

EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE COMPOSTAJE MEDIANTE AIREACIÓN FORZADA Y EL MICROORGANISMO ENDÓGENO *Bacillus Subtilis* PARA LA TRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS ORGÁNICOS DOMICILIARIOS, COMO MEJORA A LOS SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

Luis David Villada Díaz, Jose Miguel Quintero Morales ^a

Rubén Darío David Giraldo ^b

a Estudiantes Ingeniería Ambiental, Universidad Católica de Oriente (UCO)

b Profesor, asesor del trabajo de grado, Docente de la Facultades de Ciencias Agropecuarias e Ingeniería de la Universidad Católica de Oriente (UCO)

1. Resumen

De acuerdo a las necesidades en la gestión ambiental de residuos, en la Universidad Católica de Oriente se evaluó un sistema de compostaje con aireación forzada y microorganismos endógenos para tratar los residuos orgánicos domiciliarios generados en el campus académico, además de reducir los tiempos normales de compostaje y garantizar cargas nutricionales significativas. En este orden de ideas, se conformaron las pilas de residuos en tanques de 1m³, con una relación C/N 20/1. Se construyó el sistema de aireación forzada, basado en una red tubular con perforaciones construida en paralelo y conectado a un compresor programado electrónicamente. Los microorganismos endógenos *Bacillus subtilis* se utilizaron a una concentración de 1×10^8 UFC/mL (unidades formadoras de colonia por mililitro) a razón de 2L/m³. Se monitorearon los parámetros temperatura, pH y humedad durante en el proceso de compostaje. El material resultante fue analizado con pruebas bromatológicas, fisicoquímicas y fitosanitarias. Los resultados demostraron que las pilas inoculadas alcanzaron las características de estabilidad y madurez 15 días antes que las pilas sin inoculación. En general, en los resultados se evidenciaron pocas diferencias entre pilas inoculadas y no inoculadas, nutricional y fisicoquímicamente hablando, con rangos altos de pH (>8), baja humedad (25-30%), alta concentración nutricional, un predominio de tamaños de partícula tipo arena (0.05-2mm), una baja conductividad eléctrica y una densidad aparente en los niveles óptimos (<0.6g/cm³). La Fito-toxicidad evaluada en plántulas de tomate y lechuga manifestaron mejores resultados cuando la relación de mezcla suelo/compost fue 75/25.

Palabras clave: Residuos orgánicos domiciliarios, compostaje, aireación, microorganismos endógenos

2. Abstract

According to the needs in environmental management of the UCO, a composting system with forced aeration and endogenous microorganisms was evaluate to treat the organic household waste

generated on the academic campus, in addition to reducing normal composting times and guaranteeing significant nutritional loads. In this order of ideas, the waste piles were formed in 1m³ tanks, with a C / N ratio of 20/1. The forced aeration system was built, based on a tubular network with perforations built in parallel and connected to an electronically programmed compressor. The endogenous *Bacillus subtilis* microorganisms were used at a concentration of 1 x 10⁸ CFU / mL (colony forming units per milliliter) at a rate of 2L/m³. The temperature, pH and humidity parameters were monitored throughout the composting process. The resulting material was analyzed with Bromatologically, physicochemical and phytosanitary tests. The results showed that the inoculated cells reached the characteristics of stability and maturity 15 days earlier than the cells without inoculation. In general, the results showed little difference between inoculated and non-inoculated stacks, nutritionally and Physicochemically speaking, with high ranges of pH (> 8), low humidity (25-30%), high nutritional concentration, a predominance of type particle sizes. sand (0.05-2mm), low electrical conductivity and true density at optimal levels (<0.6g/cm³). The Phytosanity and toxicity evaluated in tomato and lettuce seedlings showed better results when the soil-compost mix ratio was 75/25.

Keywords: Solid waste, organic waste, composting, aeration, endogenous microorganisms.

3. Introducción

Cuando se habla de residuos sólidos, se hace referencia a una amplia categoría de materiales, objetos o elementos, que después de ser utilizados en una operación, bien o servicio, se desechan o descartan debido a la pérdida de su funcionalidad (RAE, 2019). En la misma dirección, los residuos orgánicos complementan la extensa lista de residuos sólidos y se refieren aquellos materiales que por su naturaleza son susceptibles a la biotransformación o descomposición natural. A nivel mundial, los residuos orgánicos representan el 44% de la generación total de residuos sólidos y para América latina la fracción orgánica es de aproximadamente el 50%. Dichas proporciones varían de acuerdo a las diferencias culturales y los diferentes niveles socioeconómicos de la población (Pon, 2019).

Para Colombia el panorama no es alentador, dado que en el año 2017 se produjeron 30.081 Tdía⁻¹ de residuos, aumentando en un 20% la generación respecto al año 2011 (Superintendencia de Servicios Públicos Domiciliarios, 2018) y de acuerdo a los reportes para el año 2019 se produjeron aproximadamente 11.6 millones de toneladas de residuos sólidos (“Diario La república, aprovechamiento de residuos en COLOMBIA”, 2019). Como agravante de la problemática, gran parte de los municipios tienen un manejo inadecuado de los residuos, en especial los residuos orgánicos, convirtiéndose en una fuente de contaminación ambiental, focos de infección y salubridad, debido a que se desechan en botaderos a cielo abierto, en fuentes de agua superficial, enterramientos y hasta se realiza la incineración de los mismos, sumándose a una baja eficiencia en los sistemas de aprovechamiento, donde las consecuencias entre otras podrían ser el surgimiento de enfermedades de salud pública, generación de malos olores, modificación del paisaje, aparición

de vectores (roedores, carroñeros y plagas), entre otros (EPA, (2012); (Banco Interamericano de Desarrollo (BID), 1997).

Como alternativa a la problemática de los residuos orgánicos, se han diseñado los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS), en los cuales se establecen los lineamientos y directrices para el manejo y uso eficiente de los residuos sólidos, desde su generación hasta su transformación o disposición final. En el ámbito internacional, los tratamientos por excelencia para el manejo de los residuos orgánicos son el compostaje y el vermicompost, ambas consideradas transformaciones biológicas. No obstante, en los últimos años otros procesos como las transformaciones físicas (cribado, triturado, tamizado y molienda) y las transformaciones térmicas (pirolisis, torrefacción, gasificación e incineración), han ganado terreno como nuevas tecnologías de tratamiento de los residuos orgánicos, pero estos involucran grandes costos energéticos e infraestructuras complejas para su efectiva implementación (Chávez & Rodríguez, 2016).

Una de las alternativas para el manejo de los residuos orgánicos, es el compostaje, el cual se describe como el proceso de mineralización o transformación de los residuos orgánicos por acción de los microorganismos aerobios, generando productos ambientalmente significativos para el suelo, la microfauna y las plantas (Comision Nacional del Medio Ambiente, 2000). Sin embargo, el compostaje de sobras de comida como carne, huesos, grasas, pieles, pescado, derivados de la leche y otros residuos relacionados está limitado, debido a que son productos de difícil desdoblamiento, atraen vectores y generan malos olores (Alexander, 2014). Al utilizar un tipo de fertilizante o acondicionador de suelo como el que se obtiene del proceso de compostaje, a base de residuos orgánicos de origen animal y vegetal, se debe mantener y/o aumentar la actividad biológica del suelo, su fertilidad y disminuir los riesgos por toxicidad, garantizando una integridad ecológica tal como lo promueve el instituto colombiano agropecuario (ICA) por medio de la Resolución 0187, (2006).

