

Análisis fisicoquímico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa residual de “El Carrasco”, según la normativa NTC 5167 de 2004.

Catalina Velásquez Reyes

Trabajo de grado para optar el título de ingeniería química

Director

Carlos Omar Parra Escudero

Maestro en ciencias en Ingeniería Bioquímica

Codirector

Héctor Joaquín Orozco Monroy

Químico

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Bucaramanga

2023

Contenido

	Pág.
Introducción	8
1. Objetivos	9
1.1 Objetivo general.....	9
1.2 Objetivos específicos	10
2. Marco conceptual.....	10
2.1. Factores influyentes en el proceso de compostaje	12
2.2. Fases del proceso de compostaje	14
2.3. Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004	16
3. Estado del arte.....	17
3. Metodología	19
3.1 Muestreo del material orgánico	22
3.2. Caracterización fisicoquímica del abono	23
3.3. Evaluación del proceso de compostaje	26
4. Resultados	27
5. Conclusiones.....	37
6. Recomendaciones	38
Referencias Bibliográficas	40
Apéndices.....	47

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Fases del proceso de compostaje.....	14
Figura 2. Planta de tratamiento de residuos orgánicos	20
Figura 3. Pila resguardada proveniente de residuos orgánicos triturados.....	21
Figura 4. Comportamiento del % humedad “A” vs. Conductividad “B” de acuerdo con el tiempo de proceso.	30
Figura 5. Comportamiento del % de cenizas “A” vs. % humedad “B” de acuerdo con el tiempo de proceso.	31
Figura 6. Comportamiento de las pérdidas por volatilización “A” vs. % cenizas “B” de acuerdo con el tiempo de proceso.....	32

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1. Parámetros a caracterizar para abonos orgánico-minerales	17
Tabla 2. Características del muestreo realizado.....	23
Tabla 3. Parámetros fisicoquímicos obtenidos	27
Tabla 4. Caracterización fisicoquímica de la muestra 1.	33
Tabla 5. Caracterización fisicoquímica de la muestra 3.	34
Tabla 6. Caracterización fisicoquímica de la muestra 5.	35

Lista de Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Norma Técnica Colombiana NTC 5167	47

Resumen

Título: Análisis fisicoquímico del proceso de co-compostaje a partir de biomasa residual de “El Carrasco”, según la normativa NTC 5167 de 2004*.

Autor: Catalina Velásquez Reyes**

Palabras Clave: Abono, Compostaje, Co-compostaje, Biomasa, Caracterización, pH, Humedad

Descripción:

La presente investigación tiene como principal propósito diagnosticar el estado actual de la tecnología de gestión de residuos orgánicos empleada en la planta de compostaje del relleno sanitario “El Carrasco” a partir de biomasa residual, atendiendo los estándares de la NTC 5167. **Metodología:** De 6 pilas existentes de abonos con diferentes tiempos de proceso, se toman ejemplares desde varios sectores de cada pila, que permitan obtener información de la superficie a estudiar, así como las temperaturas de cada uno de los 6 lotes, teniendo en cuenta que la muestra representativa será de aproximadamente 3 kg por lote conformado. La recolección se realiza en recipientes plásticos cerrados y se traslada hasta el laboratorio de la escuela de Ingeniería Química de la Universidad Industrial de Santander, en donde se refrigera a una temperatura de 9°C y procede el estudio. Las variables por medir en el estudio comprenden únicamente algunos parámetros fisicoquímicos propuestos por la Norma Técnica Colombiana NTC 5167 de 2004, encargada de regular la producción de abonos procedentes de diferentes materias primas: Porcentaje de Humedad, Capacidad de retención de humedad, Densidad, pH, Conductividad, Contenido de cenizas y pérdidas por volatilización. **Resultados:** Por un lado, Los factores más importantes en la obtención de un abono son la humedad y la temperatura, estos son quienes influyen en los demás parámetros fisicoquímicos del proceso. Por otro lado, se observó que, de acuerdo con las temperaturas presentadas, los tiempos de producción y fases del proceso de compostaje, las muestras 1, 3 y 5 son aquellas que resultan estar en la etapa final y pueden ser llamadas “abono terminado”, mientras que las muestras 4 y 6 se encuentran en etapa mesófila dos y la muestra 2 en etapa termófila. Para finalizar se encontró que la muestra 5 es la única que cumple con los parámetros fisicoquímicos que exige la NTC 5167. **Conclusión:** La tecnología planteada por la EMAB no posee los parámetros adecuados para realizar llevar el control del proceso, estandarizarlo y optimizarlo ya que la falta de aireación de las pilas y el control limitado de las condiciones de materia prima, temperatura y condiciones ambientales del sistema repercuten en la alteración del contenido de humedad o saturación del producto y por tanto en los demás parámetros fisicoquímicos del mismo.

* Trabajo de Grado

** Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas Escuela de Ingeniería Química Director: Carlos Omar Parra Escudero Maestro en ciencias en Ingeniería Bioquímica Codirector Héctor Joaquín Orozco Monroy Químico

Summary

Title: Physicochemical analysis of the co-composting process from residual biomass from "El Carrasco", according to NTC 5167 of 2004*.

Autor: Catalina Velásquez Reyes**

Keywords: Fertilizer, Composting, Co-composting, Biomass, Characterization, pH, Humidity

Description:

The main purpose of this research is to diagnose the current state of the organic waste management technology used in the composting plant of the "El Carrasco" landfill from residual biomass, following the standards of NTC 5167. **Methodology:** Of 6 Existing fertilizer piles with different processing times, samples are taken from various sectors of each pile, which allow obtaining information on the surface to be studied, as well as the temperatures of each of the 6 lots, taking into account that the representative sample will be of approximately 3 kg per batch formed. The collection is carried out in closed plastic containers and is transferred to the laboratory of the School of Chemical Engineering of the Industrial University of Santander, where it is refrigerated to a temperature of 9°C and the study proceeds. The variables to be measured in the study include only some physicochemical parameters proposed by the Colombian Technical Standard NTC 5167 of 2004, in charge of regulating the production of fertilizers from different raw materials: Moisture Percentage, Moisture retention capacity, Density, pH, Conductivity, ash content and volatilization losses. **Results:** On the one hand, the most important factors in obtaining a fertilizer are humidity and temperature, these are the ones that influence the other physicochemical parameters of the process. On the other hand, it was observed that, according to the temperatures presented, the production times and phases of the composting process, samples 1, 3 and 5 are those that turn out to be in the final stage and can be called "finished fertilizer", while samples 4 and 6 are in mesophilic stage two and sample 2 in thermophilic stage. Finally, it was found that sample 5 is the only one that complies with the physicochemical parameters required by NTC 5167. **Conclusion:** The technology proposed by the EMAB does not have the appropriate parameters to carry out control of the process, standardize it and optimize it since the lack of aeration of the piles and the limited control of the conditions of raw material, temperature and environmental conditions of the system have repercussions in the alteration of the moisture content or saturation of the product and therefore in the other physicochemical parameters of it.

* Degree work

** Faculty of Physicochemical Engineering School of Chemical Engineering Director: Carlos Omar Parra Escudero Master of Science in Biochemical Engineering Co-director Héctor Joaquín Orozco Monroy Chemist

Introducción

80 toneladas de basura son recolectadas a diario por la empresa “EMAB”, situación que agrava la crisis de almacenamiento existente en el relleno sanitario “El carrasco” que actualmente cuenta con una última celda a disposición para apilar dicha basura.

Más del 50% de la composición física total de los desechos recolectados por la EMAB corresponden a residuos sólidos de origen natural que pueden ser descompuestos (Valencia, 2021), es por esto, que con el ánimo de plantear soluciones y contribuir con el medio ambiente, la empresa propuso una planta piloto para la producción de abono orgánico que lleva en funcionamiento desde agosto del año 2021 (un año y medio), procesa al año 2.692,78 toneladas de residuos orgánicos provenientes de plazas de mercado y podas y alcanza un nivel de producción de 651,00 toneladas anuales de abono (Valencia, 2021). La tecnología propuesta busca transformar estos residuos sometiéndolos a un proceso llamado “compostaje”, que vincula los componentes de la materia prima en el ciclo de la cadena de producción primaria en aras de mejorar las condiciones físicoquímicas del suelo al reincorporar los nutrientes a través del ciclo del carbono y del nitrógeno para disminuir el uso de agroquímicos y aumentar la productividad de los cultivos a partir del abono obtenido del mismo (Vargas-pineda et al., 2019). La producción de abono orgánico a partir de biomasa residual es una alternativa cada vez más relevante para la gestión sostenible de residuos y la mejora de la calidad del suelo; por su parte, el proceso de co-compostaje es una de las técnicas más utilizadas en la producción de este tipo de abono, ya que permite la valorización de los residuos y su transformación en un producto útil y beneficioso para la agricultura y la jardinería.

Actualmente, la tecnología propuesta ejerce un control artesanal del procesamiento de la materia prima, ignorando el comportamiento de los parámetros físicoquímicos señalados en la norma técnica colombiana 5167 (2004), ampliando la posibilidad de encontrar discrepancias con la misma, y de generar daño en los suelos y en el medio ambiente. Con este análisis, se espera obtener una caracterización físicoquímica completa del abono orgánico producido en la planta de compostaje de "El Carrasco", así como identificar posibles mejoras en el proceso en aras de garantizar la calidad del producto final. Los resultados de esta investigación serán de gran utilidad para la gestión sostenible de residuos y la agricultura urbana, contribuyendo así a la construcción de un futuro más sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

1. Objetivos

1.1 Objetivo general

Diagnosticar el estado actual de la tecnología de gestión de residuos orgánicos empleada en la planta de compostaje del relleno sanitario "El Carrasco" a partir de biomasa residual, atendiendo los estándares de la NTC 5167.

1.2 Objetivos específicos

Realizar el muestreo del material orgánico según el origen de los componentes, las propiedades presentes en cada lote y sus tiempos de proceso.

Caracterizar físicoquímicamente el abono producido a partir de las variables pH, Humedad, Contenido de cenizas, conductividad, densidad, Capacidad de retención de humedad y volatilidad.

Evaluar el proceso de compostaje llevado a cabo en la EMAB en función de los parámetros caracterizados, en aras de cumplir con lo establecido por la norma técnica colombiana 5167.

2. Marco conceptual

La disposición final de los residuos sólidos orgánicos generados por la humanidad ha sido un tema de estudio desde la antigüedad ya que caracterizan por ser difíciles de tratar en comparación con otros residuos debido a su alta humedad, presencia de sales, deficiencia de carbono orgánico y nutrientes como el fósforo, además de su composición heterogénea (Kumar, 2010).

Como una alternativa para la disposición final de los residuos orgánicos se implementó la producción de compostaje, el cual es utilizado en gran parte del mundo debido a su bajo costo, el fácil acceso a su materia prima y su capacidad para realizar una mejora en la calidad del suelo a partir de los nutrientes presentes en el producto final (Soto-paz et al., 2017). Estudios han encontrado que la fabricación de compostaje genera más ventajas ambientales que otros métodos de tratamiento y eliminación de estos desechos (M. Jaffe, 2015).

