otros cationes en los mismos sitios de adsorción. y aumenta conforme la materia orgánica se humifica y se forman grupos funcionales carboxílicos y fenólicos (Mathur et al. 1993; Butler et al. 2001). Wichuk y McCartney, 2008 reunieron la información de diferentes estudios que concluían que la CIC puede depender considerablemente de la fuente de materia orgánica por lo que es importante tener en cuenta en el momento de utilizar esta variable como parámetro de madurez pues diferentes compost maduros oscilaron entre 24,7 a 86 cmol*kg⁻¹, pues no toda la MO es humus, y los iones complejantes como el cobre, hierro o aluminio y la mineralización pueden bloquear los sitios de intercambio catiónico, causando variaciones en las lecturas de CIC.

Contenido de humedad

La principal actividad microbiana se sitúa en la superficie de las partículas en una fina capa de agua. El agua es esencial para el desarrollo del metabolismo, así como para disolver y transportar los nutrientes y los sustratos que son disponibles solamente en solución. Una medida para cuantificar el agua del compost es la capacidad de retención de agua WHC (Water Holding Capacity), la WHC de un suelo en el que se aprovecha el máximo de capacidad microbiana es de 2/3 (70%), sin embargo, varios estudios en compost demostraron que depende de los materiales que compongan la mezcla y pueden variar del 45 al 90%. En el suelo y el compost cuando hay más agua hay menos aire y menos oxígeno disponible para el metabolismo (Smith, 1986).

Cámaras de aire y aireación

En el compostaje debe haber un mínimo del 30% de espacio libre ya que es importante mantener una condición redox adecuada para evitar la anaerobiosis en la mezcla de compost (Benito, 2003; López-Real y Foster, 1985). La aireación forzada es fundamental ya que siempre habrán clusters anaeróbicos en el sustrato y al momento de airear se van liberando los productos de la respiración anaerobia para ser oxidados o evaporados, lo que también asegura que no habrá malos olores. Es importante tener en cuenta el efecto chimenea, que consiste en una aireación pasiva a través de conductos como huecos en las

pilas que provee aire y ayuda al control de temperatura cuando esta sube más de 75°C (Mathur, 1998).

Temperatura

La temperatura es una variable fundamental durante el proceso del compostaje, y como el calor es generado por la actividad metabólica, la temperatura es un indicador del progreso del proceso. La retención y la generación continua de calor tienen una influencia de varias variables como son la temperatura ambiente, configuración y tamaño de la masa de compost, su propiedad aislante y la Naturaleza química de sus constituyentes (Mathur, 1998).

En los primeros 2 a 5 días de iniciado el proceso de compostaje se alcanza una temperatura de >40 °C, que inhibe a los organismos mesófilos (los que prefieren las temperaturas moderadas), se acumulan ácidos orgánicos que son los productos intermedios de su metabolismo. Por encima de los 40°C, los mesófilos mueren, excepto algunas esporas, y los termófilos comienzan a dominar la población y su actividad metabólica aumenta la temperatura por encima de los 60 °C que es letal para la mayoría de los hongos en el compost. Y a partir de esta temperatura se lleva a cabo la actividad de descomposición principalmente por actinomicetos como *Streptomyces* cuyas esporas son las responsables de generar el olor a tierra característico de un compost maduro. La temperatura no debe ser mayor a 70 °C pues los organismos y muchas exoenzimas se inactivan lo que hace que el proceso se detenga y se pueden generar incendios (Mathur, 1998; López-Real y Foster, 1985).

Los sustratos fácilmente disponibles, como almidones, azúcares, lípidos y proteínas, son el principal "combustible" en esta etapa hasta que la temperatura cae por debajo de los 60 °C para permitir que los hongos y los actinomicetos ataquen la celulosa, la hemicelulosa y la lignina. Mantener las altas temperaturas producto del metabolismo permite eliminar los microorganismos patógenos y los huevos de los parásitos anélidos y los insectos molestos. Aunque algunos patógenos pueden sobrevivir a altas temperaturas las dinámicas de competencia permiten que estos sean eliminados o sus poblaciones sean reducidas a niveles benignos (López-Real y Foster, 1985).

Las fases que se pueden distinguir en los procesos de compostaje según la temperatura (fig 1) son:

- a. Fase latente, que corresponde al tiempo necesario para que los microorganismos se aclimaten y colonicen en el nuevo ambiente en la compostera
- b. Fase de crecimiento, que se caracteriza por el aumento de la temperatura producida biológicamente hasta el nivel mesófilo.
- C. Fase termófila, en la que la temperatura sube al nivel más alto. Aquí se destruyen la mayor parte de los patógenos.

d. Fase de maduración, donde la temperatura vuelve al nivel mesófilo y luego, a nivel ambiente. Aquí se da una segunda fermentación que es lenta y favorece la humificación; es decir, la transformación de algunos compuestos orgánicos complejos en coloides húmicos estrechamente asociados a los minerales y finalmente al humus (Antil et al., 2014).

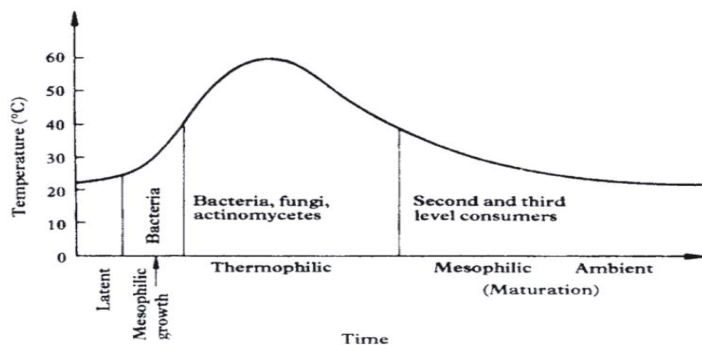


Figura 1. Representación gráfica de las fases que se pueden diferenciar durante el proceso del compostaje según la temperatura. Figura tomada de Antil et al., 2014.

Tamaño de la pila

Las pilas de compostaje deben tener una altura mínima de 1 m y un ancho de 2 m para lograr retener el calor suficiente para promover la actividad termófila deseada, existen diferentes formas y tamaños de pilas de compost, sin embargo, es importante tener en cuenta que grandes cantidades pueden permitir fácilmente condiciones anaerobias por la compresión que se puede generar, por ello se recomienda que las pilas no excedan un máximo de 2,5 m (Mathur et al., 1996; Mathur, 1998).

Control de moscas y olores

La descomposición de materia orgánica de forma natural tiende a liberar amoníaco y ácidos alifáticos en condiciones aeróbicas y en condiciones anaeróbicas, ácido sulfúrico, mercaptanos, diaminas, metilaminas y escatol; La mayoría de los compuestos reducidos o deficientes en oxígeno de N y S tienen malos olores y suelen atraer insectos que pueden incubar sus huevos y larvas en el compost, sin embargo, los procesos de aireación y las altas temperaturas permiten que el compost maduro no tenga olores más allá del olor a tierra característico ni atraiga insectos (Mathur, 1998).