Por otro lado, el proceso de compostaje requiere de amplios espacios y periodos de tiempo relativamente largos para la transformación de los residuos orgánicos, tiempos que van desde los tres a los nueve meses dependiendo de las condiciones climáticas, los elementos a compostar y la infraestructura (Sepúlveda & Alvarado, 2013); por tal motivo, se han implementado nuevas tecnologías como la aireación forzada y la adición de cepas de microorganismos que aceleran el proceso de compostaje. Cariello et al., (2007) utilizaron los microorganismos *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas fluorescens* y un hongo, *Aspergillus fumigatus* como inoculante para acelerar el proceso compostaje de pilas de residuos sólidos urbanos en Argentina. Otra investigación realizada por Cegarra et al., (2006) evaluaron la aireación forzada y el volteo manual en una pila de compostaje de residuos de oliva (Alperujo) en España, y encontraron que la aireación forzada disminuyó el tiempo de compostaje, además de eliminar gran parte del nitrógeno en forma de amoníaco que predomina en los procesos anaerobios y regularmente genera malos olores.

En la Universidad Católica de Oriente (UCO) mensualmente se producen cerca de 1300 kg de residuos orgánicos dispuestos directamente en relleno sanitario, sin recibir ningún tratamiento previo, lo cual va en contravía del sistema de acreditación ISO 14000 (NTC-ISO, 2015) con la que cuenta la institución. Además, en los puntos de generación y recolección mezclan los residuos, produciendo una masa muy difícil de separar, clasificar y aprovechar. Por este motivo, se hace necesario implementar un sistema de compostaje que permita transformar la fracción orgánica en periodos de tiempo más cortos y de una forma más eficiente. En este orden de ideas, el objetivo de la presente investigación fue evaluar un sistema de compostaje mediante aireación forzada y microorganismos endógenos, para el tratamiento de los residuos orgánicos generados en el campus de la Universidad Católica de Oriente. Para el desarrollo del mismo se desarrollaron objetivos específicos como: la evaluación del sistema de aireación forzada en serie y en paralelo; Evaluación del tiempo de compostaje de tres tratamientos de compostaje mediante aireación forzada con y sin la adición de microorganismos endógenos *Bacillus subtilis*. Y finalmente, la determinación de la calidad nutricional, estado fitosanitario, organoléptico y efecto en plantas de lechuga y tomate del compost obtenido de cada mezcla evaluada.

4. Metodología

4.1. Diseño del sistema de compostaje

El sistema de aireación (figura 1), consistió en siete tanques de un metro cúbico (1m^3) cada uno los cuales se llenaron hasta el 70% de su capacidad (figura 2b). El sistema consistió en tuberías de PVC de 1/2" que permitieron la conducción del aire; válvulas de paso; manómetros para evaluar las pérdidas de presión, un compresor de aire; un tablero electrónico que se mantuvo conectado a la web, por medio de conexión WIFI para regular el encendido automático del compresor y la abertura de las válvulas de paso. El sistema de aireación se ensambló tanto en serie como en paralelo, con el fin de establecer las diferencias en cuanto a las pérdidas de aire en los tanques. Las pruebas preliminares de pérdida de presión fueron realizadas con agua como fluido de prueba y posteriormente con la masa de residuos orgánicos.



Figura 1. Red tubular de aireación para el sistema de compostaje.

4.2. Mezclas de residuos orgánicos a evaluar

Los restos de los alimentos (cáscaras de frutas y verduras), las sobras de plato, los meristemas y pseudotallos de banano y los agares nutritivos son los tipos de residuos orgánicos generados en la UCO y la materia prima utilizada en el sistema de compostaje. Dichos residuos se producen en las diferentes cafeterías y burbujas de comida, además de los que se depositan en los puntos ecológicos que se encuentran distribuidos en todo el campus académico. Estos residuos fueron recolectados por el personal de aseo, los cuales realizaron recolecciones diarias de los residuos orgánicos en canecas plásticas adecuadas para el transporte de alimentos, sobras de comida y residuos ordinarios en general.

Según lo recomendado por Moreno & Moral (2008), la relación carbono-nitrógeno (C/N) para un proceso de compostaje debe estar entre 20-35 partes de carbono por una de nitrógeno. Por eso, para la mezcla conjunta de cáscaras y sobras de frutas, sobras de plato y otros elementos, se utilizó una relación C/N de 20:1. Los aportes de carbono fueron proporcionados por los desechos de fruta, la turba reciclada, el residuo de café y la viruta de madera, mientras que el nitrógeno fue aportado por los meristemas, pseudotallos de banano y el agar nutritivo. Para conseguir esta relación C/N se hizo uso de la metodología establecida por CORANTIOQUIA (Alfonso et al., 2015) en la cual se realizan los cálculos respectivos y se establecen las cantidades necesarias de los residuos orgánicos a utilizar para alcanzar la relación C/N deseada.

La mezcla de residuos orgánicos en cada tanque (figura 2a) contenía sobras de plato, cáscaras y sobras de frutas y verduras, meristemas de banano, viruta de madera y turba (reciclada), los cuales se agregaron en las cantidades que se muestran en la tabla 1, buscando que el proceso iniciara con la relación C/N 20:1, como se mencionó anteriormente. Las cáscaras de alimentos se picaron manualmente hasta obtener un tamaño entre 2-5 cm, mientras que los meristemas de banano, debido a su tamaño, se trituraron mecánicamente por medio de una corta ramas, con el fin de conseguir un tamaño similar al de las cáscaras, de acuerdo con lo reportado por Moreno & Moral (2008) y la información de la FAO.

Tabla 1. Materiales y cantidades en kilogramos utilizados en la conformación de las mezclas de residuos.

Material	Turba (Kg)	Viruta Madera (Kg)	Meristemas (Kg)	RS (Kg)
Tanque 1	32.40	2.62	22.49	341.18
Tanque 2	30.40	3.49	21.89	335.24
Tanque 3	31.40	3.05	22.19	338.21
Tanque 4	35.13	4.57	24.72	336.19
Tanque 5	37.77	3.71	27.89	340.66
Tanque 6	36.45	4.14	26.31	338.43
Control	31.4	2.99	22.5	350.41



Figura 2. Conformación de los tanques con residuos orgánicos. a) Capas de residuos orgánicos y b) tanque completo hasta el 70% de su capacidad.

Para llevar a cabo esta investigación se diseñaron tres tratamientos. El tratamiento uno o (control) consistió en un proceso de compostaje convencional, es decir, la mezcla de residuos orgánicos (descritos en la Tabla 1) con volteo manual, el cual se utiliza para evitar la compactación de la masa de residuos orgánicos en recipientes o procesos confinados (Sepúlveda & Alvarado, 2013). El tratamiento dos, consistió en la mezcla de residuos más la aireación forzada y por último el tratamiento tres, con la mezcla de residuos orgánicos más aireación forzada y los microorganismos endógenos, (figura 3).