El compostaje, definido como el proceso biológico controlado y acelerado mediante el cual se da la descomposición y reducción de materia orgánica por acción de una actividad microbiana en condición aeróbica. Este proceso se ve influenciado por diferentes parámetros y condiciones que al ser controlados permiten obtener un producto estable llamado “compost” (no fertilizante) que aporta nutrientes y favorece la calidad del suelo agrícola que lo contenga; parámetros como humedad y temperatura permiten la higienización de las partículas orgánicas, obteniendo como resultado final un producto uniforme y aprovechable por las plantas (Silva, 2022). Las condiciones que favorecen el desarrollo de microorganismos aeróbicos están dadas por la presencia de oxígeno, agua, temperatura y una nutrición balanceada pero existen otros factores como el pH, fuentes energéticas de fácil solubilización y la superficie de contacto, que también favorecen la proliferación de los microorganismos (Soto y Muñoz, 2002).

Estudios muestran la importancia de mejorar la calidad del sustrato a partir del control de la humedad, la porosidad y la aireación, pero, pese a que esto ayuda a que el compostaje cumpla con los estándares, se requieren más investigaciones que permitan optimizar la calidad del producto final, es por esto que se plantea el “co-compostaje”.

Mientras que el compostaje tiene por sustrato un tipo de materia orgánica, el co-compostaje, por su parte, es una alternativa que mezcla dos sustratos o añade un aditivo (mezcla de microorganismo, nutrientes, carbono, enzimas y un amortiguador para balancear el pH) (E. Ricardo et al., 2017) que contribuye a obtener un producto de mayor calidad, teniendo en cuenta que se realiza bajo el mismo protocolo, y requiere de las mismas condiciones del proceso en general.

Entre los estudios realizados al compostaje se encuentran: la calidad final del producto y la optimización del proceso mientras que algunos de los criterios utilizados para medir esta calidad son: la aireación, la humedad, la relación C/N, el tamaño de la partícula, la madurez del producto

que se determina a través de variables como el pH, la conductividad eléctrica, la relación de absorción y los ensayos de fitotoxicidad con semilla de rápida germinación (Carmona R., N., 2017). De acuerdo con lo anterior se aborda más a fondo el comportamiento de los parámetros más determinantes del proceso

2.1. Factores influyentes en el proceso de compostaje

Entre los factores que afectan el proceso de compostaje se encuentra la relación C/N que es un indicador importante para estimar la calidad del producto ya que el carbono es fuente de energía y el nitrógeno es necesario para el crecimiento y funcionamiento celular de los microorganismos (Richard, 1992), se considera que una relación favorable para su desarrollo es 30/1 (Soto y Muñoz, 2002).

La temperatura, por su parte, es un parámetro dinámico y su variación a través del tiempo del proceso está estrechamente relacionada con la actividad biológica y con factores como la cantidad de residuos contenidos en la pila, su ubicación, el clima, la frecuencia de riegos y volteos, entre otros. El aumento de temperatura garantiza la calidad microbiológica y sanitaria del compost, pero esta no se dará si el material es muy seco, por lo tanto, actúa de la mano con la humedad y es importante asegurar que durante el proceso de fermentación esta se mantenga entre los 35 y 60 °C para sostener las condiciones que restringen el desarrollo de los agentes patógenos, parásitos y semillas de malas hierbas (Cordova, 2006).

La humedad es otro parámetro relevante para el éxito del proceso ya que los microorganismos encargados de realizar el proceso de degradación de los residuos requieren de agua para realizar su función metabólica. Algunos autores sugieren que un rango de contenido de humedad de entre un 50 y un 80% es adecuado para el desarrollo de los microorganismos descomponedores (Brutti, 2001),

mientras que otros estiman que la humedad óptima requerida está entre el 45 y el 60% permitiendo maximizar la eficiencia del proceso. Se debe tener en cuenta que a medida que la temperatura aumenta de acuerdo con la fase en que se encuentre el proceso, la humedad disminuye, así que para corroborar que sea adecuada esta debe permitir formar una pelota del material sin que se fragmente o desmorone (Silva L., C., 2022).

El pH sirve como parámetro que controla la dinámica de la acción microbiana afectando la disponibilidad de nutrientes para el crecimiento y desarrollo de plantas que pueden verse reducidos si se encuentran en un medio extremadamente ácido o básico. La basura fresca tiende a la acidez con un aproximado entre 6 y 7, esta aumenta en las fases en las que la temperatura aumenta alcanzando un pH entre 8 y 9, pero al finalizar el proceso debe acercarse a un valor neutro de pH (valores cercanos a 7) (Morales, 2003).

El proceso de compostaje, al ser regido por microorganismos aerobios necesita la presencia de aire (oxígeno) para realizarse, si este logra ser recibido por todo el material el proceso de descomposición se verá optimizado permitiendo que estos microorganismos puedan estabilizar los residuos orgánicos (Santibañez, 2002), en caso contrario, si el material es muy denso y por ende todo el material no recibe aire, el material se pudre descontroladamente (descomposición anaeróbica) y como resultado se da la aparición de malos olores, es por esto que la presencia de aire es fundamental para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos presentes en la pila de compost y por ende para la producción del abono.

Para finalizar, el tamaño de las partículas afecta la superficie de contacto, por lo tanto, según Soto y Muñoz (2002) la disminución de su tamaño aumenta la superficie y por consiguiente, la actividad microbiológica, descomponiendo la materia de manera más rápida; cabe mencionar que las partículas muy pequeñas inhiben la respiración (flujo de aire) sin lograr la descomposición.

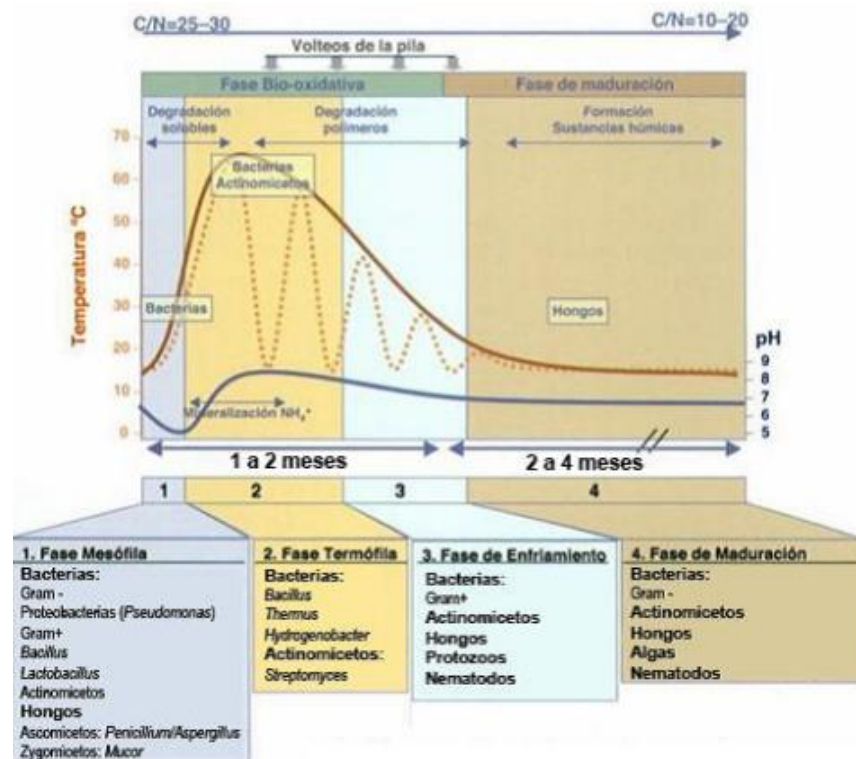
En cuanto al proceso de producción existen diversos métodos, se pueden implementar desde diseños específicos de reactores y aireación, controles de agua y nutrientes, hasta tratamiento de olores (Soto-paz et al., 2017), garantizando en cualquier escenario las condiciones para que se lleven a cabo las fases del proceso de forma óptima.

2.2. Fases del proceso de compostaje

El proceso de compostaje comprende 5 fases o etapas (Ver figura 1) basadas en la variación de la temperatura generada a partir de la actividad microbiana presente, que afecta directamente otros parámetros como humedad y pH.

Figura 1.

Fases del proceso de compostaje



Nota. Tomado de Moreno J. 2008.

Inicialmente, y durante todo el proceso biológico encontramos la etapa de latencia, fase en la cual los microorganismos se adaptan al medio. Esta se prolonga hasta que se constatan cambios de temperatura, lo que puede suceder entre 24 y 72 horas (Sztern D., Pravia M., 2009). A continuación, el proceso entra en la etapa mesófila 1, en la cual se generan procesos de nitrificación además de otros compuestos provenientes de la respiración aeróbica y presenta un aumento de temperatura desde los 10°C hasta los 40°C debido a la actividad metabólica, además de un pH ácido que oscila entre 4,5 y 5,5; su duración depende de los materiales que se estén degradando (Sztern D., Pravia M., 2009). Posteriormente el proceso entra en la etapa termófila, fase en la cual los microorganismos mesófilos son sustituidos por los termófilos, registra un aumento de pH y de temperatura entre 40 y 75°C que persiste hasta que el aumento del CO₂ produce condiciones anaeróbicas en las cuales los microorganismos aeróbicos no logran subsistir (Sztern D., Pravia M., 2009). Siguiendo el proceso, el sistema entra en la etapa mesófila 2 en la que, al disminuir la actividad metabólica de los microorganismos termófilos, la temperatura de la pila empieza a disminuir. El proceso hasta este momento tiene una duración aproximada de dos meses (Sztern D., Pravia M., 2009). Para finalizar, el proceso entra en etapa de maduración, lapso de tiempo en el cual se degradan los compuestos más resistentes mientras que la temperatura disminuye hasta llegar al equilibrio con el medio ambiente; en esta fase predominan los hongos y bacterias filamentosas llamadas actinomicetos, los cuales colonizan el material desde el entorno circundante, los bordes de la pila o las esporas que resistieron la etapa termófila y participan en los procesos de humificación (Sztern D., Pravia M., 2009).

El compost, abono o producto final obtenido del proceso de compostaje es útil para contribuir con la “economía circular” favoreciendo al medio ambiente con el control del tratamiento de desechos y

enriqueciendo los suelos, es por esto que dicho producto debe estar sujeto a los parámetros que las normas ambientales nacionales sugieren.

2.3. Norma Técnica Colombiana 5167 de 2004

La norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004 es un documento escrito por El Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación “ICONTEC” que rige los parámetros óptimos bajo los cuales, de acuerdo con su procedencia, se obtienen productos para la industria agrícola de buena calidad, tales como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Esta norma tiene como objetivo establecer los requisitos que deben cumplir los productos orgánicos y los ensayos a los cuales deben ser sometidos como soporte de su calidad y aporte al cuidado ambiental (Ver Apéndice A), allí radica su importancia.

