

**Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento
de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero,
Municipio de Dabeiba**

CRISTIAN YAIR ARENAS OSORNO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SISTEMA DE FORMACIÓN AVANZADA
FACULTAD DE INGENIERIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
MEDELLÍN
2017**

**Implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento
de los residuos orgánicos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero,
Municipio de Dabeiba**

Estudiante:

CRISTIAN YAIR ARENAS OSORNO

**Trabajo de grado para optar el título de Magister en Ciencias Naturales y
Matemática**

Asesor:

**Nolber Trujillo Osorio
Magister en Biotecnología**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
SISTEMA DE FORMACIÓN AVANZADA
FACULTAD DE INGENIERIAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
MEDELLÍN
2017**

Marzo 2017

Cristian Yair Arenas Osorno

“Declaro que esta tesis (o trabajo de grado) no ha sido presentada para optar a un título, ya sea en igual forma o con variaciones, en esta o cualquier otra universidad”
Art 82 Régimen Discente de Formación Avanzada.

Firma:

Cristian Yair Arenas .O.

CRISTIAN YAIR ARENAS OSORNO

CC: 8 063 209 de Medellín

NOTA DE ACEPTACIÓN

Presidente del Jurado

Jurado

Jurado

DEDICATORIA

Este trabajo está especialmente dedicado a la comunidad educativa del Centro Educativo Rural Josefa Romero, la cual permitió desarrollar la propuesta de investigación, a la Universidad Pontificia Bolivariana y su equipo de excelentes profesionales quienes me formaron y a nuestras familias por su incondicional apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Doy las gracias:

A Dios, por darme la fuerza, la creatividad y la inteligencia para cumplir con este objetivo.

A mi familia por tenerme tanta paciencia durante el desarrollo de este proyecto, el cual constituye una escala más para mi crecimiento personal, comunitario y profesional.

A la comunidad educativa por el apoyo, esfuerzo y colaboración para sacar adelante la presente investigación, cuyo resultado aporta al mejoramiento de su calidad de vida y educativa.

A la Universidad Pontificia Bolivariana y su grupo de profesionales, especialmente al maestro Nolber Trujillo Osorio por su apoyo incondicional, por brindarme las herramientas para aprender y mejorar en todos los aspectos de la investigación, proporcionándome conocimientos para la vida.

Al Programa de Becas de Maestría de la Gobernación de Antioquia por darme la oportunidad de cumplir el proyecto de vida trazado para mi formación.

¡A todos y todas mil gracias!

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	13
IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA	16
JUSTIFICACIÓN	19
OBJETIVOS	20
OBJETIVO GENERAL	20
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	20
1. MARCO REFERENCIAL	21
1.1. Estado del arte	21
1.1.1. Compostaje	21
1.1.2. El Compostaje en Colombia	24
1.1.3. Proceso de compostaje de residuos orgánicos	26
1.1.4. El compostaje, tecnología en la zona rural colombiana	27
1.1.5. Tipos y técnicas del compostaje	28
1.1.6. Ventajas económicas y ecológicas del compostaje	29
1.1.7. Compostaje mediante pilas a cielo abierto	30
1.1.8. Compostaje mediante pacas digestoras	31
1.2. Marco conceptual	32
1.2.1 Etapas del compostaje	36
1.3. Marco legal	37
2. DISEÑO METODOLÓGICO	41
2.1 Recolección y cuantificación de residuos orgánicos en el CER Josefa Romero	41
2.2 Construcción de las pacas digestoras	42
2.3 Construcción del proceso de compostaje a cielo abierto o por pilas	44

2.4 Seguimiento al proceso	45
3. RESULTADOS Y ANÁLISIS	47
3.1. Recolección y cuantificación de residuos orgánicos en el CER Josefa Romero	47
3.2. Comparación entre el proceso de compostaje en pacas digestoras y a cielo abierto	50
3.2.1. Evolución de algunos parámetros de control	50
3.3. Cantidad de humus generado	58
3.4. Resultados y análisis cuantitativos y cualitativos	60
3.4.1. Características y tipos de residuos orgánicos	60
3.4.2. Otro tipo de medición del proceso de compostaje	60
3.4.3. Características cualitativas de los procesos de compostaje	64
3.4.4. Vincular los procesos educativos en el proceso de compostaje	63
CONCLUSIONES	65
RECOMENDACIONES	66
REFERENCIAS	67

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cantidad de residuos orgánicos por día en el CER Josefa Romero.

Tabla 2. Estadística descriptiva para la cantidad de residuos orgánicos por día en el CER Josefa Romero.

Tabla 3. Evolución de algunos parámetros en el compostaje en pacas digestoras.

Tabla 4. Evolución de algunos parámetros en el compostaje a cielo abierto.

Tabla 5. Temperatura y pH en cada una de las fases del proceso de compostaje.

Tabla 6. Cantidad de carga orgánica de cada proceso de compostaje y de humus generado.

Tabla 7. Principales residuos orgánicos generados en el Centro Educativo Rural Josefa Romero.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mezcla heterogénea de algunos residuos orgánicos recogidos en el CER Josefa Romero.

Figura 2. Capacitación a los estudiantes del CER sobre la construcción de las pacas digestoras.

Figura 3. Construcción del cajón de madera para el molde de la paca.

Figura 4. Llenado de la paca digestora con los residuos orgánicos.

Figura 5. Residuos orgánicos para el compostaje a cielo abierto.

Figura 6. Evolución del pH en las pacas digestoras.

Figura 7. Evolución del pH en el compostaje a cielo abierto.

Figura 8. Evolución de la humedad en el compostaje en pacas digestoras.

Figura 9. Evolución de la humedad en el compostaje a cielo abierto.

Figura 10. Evolución de la temperatura en el compostaje en pacas digestoras.

Figura 11. Evolución de la temperatura en el compostaje a cielo abierto.

Figura 12. Preparación de los lugares para sembrar cebolla de rama.

Figura 13. Cebolla de rama, abonada con compost de cielo abierto.

Figura 14. Cebolla de rama, abonada con compost de paca digestora.

RESUMEN

En este trabajo de investigación se compararon dos sistemas diferentes de compostaje: Pacas digestoras y a cielo abierto, para establecer el más eficiente en términos del comportamiento de algunas variables y calidad del compost.

En la fase inicial del proyecto se realizó la recolección diaria de los residuos orgánicos generados en el Centro Educativo Rural (CER) durante 20 días, para determinar estadísticamente la cantidad generada por día. En la segunda fase se prepararon las pacas digestoras y el proceso de compostaje a cielo abierto, para hacer una comparación entre ambas técnicas. En la ejecución de toda la investigación participaron los estudiantes y demás miembros de la comunidad educativa. Posteriormente, en la tercera fase, se hizo seguimiento a la evolución del proceso, mediante la cuantificación, cada cinco días, de tres parámetros de control: pH, Humedad y Temperatura.

El proceso más eficiente fue el compostaje en pacas digestoras, obteniendo un pH estable, entre 7 y 8, durante la mayor parte de la descomposición aeróbica. De la misma manera, en las pacas digestoras la humedad se conservó estable durante la gran parte del tiempo y con valores óptimos entre 40 y 60%. Caso contrario ocurrió en el proceso de compostaje a cielo abierto, donde el pH se mantuvo por debajo de 7 la mayor parte del tiempo y la humedad descendió rápidamente hasta valores críticos inferiores a 40%. Con respecto a la temperatura, en las pacas digestoras se evidenció un ascenso en la temperatura los primeros días, hasta alcanzar la etapa termófila, superior a 60°C, conservando una humedad superior al 40 %, con un pH cercano a 8; condiciones que indican liberaciones altas de CO₂ y conversión adecuada de los compuestos orgánicos.

En la cuarta fase, se buscarque el proceso de compostaje más eficiente (pacas digestoras y cielo abierto) y menos contaminante, sea implementado para el tratamiento de los residuos orgánicos del CER y por las familias que habitan el entorno cercano al Colegio, mediante campañas educativas realizadas por los mismos estudiantes del Centro Educativo.

Palabras Clave: Residuos orgánicos, compostaje, pacas digestoras, compostaje a cielo abierto, compost.

INTRODUCCIÓN

Una de las dificultades ambientales que más inquieta al mundo es el desgaste de los recursos naturales, debido a las diferentes actividades del hombre. El consumismo y el afán de hacer de los procesos productivos algo más dinámico, han elevado los niveles de contaminación de todo tipo en las ciudades (Pantoja, 2013).

Según Osorio (2014), en Colombia se produce a diario 27.300 toneladas de basura y 10.037.500 toneladas al año, equivalente a que cada persona produce en promedio 1 kg de basura diariamente y gran parte se puede reutilizar. “El 55% de los residuos en Colombia es material orgánico” (Osorio, 2014). Los residuos orgánicos que se producen, pueden afectar la salud de los seres vivos que habitan en las comunidades y por ende se hace necesario utilizar estos desechos naturales y devolverlos a la tierra en lugares apropiados y utilizando técnicas cómodas y apropiadas que sean amables con el medio ambiente.

“Los modelos tradicionales de crecimiento rural han causado graves problemas de contaminación del suelo, aire y agua; contribuyendo en parte a la crisis ambiental que incrementa las emisiones atmosféricas y en particular por la generación de residuos sólidos” (Navia, 2013). En el Centro Educativo Rural Josefa Romero del municipio de Dabeiba, se plantea dar un tratamiento adecuado a los residuos orgánicos, por medio del compostaje, siendo una manera adecuada de tratarlos para obtener abono orgánico (Röben, 2002).

El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de basura biodegradable o restos orgánicos, desechos de jardín o cocina, papeles. “El compostaje es un proceso biológico en el cual las materias orgánicas se transforman en tierra de humus (Röben, 2002)”. El compostaje es un proceso de

transformación de la materia orgánica, el cual sería una solución para tratar los residuos orgánicos producidos en las comunidades rurales; el compost obtenido al ser un abono natural, puede ser una alternativa para cuidar los suelos, ser amigable con el medio ambiente y mejorar la fertilidad de los suelos.

La transformación de los residuos orgánicos se lleva a cabo en cualquier lugar a través de las composteras, sin ningún tipo de mecanismo artificial, ningún motor y ningún gasto de mantenimiento. En Colombia los residuos que se están recolectando en los hogares tienen una aproximación al 55% de materia orgánica, que puede ser reciclada y retornada a la tierra en forma de humus para las plantas y cultivos. Según cifras registradas en diferentes investigaciones, por cada 100 kg de residuos orgánicos compostados, se obtienen 30 kg de abono orgánico (Osorio, 2014).

De esta manera se contribuye a la reducción de los residuos que se llevan a los vertederos o a las plantas de valorización. Al mismo tiempo se consigue reducir el consumo de abonos químicos. Por otro lado, cabe también destacar que con el compostaje doméstico se emiten 5 veces menos gases de efecto invernadero que el compostaje industrial para tratar la misma cantidad de restos de cocina y jardín (Osorio, 2014).