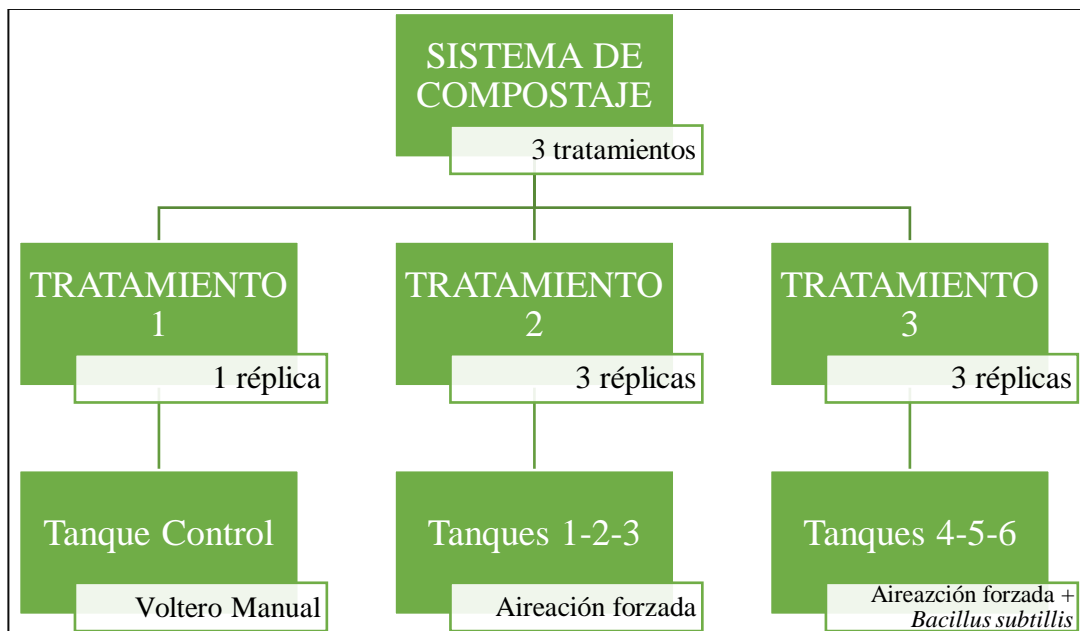


Figura 3. Diseño de los tratamientos evaluados en el sistema de compostaje.

Como se mencionó anteriormente, solamente el tratamiento tres contó con la adición de microorganismos endógenos, los cuales se aplicaron de forma líquida por toda la masa de residuos orgánicos una semana después de que se conformaron las pilas. Los tanques 4, 5 y 6 fueron inoculados con los microorganismos *Bacillus Subtilis* a una concentración aproximada de 1×10^8 UFC/mL, a razón de $2L / m^3$ de acuerdo con la metodología propuesta por Cariello et.,al (2007). Se debe aclarar que las colonias de *Bacillus subtilis* correspondieron a un producto adquirido en una empresa comercial y no fueron aislados de ninguna cepa a escala de laboratorio ni tampoco diluidos en el momento de la aplicación.

4.3.Evaluación de las variables fisicoquímicas y tiempo de compostaje

La medición y cuantificación de los procedimientos fisicoquímicos fueron realizadas en el laboratorio de micología de la UCO. Se midió la temperatura de manera electrónica con sensores y se corroboró cada dato con la medición diaria por medio de termómetros manuales. El pH se midió de manera semanal utilizando el pH-metro (tal como se muestra en la figura 4), tomando muestras a diferentes profundidades en los tanques y agregándolas en beakers con agua destilada. Igualmente, la humedad se evaluó de manera semanal, utilizando un horno a $105^{\circ}C$ durante 24 horas aproximadamente (figura 5).

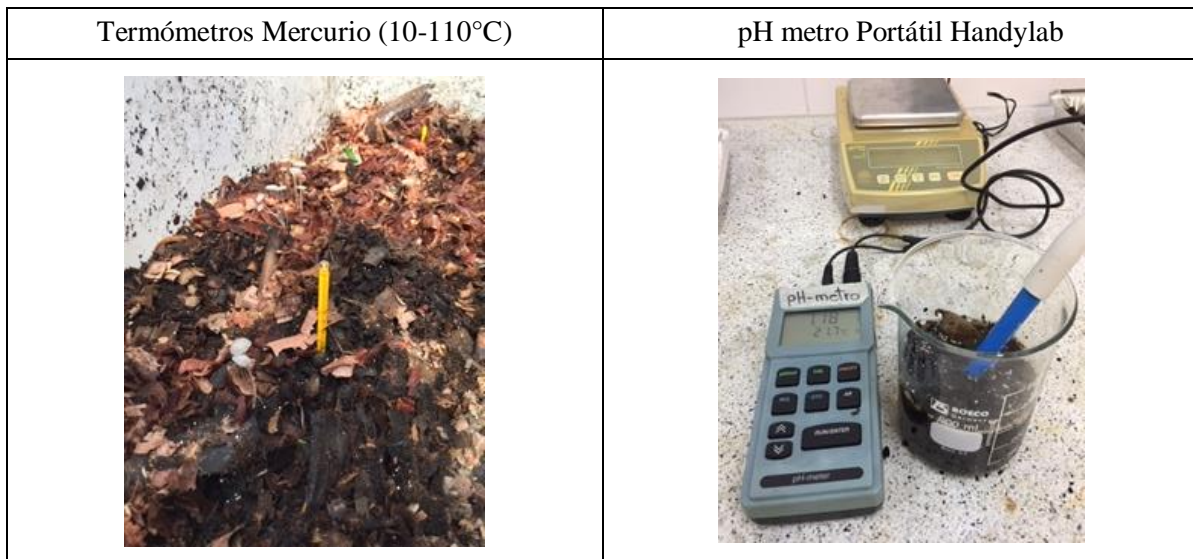


Figura 4. Evaluación de la temperatura y el pH.

Además de la temperatura, el pH y la humedad, se cuantificó la densidad aparente (D_r) y la capacidad de retención hídrica (conocida como capacidad de campo), a través del método del cilindro biselado al final del proceso de compostaje. Los datos obtenidos se digitalizaron y graficaron en Excel para su posterior análisis en el software estadístico R. Con la temperatura se determinaron las fases en la que se encontraba el compost, por lo tanto, el tiempo en el cual se dio completamente el proceso de compostaje.





<p>Peso de la Muestra húmeda (Balanza Electrónica)</p>	<p>Proceso de secado (Horno a 105°C - 24h)</p>
	
<p>Muestra seca (Después de 24h)</p>	<p>Peso de la Muestra seca (Balanza Electrónica)</p>
	

Figura 5. Determinación de la humedad del proceso de compostaje evaluado.

El suministro del aire forzado fue a partir del compresor anteriormente mencionado, de aproximadamente 3.5 Hp y se inyectaron entre 20-25 psi de aire a cada tanque durante dos minutos cada ocho horas, para asegurar un correcto funcionamiento del proceso y garantizando mínimamente un porcentaje de oxígeno del 12% en los tanques de compost. El compresor estuvo programado electrónicamente para el control del llenado, encendido y apagado del mismo. En la base de cada tanque se construyó e instaló una estructura tubular en PVC, con perforación por medio de los cuales se filtraría el aire a la masa de residuos de manera ascendente.

4.4. Determinación de la calidad nutricional del compost

Se analizaron las muestras al final del proceso de compostaje, específicamente en la etapa de maduración, a fin de determinar las características nutricionales en todos los tratamientos tales como la concentración de Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Sodio (Na), mediante el método de extracción con acetato de amonio 1M y su cuantificación por absorción atómica (AA); El Nitrógeno (N-NH⁴⁺) utilizando el método de extracción por cloruro de potasio 1N (KCl) y potenciometría; la concentración de Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) mediante el método de Oisen modificado y absorción atómica; el Fósforo (P) por el método Bray II y por ultimo las fracciones de arena, limo y arcilla por el método de Bouyoucus. Adicionalmente, se evaluaron las condiciones organolépticas mediante la guía de la FAO (2009).