De acuerdo con la norma, dentro de la caracterización para abonos orgánicos obtenidos a partir de residuos vegetales se deben tener en cuenta los siguientes parámetros físicoquímicos: Pérdidas por volatilización, Contenido de cenizas, Contenido de humedad, Capacidad de retención de humedad, PH, Densidad, entre otros, tal como lo muestra la tabla 1.

Los métodos de análisis físicoquímico de un abono orgánico se basan en metodologías para análisis de suelos y material vegetal debido a que dichos materiales, o bien son de aplicación directa al suelo, o bien son de uso como sustratos para siembra directa; es por esto que los resultados son comparables con los de suelos específicamente en lo relacionado con los aspectos de salinidad y de comportamiento del material orgánico. (NTC 5167, 2004).

Tabla 1.*Parámetros a caracterizar para abonos orgánico-minerales*

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas															
Fertilizantes o abonos orgánicos															
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)												
1	2	3	4												
Abono orgánico	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas por volatilización % * • Contenido de cenizas máximo 60 % * • Contenido de humedad *: <ul style="list-style-type: none"> - Para materiales de origen animal, máximo 20 % - Para materiales de origen vegetal, máximo 35 % - Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante. • Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 % • N, P₂O₅ y K₂O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%) • Relación C/N • Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100 g) • Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso • pH mayor de 4 y menor de 9 • Densidad máximo 0,6 g/cm³ • Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr> <tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr> <tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1 200</td></tr> <tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr> <tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr> <tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr> </table> • Se indicará la materia prima de la cual procede el producto 	Arsénico (As)	41	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1 200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) Humedad máxima (%) Contenido de cenizas (%) Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+) kg ⁻¹) (meq/100 g) Capacidad de Retención de Humedad (%) pH Contenido de Nitrógeno Total (% N) Densidad (g/cm ³)
Arsénico (As)	41														
Cadmio (Cd)	39														
Cromo (Cr)	1 200														
Mercurio (Hg)	17														
Níquel (Ni)	420														
Plomo (Pb)	300														
		* La suma de estos parámetros debe ser 100													

Nota. Adaptado de (Norma Técnica Colombiana NTC 5167 Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo 2004)

3. Estado del arte

En Colombia la producción de compostaje como método de tratamiento de residuos orgánicos ha crecido en diferentes regiones del país: Por un lado, han surgido campañas tales como “más compost, menos basura”, que recoge semanalmente los residuos orgánicos de los habitantes de Bogotá devolviéndolos como compostaje en un lapso de 3 meses (Secretaría de ambiente de Bogotá, 2021). Por otro lado, se ha incentivado económicamente su producción a partir de residuos de palma de cera, de los desechos producidos por los animales del campo, entre otros (Arenas Osorno, 2017).

Estudios realizados en un municipio menor de Colombia (Decreto 421, 2000) en el que se adicionan cenizas de madera demostraron el incremento del pH desde el punto de partida, favoreciendo el contenido nutricional del producto final y contrarrestando la acción de los ácidos presentes en la primera fase del proceso, sin embargo, no tuvo influencia en la aceleración de la fase preliminar del proceso; además se pudo relacionar el incremento del pH con la pérdida de nitrógeno y se rastreó la presencia de fitotóxicos en las pruebas realizadas (Ricardo et al., 2014). En otros estudios se analizó el favorecimiento de la humedad con la inclusión de material y se observaron diferencias significativas en el proceso más allá de un incremento en la relación C/N y el contenido de cenizas (Ricardo et al., 2017).

Se experimentó también la adición del pasto estrella y bagazo de caña y como resultado se obtuvo un menor tiempo de latencia en el proceso, hubo una reducción del tiempo en la etapa termófila y se mejoraron las condiciones de higienización; por su parte, la principal dificultad generada por esta adición es la presencia de compuestos de difícil degradación, lo cual puede aumentar los tiempos de enfriamiento y maduración (Oviedo et al., 2013).

La calidad de los compostajes se determina a través de las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de su contenido nutricional y de su capacidad de proveer nutrientes a un cultivo (Santamaria, 2001). Además, con la producción de abono orgánico se pueden generar ingresos económicos al ser comercializados, disminuyendo a su vez el uso de agroquímicos que contribuyen a aumentar la toxicidad y degradación de los suelos (Ramírez, 2013).

Debido a que el compostaje proporciona los nutrientes y propiedades físicoquímicas que han resultado alteradas por labores propias de la agricultura (Nieto et al., 2002) es importante mencionar su amplia efectividad en todo tipo de suelo con potencial agrícola que presente pobreza de fertilidad, ya que nos ayuda a preservar, recuperar y mejorar sus características garantizando su

productividad en el tiempo. Su aplicación permite incorporar el equilibrio biológico, físico, químico y ecológico del suelo y preservar los ecosistemas en el tiempo reponiendo la diversidad de la flora microbiana benéfica restableciendo los nutrientes esenciales demandados por los cultivos que el suelo no puede suplir. La agricultura orgánica mejora la composición del suelo, la fertilidad y la fauna del suelo que en el largo plazo tiene un efecto beneficioso en la producción de cultivos (Matheus, 2007).

Colombia continúa estudiando e invirtiendo en tecnología que permita optimizar el proceso de producción de compostaje; investigaciones buscan crear modelos de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos tanto económica como ambientalmente sustentables (Castañeda y Rodríguez, 2017), por lo que se recomienda profundizar dichos estudios basándose en la caracterización fisicoquímica del sustrato, debido a su gran variabilidad y su influencia en la duración del proceso y calidad del producto final (Soto-paz et al., 2017).

3. Metodología

El proyecto inició realizando una inspección bibliográfica relacionada con el tema mediante plataformas como ScienceDirect, Nature, Academia.edu, Google Academic, etc. para adquirir el conocimiento adecuado para su desarrollo, seleccionando la bibliografía a utilizar y sintetizando los conceptos clave. Por otro lado se realizaron dos visitas a la empresa con el fin de hacer el reconocimiento del proceso ejecutado en la planta de compostaje y socializar el enfoque del Proyecto ante las directivas que estudiaron y avalaron el proyecto, no sin antes dejar por escrito

que como requerimiento para obtener el ingreso a la planta, la toma de muestras y ser facilitada la información requerida por la estudiante, se debe entregar a la empresa una copia del documento final del proyecto de grado que facilite su acceso a la información recolectada.

La empresa cuenta con una planta que consta de una banda transportadora, una trituradora, compartimientos en los que se separa el material dividiéndolo en pilas con dimensiones de aproximadamente 2x2x2 metros de largo, ancho y alto, respectivamente (Ver figura 2), y secciones de volteo bajo sombra en las que se realiza el proceso de aireación aproximadamente cada 10 días.

Figura 2.

Planta de tratamiento de residuos orgánicos



Actualmente ingresan 6 toneladas diarias de residuos sólidos orgánicos provenientes de plazas de mercado, que son ubicados en la banda, triturados y depositados en las celdas. Hay que tener en cuenta que en el proceso de trituración pueden ser mezclados residuos de podas también,

mas no se tiene un control claro de esto. Una vez llenas, las pilas son ubicadas a lo largo de la sección techada en una gran pila con una dimensión aproximada de 1 x 6 x 0,5 metros de ancho, largo y alto, respectivamente (Ver figura 3) por un lapso de un mes aproximadamente, tiempo en el cuál se realizan los volteos y se riega con un “caldo” de composición desconocida (en teoría rico en bacterias), que busca acelerar el proceso.

Figura 3.

Pila resguardada proveniente de residuos orgánicos triturados



Una vez transcurrido el mes, las pilas son reubicadas en un sector de la empresa a cielo abierto dispuesto para terminar su proceso, separadas teniendo en cuenta su fecha de ingreso o tiempo de proceso.

Por otro lado, 1,38 toneladas diarias de residuos provenientes de rocería son triturados y ubicados a cielo abierto sin recibir ningún tipo de tratamiento, realizando su proceso de descomposición de forma natural, es por esto que la pila formada lleva años allí.

En el momento en que el abono proveniente de frutas y verduras está “visualmente terminado”, es mezclado con “un poco” de abono de origen vegetal (rocería) y resguardado en otra sección de la planta, en donde se almacena en bultos que son posteriormente regalados a la comunidad y utilizados en otro sector de “El carrasco” para reestablecer la vegetación de las celdas que han sido llenadas completamente de desechos sólidos.

En cuanto al control del proceso, es importante mencionar que es limitado. No existen registros exactos en tiempos de proceso (además del tiempo inicial), temperaturas, pH, tiempos de volteo, humedad, ni demás parámetros relevantes en el proceso. Por otro lado también hay que tener en cuenta que se va anexando material a las pilas sin ningún tipo de control, por lo que tampoco hay exactitud en cuanto a tiempos de maduración. De acuerdo con lo anterior se planteó el desarrollo del proyecto.

3.1 Muestreo del material orgánico

De acuerdo con la inspección teórica, la toma de muestras se realizó de acuerdo con tomas de muestras realizadas para suelos: Se tomaron ejemplares desde varios sectores de cada pila que permitieron obtener información de toda la superficie a estudiar. Se realizó la toma de muestras con ayuda de una pala y a través de una termocupla se tomó el registro de temperaturas de 6 pilas o lotes de producción existentes. La muestra representativa es de aproximadamente 3 kg por cada lote conformado. La recolección se realizó en recipientes plásticos cerrados y se trasladó hasta el

laboratorio de la escuela en donde fue refrigerado a una temperatura de 9°C durante 15 días y procedió el estudio.

Para mayor claridad, la tabla 1 contiene las especificaciones de cada muestra tomada (Ver tabla 1). Además, hay que tener en cuenta que la muestra 1 tiene como materia prima únicamente residuos de rocería o poda (troncos, hojas, materia vegetal) mientras que las otras muestras son una mezcla de residuos de plaza (frutas y verduras) y cierta cantidad de residuos de rocería (relación de mezcla desconocida).

Tabla 2.

Características del muestreo realizado

No. De muestra	Fecha inicio	Tiempo de proceso [meses]	Temperatura [°C]
1	15/08/2021	12+	26
2	28/11/2022	1,46	64,67
3	8/09/2022	5,063	31,67
4	31/10/2022	2,42	59,33
5	13/09/2022	4	53,33
6	2/11/2022	2,06	54

3.2. Caracterización fisicoquímica del abono

Se realizaron pruebas fisicoquímicas de Contenido de humedad, Contenido de cenizas, Pérdidas por volatilización, pH, Conductividad, Capacidad de retención de agua y Densidad real, bajo los protocolos indicados por la NTC 5167 (Norma Técnica Colombiana NTC 5167, 2004), contando con la supervisión de los técnicos y profesor encargado. Una vez es aprobado el acceso, exploración y uso del laboratorio por parte de la escuela, se realizó la identificación de equipos e

implementos a usar especificados en la norma: Balanzas, probetas, hornos, medidor de pH, recipientes, bomba de vacío, desecador, mufla, crisoles, tamices, pinzas, entre otros.