Actividad metabólica

Para solubilizar algunos compuestos que están en el ambiente y así poderlos metabolizar, algunas bacterias y hongos producen exoenzimas (enzimas extracelulares) hidrolizando así compuestos como la amilosa y las amilopectinas, las α -amilasas y pectinasas degradan la amilosa y las amilopectinas en glucosa y maltosa. La celulosa requiere tres enzimas principales como un complejo: La endo-f3-1,4-glucanasa hidroliza polímeros cristalinos insolubles de celulosa al azar para liberar glucosa y celobiosa, las cadenas más pequeñas de glucosa son entonces el sustrato para el exo-f3-1,4-glucanasa que degrada los dímeros de

celobiosa del extremo no reductor de la cadena polimérica y el disacárido celobiosa es hidrolizado por celobiasa en glucosa. Las bacterias termófilas y los hongos utilizan principalmente la celulosa durante el proceso de maduración y mientras la temperatura esté por debajo de 60°C. A temperaturas más altas, dominan los actinomicetos que son específicamente activos en la descomposición de hemicelulosas (Mathur, 1998).

Las proteínas microbianas producidas en suelos y compost logran resistir la descomposición ya que están protegidas por compuestos fenólicos libres y sustancias húmicas, por ello la deseable naturaleza de liberación lenta de parte del N en el compost. Los monómeros de lípidos y proteínas son fácilmente utilizados, los lípidos son despolimerizados por enzimas lipolíticas y lipasas excepto cuando son materiales cerosos (Mathur, 1998).

La lignina al no ser un polímero específico de unidades repetitivas idénticas no es degradada por enzimas específicas, por ello tienden a resistirse a la degradación por bacterias y sus unidades fenilpropanoides o sus productos fenólicos tienden a ser biostáticos; Sin embargo, en las últimas etapas del rango termofílico, cuando los hongos comienzan a regresar al núcleo desde la periferia más fría, se transforman y rompen por desgaste las capas de lignina que incrustan la celulosa y fibras de hemicelulosa, los subproductos oxidados se llaman semiquinonas, hidroxiquinonas y aminoquinonas. Todos estos radicales libres se condensan entre sí y con aminoácidos, péptidos y otros compuestos nitrogenados para formar las sustancias húmicas recalcitrantes. Los compuestos fenólicos que contribuyen a la formación de humus también pueden ser metabolitos microbianos o productos de otras sustancias aromáticas en el detrito. Los aminoácidos y otros compuestos N se convierten en amoníaco que, a su vez, es oxidado a nitrato por un grupo específico de organismos autótrofos intolerantes al ácido mesófilo (Poincelot, 1975; Mathur 1998).

- **Implicaciones de un compost inmaduro**

Un compost inmaduro puede tener problemas de almacenamiento por malos olores y la posibilidad de que se ocasionen incendios. Cuando un compost inmaduro se almacena en pilas altas y/o anchas, la descomposición continúa activa y se crean condiciones anaeróbicas en el centro de la pila y la descomposición anaeróbica genera compuestos reducidos de C, N, S y P como aminosulfamidas, mercaptanos, metanotioles y ácido sulfúrico que producen olores de pudrición y el metano y el fosfano pueden quedarse en el interior de la pila como gases atrapados. En el interior de la pila de un compost inmaduro se pueden presentar temperaturas desde 40 °C hasta 70 °C (Mathur, 1991) y esta temperatura puede causar que los gases atrapados se expandan y la pila explote emitiendo gases inflamatorios. El fosfano con la presencia de oxígeno y cualquier punto caliente creado por la actividad biológica o por fricción hará que el metano se quemara por los malos olores y atrae moscas debido a los alifáticos y aminoácidos liberados durante la biodegradación continua (Mathur et al., 1991).

Los compost inmaduros contienen y generan amoníaco que en concentraciones elevadas son perjudiciales para las raíces. Normalmente los compost inmaduros tienen una amplia

relación C/N y como están en pleno proceso de descomposición suelen inmovilizar el nitrógeno del suelo cortando el suministro de nitrógeno disponible para las plantas, sin embargo, esto puede solucionarse añadiendo fertilizante-N al suelo (Wichuk y McCartney, 2008).

La descomposición activa y continua del compost inmaduro al ser añadida al suelo puede agotar el oxígeno disponible, lo que dificulta la respiración de las raíces y conduce a la producción de H₂S y NO₂⁻ por transformación anaeróbica de compuestos de azufre y nitrificación incompleta de amoníaco (Katayama et al., 1987). Tanto el H₂S como el NO₂⁻ son fitotóxicos, cualquier NO₃ presente en condiciones anaeróbicas también puede reducirse parcialmente a N₂, un potente gas de efecto invernadero. El N₂O también se libera durante la nitrificación en una medida mucho menor. Los problemas de agotamiento de oxígeno (potencial redox reducido). La causa principal de la fitotoxicidad de los compost inmaduros son los productos intermedios orgánicos de descomposición. Tanto los ácidos alifáticos de cadena corta (ácidos grasos bajos o ácidos grasos volátiles) como el ácido acético y varios compuestos fenólicos, producidos durante la descomposición activa de compuestos orgánicos, suprimen la germinación de semillas, la proliferación de raíces y el rendimiento de los cultivos y más que un único compuesto, las combinaciones de varios compuestos son las responsables de esta toxicidad (Mathur et al., 1993; Zucconi et al., 1981).

- **Norma técnica**

La norma técnica que determina las especificaciones y requisitos para la producción y uso del compost es la NTC 5167:2022, la cual establece las especificaciones físicas, químicas y biológicas que deben cumplir los productos de compost para garantizar su calidad y seguridad en su uso como fertilizante orgánico en diferentes aplicaciones, como la agricultura, la jardinería y la restauración de suelos. En la tabla 1 se especifican los parámetros a caracterizar en laboratorio, el contenido límite para cumplir con la norma y como deben ser reportados en la etiqueta.

Estado del arte

Dentro de la literatura revisada, se ha encontrado que en Colombia son escasos los estudios publicados frente a la caracterización y uso recomendado con base en los parámetros físicos y químicos de control del estado de madurez y estabilidad del compostaje, así como estudios específicos que reporten la aplicación exitosa de la NTC 5167.