La fitotoxicidad del producto final se evaluó durante 40 días a partir de pruebas de eficacia en plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) (Le) y tomate (*Solanum lycopersicum*) (To), ya que son plantas susceptibles a abonos y fertilizantes, por lo cual se emplearon como bioindicadoras. Allí se analizaron cualitativamente parámetros como el estado fenológico, crecimiento, desarrollo, color y apariencia de las hojas. Para ello se realizaron mezclas del compost obtenido con suelo (tierra común) en una relación masa/masa, tal como se observa en la tabla 2. Para cada relación de mezcla se utilizaron doce plántulas (tanto de lechuga como de tomate), por lo que cada tratamiento contó con aproximadamente con 48 plántulas y así lograr que la prueba de fitotoxicidad tuviera un total de 144 plántulas. Tanto la composición nutricional como la toxicidad se evaluaron y compararon bajo las especificaciones de la NTC 5167 (ICONTEC, 2004).

Tabla 2. Relaciones de mezcla entre suelo-compost evaluadas para las pruebas de eficacia.

Tratamientos											
T1				T2				T3			
50/50		75/25		50/50		75/25		50/50		75/25	
Le	To	Le	To	Le	To	Le	To	Le	To	Le	To
12R	12R	12R	12R	12R	12R	12R	12R	12R	12R	12R	12R

4.5. Diseño experimental

El diseño experimental fue completamente aleatorizado con tres tratamientos y tres réplicas para los tratamientos dos y tres y una réplica para el tratamiento uno, para un total de siete repeticiones. Todos los datos experimentales obtenidos requirieron transformaciones matemáticas o análisis no paramétricos para poder determinar las diferencias significativas entre los tratamientos con un nivel de confianza del 95%. Las pruebas no paramétricas implementadas fueron la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon equivalente a la prueba T de Tuki o grupos homogéneos y la prueba de Kruskal-Wallis (Jos & Dpto, 2012).

5. Resultados

5.1. Sistema de Aireación forzada

Se encontró que las pérdidas de presión fueron más altas cuando el sistema se conectó en serie (Tabla 3) con diferencias de hasta un 30% en comparación a la conexión en paralelo. Con la conexión en paralelo, los manómetros conectados registraron valores por encima de 20 psi, garantizando que la concentración de oxígeno en las pilas de residuos se mantuviera por encima del 12%, evadiendo las condiciones anaerobias (Sepúlveda & Alvarado, 2013). El volteo manual realizado en el tanque control mostro un déficit en el suministro de oxígeno debido al desprendimiento de malos olores al inicio del proceso, además de alta compactación de la masa de residuos.

Tabla 3. Evaluación de las pérdidas de presión en el sistema de aireación forzada.

Presión (psi)		
Tanque	Serie	Paralelo
Tanque 1	17	23
Tanque 2	15	21
Tanque 3	17	23
Tanque 4	14	21
Tanque 5	14	21
Tanque 6	15	22

5.2. Evaluación de los sistemas de Compostaje

Se obtuvo que el tratamiento tres (aquel con aireación forzada + *Bacillus subtilis*), disminuyó el tiempo de maduración y estabilización de los residuos orgánicos producidos en la UCO con una diferencia de 15 días a comparación con los tratamientos uno y dos. Las diferencias de tiempo de compostaje entre los tratamientos evaluados se definieron a partir del comportamiento de la temperatura (figura 6), donde el tratamiento tres logro una temperatura estable de 20°C a los 65 días, mientras que los tratamientos uno y dos lograron estabilizar la temperatura hasta los 20-22°C al día 85 y 80 respectivamente. Las otras variables como el pH y la humedad no presentaron variaciones significativas.

Por otro lado, de acuerdo los resultados fisicoquímicos obtenidos (Tabla 4) se puede decir que los tratamientos no tuvieron grandes diferencias. El valor de pH del tratamiento uno fue de 8.9, siendo el valor más alto en comparación con los tratamientos dos y tres. La conductividad eléctrica y la densidad aparente fueron muy similares en todos los casos, mientras que la capacidad de intercambio catiónico (CIC) y el porcentaje de materia orgánica (%MO) fue más bajo para el tratamiento tres, aunque fue el tratamiento que obtuvo el mayor porcentaje de retención de humedad (%RH).

Tabla 4. Parámetros fisicoquímicos de los tratamientos evaluados al final del proceso.

Variable Tratamiento	pH	CE (dS/m)	CIC [E]	Densidad aparente (g/cm ³)	%RH	%M.O
T1 ©	8.9	0.0035	108.85	0.39	67%	11.7%
T2	7.8	0.0044	110.28	0.37	70%	12.6%
T3	8.1	0.004	100.83	0.37	72%	8.1%

En todos los tratamientos la densidad aparente (D_r) fue baja, ya que para suelos de origen mineral este valor en promedio es de 2.65g/cm^3 y lo ideal para el desarrollo de la mayoría de especies vegetales es $0.6\text{-}2.0\text{ g/cm}^3$, por tanto el valor de D_r encontrado es favorable para crecimiento vegetal, sumado a que la retención de humedad fue superior al 67%, la cual indica que la porosidad del abono orgánico es alta, ya que en los poros es donde se retienen el agua, coincidiendo así con lo reportado por Jaramillo (2015). También se puede inferir que el pH, la conductividad eléctrica (CE), la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la densidad aparente y la materia orgánica (%MO) tienen una estrecha relación con los contenidos nutricionales, el tamaño de las partículas (textura) y la acción de los microorganismos *Bacillus subtilis*.

5.2.1. Temperatura

En cuanto a lo que temperatura se refiere y desde un punto de vista estadístico, con un 95% de confianza se puede afirmar que no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Los perfiles de temperatura que se observan en la figura 6 muestran que el tratamiento tres fue el que mayores temperaturas desarrollo, con valores por encima de los 50°C . Tanto en los tratamientos dos y tres las temperaturas sobre pasan los 40°C , por lo que alcanzaron una fase termófila, no así para el tratamiento uno o control (C) que solo aumento su temperatura hasta los 39°C . Se observa además que los máximos valores de temperatura se dan al inicio del proceso en todos los tratamientos, aproximadamente entre los 5 y los 10 días. En el tratamiento uno el descenso de la temperatura por debajo de la ambiental solo ocurre después de los 70 días, a los 50 días para el tratamiento dos y a los 40 días para el tratamiento tres. Como tal las fluctuaciones son mayores tanto en los tratamientos uno y dos con picos y descensos marcados, mientras que el tratamiento tres refleja un descenso paulatino de la temperatura (figura 6).

Los resultados permitieron encontrar una estabilización de la temperatura después de los 60 días para el tratamiento tres (T3), y de 80 días para los demás tratamientos, con lo cual se infiere que el abono va dando punto de aprovechamiento o “madurez” después de estos días de compostado. Al conseguir este punto de maduración, se puede inferir que compuestos como los ácidos húmicos y fúlvicos fueron los primeros en estabilizarse después de la mineralización, donde participaron los microorganismos *Bacillus subtilis*, con diferencias notables en días entre los tratamientos evaluados.