Con el fin de preparar la muestra y realizar la prueba de contenido de humedad, la muestra fue secada, molida y tamizada, obteniendo 250 gramos del material seco con un tamaño de partícula mínimo. El procedimiento se realizó bajo los parámetros que dicta la norma (Ver apéndice A), usando un horno con calentamiento por resistencia, a 120°C durante 7 horas, tiempo en el que llegó a un peso constante y a partir de la ecuación 1 se obtuvo el parámetro de cada una de las 6 muestras estudiadas. Para finalizar, el material se pasó por un tamiz #6 y el resultante fue empleado en las siguientes pruebas. Según la norma técnica colombiana NTC 5167 de 2004, la humedad presente en la muestra debe encontrarse en un rango no mayor al 35%.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso muestra húmeda} - \text{Peso muestra seca}}{\text{Peso muestra húmeda}} \times 100 \quad (\text{Ec.1})$$

La capacidad de retención de humedad fue hallada pesando 10 gramos de muestra y depositados en un recipiente, allí se agregó agua destilada con ayuda de una jeringa hasta el punto en que se observó la muestra refleja un brillo metálico (saturación). En ese momento se dejó en reposo y se observó si requiere más agua o, por el contrario, esta se encuentra en exceso. Se realizó el registro de las muestras inicial y final y a partir de la ecuación 3 se determinó dicho parámetro.

$$\% \text{ Saturación} = \left[\frac{A \times 100}{W_m} \right] \left[\frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right] \quad (\text{Ec. 3})$$

En donde “A” hace referencia al volumen en mililitros de agua utilizado para alcanzar el punto de saturación, “Wm” al peso en gramos de la muestra seca que es de aproximadamente 100g y “% humedad” al contenido de humedad del producto.

Para determinar el contenido de cenizas y las pérdidas por volatilidad, 5 gramos del material fueron dejados durante 4 horas en una mufla a 650°C. Una vez transcurrido este tiempo

se deja enfriar, registrando el peso inicial y final. El porcentaje de cenizas requiere de una prueba anterior (contenido de humedad del producto) según lo indica la ecuación 4, es por esto se recomienda realizar la caracterización de acuerdo con el orden estipulado. Así mismo, el porcentaje de pérdidas por volatilización depende del contenido de cenizas y se calcula de acuerdo con la ecuación 5:

$$\% \text{ Cenizas} = \left[\frac{\text{Peso final}}{\text{Peso inicial}} \times 100 \right] \left[\frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right] \quad (\text{Ec. 4})$$

$$\% \text{ Pérdidas por volatilización} = 100 - \% \text{ Cenizas} \quad (\text{Ec. 5})$$

El pH y la conductividad se determinaron a partir de una mezcla homogénea, agitada durante media hora y filtrada, de material seco con agua destilada con una relación 1:10. El líquido obtenido fue expuesto a medición haciendo uso de un potenciómetro y un conductímetro.

Para finalizar, la densidad real se determinó a temperatura ambiente (27,5°C), dejando caer libremente en un recipiente la cantidad de material necesaria para obtener 30 cm³, se registró el peso realizando el mismo procedimiento 3 veces por cada muestra. Se expresa en unidades de g/cm³ a partir de la ecuación 2. Según la norma, la densidad debe ser menor a 0,6 gr/cm³.

$$\text{Densidad real} = \left[\frac{W_2 - W_1}{V} \right] \quad (\text{Ec. 2})$$

En donde “W1” hace referencia al peso en gramos de la probeta vacía, “W2” al peso en gramos de la probeta con el material y “V” al volumen ocupado por el material en la probeta, expresado en cm³. Se debe tener en cuenta que el resultado será el promedio de al menos 3 determinaciones.

Es importante mencionar que el procedimiento para la determinación de cada parámetro fue realizado para cada muestra. Los datos obtenidos fueron tabulados en Excel.

3.3. Evaluación del proceso de compostaje

Los resultados fueron tabulados de forma descendente de acuerdo con el tiempo de proceso con el fin de graficarlos y realizar una comparación entre los parámetros físicoquímicos y su comportamiento de acuerdo al tiempo de proceso. Así mismo, se realizó análisis gráfico de los parámetros relevantes y una comparación de las 6 muestras evaluadas con el proceso de compostaje para determinar en qué fase se encontraban las muestras y cuáles correspondían a abonos terminados. Finalmente se compararon los parámetros físicoquímicos establecidos por la NTC 5167 y las muestras terminadas con el fin de estudiar el proceso realizado por la empresa y las posibles mejoras.

De acuerdo con la evaluación que se obtuvo del proceso, se entregó un informe en el que se plantearon las recomendaciones y posibles mejoras que requiere el proceso para estandarizarlo y tecnificarlo.

4. Resultados

Tabla 3.

Parámetros fisicoquímicos obtenidos

MUESTRA	TIEMPO [meses]	Temperatura [°C]	HUMEDAD [%]	DENSIDAD REAL [gr/cm ³]	CAPACIDAD DE RETENCION DE AGUA [%]	PH	CONTENIDO CENIZAS [%]	PÉRDIDAS POR VOLATIVIZACIÓN [%]	Conductividad
1	12,00	26,00	39,14	0,52	73,43	8,55	42,31	57,69	1,06
3	5,06	31,67	35,29	0,65	9,54	9,13	45,30	54,70	1,07
5	4,00	53,33	34,16	0,41	45,47	8,50	26,07	73,93	1,20
4	2,42	59,33	32,00	0,53	60,70	9,18	44,75	55,25	1,23
6	2,06	54,00	41,65	0,39	62,17	8,77	34,89	65,11	1,51
2	1,46	64,67	68,66	0,30	25,49	7,96	12,10	87,90	1,86

De acuerdo con la tabla 3, los tiempos de proceso de cada una de las 6 muestras estudiadas logran evidenciar que, si bien la temperatura debería buscar llegar al equilibrio con el medio ambiente, no es sino en las muestras 1 y 3 que tienen un tiempo de proceso de al menos 5 meses, que se logra evidenciar esta tendencia.

Si comparamos las muestras con el proceso promedio de compostaje, que tiene por duración entre 3 y 5 meses de acuerdo al tipo de materia prima que se emplee (Silva L., C., 2022), podemos observar que en cuanto a tiempos, las muestras 1, 3 y 5 teóricamente resultan siendo el producto final del proceso de compostaje, mientras tanto, las muestras 4 y 6 muy probablemente se encuentran en las últimas fases del proceso, es decir, en la etapa de mesófila 2 o incluso maduración; por último, la muestra 2 se encuentra en fases anteriores. Lo anterior podemos confirmarlo observando sus temperaturas: Las muestras 1 y 3 tienden a entrar en equilibrio con la

temperatura ambiental que es de aproximadamente 27, 5 °C. La muestra 5, a pesar de su alta temperatura que puede ser debida a mucho contenido de material vegetal, será considerada también un abono o producto final del proceso debido a que la temperatura ambiente bajo la cuál se realizó su registro fue elevada. Por su parte, las muestras 4 y 6, al tener una temperatura de entre 50 y 60 °C confirman encontrarse en la etapa mesófila dos (o de enfriamiento), etapa en la que las temperaturas empiezan a disminuir más no se encuentran aún en el equilibrio (Silva L., C., 2022). Finalmente, la muestra 2, con una temperatura de 64,67 °C se encuentra en la etapa termófila, momento en el cuál alcanza temperaturas de hasta 100 °C (Silva L., C., 2022) que contribuyen a la higienización de la mezcla ya que destruyen cualquier tipo de contaminante biológico, por lo que el proceso hasta ahora está andando, es decir, no se debe llamar abono.

Por otro lado, la humedad en las muestras que tienen un tiempo de proceso de más de un mes tiende a estabilizarse entre un 30 y un 40%. La muestra 2 es la única que no cumple con esto al presentar un contenido de humedad del 65%. Esto está de acuerdo con el análisis realizado anteriormente ya que, si la muestra se encuentra en etapa termófila, los microorganismos presentes (termófilos) requieren dicha humedad para potenciar el proceso de fermentación. Los resultados no coinciden con autores que sugieren una humedad óptima requerida entre el 45 y el 60% para maximizar la eficiencia del proceso (Silva L., C., 2002) pero sí son comparables con los obtenidos por García Castro G., et al., 2016 para el cuál este fenómeno puede presentarse debido a la composición de la materia prima ya que puede contener gran cantidad de materia vegetal proveniente de rocería que hace que disminuya este porcentaje; a partir del segundo mes, al “almacenarse” al aire libre; las condiciones climatológicas en las que se encuentra la pila pueden influir ya que la recepción de sol (energía en forma de calor) es muy alta (Huerta et al. 2008), y, teniendo en cuenta que la temperatura es inversamente

proporcional a la humedad (Silva L., C., 2002), su comportamiento se estaría viendo reflejado en este parámetro.

De acuerdo con la tabla 2, el pH se encuentra estable, no existe una variación significativa de acuerdo con el tiempo de proceso de las muestras, esto difiere con lo planteado por Bárbaro et al., 2019, quien indica que el parámetro tiende a incrementarse con el tiempo de compostaje; aun así es preciso decir que está siendo básico y, de acuerdo con la norma técnica colombiana (que considera valores óptimos de pH los comprendidos entre 6 y 9) y con Rivas & Silva, 2020, este debería ser neutro, por lo que hay que tener cuidado con dicho parámetro

Los resultados obtenidos difieren con García Castro G., et al., 2016, quienes obtuvieron valores de pH por encima por lo regulado en la NTC 5167 del 2003, pero son acordes con los encontrados por Déportes et al. 1998 para materiales de residuos sólidos municipales. De acuerdo con Florida & Reategui, 2019; FAO, 2013, el pH está influenciado por la composición de los residuos utilizados en el proceso de compostaje, es por esto que Tognetti et al. (2007) obtuvo en sus ensayos de compostaje con mezclas de residuos orgánicos municipales y virutas de madera valores de pH por encima de 9, lo que muestra que los valores de pH bajos de los residuos sólidos orgánicos se balancean con los valores altos de pH de la viruta de madera.