Las Instituciones Educativas no son ajenas a estas problemáticas, ya que son lugares de flujo constante de personas: padres de familia, estudiantes, profesores y visitantes, lo que las convierte en centros de generación de residuos orgánicos. En el Centro Educativo se producen residuos orgánicos a diario por medio de los consumibles desechados por los estudiantes y otros en gran proporción, por el restaurante escolar; este último produce la mayor parte de los residuos orgánicos de la escuela que se depositan en canecas las cuales están a la intemperie, produciendo malos olores y contaminación ambiental.

En el presente trabajo se realizó la comparación entre dos sistemas de compostaje: pacas digestoras y a cielo abierto, buscando establecer el más eficiente para implementar un sistema integral de compostaje en el Centro Educativo Rural Agrícola del municipio de Dabeiba, involucrando los miembros de la comunidad educativa.

IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

Una de las principales problemáticas ambientales que preocupan a la sociedad es el mal manejo que se le da a los residuos orgánicos. La cantidad de residuos que el ser humano genera conllevan a darle menos capacidad al sistema de degradarlos y llevarlos nuevamente a su estado natural, produciendo contaminación antropogénica difícil de desechar y causando daños irreversibles a los ecosistemas.

En la mayoría de los países de América Latina y el Caribe, la cantidad de materia orgánica presente en los residuos sólidos urbanos supera el 50% del total generado (OCDE, 2001), de los cuales aproximadamente el 2% recibe tratamiento adecuado para su aprovechamiento, el resto es confinado en vertederos o rellenos sanitarios y aproximadamente el 15% es dispuesto inadecuadamente en botaderos o es destinado a la alimentación animal sin un debido control y procesamiento sanitario (FLORES, Dante, 2001).

En Colombia, para una población de 45.509.580 habitantes en 2010; las cifras sobre generación de residuos sólidos son las siguientes: 11.275 Ton/día en las cuatro grandes ciudades (Medellín, Bogotá, Cali y Barranquilla), lo que equivale al 41% de residuos generados en el país, 5.142 Ton/día en las 28 ciudades capitales, correspondientes a 18,7% y 11.083 ton/día en los 1.054 municipios, equivalentes a 40,3% (Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo territorial, 2006). Por consiguiente, en Colombia se generan 27.500 ton/día de residuos sólidos (1.086 municipios en 32 departamentos) y de acuerdo a la composición de los mismos, el 65% son residuos sólidos orgánicos. (Colectivo ecológico y ambiental de Antioquía, 2008).

En Antioquia, las instituciones educativas han venido aumentando la producción de diversos tipos de residuos orgánicos. Por esto se han implementado diferentes

estrategias para degradar estos residuos y devolverlos a la naturaleza sin contaminar, basados en la ley 1743 de 2004 de los proyectos pedagógicos ambientales y de la reutilización de contaminantes orgánicos.

En el municipio de Dabeiba, específicamente en la vereda Cruces, se encuentra localizado el Centro Educativo Rural (CER) Josefa Romero, el cual atiende estudiantes desde preescolar hasta el grado octavo de la básica secundaria. Los 102 estudiantes y la comunidad educativa que rodea el CER, producen diferentes residuos orgánicos que no se utilizan y se dejan a la intemperie en lugares visibles, generando contaminación, malos olores, alimento, albergue y reproducción para moscas y otros animales que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas que habitan el CER y las zonas aledañas. El problema ambiental en el Centro Educativo es evidente y está asociado directamente con la poca cultura de reutilización de los residuos orgánicos y un desconocimiento de opciones para su tratamiento.

Los restos de frutas y otros residuos vegetales, al igual que todo tipo de residuo orgánico, pueden ser de gran utilidad al aprovecharlos ya sea de manera directa o como resultado de procesos de reutilización, reciclaje, producción de bioabono, generación de biogás, compostaje e incineración con producción de energía, entre otros. (Caracterización de residuos sólidos municipio de Medellín, 2006). Así mismo, el uso de fertilizantes químicos está masificado, desconociendo los efectos adversos sobre la salud de las personas y las alteraciones a los diferentes ecosistemas. Por lo anterior, diferentes investigaciones se han centrado en encontrar fertilizantes orgánicos de bajo impacto ambiental, al igual que bajo costo de producción.

Existen diferentes técnicas que buscan aprovechar los residuos orgánicos que se producen, una de ellas es el compostaje, el cual es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de residuos biodegradables: desechos de

jardín o cocina, papeles, estiércol de animales. En el proceso de compostaje, los microorganismos en un ambiente aerobio, producen humus como producto final del proceso, el cual se convierte en un fertilizante natural para las plantas (Röben, 2002).

En este proyecto se aplicaron dos técnicas de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos del CER Josefa Romero y de esta manera establecer el proceso más eficiente en términos de la calidad del humus producido. La parte final del proyecto consiste en la capacitación los integrantes de la Comunidad Educativa y los habitantes de la vereda para que la implementen, como una forma eficiente de aprovechamiento de los residuos orgánicos.

JUSTIFICACIÓN

Desde sus inicios, el ser humano ha acumulado sus residuos alrededor de sus asentamientos. La complejidad y la variedad de la actividad del hombre, a través de la historia, han marcado las conductas en su manejo y disposición final de los residuos producidos. Las grandes enfermedades y lamentables accidentes ocurridos, constituyen el ejemplo más claro del alto precio que debe pagar la humanidad por el mal manejo de sus desechos. Cualquier campo en que el hombre se desenvuelva se irá marcando por una pesada carga de residuos que se aglomeran para hacer de ese lugar, una zona de desechos de toda clase.

Los residuos orgánicos son todos aquellos desechos que se generan en la actividad doméstica y comercial como: restaurantes, plazas de mercado, hogares, escuelas. Estos residuos, por su cantidad y composición, deben ser tratados de manera controlada, evitando cualquier daño al medio ambiente. La medida de control más utilizada en la actualidad son los rellenos sanitarios y con este existen otros medios para no solo controlar sino transformar estos residuos para bien del medio ambiente y devolver lo orgánico a la tierra.

Este proyecto de investigación se ha planteado con la finalidad de darle tratamiento adecuado a los residuos orgánicos producidos en el Centro Educativo Rural Josefa Romero del municipio de Dabeiba Antioquia, como alternativa de producción limpia y sostenible, evitando la contaminación en ambientes escolares y transformando los residuos en compost para darles un valor agregado y mitigando su impacto ambiental negativo.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Implementar un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos en el CER Josefa Romero, Municipio de Dabeiba.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Determinar estadísticamente la cantidad de residuos orgánicos generados por día en el CER Josefa Romero, vereda Cruces, Municipio de Dabeiba
- ✓ Construir las pacas digestoras y las pilas con la colaboración de los estudiantes del CER Josefa Romero.
- ✓ Comparar los procesos de compostaje a cielo abierto y en pacas digestoras, para determinar el más eficiente en términos de la calidad del humus producido.
- ✓ Vincular a todos los miembros de la comunidad educativa a la preparación del compostaje, mediante la integración curricular de las diferentes áreas y campañas pedagógicas.

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Estado del arte

La educación y sus principios son parte de un sistema que es aprovechado por otros sistemas más complejos, el compostaje como abono orgánico da la posibilidad de combinar procesos agrónomos con tecnologías para su producción, aprovechar los residuos orgánicos para bien de los cultivos, como beneficio para los productos que se siembran. Las diferentes técnicas del compostaje dan la opción de vincular procesos académicos para obtener el compost, una de esta es el compostaje por medio de las pacas digestoras, las cuales es una técnica limpia que ofrece reducir los olores y es apropiada para espacios reducidos o con poco espacio y así poder producir compost con 2 métodos distintos.

1.1.1. Compostaje

El compostaje como abono orgánico es aplicado en muchos cultivos en diferentes partes del mundo, con el fin de producir siembras con abonos naturales. Es una técnica muy particular de los pueblos indígenas que iniciaron este método de abono por respeto a la tierra, por ser económico y fácil para conseguir la materia prima.

Según Duarte (2000) la modernización ha ocasionado que las tradiciones se transformen, cambien sus formas de cultivar y modifiquen el uso de los recursos naturales, que sean sustituidos y cambien sus métodos de sembrar por formas agresivas de modernización cultural.

Por este motivo, existen lugares que antes eran naturales para la siembra, ocupados con desechos orgánicos producidos por seres vivos y la idea es aprovechar estos para abonar la tierra con sus mismos desechos; no perder la

cultura y evitar un impacto negativo de la modernización en las formas de abonar los cultivos en las zonas lejanas (Duarte, 2000).

Un gramo de compost contiene más de 200 millones de microorganismos entre bacterias aeróbicas, actinomicetos, hongos, y otros organismos benéficos para el suelo y la planta, y además de nutrientes producen vitaminas, hormonas y sustancias mucilaginosas que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas, y la estabilización de los agregados del suelo (Camacho, 2010).

El compostaje de residuos orgánicos es un "proceso biológico de descomposición aeróbica que por acción de organismos mesófilos y termófilos conduce a la producción de un residuo estable, que puede ser utilizada como enmienda orgánica" (Villada, Cauca, & Valle, 1909) el compostaje es la producción de un material fino y estable hecho con residuos orgánicos, el cual sirve para abonar cultivos de diferentes tipos y es fundamental tener en cuenta que el compostaje es un proceso natural, en el que los principales actores son los microorganismos degradadores de materia orgánica. Por lo tanto, cualquier proceso o tecnología utilizada para compostar será benéfica en cuanto permita que los microorganismos hagan su trabajo (Casta & Romero, 2012).

El compostaje como técnica de aprovechamiento de residuos orgánicos para abonar cultivos, trabaja con residuos naturales, lo cual hace que los recursos orgánicos sirvan para abonar la tierra y no se pierda su valor natural. Las tecnologías que ayudan a mejorar los procesos de compostaje dinamizan la producción y elaboración del abono (Casta & Romero, 2012).

El manejo de los residuos orgánicos producidos por los seres vivos hace que se produzca el compostaje como opción "con aplicación creciente en el país; sin embargo, para su implementación no se evidencian experiencias de investigación que propicien la adaptación de la tecnología a las condiciones locales" (Marmolejo,

Oviedo, Carlos, & Torres, 2010) el compostaje ofrece una forma diferente de manejar los residuos orgánicos acompañado de procesos tecnológicos para un mejor abono.

Para obtener el compost, se deben tener en cuenta los organismos que intervienen de forma directa en el proceso del compostaje, según Röben (2002) si se desea hacer con lombrices (lombricultivo), estos animales se alimentan de los residuos orgánicos y ayudan a descomponer más rápido los desechos.