En este contexto, Bohórquez et al., (2014), Evaluaron la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar en la planta de compostaje del ingenio Riopaila-Castilla ubicado en el departamento del Valle del Cauca; encontraron que 90 días es el tiempo de compostaje que garantiza una adecuada maduración y mayor aporte de nutrientes en el compost producido cumpliendo los requerimientos de la norma técnica colombiana NTC 5167. Resultados similares son reportados por Vargas-Pineda et al., (2019) quienes evaluaron la calidad nutricional del compost generado por las centrales de

abastecimiento de mercado del municipio de Acacías, Meta. Así mismo, Muñoz (2015) evaluó el compostaje de los subproductos de la extracción de aceite de palma, midiendo todos los parámetros fisicoquímicos en los cuales el compostaje también cumplió con lo establecido en la misma norma.

Recientemente, Lesmes y Villegas (2019) evaluaron alternativas de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito en Bogotá, encontraron que la mezcla de residuos cocinados, poda de árboles y corte de césped produjo un mejor resultado para el proceso de compostaje, ya que el producto terminado cumplió todos los requerimientos establecidos en esta norma.

Otros autores han determinado la calidad del compost sin considerar los criterios de la NTC 5167. De esta manera, León et al., (2018) quienes caracterizaron el compost producido con residuos orgánicos urbanos en Bogotá y encontraron que el compost podría ser beneficioso para mejorar la estructura del suelo y retener la humedad y que tenía un contenido significativo de nutrientes, especialmente nitrógeno, fósforo y potasio, lo que sugirió que dicho compost puede ser utilizado como un fertilizante orgánico y acondicionador de suelos. No obstante, Rojas et al., (2019) caracterizaron el compost producido a partir de residuos de frutas y verduras de una central mayorista y encontraron que el compost producido exhibía un pH ligeramente ácido y una conductividad eléctrica elevada, lo que sugiere una alta concentración de sales y determinaron un contenido relativamente bajo de nutrientes, especialmente nitrógeno y fósforo, por ello, este compost no cuenta con calidad nutritiva y se debe complementar con otros fertilizantes para su uso en la agricultura, sin embargo, sugieren que puede ser utilizado como un acondicionador de suelos.

Materiales y métodos

Área de estudio

La recolección de muestras, la evaluación y caracterización del compostaje se realizó en el Centro de Biosistemas (CBios) De La Universidad Jorge de Bogotá Tadeo Lozano ubicada en la carretera Central Norte km 3 vía Bogotá – Briceño.

Las muestras fueron recolectadas a partir del proceso continuo de compostaje que se realiza de manera rutinaria en el CBios. Los análisis de caracterización fisicoquímica del compostaje se llevaron a cabo en el laboratorio de suelos y aguas del CBios y el laboratorio de Microbiología Agrícola y Ambiental.

El proyecto se realizó en el marco de la pasantía en modalidad de investigación del laboratorio de suelos y aguas del CBios.

Diseño experimental

El compostaje en el CBS se realiza en cubículos 2,5m de ancho por 3m de largo y 1,8m de alto aproximadamente, la aireación manual consiste en rotar de un cubículo a otro el

material cada mes y medio, así cuando se encuentra en el último cubículo, el compostaje ya tiene 4 o más meses de maduración. El compost producido es tamizado para su uso y comercialización.

Debido a que cada lote de compost proviene de diferentes fuentes de materia orgánica y en diferentes proporciones según la producción agrícola, se evaluaron las características fisicoquímicas de tres lotes distintos en su estado “maduro” es decir luego de 4 meses de maduración y dos aireaciones.

Para determinar si el compostaje que se produce en el CBios es maduro e inocuo, se tomaron de referencia los parámetros mencionados en la NTC 5167:2022. Se recolectó una muestra de cada lote de compostaje en el último estadio antes de ser comercializado. Las muestras fueron sometidas a los análisis fisicoquímicos y microbiológicos propuestos por la norma. Por medio de estadística descriptiva, se compararon los promedios de los tres lotes con la norma y la literatura revisada.

Análisis fisicoquímicos.

Partiendo de los requisitos fisicoquímicos con los que debe cumplir un compost de calidad y maduro especificados en la NTC 5167, se realizarán en el Laboratorio de Suelos y Aguas y el Laboratorio de Microbiología Ambiental del CBios los análisis descritos en las tablas 1 y 2.

Tabla 1. Métodos utilizados en el análisis de los parámetros fisicoquímicos realizados a las muestras recolectadas y comparación con los propuestos por la norma.

PARÁMETRO	MÉTODO CBIOS	CUANTIFICACIÓN-EQUIPO CBIOS	COMPARACIÓN CBIOS- NTC 5167	METODO NTC 5167
Nitrógeno Total	Kjeldahl	Kjeldahl	=	Norma 370: 2011 Kjeldahl
Fósforo Total (P)	Digestión ácida vía abierta - Lactato	Espectrofotometría UV-VIS	=	Mineralización por vía húmeda abierta
Elementos Mayores Totales: Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na)	Digestión ácida vía abierta	Espectrofotometría de absorción atómica con llama	=	Mineralización por vía húmeda abierta
Materia orgánica / Carbono orgánico total	Calcinación 550 °C	Gravimetría	=	Walkley Black

Cenizas	Calcinación 550 °C	Gravimetría	=	650°C (pérdida por volatilización)
Humedad	Horno a 70°C	Gravimetría	=	Horno 70°C
Silicio	No se realiza	-	≠	Silicio soluble y silicio total
Densidad Real	Método del picnómetro	Gravimétrico	=	
pH	Pasta de saturación	pH metro	=	Pasta de saturación
Capacidad de retención de humedad	Pasta de saturación	Gravimétrico	=	Pasta de saturación
Metales pesados As, Cd, Cr, Pb y Hg)	Digestión ácida vía abierta	Espectrofotometría de absorción atómica con llama y/o generador de hidruros con llama o vapor frío.	=	Digestión ácida
Capacidad de Intercambio catiónica (CIC)	Acetato de Amonio 1N, pH 7	Titulación ácido-base	=	Acetato de Amonio 1N, pH 7
Actividad Microbiana	Método FDA (Fluorescein diacetato)	Espectrofotometría UV-VIS	No aplica	No está en la norma

Tabla 2. Análisis microbiológicos realizados a las muestras recolectadas y comparación con los propuestos por la norma.

PARÁMETRO	MÉTODO CBIOS	COMPARACIÓN CBIOS- NTC 5167	METODO NTC
Detección de <i>Salmonella spp.</i>	No ofrece el servicio.	=	Pre-enriquecimiento en agua peptonada, enriquecimiento en Rappaport y medio XLD
Determinación <i>E.Coli</i>	Recuento en placa	=	Recuento en placa

Detección de huevos del helminto	No ofrece el servicio	=	Ver norma
----------------------------------	-----------------------	---	-----------

Resultados

El compost que produce el CBios proviene de diferentes fuentes de materia orgánica ya que se va realizando el proceso de compostaje conforme se van produciendo los residuos de las actividades agrónomas que se desarrollan en el centro, en su mayoría se componen de residuos de cultivos de flores y hortalizas, así como de la poda de pasto y residuos de jardinería. Por ello no es posible conocer de forma específica la materia orgánica que compone la receta de cada lote de compost.