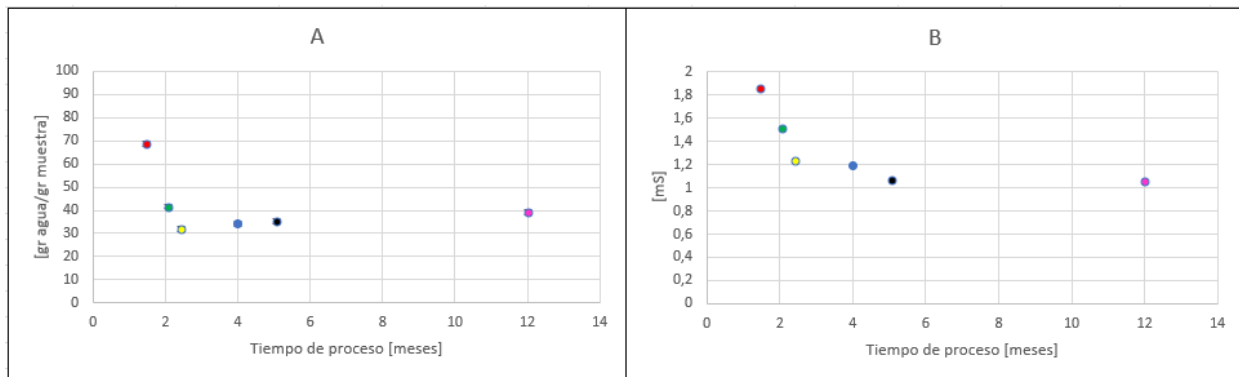
La densidad real obtenida no muestra ninguna tendencia según el tiempo del proceso, esto difiere con Miguel Martínez et al., 2018, quien indica que entre mayor descomposición presente la muestra, mayor densidad, ya que se ha establecido que la disminución del tamaño de partículas provoca un incremento en la densidad de los sustratos y, en el caso de compostas sería una consecuencia de la fragmentación y descomposición del material biológico durante su obtención.

Por otra parte, la figura 4 indica que la conductividad eléctrica (B) tiene un comportamiento similar al porcentaje de humedad (A), esto es debido a que el principal conductor de electricidad

es el agua, entonces, entre mayor cantidad de agua contenga la muestra, mayor conductividad tendrá. Con respecto al tiempo de proceso, la figura muestra también que a partir del segundo mes la variación de la conductividad mientras encuentra la estabilización es insignificante.

Figura 4.

Comportamiento del % humedad "A" vs. Conductividad "B" de acuerdo con el tiempo de proceso.

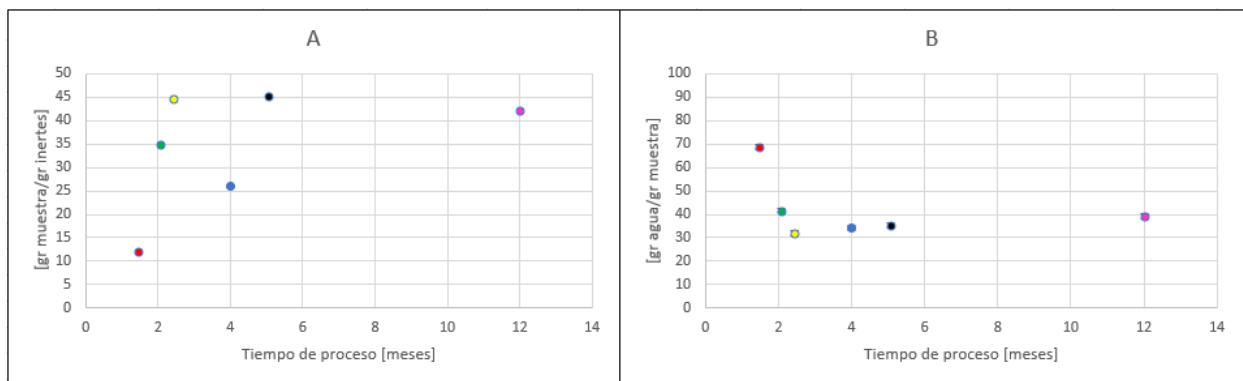


Los resultados difieren con lo indicado por Rivas Nichorzon y Silva Acuña, 2020 al comentar que la conductividad eléctrica (CE) es frecuentemente alta en los abonos, por lo que hay que tenerla en cuenta para evitar una posible salinización del suelo o problemas de toxicidad en las plantas debido a la aplicación de altas cantidades de sales (menor que 8×10^3 mS/cm). Por otro lado, la muestra que tiene un tiempo de proceso menor a 2 meses presenta un alto contenido de humedad que, de acuerdo con Estrada Bonilla & Peña, 2017, afecta la agregación de partículas, la porosidad de la matriz (taponan los poros) y la permeabilidad de los gases en la misma limitando el transporte de oxígeno a la zona donde se produce la descomposición, lo que de acuerdo con Tortosa, 2013, da lugar al predominio de las condiciones anaerobias en la masa de compostaje, lo que se traduce en fenómenos de putrefacción, malos olores, etc.

Con respecto al contenido de cenizas (A) podemos observar un comportamiento inversamente proporcional al contenido de humedad (B), suponiendo que la muestra 5 representa un dato atípico. De acuerdo con la figura 5, a mayor tiempo de proceso, el porcentaje de cenizas tiende a aumentar y a estabilizarse y es específicamente a partir del segundo mes donde se puede observar dicha estabilización.

Figura 5.

Comportamiento del % de cenizas "A" vs. % humedad "B" de acuerdo con el tiempo de proceso.

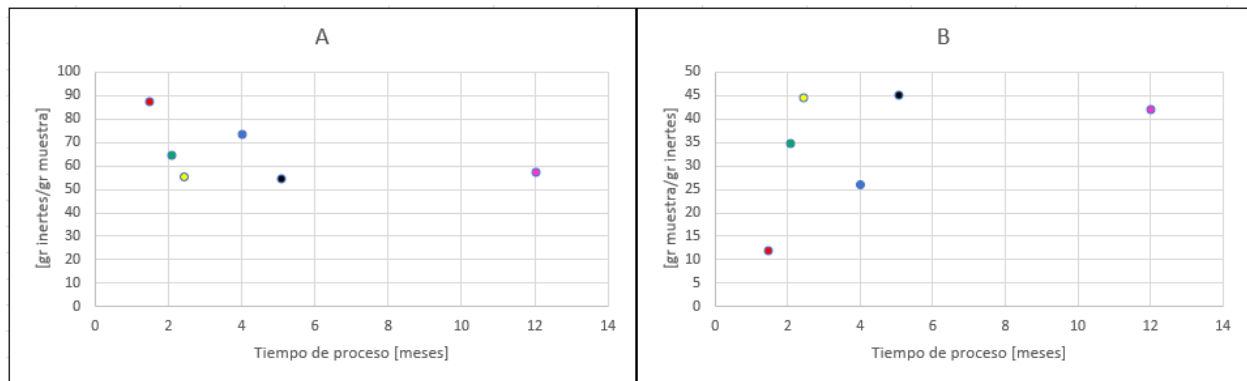


El porcentaje de cenizas indica la presencia de sales minerales, en donde el compost de biorresiduos contiene alta concentración debido posiblemente a la presencia de alimentos procesados con contenidos de sal y supone estar en menos del 5 % de la materia seca. Los resultados encontrados están de acuerdo con Martínez y Martínez, 2022, quienes indican que los minerales y el agua son componentes que no se pueden oxidar para obtener energía y por esta razón no deben superar lo recomendado por la norma NTC 5167, es decir, debe ser menor al 60%, y pueden ser debidos a la mezcla realizada con abono proveniente de material vegetal ya que esta materia prima no presenta altos contenidos de sal. Por otro lado difieren con los obtenidos por García Castro G., 2016, quienes obtuvieron valores del 75% en adelante, y que a su vez se ven

respaldados con los encontrados en la Conductividad Eléctrica donde tratamientos sin enmienda presentaron los menores valores (Iñiguez et al. 2006).

Figura 6.

Comportamiento de las pérdidas por volatilización "A" vs. % cenizas "B" de acuerdo con el tiempo de proceso.



Finalmente, la figura 6 muestra que las pérdidas por volatilización (A) tienen un comportamiento inversamente proporcional al contenido de cenizas (B) y esto es debido a que, entre mayor cantidad de agua tenga la muestra (contenido de humedad), su composición de cenizas será menor y, por consiguiente, más se volatilizará la muestra, es decir, tendrá más pérdida de agua (entre otros compuestos) al someterse a secado.

De acuerdo con el análisis anterior en el que se evaluó cada muestra con el proceso de compostaje, las muestras 1, 3 y 5 correspondieron a muestras terminadas, es por esto que estas se sometieron a una comparación fisicoquímica con respecto a la norma NTC 5167 de 2004.

La muestra número 1 presentó un 57,69% de pérdidas por volatilización y un 42,31% de cenizas. En cuanto al contenido de humedad se registró un 39,14% y una capacidad de retención

de humedad del 73,43%. La muestra presentó también una densidad real de 0,52 g/cm³, un pH de 8,55 y una conductividad de 1,062 mS. (Ver tabla 3)

Tabla 4.

Caracterización fisicoquímica de la muestra 1.

Parámetro evaluado	Muestra 1	NTC 5167	Cumple	
			Si	No
Pérdidas por volatilización [%]	57,69	N/I		
Contenido de cenizas [%]	42,31	< 60%	x	
Contenido de humedad [%]	39,14	< 35%		x
Capacidad de retención de humedad [%]	73,43	>= peso muestra	x	
pH	8,55	4 < pH < 9	x	
Conductividad [mS]	1,062	N/I		
Densidad real [gr/cm ³]	0,52	< 0,6 g/cm ³	x	

De acuerdo con los valores que la norma técnica colombiana 5167 de 2004, se logró evidenciar para la producción de abonos orgánico-minerales, que la muestra cumplió con los parámetros planteados a excepción del contenido de humedad que difirió con la misma presentando valores superiores, lo que sugiere un exceso de agua en la muestra que afecta negativamente la disponibilidad de oxígeno y puede originar condiciones de anaerobiosis y un lavado de nutrientes por lixiviación. Ya que el compostaje es un proceso desarrollado por microorganismos con metabolismo aeróbico, es de gran importancia permitir el acceso de oxígeno a todas las partes del material. La insuficiencia del oxígeno provoca que los microorganismos cambien su tipo de producción de energía hacia procesos fermentativos, mucho menos eficientes energéticamente (menos producción de calor, procesos más lentos), lo que no favorece el aumento de temperatura necesario para la estabilización biológica total del producto (Moreno y Moral, 2008). El contenido de humedad está por encima del límite establecido por la norma, debido a que

se trata de materia vegetal que ha sido almacenada de forma natural y al aire libre. Por ende, el compostaje ha retenido agua de lluvia en su interior, la cual no ha sido eliminada por la falta de volteos. Este problema se presentó en el proyecto "Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio El Rosal, Cundinamarca", realizado en 2017. (Ninco y Sánchez, 2017).

La muestra 3 presentó un 54,70% de pérdidas por volatilización y un 45,30% de cenizas presentes en la muestra. En cuanto al contenido de humedad se registró un 35,29% y una capacidad de retención de humedad del 9,54%. La muestra presentó también una densidad real de 0,65 g/cm³, un pH de 9,13 y una conductividad de 1,071 mS. (Ver tabla 5)

Tabla 5.