1.1.1.1 Microorganismos en el compostaje

En el proceso de compostaje se presenta la transformación microbiana de la materia orgánica bajo condiciones controladas: en los primeros días ocurre un incremento de la temperatura que va de 20 a 45°C, producto de la descomposición de azúcares (fase mesofílica), que puede alcanzar posteriormente temperaturas de 55 a 70°C (fase termofílica) durante la degradación de la celulosa, en la que ocurre la disminución de la población microbiana. Una vez transcurrida ésta fase se da inicio al proceso de maduración del compost, donde al disminuir la temperatura, ocurre la recolonización por microorganismos que pueden ser antagónicos a organismos fitopatógenos (Bollen, 1993). En esta fase, los remanentes orgánicos son degradados a una tasa más lenta.

De acuerdo a la acción de los diferentes organismos en la degradación de los materiales orgánicos, se presentan etapas de maduración del material y de acuerdo a esto se da la intervención de animales según sea el método utilizado para hacer la composta; por ejemplo en cielo abierto aparte de intervenir bacterias, aparecen animales como moscas, gusanos que ayudan a mezclar el material, lo cual depende en este tipo de compost, de las condiciones ambientales e influencias humanas; por el contrario en las pacas se maneja la degradación con bacterias “los

microorganismos (levaduras, lactobacilos, entre otros) transforman los materiales y los dejan en complejos parcialmente estables listos para ser absorbidos por las plantas” (Martínez & Olalde, 2008) estos no dependen de niveles ambientales, se da por la presión de todos los materiales basados en el aumento de temperatura, pH, humedad en la paca digestora.

El manejo de los residuos orgánicos producidos por los seres vivos hace que se produzca el compostaje como opción “con aplicación creciente en el país; sin embargo, para su implementación no se evidencian experiencias de investigación que propicien la adaptación de la tecnología a las condiciones locales” (Marmolejo, Oviedo, Carlos, & Torres, 2010) el compostaje ofrece una forma diferente de manejar los residuos orgánicos acompañado de procesos tecnológicos para un mejor abono.

Para obtener el compost, se deben tener en cuenta los organismos que intervienen de forma directa en el proceso del compostaje, según Röben (2002) si se desea hacer con lombrices (lombricultivo), estos animales se alimentan de los residuos orgánicos y ayudan a descomponer más rápido los desechos.

1.1.2. El Compostaje en Colombia

En Colombia existe una gran variedad de residuos orgánicos que por no ser aprovechados adecuadamente se convierten en contaminantes para los suelos, las fuentes de agua y el aire (Trochez, 2005). El compostaje es una técnica que ayuda a su procesamiento, dándoles un buen uso y mejorando la calidad de los suelos.

En el país la práctica del compostaje ha avanzado en la última década, contando en diferentes regiones con plantas de tratamiento de residuos (Libreros, 2012). En la última década se han realizado diferentes proyectos basados en el compostaje

para producir abonos con desechos orgánicos, como los procesos a partir de residuos de la palma de cera.

Por otra parte, se puede también aprovechar otro tipo de desechos; como el de los animales herbívoros (vacas, caballos, burros) para realizar el compost como los hacen en el proyecto “el compostaje como una estrategia de producción limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda” (Guerrero & Monsalve, 2006), se permite utilizar este material orgánico para abonar los pastos de los mismos animales que dan el material para el compostaje.

Los residuos orgánicos producen deterioro de espacios, es en estos que hace evidente la contaminación ambiental y sus efectos más temibles al no utilizar de forma adecuada los recursos naturales (Daniel & Cáceres, 2008). El compostaje ayuda de forma significativa a utilizar los residuos orgánicos y a si mejorar el medio ambiente que rodea a los seres vivos.

El buen uso de los residuos orgánicos, produce ambientes sanos, “el medio ambiente es de todos y sin importar donde nos encontremos, las actuaciones de cada uno afectan positiva o negativamente al resto de los individuos y su titular es la comunidad como tal” (Derecho, Medio, & Sano, 2012), el compostaje es una opción ambiental que aplica para mejorar el entorno donde se depositan residuos orgánicos.

Un gramo de compost, contiene más de 200 millones de microorganismos entre bacterias aeróbicas, actinomicetos, hongos, y otros organismos benéficos para el suelo y la planta, y además de nutrientes que producen vitaminas, hormonas y sustancias mucilaginosas que favorecen el crecimiento y desarrollo de las plantas, y la estabilización de los agregados del suelo (Camacho, 2010).

1.1.3. Proceso de compostaje de residuos orgánicos

El compostaje posee diferentes técnicas y procesos para obtener abono orgánico, las cuales dependen del lugar, del clima y del tipo de residuos que se utilicen para el proceso. El compostaje como fuente para abonar los cultivos, es una propuesta ecológica que ayuda a disminuir los residuos sólidos en determinado lugar. La aplicación de esta técnica lleva al compostaje de subproductos de la agroindustria como los de la palma de aceite en Colombia, en la cual se utilizan los residuos obtenidos de la palma de cera para producir compost y así retornar nutrientes a la tierra (Casta & Romero, 2012).

También existen investigaciones como la “Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos” (Díaz, Prada & Mondragón, 2010) en la ciudad de Bucaramanga, en la cual buscan reutilizar el desecho orgánico que deja el café después de ser despulpado, quedando la cascara como ingrediente principal para la producción de compost, ya que este se convierte en residuo orgánico después del proceso para obtener el grano de café.

En el departamento de Risaralda utilizan los residuos de animales en el proyecto “el compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda” (Guerrero & Monsalve, 2006), en el cual buscan utilizar los residuos orgánicos producidos por los animales que van a sacrificar en mataderos como materia prima para realizar compost.

En el proyecto “formulación del plan de gestión integral de residuos sólidos regional del valle de Aburra – PGIRS regional” (Orgánicos, 2006), aprovechan los residuos generados en el valle de aburra, para producir compost, el cual generó gran impacto positivo en la zona de aplicación por su relación satisfactoria con el medio

ambiente y la capacidad del proyecto para capacitar a la población y a su vez de expandirse a otros lugares de Colombia.

El compostaje se puede implementar en diferentes partes del país, según el tipo de ingrediente “La calidad del compost es variable y depende principalmente del tipo de materia orgánica utilizada, la presencia de aditivos, la técnica de compostaje y tiempo de duración del proceso” (Escobar, Sánchez, & Azero, 2011), a parte de la materia orgánica que se utiliza, también intervienen otros materiales para poder obtener el compost y de esto dependen las características del abono obtenido.

También en el valle de aburra se trabajó con el proyecto manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el valle de Aburrá (Villada & Torres, 2013), en este proyecto se compostaron los residuos con diferentes formas y técnicas de convertir los desechos orgánicos en compost, para ser aprovechado en diferentes cultivos.

Cuando se habla de compostaje el clima interviene de forma significativa en el proceso de descomposición del residuo orgánico, no es lo mismo trabajar en clima frío, donde los procesos de descomposición son más lentos, en cambio en clima cálido los agentes descomponedores de los residuos sólidos están más activos y pueden realizar el trabajo de descomponer más rápido los residuos.

1.1.4. El compostaje, tecnología en la zona rural colombiana

El compostaje como método de aprovechamiento de los residuos orgánicos en la zona rural y sus grandes aportes para mejorar las prácticas de abono en la siembra de comestibles, está avocada a vincular en su método la tecnología, como complemento para mejorar la producción del compost, esta ayuda hace que el manejo de los cultivos y su abono sea el más apropiado para el producto a sembrar.

Las zonas más apartadas de las grandes ciudades tienden a desconocer este método de producir abono a través del compostaje y a su vez no se vincula las ayudas tecnológicas, las cuales van de la mano con otras técnicas de producir abonos y así poder aplicar este método en las zonas rurales y locales del municipio (Marmolejo, Oviedo & Torres, 2010).

La tecnología ha innovado en todas las prácticas de siembra y cultivo, “El compostaje es una tecnología sencilla y económica para aprovechar toda clase de desechos orgánicos, como los de jardín o cocina, estiércol de animales” (Röben, 2002). Esta técnica de abono se traslada al campo, es allí donde se producen la gran parte de los alimentos, el compost que se produce a partir de los desechos orgánicos, complementa de forma natural la siembra y el cultivo de productos para el consumo humano y animal.

La importancia de trabajar el compostaje en las zonas rurales, radica en sus grandes aportes que tiene este tipo de abono a la conservación del suelo, Camacho en su aporte da varios ejemplos de cómo el compostaje nutre el suelo y lo estabiliza propiciando cultivos limpios, sanos y de muy buen aspecto (Camacho, 2010), todo esto ayuda a mejorar el aspecto de los frutos que resultan después de la siembra.

1.1.5. Tipos y técnicas del compostaje

El compostaje ofrece diferentes técnicas las cuales hacen de este tipo de abono orgánico una excelente opción para reutilizar estos desechos. Estas técnicas son:

- ✓ Sistema de compostaje con estibas
- ✓ Sistemas de compostaje con estibas
- ✓ Sistemas de compostaje con módulos de canastas
- ✓ Sistemas de compostaje con madera plástica

✓ Sistemas de compostaje modular

Los anteriores son sistemas de compostaje con aireación pasiva o natural (Villada & Torres, 2013), los cuales están expuestos al ingreso de oxígeno como método de descomposición de los residuos orgánicos o ayudados por el proceso de aprovechamiento de residuos orgánicos mediante la lombricultura, las cuales ayudan a la descomposición de los desechos orgánicos mediante su consumo. Las lombrices se reproducen en condiciones adecuadas y son muy útiles en el momento de compostar, pero su proceso es lento.

Dos métodos adicionales para compostar y de amplio uso hoy en día, son los sistemas de pilas a cielo abierto y mediante pacas digestora, que se trabajan por medio de capas de residuos orgánicos, sobrantes de poda de árboles, entre otros, los cuales van prensados o apilados en el caso del compost por pilas.

1.1.6. Ventajas económicas y ecológicas del compostaje

El compostaje ofrece diferentes ventajas tanto económicas como ecológicas, por el “reemplazo de fertilizadores artificiales por un producto más económico y natural” (Röben, 2002), estas ventajas se deben a que el compostaje trabaja con materiales orgánicos y estos se obtienen de los desechos de los seres vivos.

1.1.6.1. Ventajas económicas

El compostaje ofrece las siguientes ventajas económicas:

- Extensión de la vida útil del relleno sanitario municipal (no es necesario la inversión en un terreno para un nuevo relleno prematuramente).
- Venta o uso del compost.

- Venta o uso de las lombrices (si se realiza el compostaje con el sistema de lombricultura)

1.1.6.2. Ventajas ecológicas

Lo más significativo del compostaje son las grandes ventajas que da al medio ambiente, contribuye a mejorar la parte ecológica, formando un entorno sano y natural.