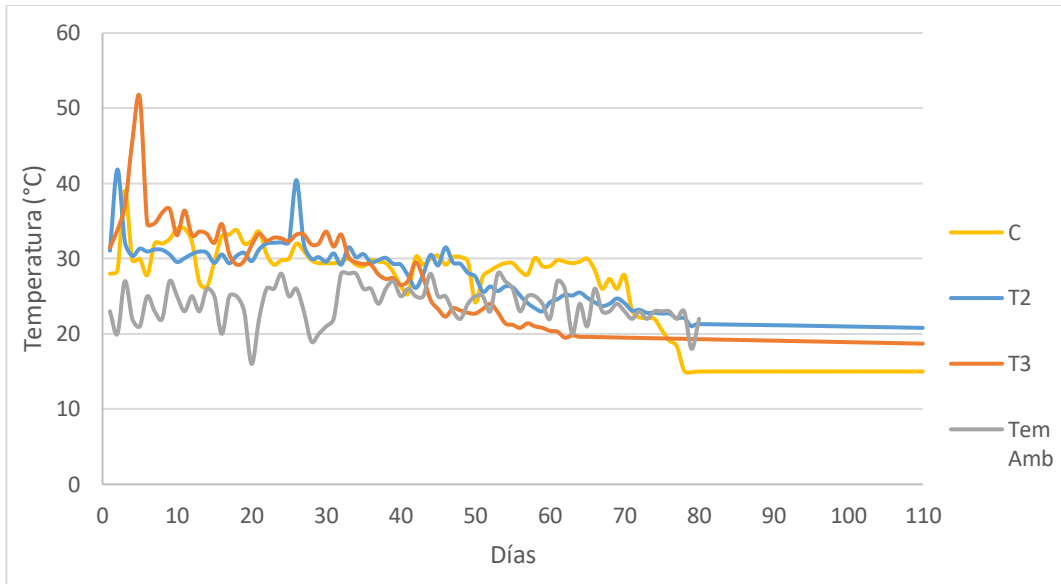


Figura 6. Cambios en la temperatura en los tratamientos evaluados.

5.2.2. pH

Como se encuentra representado en la figura 7, los valores iniciales de pH se comportan de manera similar entre todos los tratamientos y por ende no poseen diferencias estadísticas significativas ($p\text{-value} = 0.4438$, $p\text{-value} > 0.05$). El pH en todos los tratamientos evaluados parte desde el rango 6-7 y no desde valores ácidos como se considera en procesos de compostaje. Los comportamientos más similares se hallan en el tratamiento uno (C) y el tratamiento tres, pues después de las dos semanas sobrepasan la escala de 8 mientras el tratamiento dos, para alcanzar esta escala, tarda hasta la sexta semana.

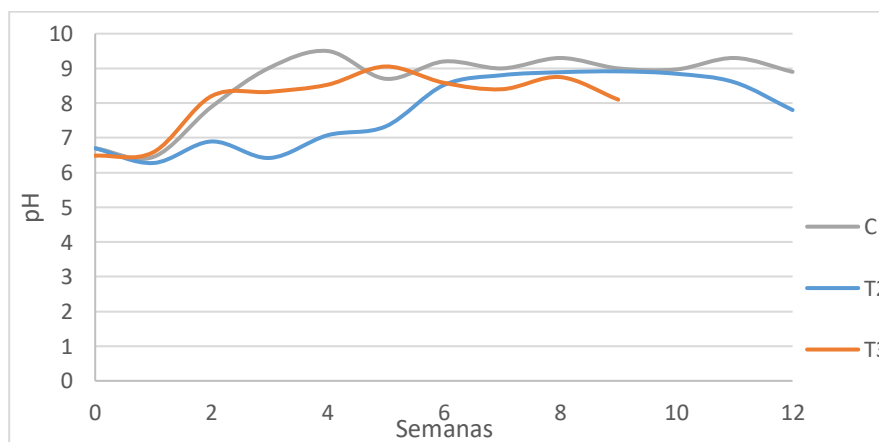


Figura 7. Cambios del pH de los tratamientos evaluados

Sin excepción, los tres tratamientos registraron valores de pH de 9, específicamente en la semana 4 para el tratamiento control, la semana 8 para el tratamiento dos y para la semana 5 en el

tres. Para las etapas finales del proceso de compostaje, el pH alcanza los valores alcalinos en todos los tratamientos evaluados, comportamientos que tienen estrecha relación con los residuos compostados, ya que estos contenían restos de cocina como leche, “kumis”, “cáscaras” de huevo, entre otros, los cuales son naturalmente de pH neutros y alcalinos, por lo cual pueden transmitir al abono orgánico su naturaleza química y características básicas.

5.2.3. Humedad

En términos generales, la humedad obtenida en todos los casos muestra rangos muy bajos y poca diferencia significativa, al menos desde el punto de vista estadístico entre uno y otro tratamiento (figura 8), además de significar un déficit para llevar a cabo de manera efectiva del proceso de compostaje. Los tratamientos dos y tres reflejaron un comportamiento similar de la humedad, al menos hasta la séptima semana, sin embargo el tratamiento dos registró el máximo nivel de humedad con un 43%, en comparación al 38% del tratamiento tres. Diferente a esto, la humedad del tratamiento uno mostro una pérdida progresiva de la humedad desde el momento inicial hasta la finalización del proceso, con un leve incremento entre la semana 6 y 7, pasando de un 28 a un 33%. Se debe aclarar, que en ningún momento se humedecieron las réplicas de los tratamientos evaluados.

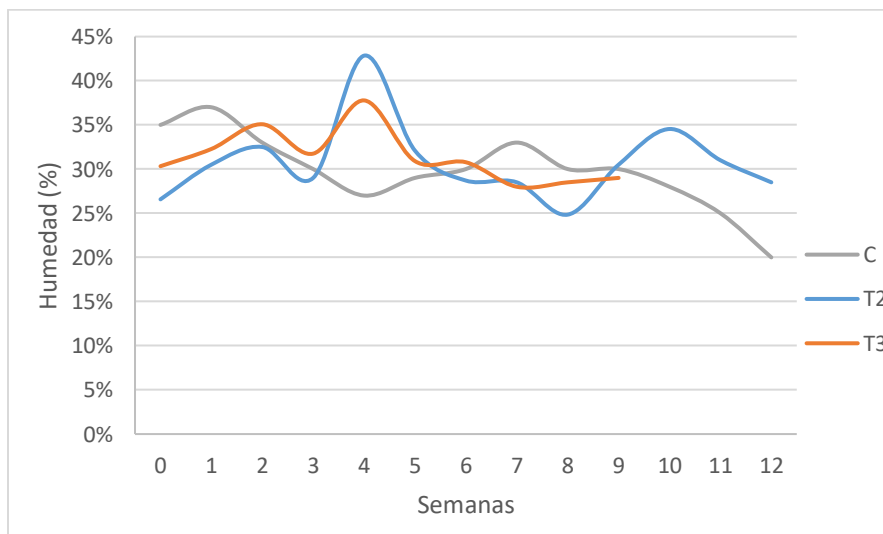


Figura 8. Variación de la humedad en los tratamientos evaluados.

5.3. Calidad nutricional

Relacionado a la calidad nutricional y fitosanitaria y toxicológica del compost, se encontró que ninguno de los tratamientos evaluados mostró diferencias significativas. En términos generales los tres tratamientos mostraron una carga importante de nutrientes para el suelo, como lo son el

nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y demás nutrientes registrados en la tabla 5. Metales como el hierro, el aluminio y azufre no se registraron en ninguno de los tratamientos.

Tabla 5. Composición Nutricional y textura de los tratamientos evaluados.