Con el fin de tener una aproximación a la calidad del compost que produce el centro, se realizó la medición de variables fisicoquímicas y microbiológicas de tres lotes de compost que fue posible analizar a lo largo de 3 meses. Las variables se determinaron a partir de la NTC 5167 la cual indica qué parámetros debe cumplir un compost para considerarse maduro y apto para su comercialización y uso como fertilizante o enmienda. Así mismo aprovechando el servicio que ofrece el Laboratorio de Suelos y Aguas, se realizó la medición de la actividad microbiana por FDA con el fin de determinar si esta variable puede contribuir al conocimiento del estado de madurez del producto final del compostaje.

De las 14 variables fisicoquímicas analizadas, 8 cumplieron con la norma en los tres lotes, la relación C:N, el pH, la capacidad de intercambio catiónico (figura 2.) y los metales pesados (figura 3.). En promedio, los lotes presentaron un pH neutro, una relación C:N de 14.34 y 39.3 cmol*kg⁻¹ de capacidad de intercambio catiónico como puede observarse en la figura 2 y la concentración de los metales pesados analizados, Arsénico, Cadmio, Cromo y Mercurio fue muy baja en comparación al rango permitido por la norma.

Las variables nitrógeno total, potasio total, fósforo total, carbón orgánico oxidable total, contenido de cenizas y contenido de humedad no cumplieron con el rango permitido por la norma (figura 4.), en los tres primeros casos el contenido de estos nutrientes fue bajo en comparación con el porcentaje permitido que es mínimo 1%, en promedio para los tres lotes, el potasio es el nutriente más abundante con 0,63% seguido por el nitrógeno con 0,49% y el fósforo con 0,22% el nutriente menos disponible. En el caso del carbono orgánico oxidable total, el porcentaje fue de 5,1% mientras que la norma exige un mínimo de 15%. En cuanto al contenido de cenizas y el contenido de humedad se obtuvieron valores por encima del rango permitido por la norma, siendo el contenido de cenizas un porcentaje de 83,4% mientras que la norma permite un máximo de 60%. Aunque el contenido de humedad fue un poco más alto que el permitido por la norma, y uno de los lotes estuvo en el rango, en promedio el contenido de humedad fue de 33,35% y la norma permite un máximo de 30% de humedad.

La norma pide mencionar el contenido de sodio (Na), sin embargo, no exige unos parámetros específicos que cumplir, el promedio del contenido de sodio en los tres lotes fue de 0,02 % y los valores fueron muy cercanos variando en 0,01 unidades.

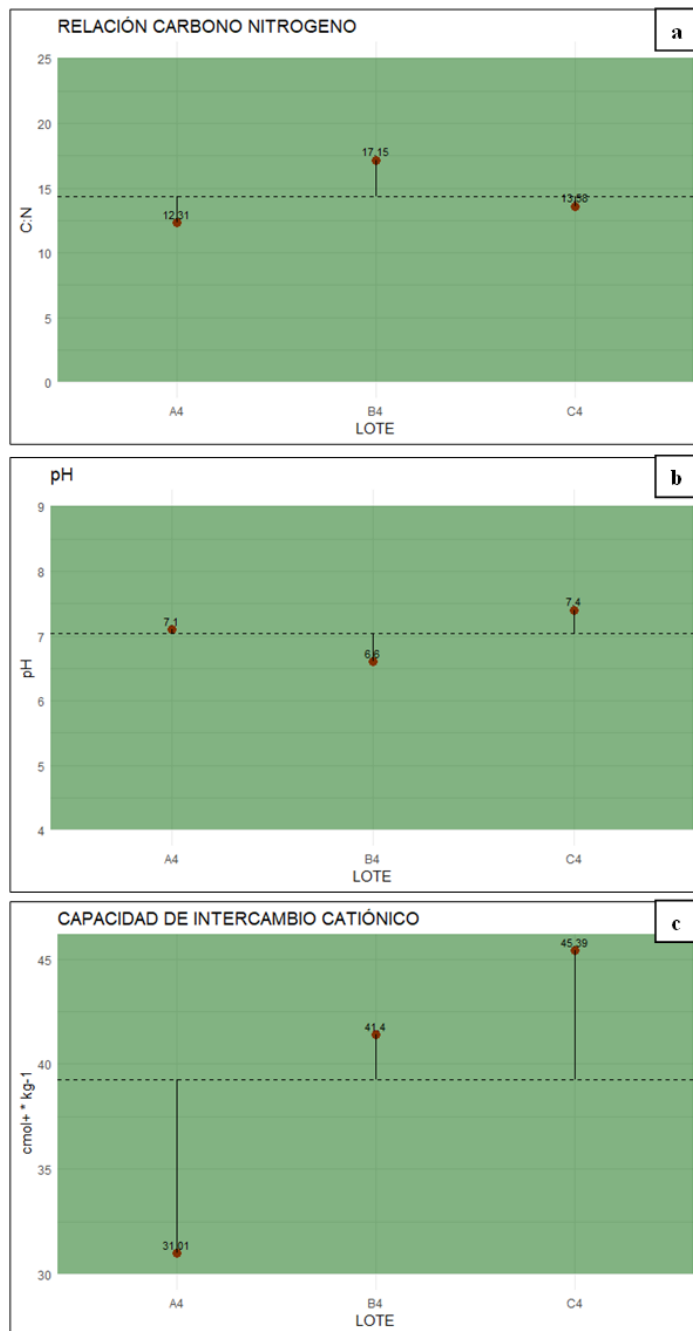


Figura 2. Variables fisicoquímicas que cumplieron con los parámetros propuestos por la NTC 5167 en los tres lotes de compost (A4, B4 y C4) el número 4 se refiere al último estadio de maduración. El área sombreada verde corresponde al rango de contenido límite de cada variable propuesta por la norma. **a.** Relación C:N **b.** pH **c.** Capacidad de intercambio catiónico