Caracterización físicoquímica de la muestra 3.

Parámetro Evaluado	Muestra 3	NTC 5167	Cumple	
			Si	No
Pérdidas por volatilización [%]	54,70	N/I	x	
Contenido de cenizas [%]	45,30	< 60%	x	
Contenido de humedad [%]	35,29	< 35%	x	
Capacidad de retención de humedad [%]	9,54	>= peso muestra	x	
pH	9,13	4 < pH < 9	x	
Conductividad [mS]	1,071	N/I	x	
Densidad real [gr/cm ³]	0,65	< 0,6 g/cm ³		x

Se pudo evidenciar que los resultados de la muestra 3 difirieron mínimamente de la norma NTC 5167 en cuanto a pH, contenido de humedad y capacidad de retención de humedad, lo cual pudo ser provocado por posibles falencias en la medición pues sus valores son cercanos a los límites permitidos, debido a esto, es posible afirmar que la muestra cumplió con los parámetros planteados a excepción de la densidad real. Este parámetro hace referencia a los intersticios de aire

y su granulometría, por lo que, a valores altos de densidad aparente, el producto ha sufrido un bajo grado de mineralización y resulta siendo un material mal gradado (Epstein, 2011). Por otro lado, este comportamiento, presuntamente se debe a que los componentes o materia prima de dicha pila pueden tener alta porosidad, lo que hace que la densidad disminuya (Uribe, Estrada, Córdoba, Hernández y Bedoya, 2001). Lo anterior presenta concordancia con lo presentado por Gustavo Castro García, Martha Constanza Daza Torres y Luís Fernando Marmolejo Rebellón en el año 2016 (Castro, Daza y Marmolejo, 2016).

Por su parte, la muestra 5 presentó un 79,93% de pérdidas por volatilización y un 26,07% de cenizas presentes en la muestra. En cuanto al contenido de humedad se registró un 34,16% y una capacidad de retención de humedad del 45,47%. La muestra presentó también una densidad real de 0,40 g/cm³, un pH de 8,5 y una conductividad de 1,196 mS. (Ver tabla 7)

Tabla 6.

Caracterización fisicoquímica de la muestra 5.

Parámetro evaluado	Muestra 5	NTC 5167	Cumple	
			Si	No
Pérdidas por volatilización [%]	73,93	N/I	x	
Contenido de cenizas [%]	26,07	< 60%	x	
Contenido de humedad [%]	34,16	< 35%	x	
Capacidad de retención de humedad [%]	45,47	>= peso muestra	x	
pH	8,50	4 < pH < 9	x	
Conductividad [mS]	1,196	N/I	x	
Densidad real [gr/cm ³]	0,41	< 0,6 g/cm ³	x	

De acuerdo con lo obtenido, la muestra 5 cumplió con lo establecido por la norma técnica colombiana 5167 de 2004 para la producción de abonos orgánico-minerales. Los resultados

obtenidos están de acuerdo con un estudio realizado por Ríos Escobar J., H., 2016, quien evidenció que un abono de calidad se atiene a los parámetros que especifica dicha normatividad. (Ríos, 2016).

Para finalizar, de acuerdo con los resultados obtenidos y el análisis realizado se observa que en la planta propuesta por la EMAB existen grandes falencias. Por un lado, hay falta de control en cuanto a la composición de la materia prima; si bien esta proviene de plazas de mercado y en su mayoría contiene residuos de frutas y verduras, existe la posibilidad de encontrar residuos no orgánicos como plásticos, cartón, icopor, etc. por lo que no se puede asegurar una composición homogénea en todos los lotes; sumado a esto, tampoco existe control en las cantidades bajo las cuales se realiza la mezcla entre el abono frutal y el proveniente de rocería, esto dificulta la estandarización del proceso además de desestabilizar el parámetro de humedad que está estrechamente relacionado. (García Castro G., at al., 2016). Por otro lado, hay una falta de control en cuanto a los volteos (oxigenación del proceso) que según Castro G., at al., 2016 debería realizarse cada 3 días de forma homogénea, al igual que la toma de temperaturas, ya que el desconocimiento de la variación de la temperatura a través del proceso dificulta entender cómo se desarrolla, lo que demuestra que hay un completo desconocimiento del mismo (García Castro., at al., 2016); Además, las condiciones climatológicas no son homogéneas debido a que a partir del segundo mes las pilas son expuestas a la intemperie, esto se traduce en la posibilidad de obtener exceso de agua (si es época de lluvias) o exceso de calor (si es época de sequía) que no permite que los microorganismos trabajen de forma óptima e incluso causa su muerte, por lo que el proceso se puede ver ralentizado o dañado tal como lo evidencia García Castro G., at al., 2016. Para finalizar, la aplicación de un “caldo” de composición desconocida a las pilas tampoco es factible pues también se desconoce si está siendo favorable para el proceso o, por el contrario, está actuando como inhibidor (Moreno Perez, G., X., y Oñate Lozada, M., C., 2001).

5. Conclusiones

El muestreo realizado indica que cada una de las pilas, si bien provienen de un mismo lugar y tienen como materia prima frutas, verduras y material vegetal, poseen una composición muy variada en la que también se encuentra material no orgánico.

Solo 3 de las 6 muestras recolectadas presentaron los resultados esperados de acuerdo con la comparación entre el proceso general de compostaje y cada una de ellas, con un tiempo de maduración de 2 meses en adelante.

De acuerdo con la comparación entre las muestras terminadas y la NTC 5167 de 2004, la única muestra que podría considerarse apta en cuanto a sus propiedades fisicoquímicas es la 5; es por esto que, de estudiarse más a fondo, existe la posibilidad de poder usarla como un abono ambientalmente útil y no peligroso. Las demás tuvieron al menos una variable fisicoquímica por fuera de la norma siendo el contenido de humedad el parámetro que más presentó inconvenientes.

Se puede concluir que la falta de aireación de las pilas y el control limitado de las condiciones de materia prima, temperatura y condiciones climatológicas del sistema repercuten en la alteración del contenido de humedad o saturación del producto, y por tanto en los demás parámetros fisicoquímicos del mismo.

La tecnología planteada por la EMAB, si bien busca recrear el proceso de co-compostaje, no posee los parámetros adecuados para realizar llevar el control del proceso, estandarizarlo y optimizarlo.

6. Recomendaciones

Si bien la composición de la materia prima es de difícil control, es necesario llevar registro de la temperatura y la humedad de las pilas durante todo el proceso para asegurar que los microorganismos trabajen de forma óptima.

El pH está siendo básico y, de acuerdo con los estándares de calidad de productos orgánicos, este debería ser neutro, por lo que se recomienda añadir como materia prima más fibra y vegetales que generen fermentación y permitan la disminución del parámetro.

Ejecutar el proceso bajo condiciones ambientales controladas que permitan la estandarización del producto final. Por un lado realizar los volteos de las pilas bajo las dimensiones que se tienen, con una frecuencia de 3 días y asegurando una oxigenación homogénea del producto; por otro lado, llevar un control de tomas de temperatura cada 3 días que permita tener claridad del momento del proceso en que se encuentra cada pila; así mismo, es importante ubicar las pilas de tal manera que no reciba exceso de sol ni de lluvia para evitar que la temperatura se eleve y que la humedad sea excesiva, lo que conduce a una difícil adaptación y muerte de los microorganismos.

En cuanto al “caldo” aplicado es fundamental conocer su composición asegurando que el proceso se vea beneficiado y esté actuando como catalizador y no como inhibidor. Además, se sugiere no mezclar de forma aleatoria el producto final obtenido con otros de diferente procedencia pues pueden verse alteradas sus características biológicas, químicas y fisicoquímicas, por el contrario, caracterizar los abonos procedentes de diferentes materias primas teniendo en cuenta la composición aplicada, para determinar su efectividad y optimizar el producto resultante.

En cuanto a la materia prima, es importante tener en cuenta su buena clasificación, debido a que, al provenir de plazas de mercado, existen trazas de plásticos, icopor y demás desechos que no se degradan tan fácilmente y deterioran la calidad del producto final.

Se sugiere tener en cuenta los tiempos de ingreso de la materia prima pues el proceso de fermentación inicia desde el momento de su desecho, por lo que, si no se tiene un tiempo de ingreso similar y se va acumulando el producto indefinidamente, el proceso se verá afectado ya que existirá una competencia entre los microorganismos que trabajan en el mismo.

La empresa debe apostar por tecnificar y estandarizar el proceso para luego someter a caracterización completa su producto final, esto garantizaría una producción homogénea de productos bajo condiciones adecuadas según la normatividad nacional.

Complementar la caracterización incluyendo parámetros químicos y microbiológicos que permitan la obtención de resultados con mayor detalle para así determinar la calidad del producto y evitar la presencia de patógenos.

Referencias Bibliográficas

- Acosta Carrión, W. y Peralta Franco, M. I. (2015) “*Elaboración de abonos orgánicos a partir del compostaje de residuos agrícolas en el municipio de Fusagasugá*”. Universidad de Cundinamarca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Programa de Zootecnia, Fusagasugá, Colombia.
- Arango Orozco, M. J. (2017) “*Abonos orgánicos como alternativa para la conservación y mejoramiento de los suelos*”. Trabajo de grado para optar por el título de Especialista en Gerencia Agropecuaria. Corporación Universitaria Lasallista, Facultad de Ciencias Administrativas y Agropecuarias. Especialización en Gerencia Agropecuaria. Caldas – Antioquia.
- Arenas Osorno, C. Y. (2017). “*Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero, Municipio de Dabeib*”. 93(I): 259.
- Brutti, L. 2001. Sistemas de Compostaje: Factores críticos del Proceso de Compostaje. En: Seminario – Taller Internacional: Manejo de Sólidos Orgánicos para una agricultura Limpia: 9 y 10 de Octubre 2001. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrónomicas.
- Castro García, G., Daza Torres, M. C. y Marmolejo Rebellón, L. F. (2016) “*Assessment of the adequacy of moisture in the municipal biowaste composting origin Solid Waste Management Plant (SWMP) in the municipality of Versailles, Valle del Cauca*”. *Gestión y ambiente*, Volumen 19. 02 de Junio.

Cordova C., 2006. Estudio de factibilidad técnico-económica para instalar una planta de compostaje, utilizando desechos orgánicos urbanos. Memoria para optar a al Título Profesional de Ingeniero Forestal. Universidad de Chile. Santiago, Chile.

Decreto 421 (2000)

Déportes., Benoit-Guyod. & Zmirou, Bouvier. 1998. «Microbial disinfection capacity of municipal solid waste (MSW) composting». *Journal Of Allied Microbiology* 85 (2): 238-246.