Nutriente/textura	T1 ©	T2	T3
(cmol (+)/ kg)			
Potasio (K)	60.61	61.55	61.06
Calcio (Ca)	8.12	8.08	6.04
Magnesio (Mg)	18.34	18.48	16.84
Sodio (Na)	21.78	22.18	16.89
mg/Kg (ppm)			
Nitrógeno (N-NH ₄ ⁺)	305	238	139
Manganeso (Mn)	31.98	28.47	36.89
Zinc (Zn)	19.03	22.52	19.42
Fósforo (P)	734.33	759.73	739.39
Porcentaje (%)			
Arena	73	70	58
Limo	15	22	28
Arcilla	12	8	14

Un aspecto relevante es el contenido de potasio (K) y fósforo (P). De acuerdo a los reportes encontrados en la literatura a lo que crecimiento vegetal se refiere, el potasio puede fluctuar entre 0.3 a 0.8 cmol/Kgsuelo y el fósforo entre 20-50 mg/Kgsuelo, dependiendo de la especie vegetal y su estado fenológico. Sin embargo, los resultados muestran valores por encima de 60 cmoles para el potasio y por encima de 100 mg para el fósforo, lo cual está muy por encima del rango expuesto anteriormente, por lo cual se puede afirmar que este abono orgánico no solo es rico en este elemento nutritivo sino que también lo retiene del suelo. Esto también está directamente relacionado con los materiales compostados como los restos de musáceas (meristemas), leche, cáscaras de banano, huesos, etc. A nivel nutricional se resalta que el nitrógeno en forma de nitratos (NO₃) está ausente, mientras que el nitrógeno amoniacal (N-NH₄⁺) si se encontró en altas concentraciones (tabla 5), con la mayor concentración para el tratamiento uno con 305 mg/Kg.

Tabla 6. Rangos ideales para algunos nutrientes en el suelo, elaboración propia fuente ((FAO, 2013) & Osorio (2014)).

Nutriente	[cmol (+)/Kg]
Potasio (K)	0,3-0,8
Calcio (Ca)	3,0-9,0
Magnesio (Mg)	1,0-3,0
Sodio (Na)	>0,1

Un aspecto variable fue la textura. En todos los tratamientos fueron mayores los porcentajes de tamaños de partícula tipo arena (0.05-2mm) y los porcentajes menores fueron para las partículas tipo arcillas (≤ 0.002 mm). Para todos los tratamientos observamos que las concentraciones de los nutrientes superan los rangos establecidos para el mantenimiento y fertilización de suelos, tabla 6.

5.4. Pruebas de eficacia

Al evaluar la fito-toxicología en las plántulas de lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Solanum lycopersicum*), se encontró que la mejor relación de mezcla suelo/compost fue la de 75/25, es decir, aquella que utilizó menos compost. Para definir las pérdidas de plántulas se especificaron parámetros como la marchitez acelerada de la plántula, manchas foliares, bajo crecimiento y una posible intoxicación. Dichas pérdidas pueden observarse en la tabla 7.

Para el caso de la lechuga, en el tratamiento uno, después de 40 días, se obtuvo que de las 12 plántulas sembradas con una relación 50/50 sobrevivieron 5 de ellas y, cuando la relación fue 75/25, de las 12 sembradas solo sobrevivieron 4 de ellas. Por otro lado, los tratamientos dos y tres se comportaron de la misma manera, pues cuando la relación de mezcla fue 50/50 de las 12 plántulas sembradas por cada tratamiento se lograron conservar 8 de ellas y cuando la relación de mezcla fue 75/25 no hubo pérdidas de plántulas de lechuga, tanto para el tratamiento dos como para el tratamiento tres, pues las 12 plántulas sembradas sobrevivieron.

Al analizar la supervivencia de las plántulas de tomate, el tratamiento tres mostró mejores resultados tanto para la relación de mezcla 50/50 como 75/25, pues no existieron pérdidas en ninguno de los casos (tabla 7). Cuando la relación de mezcla fue 50/50 en el tratamiento uno sobrevivieron 8 de las 12 sembradas, logrando una mayor supervivencia con respecto a la relación 75/25 donde solo lograron sobrevivir 4 de las 12 sembradas. Por otro lado, en el tratamiento dos hubo una menor pérdida de plántulas de tomate con la relación 75/25, pues las 12 plántulas sembradas sobrevivieron después de los 40 días, no así cuando la relación de mezcla fue 50/50.

Tabla 7. Pruebas de toxicidad del compost en el crecimiento de plántulas de lechuga y tomate.

Tratamiento	Relación mezcla	Plántula	Inicial	Final
T1 ©	50/50	Lechuga	12	5
		Tomate	12	8
	75/25	Lechuga	12	4
		Tomate	12	4
T2	50/50	Lechuga	12	8
		Tomate	12	4
	75/25	Lechuga	12	12
		Tomate	12	12
T3	50/50	Lechuga	12	8
		Tomate	12	4
	75/25	Lechuga	12	12
		Tomate	12	12

6. Discusión

Las pérdidas de presión evidenciadas cuando el sistema se conectó en serie radican en que cuando un sistema hidráulico se conecta en serie, en los depósitos o contenedores (para este caso, los tanques de 1m³) la salida del primer contenedor va conectado a la entrada del segundo y así sucesivamente sin importar la cantidad de contenedores. Por esta razón la cantidad de aire que recibe el primer tanque no es igual a la cantidad de aire que recibe el último. Por el contrario, cuando la conexión se establece en paralelo los depósitos o contenedores coinciden en una entrada y en una salida, donde la entrada proporciona simultáneamente aire a los depósitos o contenedores conectados, de manera que todos los tanques reciben la misma cantidad de aire y se disminuye la disipación. Por eso el sistema en serie presento pérdidas de presión del 35% en comparación a la conexión en paralelo, además las pérdidas en un sistema de aireación forzada no deben superar el 10% y lo regular es que varíen entre 2-5% ((Sistema de aire comprimido, 2014) & (Junta de Andalucía, 2015)).

Teniendo en cuenta que con el tratamiento tres se logró compostar los residuos orgánicos domiciliarios en 65 días, se puede decir que la unificación de la aireación forzada y los microorganismos endógenos (*Bacillus subtilis*) aceleran el proceso de compostaje. Cegarra et,al (2006), compostaron residuos de olivo utilizando la aireación forzada, por medio de un compresor de 1/6 Hp por ciclos de 5-15 min una vez al día y lograron completar el proceso de compostaje en 168 días. Che Jusoh et,al (2013), sometieron una mezcla de cascarilla de arroz, estiércol de cabra y pasto a un sistema de compostaje con volteo manual y la adición de una solución acuosa de microorganismos eficientes (ME) y lograron finalizar el proceso en 95 días. Por su parte, Cariello et.,al (2007) compostaron residuos orgánicos municipales en Argentina, inoculando las pilas con *Bacillus subtilis* completando el proceso de compostaje en 140 días, alcanzando temperaturas entre 50-60°C. En todos los casos expuestos, el tiempo de compostaje tarda más de 90 días y no superan lo obtenido por los tratamientos uno (85 días), dos (80 días) y tres (65 días). Sin embargo, se debe tener en cuenta que las condiciones ambientales y climáticas de los sistemas de compostaje expuestos anteriormente difieren con las condiciones de la presente investigación. Para el caso de Cegarra et,al (2006), Cariello et.,al (2007) y Che Jusoh et,al (2013) las estaciones y ubicaciones latitudinales tienen incidencia directa sobre el aumento de la temperatura y la activación metabólica de los microorganismos, al mismo tiempo que la frecuencia de los ciclos de uso de la aireación forzada para oxigenar los sistemas de compostaje.

Sumado a la aireación forzada y los microorganismos endógenos, el tamaño de los residuos también es un aspecto determinante en el proceso de compostaje pues entre menor sea el tamaño, mayor es la asimilación de compuestos como azúcares, fenoles, grasas, aceites, sales y moléculas complejas como la celulosa y la lignina por parte de los microorganismos. Las condiciones climáticas y ambientales de las zonas donde se realice el proceso de compostaje inciden de manera directa en el proceso de compostaje, sobre todo en un aspecto relevante como la temperatura. Si se compara con los procesos normales de compostaje en el oriente antioqueño, los resultados obtenidos poseen mayor relevancia, pues las composteras municipales requieren de 90 a 100 días

para realizar el compostaje de residuos orgánicos, a excepción del municipio del Santuario que composta sus residuos orgánicos en 40 días y sin ningún problema asociado a olores, roedores o maduración del compost (Alcaldía Santuario, 2016).