- Producción de menos aguas lixiviadas y gases contaminados.
- Menos consumo de terreno, menor impacto al paisaje, al suelo y a las aguas subterráneas.
- El compost es un fertilizador natural que no produce sobrecarga química al suelo.

El compostaje es una gran opción para abonar los cultivos, es natural y por esto es recomendable para todo tipo de cultivo y es necesario motivar a “comunidades pequeñas, cultivadores individuales y empresas agrícolas. Se pueden obtener mejores resultados si se clasifica los residuos orgánicos dentro del hogar” (Röben, 2002).

1.1.7. Compostaje mediante pilas a cielo abierto

El compostaje en pilas es el sistema más antiguo y más sencillo utilizado para compostar residuos orgánicos. Después de haber separado todo material inorgánico (materiales no biodegradables), de los residuos biodegradables, el material se coloca en pilas a cielo abierto, las cuales preferiblemente sean triangulares. Las condiciones en un sistema a cielo abierto son fáciles de controlar.

Estos sistemas son abiertos y requieren un volteo periódico para la aireación y hacerlo alejado de zonas residenciales, porque genera olores por la liberación de

gases contaminantes. El sistema de aireación, garantiza acelerar el metabolismo de las bacterias termófilas que se encuentran por naturaleza en los residuos, hasta alcanzar rangos de temperatura que fluctúa entre 60° y 70°C. Los sistemas de compostaje de pilas para la estabilización termofílica por aceleración microbiana permite reducir significativamente la generación de lixiviados mucho mejor que otros sistemas de estabilización y aprovechamiento de residuos orgánicos

1.1.8. Compostaje mediante pacas digestoras

Un sistema alternativo de compostaje es mediante pacas digestoras, las cuales se convierten en un recurso tecnológico limpio, sano y ecológico para descomponer toda clase de excedentes biodegradables como los de cocina, (crudos, cocidos, cárnicos y grasos), los estiércoles de toda clase de animales, de jardín y de poda de árboles.

Las pacas digestoras eliminan la contaminación por gases tóxicos, lixiviados y vectores, bloquea el aire corruptor y opera por fermentación alcohólica sólida. La composición de los residuos biodegradables es igual a la de alimentos y por ello su vulnerabilidad a moscas y pudrición es la misma, por lo cual su manejo requiere una tecnología antioxidante y descontaminante, similar a la de los alimentos fermentados como la cerveza, el pan y el vino, empleada con éxito desde hace miles de años (Manuela de compostaje, 2013).

El sistema de capas digestoras “es un recurso tecnológico limpio, sano y ecológico para descomponer toda clase de excedentes biodegradables como los de cocina, los estiércoles de toda clase de animales, de jardín y de poda de árboles” (Villada & Torres, 2013), esta última técnica es apropiada para ser trabajada en espacios pequeños, centros educativos y huertas caseras, por su facilidad para realizar el proceso, debido a que por tener el material prensado los desechos orgánicos no expulsan gases, ni lixiviado, lo cual hace un compost ecológico en un 100 % desde

que la paca digestora quede bien hecha, puede ahorrar gastos y contribuir a mejorar el medio ambiente. (Manuela de compostaje, 2013).

1.2. Marco conceptual

- **Residuos Orgánicos:** Restos de materiales resultantes de la elaboración de comidas, así como sus restos vegetales y animales (huesos, verduras, frutas, cáscaras). Se descomponen rápidamente, con fuertes olores, y son fuente de proliferación bacteriana. Atraen a roedores, insectos y también a los animales domésticos (gatos, perros, etc.) que, además de romper las bolsas contenedoras, son vectores de enfermedades.
- **Materia Orgánica:** La materia orgánica es aquella que se encuentra conformada por moléculas orgánicas resultantes de los seres vivos y la podemos hallar en las raíces, en los animales, en los organismos muertos y en los restos de alimentos.
- **Compost:** La utilización del compost data de muchos años atrás y fue en Inglaterra donde se inició y extendió su uso, pues aunque se conocía de los beneficios de la degradación de todo residuo de cosecha o material vegetal, no se sabía cómo optimizar la degradación. El **compost**, también llamado **composto o composta**, es un abono orgánico que se obtiene de compuestos que forman o formaron parte de seres vivos en un conjunto de productos de origen animal y vegetal; constituye un “grado medio” de descomposición de la materia orgánica, que en sí es un magnífico abono orgánico para la tierra, y logra reducir enormemente la basura. Se denomina humus al “grado superior” de descomposición de la materia orgánica. El humus supera al compost en cuanto abono, y ambos son orgánicos.

- **Compostaje** es un proceso aeróbico, es decir que requiere oxígeno, en el cual los materiales orgánicos ya sea animales o vegetales son descompuestos por fermentación siendo fundamentales las condiciones de humedad, aireación y relación C/N.
- **Humus:** es la sustancia compuesta por ciertos productos orgánicos de naturaleza coloidal, que proviene de la descomposición de los restos orgánicos por organismos y microorganismos benéficos (hongos y bacterias). Se caracteriza por su color negro debido a la gran cantidad de carbono que contiene. Se encuentra principalmente en las partes altas de los suelos con actividad orgánica. Los elementos orgánicos que componen el humus son muy estables, es decir, su grado de descomposición es tan elevado que ya no se descomponen más y no sufren transformaciones considerables.
 - Incrementa la capacidad de intercambio catiónico del suelo.
 - Da consistencia a los suelos ligeros y a los compactos; en suelos arenosos compacta mientras que en suelos arcillosos tiene un efecto de dispersión.
 - Hace más sencillo labrar la tierra, por el mejoramiento de las propiedades físicas del suelo.
 - Evita la formación de costras, y de la compactación.
 - Ayuda a la retención de agua y al drenado de la misma.
 - Incrementa la porosidad del suelo.
 - Presenta altos contenidos de K y S, además de una alta carga microbiana así como ácidos húmicos y fúlvicos, descompactando el suelo y facilitando la toma de nutrientes por la rizósfera.

- **Relación C/N:** Es la cantidad de carbono y nitrógeno presente en un material.

Todos los seres vivos están compuestos de carbono y nitrógeno (carbohidratos y proteínas) y deben tomarlos de los alimentos que ingieren. Así mismo, los microorganismos encargados de la degradación, también necesitan de C y N para reproducirse y utilizar el material. Los residuos orgánicos están compuestos en gran parte por C y N en diferentes proporciones, lo cual es muy importante conocer para lograr establecer las posibles mezclas al momento de realizar un proceso de compostaje y de esta manera lograr un compost con una relación C/N ideal para la aplicación en campo.

- **Temperatura:** El proceso de compostaje tiene claramente dos zonas térmicas definidas, es decir, que durante el proceso la temperatura sufre cambios. Estas dos zonas se conocen como las zonas mesofílicas (25-38°C) y la zona termofílica (55-70°C).

El incremento de la temperatura durante la fermentación ocurre principalmente por las reacciones bioquímicas exotérmicas que ocurren allí, asociadas a la actividad de los microorganismos presentes.

- **pH:** Es otro parámetro importante para evaluar las condiciones del proceso y la estabilización de los residuos. Su valor, así como la temperatura varía con el tiempo durante el proceso. Al comienzo el material tiene un pH entre 6-7, y en los primeros días disminuye por la producción de ácidos orgánicos en el sistema. Posteriormente puede subir hasta 8-8.5 durante toda la fase termofílica y cuando se inicia el enfriamiento llega a un valor en el rango de 7-8, en el compost maduro.

- **Compost como tratamiento de residuos orgánicos:** El compost es un proceso biotecnológico que permite el aprovechamiento de residuos orgánicos y tóxicos peligrosos, que pueden ser transformados biológicamente a través de un proceso aeróbico.

A través del tiempo, el material biodegradable, es utilizado como sustrato de una gran cantidad y diversidad de microorganismos quienes lo transforman en materia orgánica no humidificada de alta calidad microbiológica y con contenidos importantes de sustancias orgánicas y minerales que lo hacen apto para la nutrición vegetal. Así mismo, el proceso de compostaje puede ser utilizado como un sistema de filtración y degradación de compuestos tóxicos, pues los microorganismos que se encuentran allí creciendo, utilizan el compost como soporte y los tóxicos como alimento.

- **Participación de enzimas microbianas en la degradación de materia orgánica:** Gran parte de la actividad microbiana y de la degradación de la materia orgánica se realiza Durante la fase termófila ya que las temperaturas mayores de 60°C promueven la actividad microbiana y pueden inactivar patógenos. Por estas características la producción de un inóculo acelerador de compost a partir de bacterias es una herramienta útil en la disminución del tiempo de degradación y en el aumento de la velocidad de degradación de materia orgánica, lo que proporciona disminución de residuos sólidos y mayor rapidez en la producción de abono orgánico para cultivos.
- **Aprovechamiento:** Es la actividad complementaria del servicio público de aseo que comprende la recolección de residuos aprovechables separados en la fuente por los usuarios, el transporte selectivo hasta la estación de clasificación y aprovechamiento o hasta la planta de aprovechamiento, así como su clasificación y pesaje (**Reglamento del Servicio Público de Aseo, 2013**)

1.2.1 Etapas del compostaje

- 1. Preparación:** Los residuos orgánicos excedentes de los alimentos durante su preparación, como son cáscaras o partes de frutas, hortalizas, sobras sólidas de alimentos ya preparados, de carnes, hojas de poda de sus matas internas, flores y tallos picados de arreglos naturales, son almacenados en recipientes separados y con tapa. Los plásticos, vidrios, papeles, metales, no deben mezclarse con los residuos orgánicos que van a compostaje, ya que no son transformables por las bacterias. La humedad, se puede controlar por medio de adición de aserrín o viruta de madera, en proporciones variables: 2 o 3 partes en volumen de alimentos, por una de aserrín o viruta.
- 2. Descomposición Mesófila:** Al inicio del proceso, los residuos preparados, están a temperatura ambiente (menor de 40°C), por lo cual, los microorganismos llamados mesófilos se multiplican rápidamente, hay gran actividad metabólica (transformación de algunos compuestos como azúcares y aminoácidos), la temperatura comienza a subir y se producen ácidos orgánicos que hacen bajar el pH.
- 3. Descomposición Termófila:** En esta fase, la temperatura es superior a 40° y sube hasta 60°-65°C. Microorganismos, llamados termófilos, transforman el Nitrógeno (N), en Amoníaco (NH₃), por lo cual el pH se hace alcalino. A los 60°-65°C, estos hongos termófilos desaparecen y dan paso a las bacterias esporígenas y actinomicetos, que tienen capacidad para descomponer sustancias orgánicas como las ceras, las proteínas y hemicelulosas.
- 4. Descomposición Mesófila de Enfriamiento:** La temperatura comienza a descender por debajo de 60°C, y reaparecen los hongos termófilos que

reinvaden la parte superior del residuo (mantillo) y lograr descomponer compuestos, como la celulosa. Al bajar de 40°C, los mesófilos también reinician su actividad y el pH del residuo, desciende ligeramente.