Es.climate-data. (2022). *Clima Bucaramanga, Santander, Colombia*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/santander/bucaramanga-5923/>

Estrada Bonilla, G., & Peña, A. (2017). (PDF) Factores que afectan el buen desarrollo del compostaje de mortalidad porcina. *Porkcolombia*, 23–28. https://www.researchgate.net/publication/317648086_Factores_que_afectan_el_buen_desarrollo_del_compostaje_de_mortalidad_porcina

Gonzalez-Castellanos R. (2018) *Introducción a los Bioprocesos*.

Huerta, O., López, M., Soliva, M. y Zaloña, M. 2008. Compostaje de Residuos Municipales – Control del proceso, rendimiento y calidad del producto. Cataluña.

INTEC. Corporación de Investigación Tecnológica de Chile. (1999). *Manual de compostaje*. Chile. 82.

Jaffe, M. (2015). “Un modelo cualitativo para evaluar sistemas de gestión de compostaje de biorresiduos utilizando diagramas causales: un estudio de caso en Colombia”. *Acta Biomaterialia* 7061(15): 1–43. [file:///c:/users//documents/science direct - español/marco teorico de la fascia en la terapia manual.en.es.pdf](file:///c:/users//documents/science%20direct%20-%20espa%C3%B1ol/marco%20teorico%20de%20la%20fascia%20en%20la%20terapia%20manual.en.es.pdf).

Landeo, Ortega, Y. N. y Torres Romero, S. W. (s.f.) “*Diseño de una planta de tratamiento de residuos sólidos municipales para poblaciones pequeñas*” Año de la Diversificación Productiva y del Fortalecimiento de la Educación” Universidad Nacional Del Centro Del Perú Facultad De Ingeniería Química.

Martinez Fuentes, Leidys Johana y Martinez Salgado, Elizabeth. (2022) “*Elaboración de compost a partir de residuos sólidos orgánicos de cultivos generados en diferentes municipios del departamento de Córdoba (Puerto Escondido, Chinú, Cereté y Montería)*”. Trabajo de grado presentado como requisito para optar el título de químico. Universidad de Córdoba, Facultad de Ciencias Básicas, Departamento de Química. Montería-Córdoba.

Martínez, M., Pliego Marín, L., Robles Pérez, C., & Aragón Robles, E. (2018). Caracterización de las propiedades físicas y químicas de materiales composteados para uso potencial en la producción de chile de agua 1 [characterization of the physical and chemical properties of composted materials for potencial in water chile production]. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, 5(1), 12–23.

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

Morales, I. 2003. Factibilidad técnico económica de instalar una planta de compost para el tratamiento de residuos orgánicos industriales en la zona sur de Santiago. Memoria Ingeniero Industrial. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas.

Moreno J., “Compostaje”, Ediciones Mundi-Empresa: Madrid, 2008, Capítulo 5: Microbiología y bioquímica del proceso de compostaje

- Moreno, J., y Moral, R. (2008). *Compostaje. Mundi-Prensa*. Barcelona España. 570 p.
- Moreno Perez, G., X., y Oñada Lozada, M., C., (2001). Producción de un inóculo acelerador de compostaje a partir de bacterias lipolíticas y proteolíticas aisladas del tren de tratamiento de residuos en una industria láctea. Facultad de ciencias. Pontificia Universidad Javeriana., Bogotá D.C.
- Nieto, A. (2002). *El uso de compostas como alternativa ecológica para la producción sostenible del chile (capsicum annuum l.) en zonas áridas*. México. 27(8): 417- 421.
- Ninco Cardozo, C. F. y Sánchez González, J. J. (2017) “*Propuesta para la producción de abono orgánico mediante el compostaje de los residuos sólidos del municipio el Rosal, Cundinamarca*”. Fundación Universidad de América, Facultad de Ingenierías, Programa de Ingeniería Química. Bogotá D.C.
- Norma Técnica Colombiana NTC 5167 Productos para la industria agrícola. productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. 2004.
- Observatorio Ambiental de Bogotá, Secretaría de ambiente de Bogotá (2021). *Campaña “más compost, menos basura” recoge residuos y los composta*, Bogotá, Colombia.
- Oviedo-ocaña E. R. et al. (2014). “*Evaluation of the Addition of Wood Ash to Control the pH of Substrates in Municipal Biowaste Composting Evaluación de la incorporación de cenizas de madera para el control del pH de los sustratos en el compostaje de biorresiduos de origen municipal*”. (número 3): 469–78.
- Oviedo-ocaña, R. et al. (2013). “*Influencia de la incorporación de pasto estrella como material de soporte (Cynodon Plectostachyus) en el compostaje de biorresiduos de origen municipal Influence of using star grass (Cynodon Plectostachyus) as bulking agent on municipal biowaste compo*”. (July).

- Pérez C. R.,; Pérez C. A.,; Vertel M. M., (2010) “*Nutritional, physical-chemical and microbiological characterization of three organic fertilizers to be used in agricultural ecosystems of pastures located in the subregion Sabanas, department of Sucre, Colombia*”.
Revista Tumbaga. Ciencias Biológicas. Universidad de Sucre, Campus Universitario Puerta Roja, Sincelejo.
- Pstein, E. (2011). *Industrial composting. Environmental Engineering and Facilities Management CRC Press*. Taylor and Francis Group, LLC. Printed in the United States of America.
- Ricardo, E. et al. (2017). “Avances en investigación sobre el compostaje de biorresiduos en municipios menores de países en desarrollo . Lecciones desde Colombia”. Ingeniería. Investigación y Tecnología XVIII (número 1): 1–13.
<https://www.redalyc.org/pdf/404/40449649003.pdf>.
- Richard, T. 1992. Municipal solid waste Composting: Physical and Biological processing Biomasa and Bionergy Rev. 3(3-4): 163-180p. En: SANTIBAÑEZ, C. 2002. Diseño y evaluación de una planta piloto de compostaje para el tratamiento de residuos de origen vegetal. Memoria de Químico Ambiental. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias.
- Ríos Escobar, J. H. (2016) “*Caracterización fisicoquímica de abonos orgánicos artesanales*”. Trabajo de grado para optar el título de Químico Ambiental. Universidad Santo Tomás, División de Ingenierías y Arquitectura, Facultad de Química Ambiental. Bucaramanga.
- Rivas Nichorzon, M., & Silva Acuña, R. (2020). Calidad física y química de tres compost, elaborados con residuos de jardinería, pergamino de café y bora (*Eichhornia Crassipes*).
Revista Ciencia UNEM, 13(32), 87–100.
<file:///C:/Users/contabilidad2018/Downloads/Dialnet>

Sánchez, J. (2012). *Modelación de la incineración de residuos sólidos urbanos como alternativa complementaria al relleno sanitario Doña Juana en Bogotá*. Pontificia Universidad Javeriana.

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

Santibañez, C. 2002. Diseño y evaluación de una planta piloto de compostaje para el tratamiento de residuos de origen vegetal. Memoria de Químico Ambiental. Santiago, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias. 93p.

Soto-paz, J. et al. (2017). “Composting of biowaste : Research trends and relevance in developing countries • Compostaje de biorresiduos : Tendencias de investigación y pertinencia en países en desarrollo”. *Dyna* 84(203): 334–42.
<http://www.scielo.org.co/pdf/dyna/v84n203/0012-7353-dyna-84-203-00334.pdf>.

Soto-Paz, J. et al. (2017). “Composting of biowaste: Research trends and relevance in developing countries”. *DYNA (Colombia)* 84(203): 334–42.

Soto, G y Muñoz C. 2002. Consideraciones teóricas y prácticas sobre el compost, y su empleo en agricultura orgánica. Manejo integrado de plagas y Agroecología. Costa rica. N° 65: 123-129.

Sztern D. y Pravia M. 2009. Manual para la elaboración de compost. Bases conceptuales y procedimientos. Oficina de Planeamiento y Presupuesto, Unidad de Desarrollo Municipal, Presidencia de la Republica, Uruguay.

Tognetti, C., Mazzarino, MJ. y Laosa, F. 2007. «Improving the quality of municipal organic waste compost». *Bioresource Technology* 98 (5): 1067–1076.

Tortosa, G. (2013). Factores que influyen en el proceso de compostaje. *Compostando Ciencia Lab.*, 1-5.

Uribe J., Estrada M., Córdoba S., Hernández L. y Bedoya, E. (2001). Evaluación de los microorganismos eficaces (EM) en producción de abono orgánico a partir de estiércol de aves de jaula. *Revista Colombiana Ciencias Pecuarias*, 14(2), 166-171

Valencia O., L. C. (15 de Enero de 2021). *Informe funcionamiento planta de tratamiento EMAB*. Bucaramanga, Colombia.

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

Apéndices

Apéndice A. Norma Técnica Colombiana NTC 5167

**NORMA TÉCNICA
COLOMBIANA**

**NTC
5167**

2004-05-31

**PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA.
PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO
ABONOS O FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE
SUELO**



E: AGRICULTURAL INDUSTRY PRODUCTS. ORGANIC
PRODUCTS USED AS FERTILIZERS AND SOIL
AMENDMENTS

CORRESPONDENCIA:

DESCRIPTORES: abono; fertilizante; enmienda;
acondicionador; material orgánico.

**PRODUCTOS PARA LA INDUSTRIA AGRÍCOLA.
PRODUCTOS ORGÁNICOS USADOS COMO ABONOS O
FERTILIZANTES Y ENMIENDAS DE SUELO**

1. OBJETO

Esta norma tiene por objeto establecer los requisitos que deben cumplir y los ensayos a los cuales deben ser sometidos los productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y como enmiendas de suelo.

2. DEFINICIONES

Para efectos de la presente norma se aplican las definiciones consignadas en la NTC 1927.

3. REQUISITOS

3.1 REQUISITOS GENERALES

3.1.1 Los productos deben presentarse en forma sólida como granulados, polvos o agregados o líquida como concentrados solubles, suspensiones o dispersiones.

3.1.2 Todo producto cuyo origen sea materia orgánica fresca debe ser sometido a procesos de transformación que aseguren su estabilización agronómica tales como: compostaje o fermentación.

3.1.3 Deberá declararse el origen (clase y procedencia) de las materias primas y los procesos de transformación empleados.