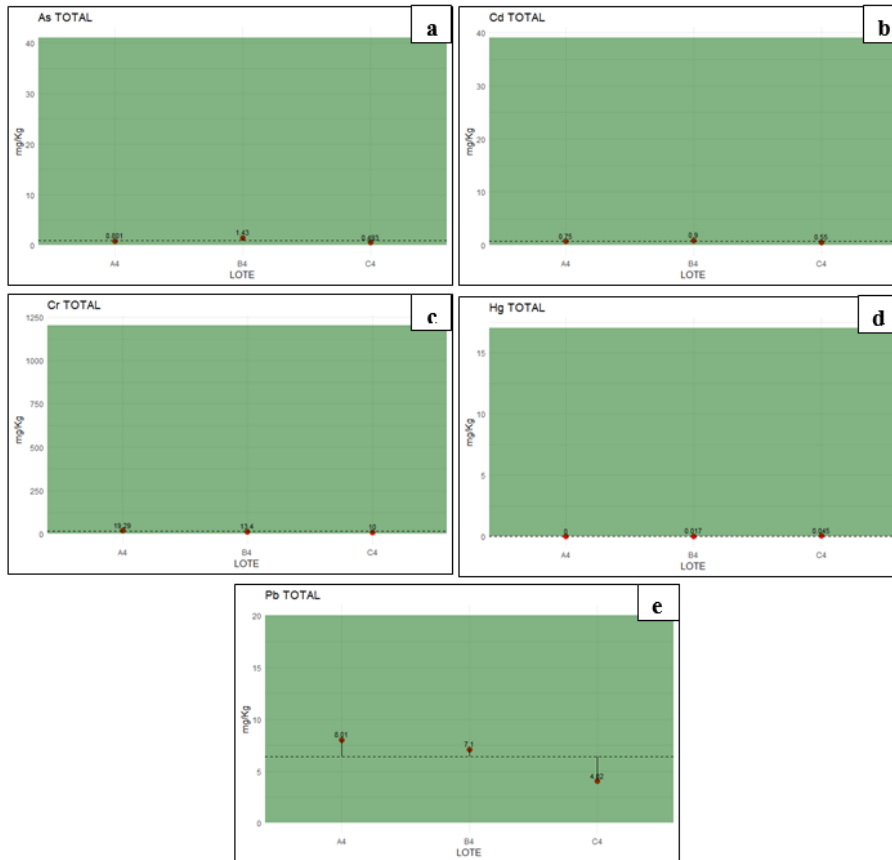


Figura 3. Concentración total de metales pesados. Los 5 metales analizados cumplieron con los parámetros propuestos por la NTC 5167 en los tres lotes de compost (A4, B4 y C4) el número 4 se refiere al último estadio de maduración. El área sombreada verde corresponde al rango de contenido límite de cada variable propuesto por la norma. **a.** Arsénico total **b.** Cadmio total **c.** Cromo total **d.** Mercurio total **e.** Plomo total

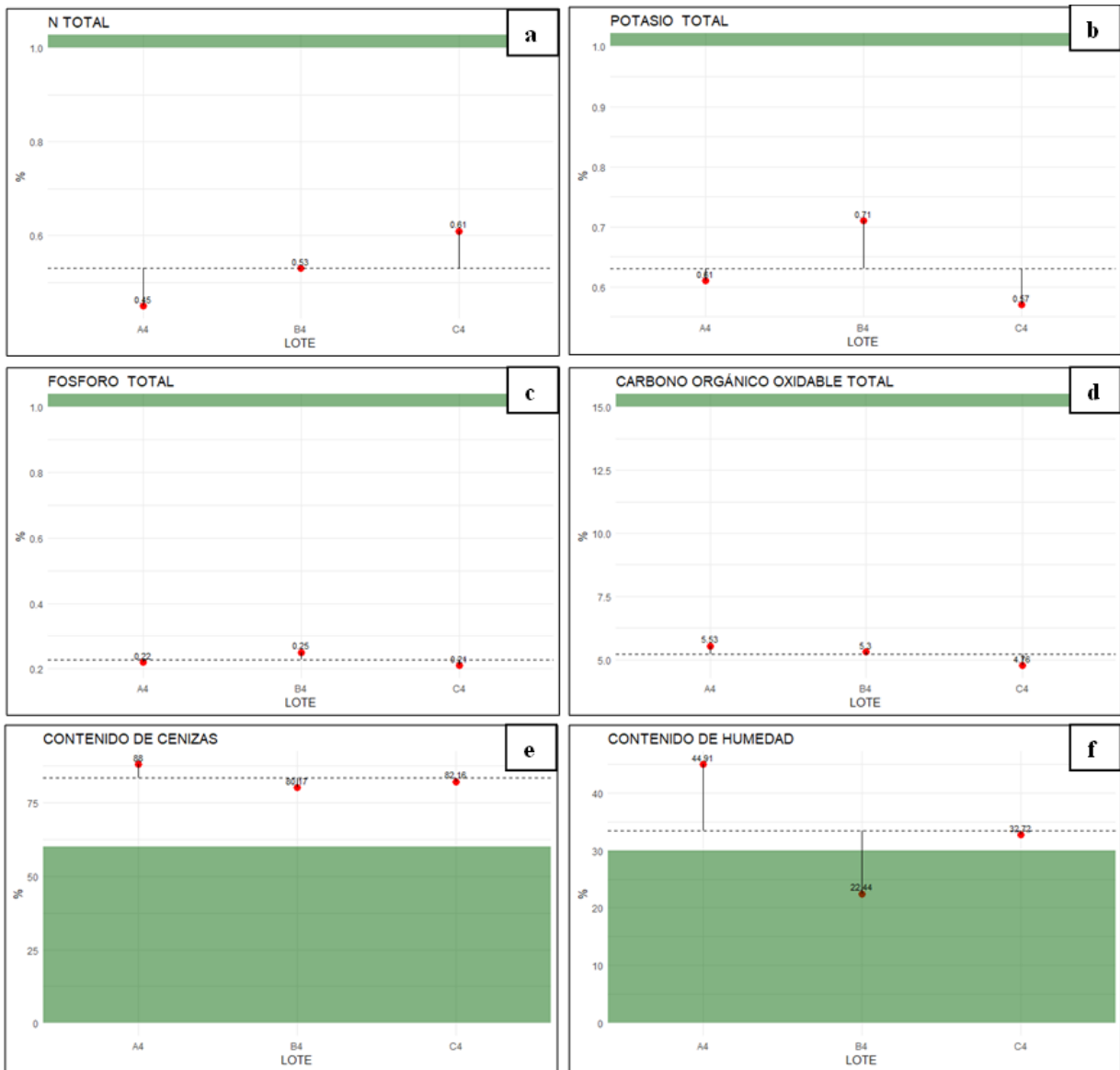


Figura 4. Variables fisicoquímicas que no cumplieron con los parámetros propuestos por la NTC 5167 en los tres lotes de compost (A4, B4 y C4) el número 4 se refiere al último estadio de maduración. El área sombreada verde corresponde al rango de contenido límite de cada variable propuesta por la norma. **a.** N total **b.** Potasio total **c.** Fosforo total **d.** Carbono orgánico oxidable total **e.** Contenido de cenizas **f.** Contenido de humedad

La actividad microbiana en los tres lotes analizados vario de 450,3 a 756,8 mg FDA/kg como puede observarse en la figura 5, el promedio fue de 614,5 mg FDA/kg.