5. **Maduración:** Requiere de 1 a 2 meses en promedio y se realiza exponiendo el compost a temperatura ambiente y protegido de la lluvia. Durante este período, se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización del humus; desciende el consumo de oxígeno y la fitotoxicidad del compost debe estar controlada.

1.3. Marco legal

- **Decreto Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993** en relación con la gestión Integral de Residuos Sólidos: Es el proceso mediante el cual, a través de un manejo integral de los residuos sólidos, los materiales recuperados se reincorporan al ciclo económico y productivo en forma eficiente, por medio de la reutilización, el reciclaje, la incineración con fines de generación de energía, el compostaje o cualquier otra modalidad que conlleve beneficios sanitarios, ambientales, sociales y/o económicos.
- **Ley 99 DE 1993 (Artículo 3):** La gestión ambiental se enmarca dentro de la concepción del Desarrollo Sostenible que es definido por la Ley 99 de 1993 (artículo 3) como aquel que conduzca al crecimiento económico, a la elevación de la calidad de vida y al bienestar social, sin agotar la base de recursos naturales en que se sustenta, ni deteriorar el medio ambiente o el derecho de las generaciones futuras a utilizarlo para la satisfacción de sus propias necesidades”; a partir de este concepto se contextualiza el direccionamiento y los principios del manejo ambiental del país, las regiones y las localidades.

- **La ley general de educación en su artículo 77 y el decreto 1743 de 1994**, inscriben el PROYECTO AMBIENTAL ESCOLAR para todos los niveles de educación formal, como elemento integrante del Proyecto educativo institucional, con el objeto de contribuir en la solución de problemas ambientales específicos.

Apuntando a la consecución de los fines de la educación planteados en la ley general de educación o ley 115 de 1994, en el art. 5 párrafo 10, en el art. 14 literal c y el art. 22 literal e; citados a continuación: Art. 5 Fines de la educación, párrafo 10 “Donde la adquisición de una conciencia para la conservación, protección y mejoramiento del ambiente de la calidad de vida, del uso racional de los recursos naturales, de la prevención de desastres, dentro de una cultura ecológica y del riesgo y la defensa el patrimonio cultural de la nación”.

A continuación se mencionan las leyes, decretos y resoluciones más importantes relacionadas con el tratamiento y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos, que tiene que ver de forma directa o indirecta con nuestro proyecto.

La Constitución Política De Colombia. Esta establece en su TITULO I capítulo 3 los derechos colectivos y del ambiente, donde se puede encontrar artículos relacionados con nuestro proyecto como:

- **ART 79.** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo.
Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
- **ART 80.** En este menciona la función del Estado como planificador del “manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su

desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas

- **Artículo 8 de la Constitución Política de Colombia:** Es obligación del Estado y de las personas proteger las riquezas culturales y Naturales de la Nación.
- **Artículo 49 de la Constitución Política de Colombia:** La atención de la salud y el saneamiento ambiental son servicios públicos a cargo del Estado. Se garantiza a todas las personas el acceso a los servicios de promoción, protección y recuperación de la salud. Corresponde al Estado organizar, dirigir y reglamentar la prestación de servicios de salud a los habitantes y de saneamiento ambiental conforme a los principios de eficiencia, universalidad y solidaridad.
- **Artículo 67 de la Constitución Política de Colombia:** Establece que la educación es un derecho de la persona y un servicio público que tiene una función social, con ella se busca el acceso al conocimiento, a la ciencia, a la técnica, y a los demás bienes y valores de la cultura. La educación formará al colombiano en el respeto a los derechos humanos, a la paz y a la democracia y en la práctica del trabajo y la recreación, para el mejoramiento cultural, científico, tecnológico y para la protección del ambiente.
- **Artículo 79 de la Constitución Política de Colombia:** Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar

las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.

- **Decreto 1743 de 1994:** Reglamenta la obligatoriedad de la enseñanza ambiental desde pre-escolar hasta la básica y media en un currículo que sobrepase los criterios, planes y programas que contribuyan a una formación integral tanto del individuo como de la comunidad educativa general en aras de mejorar la calidad en la educación, el medio ambiente y por ende la calidad de vida.

2. DISEÑO METODOLÓGICO

En este proyecto se utilizó una metodología didáctica y experimental basada en el modelo socio crítico, el cual hace que el estudiante juzgue el proceso que lleva a cabo y su viabilidad en la aplicación del proyecto. Las actividades para conseguir este fin fueron:

2.1 Recolección y cuantificación de residuos orgánicos en el CER Josefa Romero

Los residuos orgánicos generados en los restaurantes del Centro Educativo fueron recogidos y cuantificados durante 20 días para determinar estadísticamente los Kg por día que se generan en la Institución. La recolección será realizada cada 24 horas por los mismos estudiantes y el análisis en cuanto a la cantidad (Kg) se hará mediante estadística descriptiva.

Figura 1. Mezcla heterogénea de algunos residuos orgánicos recogidos en el CER Josefa Romero.



2.2 Construcción de las pacas digestoras

Las pacas digestoras fueron diseñadas y construidas con la participación de los estudiantes y docentes del Centro Educativo y preparadas con los residuos orgánicos recolectados en el restaurante, con las siguientes características: Para el molde se diseñó un recipiente cúbico de madera, de un metro cuadrado, residuos de diferentes plantas (hojarasca), cascara de frutas, restos de frutas y verduras, entre otros. Para los drenajes y amarres, se inicia colocando al interior del molde los palos y encima hoja secas. El amarre se hace con el fin de generar una base que soporte la paca y servir como sistema de drenaje, para cuando la paca esté muy húmeda dejar salir el agua y para cuando el piso esté húmedo y la paca muy seca dejar que se absorba la humedad del piso. En segundo lugar, se recubre con hojarasca y se comienza a comprimir hasta quedar muy bien prensado. Como tercer paso, se agrega hojarasca y se hace un hueco en el centro y allí se agrega una capa de material orgánico. Luego se recubre nuevamente con hojarasca y se vuelve a comprimir hasta que el material quede bien duro y compacto. Se repite este último paso hasta completar el volumen del recipiente que es de 1m³.

Las pacas digestoras fueron preparadas con 21 Kg de una mezcla heterogénea de residuos orgánicos triturados hasta que su tamaño fuera inferior a 0,5 cm, con un volumen de un metro cúbico de capacidad. El volumen fue completado con capas de 2 Kg de estiércol bovino, 4 Kg de hojarasca triturada y 4 Kg de restos de poda. Los residuos orgánicos estaban conformados principalmente por cáscaras de frutas y verduras, cáscaras de huevos, restos de frutas, cáscara de café, entre otros; debidamente presionado y acomodado en el cajón, el cual sirvió para la construcción de las pacas.

Para la construcción de la paca digestora, se agregaron al cajón capas de 0,25 m entre hojarasca y restos de poda. Cuando se tenía llena la mitad de la capacidad, se adicionaron los residuos orgánicos, mezclados con el estiércol bovino. Posteriormente se completó la paca con las capas restantes de hojarasca y restos

de poda. El prensado se realizó manual, logrando una buena compactación de cada una de las capas.

Figura 2. Capacitación a los estudiantes del CER sobre la construcción de las pacas digestoras.



Figura 3. Construcción del cajón de madera para el molde de la paca.



Figura 4. Llenado de las pacas digestoras mediante capas prensadas.



2.3 Construcción del proceso de compostaje a cielo abierto o por pilas

El proceso de compostaje a cielo abierto se realizó mediante una pila de un metro de altura y un metro de diámetro, con la misma cantidad y tipo de residuos de las pacas digestoras para poder comparar ambos sistemas. La pila se fue conformando con una cama de hojarasca y residuos orgánicos hasta alcanzar 30 cm de altura, luego se hace una nueva cama también de 30 cm y así hasta terminar la altura de 1m. En la Figura 5 se muestran algunos residuos orgánicos utilizados para la elaboración del compostaje a cielo abierto.

Figura 5. Residuos orgánicos para el compostaje a cielo abierto.



2.4 Seguimiento al proceso

El proceso de compostaje, en ambos procesos, fue realizado durante 60 días y cada 5 días se determinó el pH, la humedad y la temperatura de la parte central, tanto en las pacas digestoras, como en las pilas a cielo abierto. El propósito fue comparar el comportamiento de estas dos variables, estableciendo la eficiencia de cada uno en términos de descomposición de la materia orgánica y producción de humus. La medición del pH se realizó de forma directa por inmersión del electrodo del pH-metro (Mettler Toledo, Seven easy) en la muestra agitada; de acuerdo con el método normalizado 4500B de la APHA-AWWA-WPFC (APHA, AWWA, & WPCF, 1992). Por tratarse de una muestra sólida, se tomaron 10 g de la mezcla de residuos orgánicos y se lixiviaron en 100 mL de agua destilada, mediante agitación magnética durante 2 horas. Para la cuantificación de la humedad

se realizó por la técnica de peso seco, según el método normalizado 2540B de la APHA-AWWA-WPFC (APHA, AWWA, & WPCF, 1992). Para ello, se pesó una cantidad del material orgánico, previamente homogenizados, en un crisol de peso conocido y se calentó a 105°C en un horno de convección forzada (WTB binder, IP 20), retirando toda la humedad presente en la muestra. La temperatura se determinó directamente al centro de la paca o la pila, por inmersión de un sensor de temperatura con sonda (Pocket-Digitemp).

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

3.1. Recolección y cuantificación de residuos orgánicos en el CER Josefa Romero

En el Centro Educativo Rural Josefa Romero del Municipio de Dabeiba, se inició el proyecto de implementación de un sistema integral de compostaje para el tratamiento de los residuos orgánicos, el cual a medida que avanzaba el tiempo fue ganando importancia en el quehacer diario con los residuos orgánicos generados en el restaurante escolar.

El proyecto inició con la recolección de residuos orgánicos generados en el CER Josefa Romero durante 20 días, para determinar estadísticamente masa por día que se generan en la Institución. La recolección fue realizada cada 24 horas por los mismos estudiantes y el análisis en cuanto a la cantidad (Kg) se hizo mediante estadística descriptiva. La recolección inició el día 13 de Julio del presente año, por 20 días escolares. En la Tabla 1 se muestra la cantidad de residuos orgánicos generados por día.

Tabla 1. Cantidad de residuos orgánicos por día en el CER Josefa Romero.

Día	Cantidad de residuos orgánicos (Kg)
1	2,5
2	4,0
3	3,2
4	4,2
5	2,3
6	3,0
7	3,2
8	4,1
9	4,6
10	3,1
11	5,2
12	2,0
13	1,3
14	2,2
15	2,0
16	1,8
17	2,6
18	1,0
19	1,7
20	1,3

Los resultados de la recolección fueron analizados con estadística descriptiva y los resultados se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Estadística descriptiva para la cantidad de residuos orgánicos por día en el CER Josefa Romero.