Como tal, la similitud de los parámetros fisicoquímicos, nutricionales y fito-tóxicos se debe a la naturaleza de los residuos compostados y a la metodología realizada en el montaje del sistema. Sin embargo, el pH alcalino obtenido en esta investigación se debe a la naturaleza química de los materiales compostados. Las cascaras de huevo, los productos lácteos, el pan, huesos y alimentos con procesos de cocción, pues son alimentos ricos en proteínas que pueden formar sales de potasio, calcio, magnesio y zinc que elevan el pH. Por este motivo el pH inicial no se encuentra en los valores ácidos como ocurre normalmente por la formación de ácidos orgánicos, fúlvicos y húmicos. Según Roman et.al (2013), el rango ideal de pH en el que se debe mantener un compostaje es de 4.5-8.5, donde se puedan evadir los excesos de ácidos orgánicos o de nitrógeno en forma amoniacal, con lo cual cumplen los tratamientos dos y tres al finalizar el proceso de compostaje, rondando en pH de 8.

De la misma manera, la naturaleza de los residuos hacen que el nivel nutricional, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH y la conductividad eléctrica (CE) varíen. El rango ideal para el potasio es de 0.3-0.8 ($\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$), el calcio es óptimo entre 3-9 ($\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$), el magnesio entre 1-3 ($\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$) y el sodio por debajo de 0.1 ($\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$) (Berrio (FAO), 2015), con la presencia del nitrógeno (N-NH^{4+}) hay que afirmar que este es un compuesto que eleva el pH, como sucedió en el tratamiento uno donde el pH final es de 8.9 y la concentración de (N-NH^{4+}) es de 305 mg/Kg, los más altos entre los tres tratamientos evaluados (Tabla 5). Sin embargo, la presencia de microorganismos como los *Bacillus subtilis* hacen que los nutrientes se encuentren más disponibles y de una manera más asimilable por parte de las plantas.

Los valores de conductividad en los tres tratamientos evaluados estuvieron muy por debajo del rango ideal, que para los suelos esta entre 0.3 y 0.7 dS/m. Esto se debe a que los compuestos se encuentran retenidos en las partículas físicas y solo se encuentran disponibles en solución acuosa (Toledo, 2017). La CIC es la suma de los nutrientes intercambiables como el potasio, calcio, el magnesio y el sodio con un rango ideal de 10-20 $\text{cmol}^{(+)}/\text{kg}$. Las altas concentraciones obtenidas de CIC en esta investigación se debe a las concentraciones desmesuradas de potasio por: cáscaras de plátano, meristemas y cáscaras de banano; El calcio proporcionado por la descomposición de kumis, leche, huesos, cereales y las cáscaras de huevo. La viruta, la hojarasca y la poda suministró lo que después de convertiría en magnesio (Sepúlveda & Alvarado, 2013) y que en sumatoria definieron los nutrientes de intercambio que fundamentan la CIC. Esto es beneficioso para abonos orgánicos, pues al tener esta alta capacidad de intercambio no solo se retiene una alta concentración de nutrientes sino que también se solubilizan los que estén presentes en el mismo suelo ((Sánchez, 2007)&(Berrio, 2015)).

De esta manera la carga nutricional obtenida nos habla de un material con características importantes para el suelo y los potenciales usos en la agricultura, sin embargo se sugiere utilizar

una relación de mezcla suelo compost 75/25 u otra donde la cantidad de suelo sea mayor a la del compost, para que de esta manera no se desarrolle la toxicidad evidenciada cuando la relación de mezcla fue 50/50 en las plántulas de lechuga y tomate.

Al analizar el comportamiento obtenido en la humedad se debe decir que para todos los tratamientos la humedad se controló con turba reciclada y aserrín (materiales de soporte) y con aireación forzada tal como lo recomienda Ocana et.al (2014). Sin embargo, los valores evidenciados en gran parte del tiempo se mantuvieron por debajo del 40% (Figura 8), pues en ningún momento se realizó riego (ni por goteo, ni por aspersión). Además, el exceso de aireación que afectó la temperatura, generó mayor pérdida de humedad por evaporación, generando que los rangos estuvieran por debajo del rango recomendado de 40-60%. Este aspecto tuvo mayores incidencias en el proceso metabólico de los microorganismos de los tratamientos uno y dos que no tuvieron la carga microbiana adicional que si la tuvo el tratamiento tres y por ende las diferencias en el tiempo de compostaje. Por este motivo, se recomienda que los ciclos de aireación se realicen con 20 psi durante un minuto y no durante dos como se implementó en esta investigación

En cuanto a textura, el predominio de arenas hace que los materiales obtenidos en todos los tratamientos tengan buena aireación, pero si bien es importante tener porosidad, lo ideal es que el suelo se mantenga en el rango entre 50-75% y como se puede observar el compost obtenido en los tres tratamientos evaluados no supera este rango. Tener 75% de arenas o más facilita la pérdida de agua por evaporación y escurrimiento, la rápida infiltración e incluso procesos erosivos, (Sánchez, 2007). Los niveles bajos de arcillas demuestran una baja compactación y/o laminación y todos los tratamientos se encuentran en el rango más ideal, el cual varía entre 7-14%, aunque se considera que por debajo del 20% son condiciones aceptables. Por encima de 20% la capacidad de retención hidráulica y nutricional disminuyen notablemente (Flores & Alcalá, 2010).

Finalmente, si se tiene en cuenta las condiciones y exigencias de la normatividad Colombiana por medio del ICA con la NTC 5167 (ICONTEC, 2004), los resultados obtenidos cumplen con los rangos establecidos, donde la humedad debe ser máximo de 35% y para nuestros casos estuvieron entre 20%-29%; el carbono orgánico puede ser máximo de 15% y se obtuvo el valor más alto para el tratamiento dos (T2) con 12.6%. La Capacidad de intercambio catiónico debe ser mínimo de 30 $\text{cmol}^{(+)} / \text{kg}$ y para los tres tratamientos fue mayor a 100 $\text{cmol}^{(+)} / \text{kg}$. El pH establecido por la norma exige un pH entre 4-9 y el tratamiento uno por ejemplo obtuvo un pH final de 8.9 contra 7.8 del tratamiento dos y 8.1 del tres. La densidad aparente debe ser de máximo 0.6 g/cm^3 y para nuestra investigación se obtuvo 0.39 g/cm^3 para el tratamiento uno y 0.37 g/cm^3 para el tratamiento dos y tres. Esta densidad tiene explicación desde la técnica o metodología utilizada para el triturado de los residuos, pues al ser un procedimiento manual, el tamaño de algunos residuos fue mayor (pepas de aguacate, mango, hueso, etc.) que otros (cáscaras de frutas y verduras, ripio de café, etc.) dándole densidad y evitando la compactación.

Además, se infiere que la toxicidad traducida en la pérdida de plántulas de lechuga y tomate, se debe entonces a la alta concentración de nutrientes y en ningún momento estuvo

relacionado a metales pesados como el Arsénico, Cadmio, Cromo, Mercurio, Níquel o Plomo. En las pruebas bromatológicas o nutricionales realizadas a los tres tratamientos, en ninguno de los casos, se obtuvo trazas de estos metales contaminantes y fitotóxicos. Por último y relacionado a la toxicología se hace necesario dosificar y disminuir las partes de compost en relación al suelo a la hora de realizar la fertilización.