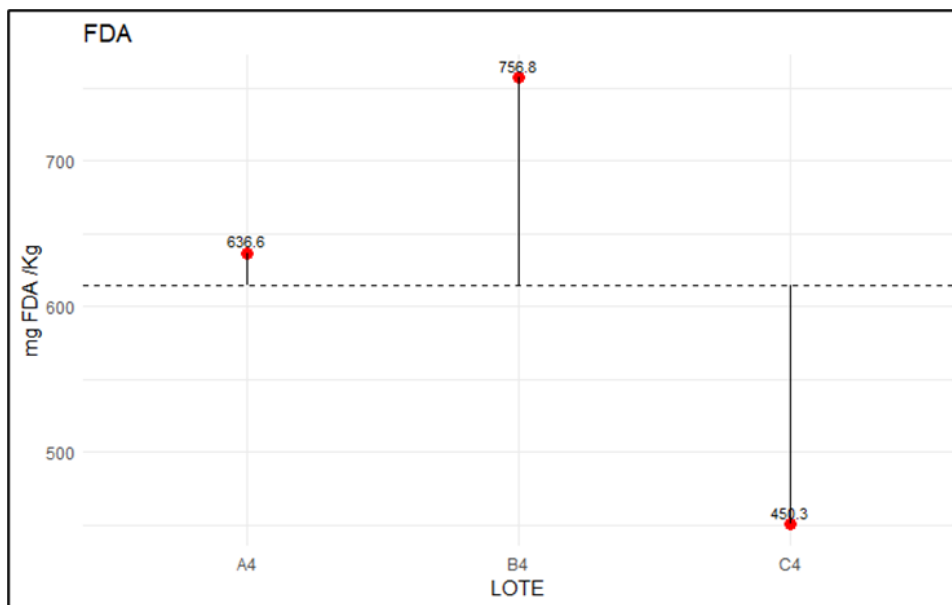


Figura 5. Actividad microbiana por FDA en los tres lotes de compost (A4, B4 y C4) el número 4 se refiere al último estadio de maduración.

Tabla 3. Cuadro comparativo de la caracterización microbiológica frente al cumplimiento de requisitos NTC 5167

Variable	NTC 5167	LOTE A	LOTE B	LOTE C	CONCLUSIÓN
Coliformes	< 1000 UFC/ml	0 UFC/ml	0UFC/ml	0 UFC/ml	Cumple con la norma
<i>Salmonella</i>	Ausente en 25g	Presente en 25g	Presente en 25g	Presente en 25g	No cumple con la norma
Huevos de helminto	< 1 4g muestra (base seca)	0 huevos en 4g muestra	0 huevos en 4g muestra	0 huevos en 4g muestra	Cumple con la norma

Los requisitos microbiológicos de la norma como lo resume la tabla 3, son la presencia o ausencia de *Salmonella* spp, en 25g de muestra, el número de unidades formadoras de colonias (UFC) de coliformes totales en placa y el número de huevos de helminto viables. Los tres lotes tuvieron un comportamiento similar, ninguno presentó UFC en placa, no se observaron huevos de helminto viables, pero si hubo una presencia significativa en la prueba para la determinación de *Salmonella* spp. para las muestras de los tres lotes (Figura 6).

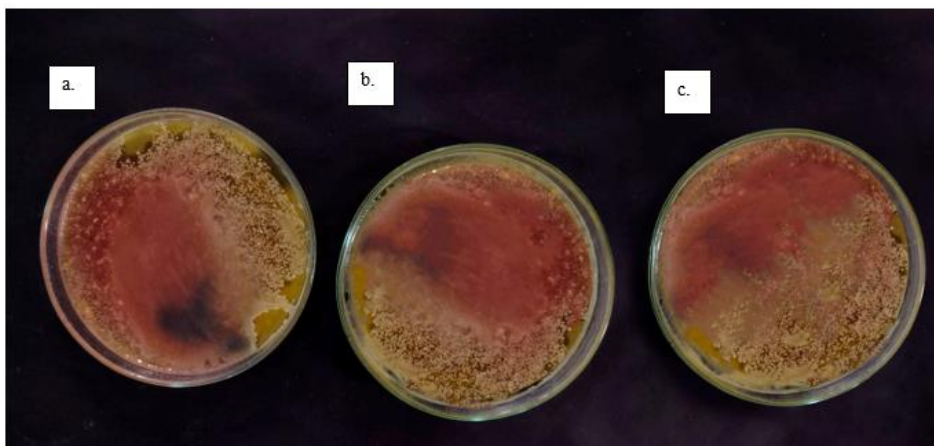


Figura 6. Placas en medio XLD para detección de *Salmonella* spp. a. Lote A b. Lote B c. Lote C, la coloración roja indica presencia de *Salmonella* spp.

Análisis y discusión

Los parámetros fisicoquímicos proporcionan información crucial sobre el estado del proceso de compostaje, la calidad del compost está directamente relacionada con estas características (Antil et al., 2014). A continuación, se analizará cada variable con respecto a si cumple o no con la norma y su influencia en la madurez del compost.

• Análisis fisicoquímicos

Las variables relación C:N, pH y CIC que cumplieron con los parámetros establecidos por la norma (Figura 2), son variables fundamentales al determinar la estabilidad y madurez del compostaje (Wichuk y McCartney, 2008).

La relación C:N (figura 2a.) que en promedio fue 14.34, es baja en relación a Scotti y colaboradores (2015) que mencionan que la relación límite es de 15:1, sin embargo, la norma permite una relación máxima de 25, por ello este puede indicar que el compostaje si bien no demuestra una conservación significativa del N en los residuos, no presenta una amenaza de inmovilización de este elemento (Wichuk y McCartney, 2008). El pH (figura 2b.) fue neutro y cumplió con lo que establece la norma, al ser neutro no presenta el riesgo de provocar a los microorganismos pérdida osmótica de agua o de iones de elementos traza como Ca o Mg (Mathur, 1998). La CIC (figura 2c.) en promedio fue de $39.3 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, siendo un valor bajo pero que cumple con la norma que exige que al menos sea de $30 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ya que se asume que a esa altura la materia orgánica se ha estabilizado como humus.

Durante el compostaje algunos contaminantes orgánicos desaparecen, sin embargo, la mayoría de los metales pesados tienden a permanecer en el producto final (Wichuk y McCartney, 2008), por ello es importante conocer la fuente de materia orgánica y así mismo hacer revisiones periódicas del resultado del compostaje para cerciorarse no estar utilizando o comercializando un compost contaminado (Ko et al., 2008). Al utilizar

residuos agrícolas es probable que tengan una carga de contaminación por metales pesados ya que algunos fertilizantes y agroquímicos tienen presencia de estos en su composición (Rojas et al., 2016), sin embargo, la concentración de metales pesados en las muestras fue muy baja para todos los lotes (Figura 3), cumpliendo así con los parámetros establecidos en la norma sin presentar ninguna preocupación pues los valores obtenidos son muy parecidos a los que obtuvieron Lesmes y Villegas (2018) y León y colaboradores (2019) quienes también analizaron compost producido a partir de residuos agrícolas.