Media	2,7
Error típico	0,26
Mediana	2,55
Moda	3,2
Desviación estándar	1,18
Varianza de la muestra	1,39
Rango	4,2
Mínimo	1,0
Máximo	5,2

Durante los 20 días de recolección la cantidad promedio recogida de residuos orgánicos fue de 2,55 Kg por día, con una desviación estándar de 1,18. La mayor parte de estos residuos proceden del restaurante escolar y están conformados principalmente por cáscaras de frutas y verduras y restos de comida ya procesada que los estudiantes dejan después de comer. En total fueron recogidos 41,4 kg de residuos orgánicos en los 20 días escolares de recolección. En la Figura 1 se observan algunos de estos residuos.

3.2. Comparación entre el proceso de compostaje en pacas digestoras y a cielo abierto

3.2.1. Evolución de algunos parámetros de control

- Compostaje en pacas digestoras

Tabla 3. Evolución de algunos parámetros en el compostaje en pacas digestoras.

Día	pH	Humedad (%)	Temperatura (°C)
Inicial	5,6	72,7	39,3
Ajuste	6,8	72,7	39,3
5	6,6	64,8	42,8
10	5,2	63,1	46,6
15	5,3	56,6	60,1
20	7,8	55,5	58,1
25	8,0	46,3 (Adición de agua)	46,4
30	7,5	62,4	40,3
35	7,7	55,3	36,5
40	7,8	46,3	36,3
45	7,8	40,4 (Adición de agua)	38,5
50	8,0	54,3	26,4
55	7,2	46,8	26,3
60	7,6	40,4	25,2

- **Compostaje a cielo abierto**

Tabla 4. Evolución de algunos parámetros en el compostaje a cielo abierto.

Día	pH	Humedad (%)	Temperatura (°C)
Inicial	5,2	76,3	36,7
Ajuste	6,8	76,3	36,7
5	6,0	46,2 (Adición de agua)	40,5
10	6,0	64,1	42,4
15	6,1	32,2 (Adición de agua)	36,4
20	5,2	55,6	34,2
25	5,2	46,2	27,8
30	6,6	32,4 (Adición de agua)	34,2
35	7,8	46,8	32,8
40	7,2	40,1	26,9
45	7,3	33,4 (Adición de agua)	25,4
50	6,5	57,8	28,5
55	6,7	45,3	26,5
60	6,2	33,8	25,8

Las variables iniciales humedad y pH fueron ajustados a los valores óptimos indicados por algunos autores. El ajuste inicial del pH se realizó adicionando una solución de hidróxido de calcio 6 M, hasta obtener un pH cercano a la neutralidad para ambos procesos. El proceso de compostaje se realiza dentro de un rango amplio de valores de pH. Los valores óptimos para la mezcla de partida son entre 5,5 y 8,0, teniendo en cuenta que las bacterias prefieren un pH cercano al neutro, mientras que los hongos prefieren condiciones acidas. (Chiumenti A., Chiumenti R., Diaz, Savage, Eggerth, & Goldstein, 2005).

En cuanto a la temperatura, existe controversia entre diferentes autores sobre cuál es la mejor temperatura para que se desarrolle un compostaje óptimo. Los rangos

más comunes oscilan entre los 50 y 60°C, aunque algunos autores indican que la máxima producción de CO₂ se da entre los 60 y 65°C, lo que daría la máxima velocidad de compostaje (Epstein, 1997).

La humedad es un factor limitante del proceso de compostaje. Si la humedad desciende por debajo del 40%, la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire a través de la masa (Domínguez, Elvira, & Sampedro, 1996). Varios autores sitúan el contenido óptimo en humedad en torno al 55 - 65% y consideran valores por debajo del 40% como condiciones de estrés hídrico (Finstein, 1985).

En las Figuras 6 y 7 se muestra el comportamiento del pH en las pacas digestoras y a cielo abierto, durante los 60 días del proceso.

Figura 6. Evolución del pH en las pacas digestoras.

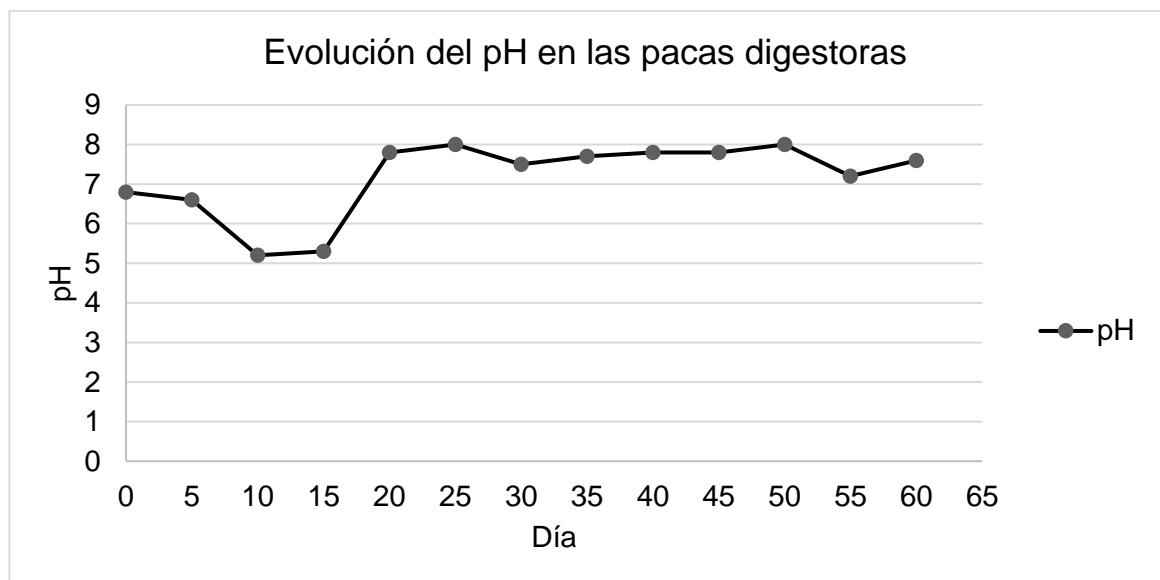
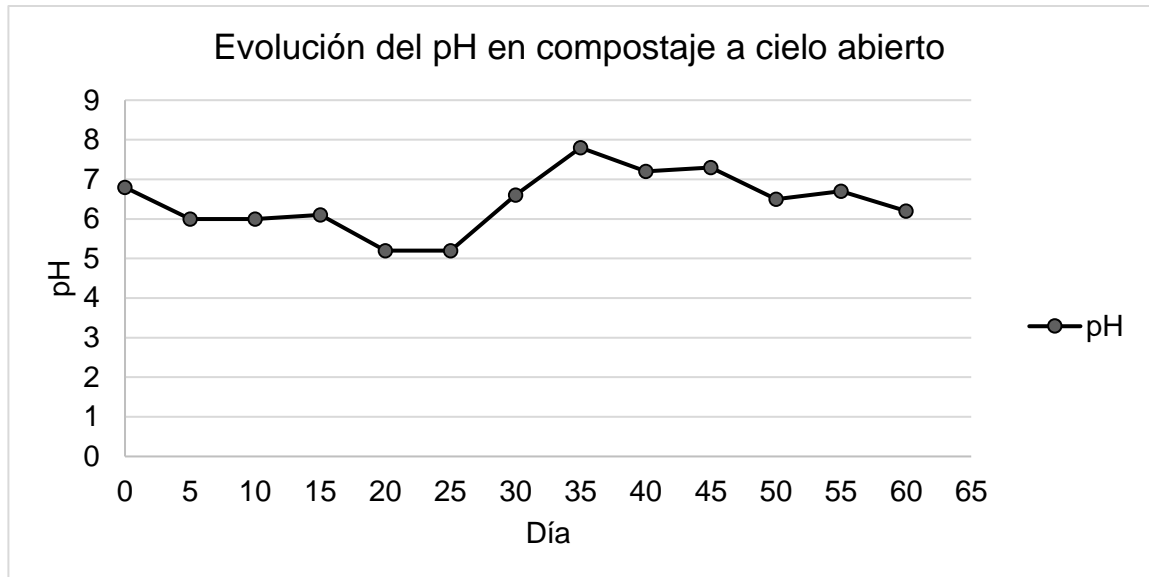


Figura 7. Evolución del pH en el compostaje a cielo abierto.



Al comparar los valores de pH entre ambos procesos de compostaje, se encontró que permaneció más estable en el proceso de compostaje en pacas digestoras, ubicándose en un valor cercano a 8 durante aproximadamente 30 días del compostaje. En las pacas digestoras también se presentó un mayor descenso del pH en los primeros días, lo que indica que se formaron mayores concentraciones de ácidos orgánicos y CO_2 que en el proceso a cielo abierto. Lo anterior es beneficioso para el desarrollo de microorganismo en esta etapa (Díaz, 2010).

En las pacas digestoras el pH comienza a subir más rápidamente que en el proceso a cielo abierto, haciéndolo a partir del día 15, mientras que a cielo abierto lo hizo a partir del día 25. Lo anterior demuestra mayor eficiencia en las pacas digestoras para la liberación de CO_2 y la aireación de la biomasa, así como la degradación de las proteínas para generar amoníaco (Díaz 2010).

En las Figuras 8 y 9 se muestra el comportamiento de la humedad en las pacas digestoras y a cielo abierto, durante los 60 días del proceso.

Figura 8. Evolución de la humedad en el compostaje en pacas digestoras.