7. Conclusiones

7.1. La conexión en paralelo garantizó una condición aerobia del sistema, pero afectó parámetros como la temperatura, el pH y la humedad.

7.2. El tiempo de compostaje se redujo significativamente de 85 a 65 días cuando se utilizó la aireación forzada y los microorganismos endógenos *Bacillus subtilis*.

7.3. El material obtenido posee una carga nutricional importante, con predominio del potasio (K) y fósforo (P), condiciones físicas y químicas aptas para el desarrollo de muchos cultivos con la relación de mezcla más adecuada de 75/25.

8. Referencias

- (EPA), T. U. E. P. A. (2012). *Food Scrap Recycling: A Primer for Understanding Large-Scale Food Scrap Recycling Technologies for Urban Areas*.
- (FAO), O. D. L. N. U. P. L. A. Y. L. A. (2009). *Guía para la descripción de suelos*. (ROMA, Ed.) (4th ed.).
- Alexander, K. (2014). *Composting Has A-Peel!* Retrieved from www.ct.gov/deep/recyclewww.ct.gov/deep/composting
- Alfonso, L., Trujillo, E., Augusto, Ó., Rivera, M., Ambiental, C., Carlos, J., ... Jaramillo, G. (2015). *Un Proyecto de CORANTIOQUIA Equipo Técnico Diseño y diagramación*. Retrieved from www.corantioquia.gov.co
- Avendaño García Superintendente de Servicios Públicos Domiciliarios Bibiana Guerrero Peñarete Superintendente Delegada para Acueducto, N., Aseo Luisa Fernanda Camargo Sánchez, A., Carolina Guavita Duarte, D., Ximena Ramos Hidalgo, C., & Carolina Marú Ruiz Ángela Marcela Quintero Martínez Camilo Andrés Beltrán Garzón Heidy Camila Hernández Sánchez, A. (2018). *Informe de disposición final de residuos sólidos*. Retrieved from https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/Publicaciones/Publicaciones/2018/Dic/2._disposicion_final_de_residuos_solidos_-_informe_2017.pdf
- Banco Interamericano de Desarrollo (BID). (1997). *Guía para la Evaluación de Impacto Ambiental para Proyectos de Residuos Sólidos Municipales*.
- Berio, K. (2015). *Manual de compostaje del agricultor. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe*. Retrieved from <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>
- Cariello, M. E., Castañeda, L., Riobo, I., & González, J. (2007). Inoculante de microorganismos endógenos para acelerar el proceso compostaje de residuos sólidos urbanos. *R.C. Suelo Nutr. Veg*, 7(3), 26–37.
- Cegarra, J., Albuquerque, J. A., González, J., Tortosa, G., & Chaw, D. (2006). Effects of the forced ventilation on composting of a solid olive-mill by-product (“alperujo”) managed by mechanical turning. *Waste Management*, 26(12), 1377–1383. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2005.11.021>
- Chávez, Ä., & Rodríguez, A. (2016). Aprovechamiento de residuos agrícolas y forestales. *Revista Academia & Virtualidad*, 9(2), 784. Retrieved from <http://bbibliograficas.ucc.edu.co:2063/lib/ucooperativas/detail.action?docID=11045964&p00=elias+castells>
- Che Jusoh, M. L., Abd Manaf, L., & Abdul Latiff, P. (2013). Composting of rice straw with effective microorganisms (EM) and its influence on compost quality. *Iranian Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 10(17), 1.

<https://doi.org/10.1186/1735-2746-10-17>

Colombia podría aprovechar 40% de las toneladas de residuos que genera anualmente. (2019). Retrieved March 24, 2020, from <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141>

COMISION NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE DEPARTAMENTO DESCONTAMINACION, PLANES Y NORMAS NORMA DE CALIDAD DE COMPOST. (2000). Retrieved from [http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma calidad COMPOST.pdf](http://www.lombricultura.cl/lombricultura.cl/userfiles/file/biblioteca/normas/Norma%20calidad%20COMPOST.pdf)

Flores, L., & Alcalá, R. (2010). Manual de Procedimientos Analíticos Física de Suelos. *Instituto de Geología*, 56. <https://doi.org/10.1007/s00431-003-1251-6>

Francisco, D., Jaramillo, J., & Clave, P. (2015). Artículo De Investigación Científica Variabilidad Espacial De Algunas Propiedades Químicas De Suelos Palmeros De Colombia Spatial Variability of Some Soil Chemical Properties of Palm Plantations in Colombia. *Suelos Ecuatoriales*, 45(2), 55–64.

Guía para la elaboración de un sistema de aire comprimido. (2014). *Guía para la elaboración de un sistema de aire comprimido* .

ICONTEC. (2004). Ntc 5167, 1–32. Retrieved from http://www.sian.inia.gob.ve/repositorio/congresos/1compostaje_5normalizacion/BIBLIOGRAFIA/Bib_Norma_Tecnica_Colombiana.pdf

Jos, A., & Dpto, C. (2012). Apuntes de Estadística para Ingenieros.

Junta de Andalucía. (2015). 3. *SISTEMAS Y TÉCNICAS PARA EL COMPOSTAJE*.

Moreno Casco, J., & Moral Herrero, R. (2008). *Compostaje*. Mundi-Prensa.

NTC-ISO. (2015). *Sistema de Gestión Ambiental, ISO 14000*. Retrieved from [https://www.agroindustria.gov.ar/sito/areas/d_recursos_humanos/concurso/normativa/_archivos/000007_Otras normativas especificas/000000_SISTEMA DE GESTIÓN AMBIENTAL ISO 1400.pdf](https://www.agroindustria.gov.ar/sito/areas/d_recursos_humanos/concurso/normativa/_archivos/000007_Otras%20normativas%20especificas/000000_SISTEMA%20DE%20GESTI%C3%93N%20AMBIENTAL%20ISO%201400.pdf)

Nuestra Planta de Compostaje, sigue siendo ejemplo. (2016.). Retrieved October 21, 2019, from <http://www.elsantuariosp.gov.co/index.php/90-nuestra-planta-de-compostaje-sigue-siendo-ejemplo>

Ocana, E. R. O., Rebellón, L. F. M., & Lozada, P. T. (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*.

Pon, J. (2019). *Taller Regional: Instrumentos para la implementación efectiva y coherente de la dimensión ambiental de la agenda de desarrollo Caso 4: RESIDUOS*. San José, Costa Rica . Retrieved from https://www.cepal.org/sites/default/files/presentations/gestion_de_residuos_-_jordi_pon.pdf

Real Academia Española, & RAE. (2019). «Diccionario de la lengua española» - Edición del Tricentenario. Retrieved July 31, 2019, from <https://dle.rae.es/srv/search?m=30&w=desecho>

Sánchez, J. (2007). Fertilidad del suelo y nutrición mineral en plantas -Conceptos Básicos. *Fertitec S.A.* , 19. Retrieved from [http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD DEL SUELO Y NUTRICION.pdf](http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FERTILIDAD%20DEL%20SUELO%20Y%20NUTRICION.pdf)

Sepúlveda, L. A., & Alvarado, J. A. (2013). *Manual de compostaje doméstico. Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá*. Retrieved from [http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/Cartillas/Manual Compostaje.pdf](http://www.metropol.gov.co/Residuos/Documents/Cartillas/Manual%20Compostaje.pdf)

Toledo, M. (2017). *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras*.

Villasanti, C., Román, P., & Pantoja, A. (2013). *El manejo del suelo en la producción de hortalizas con buenas prácticas agrícolas. Food and Agriculture Organization of the United Nations*.