Por otro lado, las variables que no cumplieron con lo estipulado en la norma fueron el contenido de cenizas, el contenido de humedad, los porcentajes de concentración de nutrientes (NPK) y el carbono orgánico oxidable total (figura 4). El contenido de cenizas (figura 4e.) fue mayor al 60% que es el valor máximo permitido por la norma, con un promedio de 83.4% se puede observar que en los lotes hay una alta descomposición de la materia orgánica y una alta presencia de contenido mineral pues a medida que la materia orgánica se descompone durante el compostaje, su contenido de cenizas aumenta relativamente debido a la pérdida de materia orgánica y la mineralización de la misma (Antil et al., 2014), por ello la relación C:N es baja y estos nutrientes no están disponibles (Wichuk y McCartney, 2008).

El promedio de la humedad (Figura 4f.) estuvo ligeramente más alto que el 30% máximo permitido por la norma, aun así, se puede asumir una humedad óptima ya que, aunque la norma permite un máximo del 30%, la literatura revisada menciona una humedad óptima de máximo 60% para un compostaje maduro para que este tenga capacidad de retención de agua y no utilice agua del suelo con el que será enmendado (Scotti et al., 2015, El-Sayed y Khater, 2015).

El porcentaje de carbono orgánico oxidable total (figura 4d.) debe ser mínimo del 15% según la norma, si bien este porcentaje debe ser bajo no puede ser menor ya que implicaría que no puede proporcionarle este elemento al suelo (Mathur, 1998). Los valores de esta variable fueron muy similares para los tres lotes y en promedio mostraron un valor de 5.1% y según lo descrito por Mathur (1998) y Wichuk y McCartney (2008) esto puede mostrar dos situaciones, que el compost se encuentra en una etapa tardía en la que ya se metabolizaron todos los nutrientes y no hay elementos disponibles para aportar como fertilizante, o que se encuentra en una etapa muy temprana y apenas se están metabolizando.

Con respecto a los valores obtenidos en el porcentaje total de NPK (figura 4a.b.c.), ningún lote cumplió con el mínimo que exige la norma que es de 1% y los tres lotes mostraron valores muy similares. El potasio fue el nutriente más abundante con 0,63% seguido por el nitrógeno con 0,49% y el fósforo con 0,22%, estos valores son bajos en comparación también con otros reportes de caracterización de compost (Bohórquez et al., 2014; Vargas-Pineda et al., 2019; Muñoz 2015) que cumplieron con el 1% exigido por la norma, sin embargo, ninguno fue mayor a 1,5%.

Un valor muy bajo nitrógeno total puede inferir un compostaje inmaduro sin embargo se debe especificar y el valor corresponde a nitritos o nitratos pues si son nitratos indica que el

compost está estable mientras que si son nitritos este está aún en proceso de metabolización (El-Sayed, 2015), por ello se debe no solo analizar el nitrógeno total sino también nitrógeno mineral de las muestras. A pesar de que el porcentaje de nitrógeno no fue mayor al 1%, como se mencionó anteriormente este nutriente no está disponible pero tampoco representa amenaza de inmovilización.

Bohórquez et al., (2014) mencionan que dependiendo de la materia orgánica a partir de la cual se genere el compostaje, variarán los porcentajes de micro y macronutrientes por ello si se quieren obtener mejores resultados en el compost maduro, debe tenerse en cuenta qué se está compostando así mismo involucrar en el mismo, residuos que aporten estos nutrientes.

- **Análisis microbiológicos**

El promedio del análisis de la actividad microbiana por FDA fue de 614,5 mg FDA/kg (figura 5), este valor es alto en comparación con lo obtenido por Adams y Frostick (2008) y Ntougias et al., (2006), sin embargo, el valor de la actividad microbiana en un compost maduro puede variar considerablemente según las condiciones de compostaje y la fuente de los materiales (Adams y Frostick, 2008) por ello, el análisis de actividad microbiana es muy útil para corroborar la madurez de un compost siempre y cuando se compare con otros estándares del mismo pues un compost maduro tiende a tener una actividad microbiana más baja en comparación con un compost en proceso de descomposición activa (Adams y Frostick, 2008).

En cuanto a los análisis microbiológicos realizados para evaluar la inocuidad de las muestras de compost, al tener presencia de salmonella (figura 6) estas muestras no son inocuas y por lo tanto no cumplen con lo establecido por la norma. Lemunier y colaboradores (2005) encontraron que en compostajes en los que la fase termófila la temperatura es menor a 60°C es muy probable que en el compostaje maduro haya reaparición de patógenos, mientras que en los que las temperaturas superan los 60°C las probabilidades que haya reaparición de patógenos son casi nulas.

Conclusiones

Se puede inferir que los lotes analizados llevan a cabo un proceso de biodegradación de la materia orgánica pues el producto obtenido luego de 4 meses de maduración y 3 aireaciones manuales es un sustrato oscuro, con olor característico a tierra, suficientemente húmedo para no desecarse, desagregado, poroso sin partículas compactas, con un pH neutro y que además cumple con 10 de los requisitos fisicoquímicos y microbiológicos de los 18 que exige la NTC 6157. Sin embargo, aunque se lleven a cabo procesos de biodegradación es probable que no se esté desarrollando un proceso de compostaje adecuado que siga la característica curva termófila, así como la sucesión de microorganismos que la definen. Se recomienda realizar un seguimiento de temperatura a lo largo de las diferentes fases y

cambios de modulo (aireaciones) para corroborar esta hipótesis y así mismo, reestructurar la metodología del compostaje.

Los lotes analizados no cumplen con la norma pues el criterio de aceptación es que se cumplan todos los requisitos indicados para cada variable, además otro requisito es mencionar en la etiqueta del compost de que materia orgánica proviene y hasta el momento dicha información no es registrada/ documentada durante el proceso.

La caracterización del compost permitió no solo conocer el producto de tres lotes distintos, sino también, dar una idea al CBios de los procesos que debería implementar y los procesos que coinciden con las metodologías que exige la norma para ofrecer el servicio de caracterización de compost según la NTC 5167.

Bibliografía

Adams, J. D & Frostick, L. E. (2008). Investigating microbial activities in compost using mushroom (*Agaricus bisporus*) cultivation as an experimental system. *Bioresource Technology*. 99(5), 1097–1102.