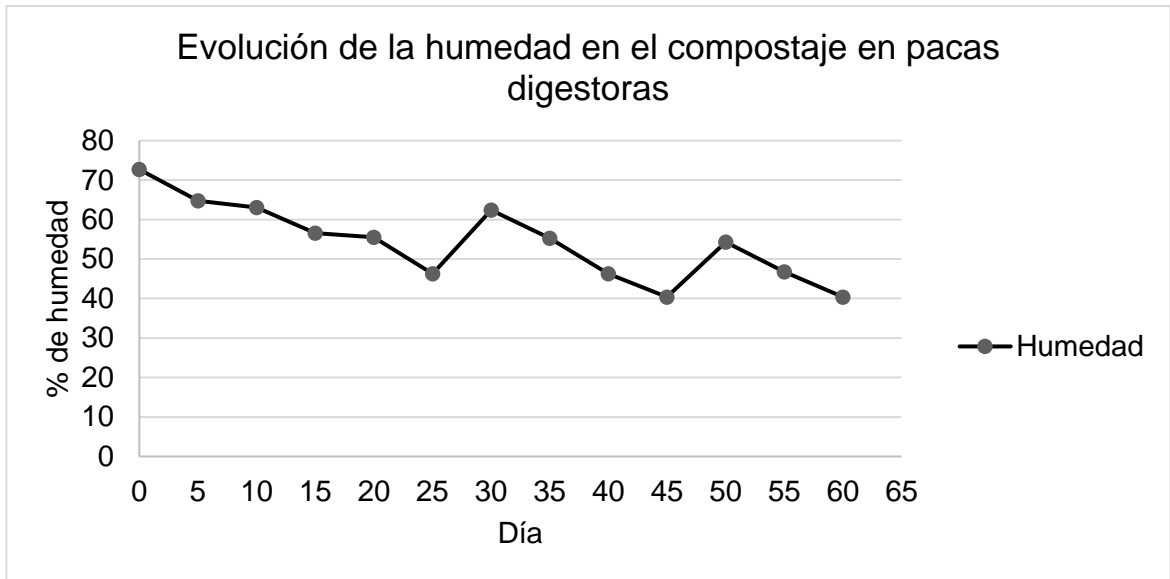
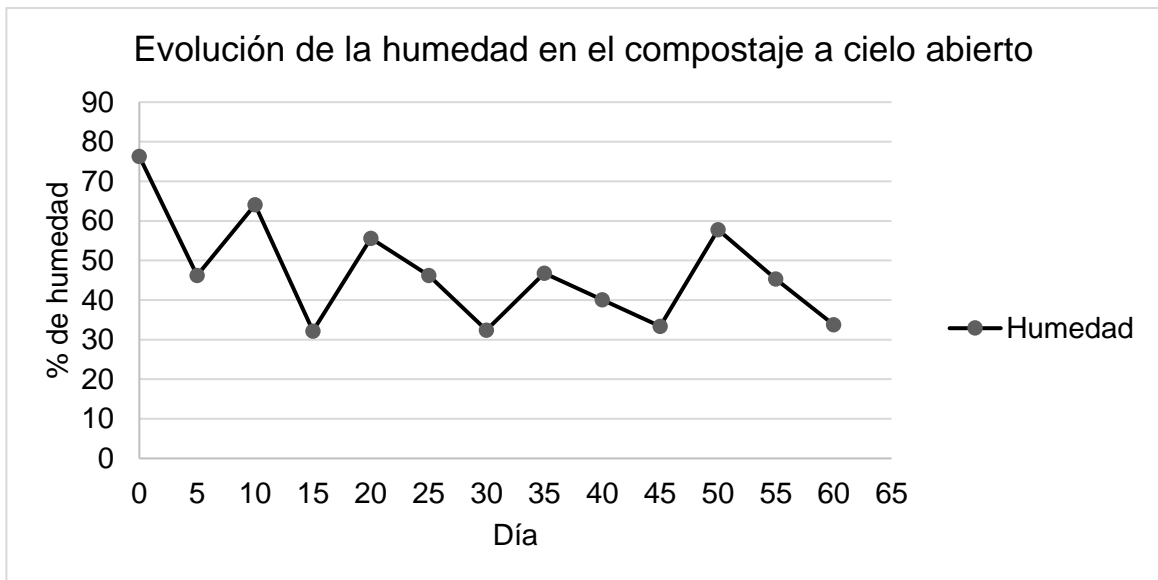


Figura 9. Evolución de la humedad en el compostaje a cielo abierto.



El contenido de humedad es un factor limitante del proceso de compostaje. Si la humedad desciende por debajo del 40%, la actividad microbiana se ralentiza, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire a través de la masa

(Domínguez, 1996), valores adecuados para el rango de humedad se encuentran desde 40 hasta 60% (Chiumenti, 2005). Varios autores sitúan el contenido óptimo en humedad en torno al 55- 65% y consideran valores por debajo del 40% como condiciones de estrés hídrico (Finstein, 1985).

Al comparar el contenido de humedad en ambos procesos, se encontró que se producen descensos considerables con el paso del tiempo. Cuando alcanzó valores considerados bajos para el metabolismo de los microorganismos, fue necesario adicionar agua para recuperar la humedad del proceso. Varios autores consideran la humedad como determinante del proceso. Si la humedad desciende por debajo del 40%, la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 65% se dificulta la circulación de aire a través de la masa (Domínguez, Elvira, & Sampedro, 1996). Teniendo en cuenta estos valores reportados por los autores, las pacas digestores mostraron un mejor comportamiento en cuanto a la humedad, ya que durante todo el tiempo del proceso se mantuvo en valores ideales de humedad entre 40 y 65%. Por su parte, el compostaje a cielo abierto presentó descensos pronunciados en la humedad por debajo del 40% que fue necesario intervenir en cuatro oportunidades con la adición de agua. Con la humedad se demuestra que el sistema de compostaje en pacas evita pérdidas considerables de la humedad, lo que si ocurre a cielo abierto.

En cielo abierto el flujo de agua, fue muy difícil de controlar, debido a la exposición de los residuos a los diferentes climas e influencias de diferentes agentes naturales como artificiales de acuerdo con esto, el compost siempre estuvo o muy seco o muy húmedo, no se pudo controlar la humedad en este método.

En Pacas digestoras, se pudo llevar de una forma más organizada la humedad de los residuos orgánicos en descomposición, se pudo medir según el clima la cantidad de agua al depositar, a esta se le humedecía con 10 litros de agua por semana según el clima, “el aire en este tipo de compostaje es muy limitado por la presión de

los materiales que van en la composta, evitando malos olores y acelerando la degradación del material orgánico en la paca” (Sztern & Pravia, 1999)

En las Figuras 10 y 11 se muestra el comportamiento del pH en las pacas digestoras y a cielo abierto, durante los 60 días del proceso.

Figura 10. Evolución de la temperatura en el compostaje en pacas digestoras.

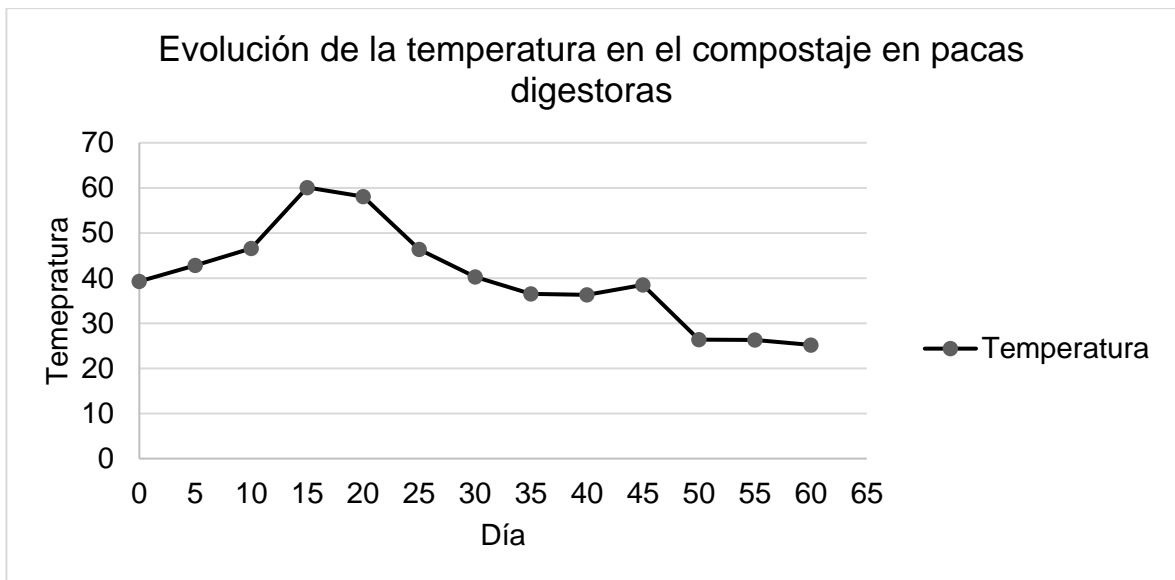
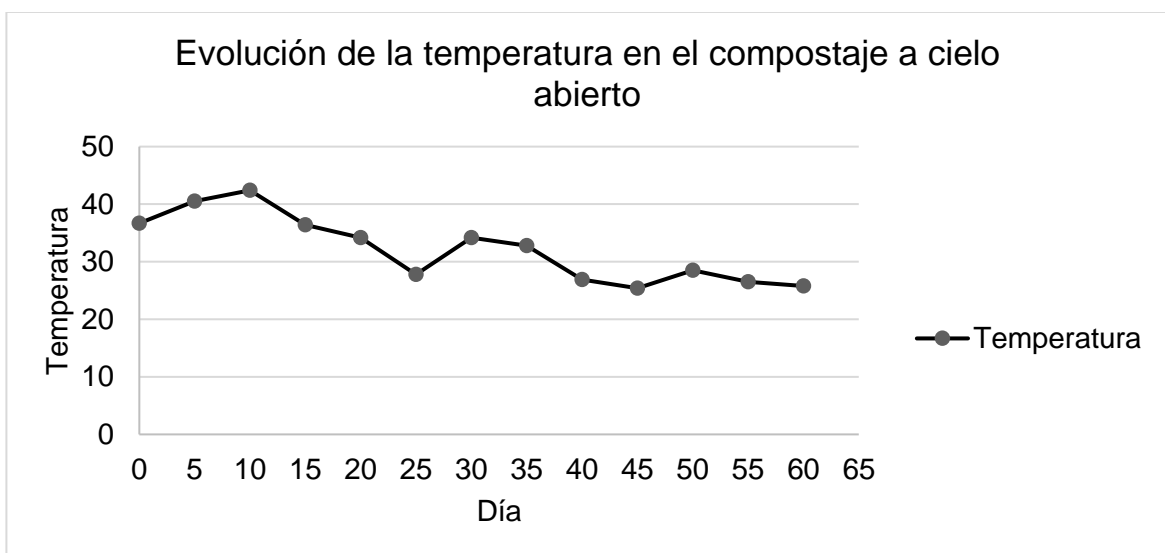


Figura 11. Evolución de la temperatura en el compostaje a cielo abierto.



Con respecto a la temperatura, Durante el proceso, como consecuencia de la oxidación del carbono a CO₂, se produce energía en forma de calor. Esta, queda retenida en la masa de residuos que se está transformando, de forma que el material se va calentando, llegando a alcanzar los 75°C en las zonas interiores de la paca o de la pila. Los rangos más comunes de temperatura oscilan entre los 50 y 60°C, aunque algunos autores indican que la máxima producción de CO₂ se da entre los 60 y 65°C, lo que daría la máxima velocidad de compostaje (Epstein, 1997). De acuerdo a lo anterior, se observa que la máxima temperatura fue alcanzada en las pacas digestoras entre el día 15 y 20, con valores cercanos a los 60°C, coincidiendo con un descenso en el pH y la humedad. Lo anterior indica que en estos días se dio la máxima producción de CO₂ que indica la eficiencia en la descomposición aerobia de la materia orgánica, permitiendo así que los materiales orgánicos puedan tener el oxígeno necesario para poder continuar con su degradación. En el compostaje a cielo abierto no se alcanzaron valores altos de temperatura, siendo el mayor de 42°C, el cual se encuentra por debajo del valor ideal al comienzo del proceso.