3.2 REQUISITOS ESPECÍFICOS

3.2.1 Los productos orgánicos empleados como fertilizantes o abonos y enmiendas del suelo, deben cumplir con los requisitos establecidos en la Tabla 1.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC 5167 (Primera actualización)

Tabla 1. Requisitos específicos

Fertilizantes o abonos orgánicos, orgánico minerales y enmiendas orgánicas															
Fertilizantes o abonos orgánicos															
Clasificación del producto	Indicaciones relacionadas con la obtención y los componentes principales	Parámetros a caracterizar	Parámetros a garantizar (en base húmeda)												
1	2	3	4												
Abono orgánico	Producto sólido obtenido a partir de la estabilización de residuos de animales, vegetales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente) o mezcla de los anteriores, que contiene porcentajes mínimos de materia orgánica expresada como carbono orgánico oxidable total y los parámetros que se indican.	<ul style="list-style-type: none"> • Pérdidas por volatilización % * • Contenido de cenizas máximo 60 % * • Contenido de humedad *: <ul style="list-style-type: none"> - Para materiales de origen animal, máximo 20 % - Para materiales de origen vegetal, máximo 35 % - Para mezclas, el contenido de humedad estará dado por el origen del material predominante. • Contenido de carbono orgánico oxidable total mínimo 15 % • N, P₂O₅ y K₂O totales (declararlos si cada uno es mayor de 1%) • Relación C/N • Capacidad de intercambio catiónico, mínimo 30 cmol(+) kg⁻¹ (meq/100 g) • Capacidad de retención de humedad, mínimo su propio peso • pH mayor de 4 y menor de 9 • Densidad máximo 0,6 g/cm³ • Límites máximos en mg/kg (ppm) de los metales pesados expresados a continuación: <table style="margin-left: 20px; border: none;"> <tr><td>Arsénico (As)</td><td>41</td></tr> <tr><td>Cadmio (Cd)</td><td>39</td></tr> <tr><td>Cromo (Cr)</td><td>1.200</td></tr> <tr><td>Mercurio (Hg)</td><td>17</td></tr> <tr><td>Níquel (Ni)</td><td>420</td></tr> <tr><td>Plomo (Pb)</td><td>300</td></tr> </table> • Se indicará la materia prima de la cual procede el producto 	Arsénico (As)	41	Cadmio (Cd)	39	Cromo (Cr)	1.200	Mercurio (Hg)	17	Níquel (Ni)	420	Plomo (Pb)	300	<ul style="list-style-type: none"> Contenido de carbono orgánico oxidable total (%C) Humedad máxima (%) Contenido de cenizas (%) Capacidad de intercambio catiónico (cmol(+) kg⁻¹) (meq/100 g) Capacidad de Retención de Humedad (%) pH Contenido de Nitrógeno Total (% N) Densidad (g/cm³)
Arsénico (As)	41														
Cadmio (Cd)	39														
Cromo (Cr)	1.200														
Mercurio (Hg)	17														
Níquel (Ni)	420														
Plomo (Pb)	300														
		* La suma de estos parámetros debe ser 100													

Continúa...

5.1 MÉTODOS FÍSICOQUÍMICOS

Los métodos de análisis físicoquímicos del componente orgánico, de los productos clasificados como orgánicos, se basan en su mayoría en metodologías de análisis de suelos y de material vegetal. La razón de esto, es que dichos materiales o bien son de aplicación directa al suelo o bien son de uso como sustratos para siembra directa. En consecuencia los resultados de los parámetros evaluados son comparables y compatibles con los de suelos específicamente en lo relacionado con los aspectos de salinidad y de comportamiento del material orgánico.

5.1.1 Preparación de la muestra y cuantificación de la humedad

La preparación de las muestras de los productos orgánicos, involucra la cuantificación de la humedad, por cuanto todos los métodos se desarrollan sobre la muestra seca, molida y tamizada. Si bien todos los métodos de ensayo físicoquímicos se realizan sobre la muestra seca, los resultados deberán expresarse en base húmeda.

5.1.1.1 Equipos y materiales

- Estufa de secado
- Molino
- Tamiz No. 35 ASTM (0,5 mm)
- Cuarteador
- Recipientes para secado en estufa de aproximadamente 400 ml
- Balanza (con precisión de 0,01 g)
- Desecador

5.1.1.2 Procedimiento

- Se cuartea la muestra original.
- Se pesa el recipiente vacío en el cual se cuantificará la humedad.
- Se pesa en el recipiente una cantidad de muestra suficiente como para recolectar 300 g de material seco. (Si es necesario se coloca la misma muestra en dos recipientes)
- Lleve el recipiente a la estufa de secado y manténgalo a 70 °C durante 24 h.
- Se saca de la estufa, se deja enfriar dentro de un desecador hasta peso constante.
- Se pesa
- Se muele el material en el molino.
- Se tamiza (tamiz No. 35 ASTM (05, mm)).
- Se empaqueta la muestra en recipientes debidamente rotulados.

5.1.1.3 Cálculos

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{peso muestra húmeda} - \text{peso muestra seca}}{\text{peso muestra húmeda}} \times 100$$

5.1.2 Cuantificación de la densidad real en productos orgánicos

5.1.2.1 Principio del método

El método se basa en la cuantificación de la masa de producto que se deposita libremente por unidad volumen, en un recipiente de volumen conocido.

5.1.2.2 Equipo y materiales

- Balanza (con precisión de 0,01 g)
- Probeta de vidrio de 50 cm³ de capacidad
- Embudo
- Soporte universal
- Pinzas para soporte o aro de hierro.

5.1.2.3 Procedimiento

- Pese la probeta vacía, limpia y seca. Tare la balanza.
- Se deja caer libremente una cantidad de material (preparado como se indica en el numeral 5.1.1) suficiente para obtener una lectura cercana a 30 cm³. Registre el volumen ocupado por el material.
- Se determina el peso de la probeta con el material.
- Se realizan tres determinaciones sobre muestras diferentes.

5.1.2.4 Cálculos

La densidad del producto se expresa en g/cm³ y se calcula según la ecuación:

$$\text{Densidad real} = \left[\frac{W_2 - W_1}{V} \right]$$

en donde

- W_1 = peso en g de la probeta vacía.
- W_2 = peso en g de la probeta con el material.
- V = volumen ocupado por el material en la probeta, expresado en cm³

El resultado será el promedio de las tres determinaciones.

5.1.3 Cuantificación de la capacidad de retención de agua, pH y conductividad eléctrica en un producto orgánico

5.1.3.1 Principio del método

El método utilizado para evaluar el pH y la conductividad eléctrica de un producto orgánico, es el mismo empleado para la caracterización de la salinidad en suelos, esto es en pasta de saturación. Este método permite tener resultados comparables entre los laboratorios, a la vez que aporta información muy cercana a la realidad, puesto que sólo tiene la influencia del medio acuoso, situación semejante al comportamiento del material al entrar en contacto con el suelo. Sobre el mismo método de análisis es posible obtener información acerca de la capacidad de retención de agua del material (porcentaje de saturación).

A su vez el pH se puede determinar utilizando una relación material orgánico agua, 1:10.

5.1.3.2 Equipos y materiales

- Recipiente de plástico de boca ancha.
- Espátula de madera.
- Papel de filtro cualitativo de filtración rápida tipo S&S 595 u otro equivalente.
- Probeta de 100 ml.
- Potenciómetro con electrodo de vidrio.
- Conductímetro.
- Erlenmeyer con desprendimiento lateral para filtración al vacío.
- Recipientes para recolectar el filtrado.
- Embudo Buchner para vacío.
- Bomba de vacío.

5.1.3.3 Procedimiento

5.1.3.3.1 Procedimiento para determinar la capacidad de retención de agua

- Pese aproximadamente 100 g de material preparado como se indica en el numeral 5.1.1, colóquelos en el recipiente plástico. Añada pequeños volúmenes de agua destilada o desmineralizada (utilizando una probeta).
- Se agita continuamente con la espátula de madera, esto con el fin de eliminar aire y formar poco a poco una masa. De vez en cuando se debe consolidar la muestra golpeando el recipiente suavemente sobre la superficie de trabajo.
- Se adiciona agua hasta llegar a un punto de equilibrio (punto de saturación) cuya evidencia está dada por un contenido de agua suficiente que refleja un brillo metálico sobre la superficie, estado en el cual no absorbe más agua ni la escurre, aunque habrá un poco de agua libre que asciende a la superficie cuando se deja en reposo.

- Se registra el volumen de agua utilizado. También es posible pesar la totalidad del producto sólido con el agua a punto de saturación.
- Se deja en reposo durante 2 h.
- La pasta no debe acumular agua en la superficie, perder su brillo o endurecerse durante el reposo. Si la pasta es demasiado húmeda se debe agregar más material, registrando el peso adicional, o si es demasiado dura o se ha perdido el brillo se agrega más agua mezclando nuevamente, registrando el volumen de agua añadido.

5.1.3.3.2 Procedimiento para medir el pH

- Se calibra el potenciómetro con las soluciones reguladoras de pH 7,0 y pH 4,0 (soluciones buffer)
- Se introduce el electrodo de vidrio en la pasta saturada y se registra la lectura.

5.1.3.3.3 Procedimiento para medir la conductividad eléctrica

- Se separación del extracto. Se transfiere la pasta a un embudo Buchner o similar con papel de filtro cualitativo rápido y se aplica vacío.
- Se calibra el conductímetro con soluciones estandarizadas de cloruro de potasio 0,01 N y 0,02 N, conductividades aproximadas de 1,36 y 2,70 dS/m respectivamente.
- Se mide la conductividad eléctrica en el filtrado.
- Registre y corrija las lecturas con base en la temperatura. Si el conductímetro no dispone de compensación de temperatura, debe hacerse la corrección a 25 °C por medio de las tablas correspondientes.

5.1.3.4 Cálculos

5.1.3.4.1 Capacidad de retención de agua (porcentaje de saturación)

Se expresa teniendo en cuenta la siguiente relación:

$$\% \text{ Saturación} = \left[\frac{A \times 100}{W_m} \right] \left[\frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$$

en donde

- A = volumen en ml de agua utilizado para alcanzar el punto de saturación.
- W_m = peso en g de la muestra seca
- % humedad = Contenido de humedad del producto (véase el numeral 5.1.1.3)

5.1.3.4.2 pH

Se expresa en unidades de pH.

5.1.3.4.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la lectura obtenida en el conductímetro con la respectiva corrección por temperatura y se expresa en dS/m.

5.1.4 Cuantificación de cenizas por el método de pérdidas por volatilización

5.1.4.1 Principio del método

Esta determinación es una aproximación del contenido de materia orgánica presente en el producto, considerando que el 100% del producto menos la suma del porcentaje de cenizas, carbonatos y humedad refleja el contenido de materia orgánica. No obstante es importante verificar la presencia de otros componentes volátiles provenientes principalmente de fuentes nitrogenadas.

5.1.4.2. Equipos y materiales

- Balanza analítica
- Mufla
- Desecador
- Crisoles de porcelana

5.1.4.3 Procedimiento

- Pese aproximadamente 5 g del material preparado según lo indicado en el numeral 5.1.1, en un crisol de porcelana.
- Se coloca el crisol en la mufla y se deja a 650 °C durante 4 h.
- Al cabo de este tiempo, se deja enfriar y se pasa el crisol a un desecador.
- Se registra el peso final.

5.1.4.4 Cálculos

$$\% \text{ cenizas} = \left[\frac{\text{peso final}}{\text{peso inicial}} \times 100 \right] \left[\frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$$

$$\% \text{ pérdidas por volatilización} = 100 - \% \text{ cenizas}$$

en donde

% humedad = contenido de humedad del producto (véase el numeral 5.1.1.3)