Antil, R., Raj, D., Abdalla, N., Inubushi, K. (2014). Physical, Chemical and Biological Parameters for Compost Maturity Assessment: A Review. In: Maheshwari, D. (eds) *Composting for Sustainable Agriculture. Sustainable Development and Biodiversity*, vol 3. Springer, Cham.

Barbaro, L., Karlanian, M., Rizzo, P., & Riera, N. (2019). Caracterización de diferentes compost para su uso como componente de sustratos. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 35(2), 126-136.

Benito M, Masaguer A, Moliner A, Arrigo N, Palma RM. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterization of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol Fertil Soils* 37:184–189

Bohórquez, A., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2014). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 15(1), 73-81.

Borrero, C., Trillas, M. I., Ordovás, J., Tello, J. C., & Avilés, M. (2004). Predictive factors for the suppression of *Fusarium* wilt of tomato in plant growth media. *Phytopathology*. 94, 1094-1101.

El-Sayed G. Khater .(2015). Some Physical and Chemical Properties of Compost. *Int J Waste Resources* 5: 172.

Gordillo, F., & Chávez, E. (2010). Evaluación comparativa de la calidad del compost producido a partir de diferentes combinaciones de desechos agroindustriales azucareros. Tesis de Licenciatura. Espol. <http://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/9112>

Katayama, A., Kerr, K.C., Hirai, M., Shoda, M., & Kubota, H. (1987). Stabilization process of sewage sludge compost in soil. In *Compost: Production, Quality and Use*, (M. De Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'Hermite & F. Zucchini, eds.), pp. 341-350. Elsevier Applied Science; London, U.K.

Ko, H.J., Kim, K.Y., Kim, H.T., Kim, C.N., & Umeda, M. (2008). Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Management (New York, N.Y.)*, 28(5): 813–820.

Lemunier, M., Francou, C., Rousseaux, S., Houot, S., Dantigny, P., Piveteau, P., & Guzzo, J. (2005). Long-Term Survival of Pathogenic and Sanitation Indicator Bacteria in Experimental Biowaste Composts. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(10), 5779–5786.

León, A., Lopera, C., & Guzmán, A. (2018). Caracterización del Compost Producido con Residuos Orgánicos Urbanos en la Ciudad de Bogotá. *Tecnología en Marcha*, 31(1), 43-55.

Lesmes Posada, L. C., & Villegas de Brigard, M. P. (2019). Evaluación de una alternativa de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos biodegradables de la Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito. *Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito*, 114, 53-60.

Levi-Minzi, R., Riffaldi, R., & Saviozzi, A. (1986). Organic matter and nutrients in fresh and mature farmyard manure. *Agricultural Wastes*, 16, 225-236.

Lopez-Real, J. and Foster, M. (1985) In *Composting of Agricultural and Other Wastes* (ed. I.K.R. Gasser), Elsevier Applied Science, London, p. 291.

Mahapatra, S., Ali, M. H., & Samal, K. (2022). Assessment of compost maturity-stability indices and recent development of composting bin. *Energy Nexus*, 6, 100062.

Mathur, S. P. (1998). Composting processes. *Bioconversion of waste materials to industrial products*, 154-193.

Mathur, S. P., Owen, G., Dinel, H., & Schnitzer, M. (1993). Determination of compost biomaturity. I. Literature review. *Biological Agriculture & Horticulture*, 10(2), 65-85.

Mathur, S.P. & Voisin, B. (1996) *The Use of Compost as a Greenhouse Media*, Ontario Ministry of Environment and Energy, PIBS 3458E, Queens Printer for Ontario, p. 37.

Mathur, S.P. (1991). Composting Processes. In *Bioconversion of Waste Materials to Industrial Products*, (A.M. Martin, ed.), pp. 147-186. Elsevier; London, New York

Mathur, S.P., Patni, N.K. & Levesque, M.P. (1990) *Bioi. Waste*, 34, 323.

Muñoz Lazaro, M. I. (2015). Evaluación de la capacidad de absorción de los subproductos (raquis entero, raquis prensado) generados en la planta de producción, para el aprovechamiento agrícola, en La Planta Extractora La Gloria S.A.S, Corregimiento De Simaña, La Gloria Cesar. Tesis Pregrado. Universidad Nacional de Colombia.

Ntougias, S., Ehaliotis, C., Papadopoulou, K. K., & Zervakis, G. (2006). Application of respiration and FDA hydrolysis measurements for estimating microbial activity during composting processes. *Biology and fertility of soils*, 42, 330-337.

Pérez-Piqueres, A., Edel-Hermann, V., Alabouvette, C., & Steinberg, C. (2006). Response of soil microbial communities to compost amendments. *Soil Biol. Biochem.* 38, 460-470

Poincelot, S.P. (1975). *Biochemistry and Methodology of Composting*. Connecticut Agricultural Experimental Station Bulletin, 754

Rojas Aparicio, A., Vázquez Jacinto, J. M., Romero Gomezcaña, N., Rodríguez Barrera, M. Á., Toribio Jimenez, J., & Romero Ramírez, Y. (2016). Evaluación de compost con presencia de metales pesados en el crecimiento de *Azospirillum brasilense* y *Glomus intraradices*. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 2047-2054.

Rojas-Ortiz, J. J., Sandoval-Castro, C. A., Rodríguez-González, C. A., & Lozano-Contreras, M. G. (2019). Caracterización de compost a partir de residuos de frutas y verduras generados en una central mayorista. *Revista Colombiana de Ciencia Animal - RECIA*, 11(1), 8-16.

Scotti, R., Bonanomi, G., Scelza, R., Zoina, A., & Rao, M. A. (2015). Organic amendments as sustainable tool to recovery fertility in intensive agricultural systems. *Journal of soil science and plant nutrition*, 15(2), 333-352.

Scotti, R., Conte, P., Berns, A. E., Alonzo, G., & Rao, M. A. (2013). Effect of organic amendments on the evolution of soil organic matter in soils stressed by intensive agricultural practices. *Curr. Org. Chem.* 17, 2998-3005.

Smith, J.E. (1986) M.Sc. thesis, University of Guelph.

Szcezech, M., Smolińska, U. (2001). Comparison of suppressiveness of vermicomposts produced from animal manures and sewage sludge against *Phytophthora nicotianae* Breda de Haan var. *nicotianae*. *J. Phytopathol.* 149, 77-82.

Vargas-Pineda, O. I., Trujillo-González, J. M., & Torres-Mora, M. A. (2019). El compostaje, una alternativa para el aprovechamiento de residuos orgánicos en las centrales de abastecimiento. *Orinoquia*, 23(2), 123-129.

Wichuk, K. M., & McCartney, D. (2010). Compost stability and maturity evaluation—a literature review. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37(11), 1505-1523.

Zucconi, F., Forte, M., Monaco, A., & De Bertoldi, M. (1981). Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 27-29.