La temperatura es una de las principales variables de control de un proceso de compostaje y guarda estrecha relación con el pH, como se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Temperatura y pH en cada una de las fases del proceso de compostaje.

FASE	TEMPERATURA	pH
Mesófila	40°C	5 – 5,5
Termófila	40 – 65°C	8 - 9
De enfriamiento	40 °C	8
De maduración	Temperatura ambiente	7 – 8

Fuente: FAO, 1991; Aubert, 1998

La relación entre temperatura y pH se cumplió en la paca digestora, obteniendo un pH de 5,2 cuando la temperatura fue 46,6 en la fase mesófila y de 5,3 con una temperatura de 60,1 para la fase termófila a los 15 días de iniciado el proceso.

En el compostaje a cielo abierto no se alcanzaron temperaturas superiores a 43 °C y tampoco se evidenciaron las diferentes fases en cuanto a la relación entre el pH y la temperatura.

3.3. Cantidad de humus generado

En la Tabla 6 se muestran la cantidad (Kg) de residuos orgánicos que se utilizaron para preparar cada uno de los dos procesos de compostaje empleados, así como la cantidad de humus generados, después de 60 días de fermentación aerobia.

Tabla 6. Cantidad de carga orgánica de cada proceso de compostaje y de humus generado.

Compostaje	Cantidad de residuos orgánicos (Kg)	Hojarasca (Kg)	Estiércol Bovino (Kg)	Restos de poda (Kg)	Humus producido (Kg)
Cielo abierto	21	4	2	4	12
Paca digestora	21	4	2	4	27

En el compostaje a cielo abierto se obtuvieron 12 kg de compost en los dos meses de proceso. Para la preparación de la mezcla a cielo abierto se depositaron los residuos orgánicos en un lugar seco aislado del centro educativo. En el compostaje por medio de pacas digestoras, se generaron 20 kg de compost, lo cual determinó que su eficiencia es más alta en cantidad que el de cielo abierto. En el proyecto escolar ejecutado en el Colegio Conquistadores de Medellín, Antioquia denominado “el basurero orgánico limpio” (Pérez, 2011), donde por medio de las pacas

digestoras realizan un proceso descontaminante, el trabajo a la intemperie es sano y el sitio de estancia de las pacas no requiere infraestructura; además es sostenible para el ambiente y la comunidad escolar, este a su vez mejora la eficiencia en el manejo de residuos sólidos por ser tan amigable con el medio ambiente.

El método de pacas digestoras es más eficiente que el proceso a cielo abierto, gracias a que produce más compost, aprovecha todos los residuos orgánicos en su mezcla. En el colegio María Auxiliadora, se produjeron 200 kilos de compost, por 120 aprovechados, lo cual demuestra que se aprovechó por medio de pacas los residuos producidos en el colegio y fue eficiente el proceso de composta a comparación de cielo abierto (Janon, 2010).

La cantidad de humus producido a cielo abierto es 12 kilos en el Centro Educativo, por 27 de orgánicos compostados a la intemperie, en comparación con en el proyecto gestión integral de residuos sólidos orgánicos institucionales se produjeron a escala 50 kilos de humus, por 30 día de recolección de residuos, esto produjo “riesgos a la salud pública, el acelerado proceso de contaminación y deterioro de los suelos produce malos olores” (Jaramillo, 1999), que a su vez determino en este que el manejo de residuos orgánicos por medio de depósitos a cielo abierto para su composta no es viable por los efectos contaminantes en los lugares de depósito.

Según los datos, de los dos métodos, es más eficiente en producción, cantidad y menor impacto ambiental, es el compostaje por medio de pacas digestoras; además permite aprovechar otros tipos de residuos orgánicos, no contamina con malos olores, no produce moscas, en comparación con cielo abierto el cual es degrada en condiciones naturales, donde “el calor, frio, humedad, animales; interviene para que se genere la fermentación aeróbica de los residuos orgánicos” (Portillo, 2012).

Los resultados de la producción de humus son mayores en las pacas digestoras, comparados con los obtenidos en el proyecto del CER La Héliida (Augusto & Gómez,

2012), los cuales fueron de 112 kilos en el mismo método, y a su vez son menores en comparación con proyectos a gran escala, donde se producen 360 kilos de humus por 30 días de recolección (Quintero, 2012)

3.4. Resultados y análisis cuantitativos

3.4.1. Características y tipos de residuos orgánicos

En la Tabla 7 se muestran los principales residuos orgánicos producidos por día en el Centro Educativo Rural Josefa Romero.

Tabla 7. Principales residuos orgánicos generados en el Centro Educativo Rural Josefa Romero.

Cascaras y sobrados de hortalizas	Cascaras y sobrados de frutas	Sobrados
Zanahoria	naranja	Restos de frutas
Cebolla	mango	Sobrados de comida
Yuca	maracuyá	
Lechuga	mandarina	
Repollo	papaya	
Pepino	sandía	
Tomate	limón	
plátano		

En el centro educativo se producen residuos orgánicos todos los días de clase, según datos continentales en América latina “se tiene una producción media per cápita de 0.63 kg/hab/día, de residuo orgánico” (Janon, 2010), en comparación al centro educativo, se producen 0.10 kg por día, es un numero alto, debido a que solo se realiza un refrigerio. En el centro educativo rural, se recolectaron en 20 días 57 kilos de residuos orgánicos; en comparación con otra escuela como la CONALEP,

“se producen 26.5 kg de residuos diarios” (Quintero, 2012), al igual que el colegio GI School de Pereira en el cual por mes “se producen 115 kilos de desechos orgánicos” (Bonilla, 2011) es un número que sin duda duplica la generación de residuos orgánicos en el centro, pero de igual forma se da el proceso de compostaje, por la presencia de estos residuos.

Según Janon (2010), todos estos residuos orgánicos son depositados en el suelo y su producción es constante en diferentes partes de Latinoamérica. Las escuelas no están exentas de este dato, debido a la alimentación ofrecida en estas, se producen residuos orgánicos, a los cuales se les deben de dar uso y reutilización para beneficio de ambientes escolares agradables (Quintero, 2012).

3.4.2. Otro tipo de medición del proceso de compostaje

Después de medir el proceso del compostaje por medio de los factores: temperatura, pH y humedad, se realizó otro tipo de análisis el cual busco como objetivo ver la eficiencia en calidad del compost generado por medio de la siembra de vegetales por medio de la huerta escolar, el cual se hizo de la siguiente forma:

Se prepararon 2 lugares para sembrar cebolla de rama, de 1m de ancho por 2m de largo, en el cual se removió la tierra, se encerró en guadua con estudiantes; se organizaron para ser abonados con el compost resultante de los 2 procesos, a los cuales se les mezclo a cada una de a 10kg compost a cielo abierto y la otra con compost de la paca digestora, el cual se mezcló y seguido se depositaron las semillas de cebolla a una cuarta cada una (23cm), esperando el resultado a los 2 meses de la siembra.



Figura 12. Preparación de los lugares para sembrar cebolla de rama.

Pasados los dos meses y después de ver el comportamiento de las dos eras, al crecimiento de la cebolla de rama, se puede concluir que la cebolla que fue abonada con el compost de cielo abierto salió con tallo más delgado, con las hojas más pequeñas y su producción fue poca, además por ser abonada con compost a cielo abierto, se filtraron sobrantes de vegetales sin terminar de degradar y nacieron al lado de la cebolla de rama

La cebolla abonada con el compost de las pacas digestoras, produjo una cebolla mas gruesa, con mejor aspecto y con hojas más grades y más sana, buen color y sabor, su producción fue mayor.



Figura 13. Cebolla de rama, abonada con compost a cielo abierto



Figura 14. Cebolla de rama, abonada con compost de paca digestora

Se comparó el producto después de la siembra a los 2 meses de haber germinado y crecido el vegetal, se compararon los 2 productos y se pudo establecer que abonar con el compost proveniente de las pacas digestoras es más eficiente en cuanto a la calidad del vegetal y su crecimiento.

3.4.3. Características cualitativas de los procesos de compostaje

En el sistema de compostaje a cielo abierto se observaron residuos orgánicos en descomposición después de 2 meses de degradación de los residuos; produciendo olores nauseabundos, almacenamiento de larvas de moscas y otros animales contaminando el ambiente escolar y natural del centro educativo. Lo anterior debido a que en este proceso la materia orgánica está expuesta a la intervención de patógenos del ambiente como hongos, bacterias e insectos que ayudan con la descomposición pero ocasionan otros subproductos que impactan negativamente el ambiente.

El sistema de compostaje mediante pacas digestoras, no generó olores, ni permitió la reproducción de insectos. Lo anterior se pudo evidenciar mediante una inspección organoléptica del humus generado después de 60 días de fermentación aerobia.

3.4.4. Vincular los procesos educativos en el proceso de compostaje

No se incluyó el compostaje en la malla curricular de matemáticas, ciencias sociales y ciencias naturales, debido a los cambios constantes de directivos en el centro educativo, al igual que la proyección de la investigación a la parte comunitaria por este mismo motivo.

En la parte pedagógica, se organizaron diferentes visitas con los estudiantes al espacio donde se encuentran los sistemas de compostaje, reconociendo sus características y su utilidad en la siembra. Se realizó una reunión con los docentes de Ciencias Naturales para que implementaran, en cada uno de los grados, algunos elementos conceptuales del compostaje en general y específicamente de los dos sistemas escogidos en el Centro Educativo.

CONCLUSIONES

- ✓ El compostaje en pacas digestoras genera mejores condiciones, en cuanto a la evolución de parámetros como: pH, humedad y temperatura, que garantizan mayor estabilidad del proceso en sus diferentes etapas.
- ✓ En un sistema de compostaje a cielo abierto se dificulta controlar parámetros como pH, humedad y temperatura, debidos a su exposición a los diferentes cambios ambientales y al ataque de diferentes organismos externos.
- ✓ La técnica de compostaje a cielo abierto es contaminante, produce malos olores, alberga insectos que se reproducen con facilidad y es más largo el tiempo para obtener el compost.
- ✓ El sistema de compostaje en pacas digestoras es más eficiente para la obtención de abono orgánico en términos de conversión de los residuos orgánicos y de menor impacto ambiental negativo.
- ✓ El compostaje en pacas digestoras es ideal para producir compost en instituciones educativas y zonas residenciales, debido a que no genera malos olores, ni permite la reproducción de vectores transmisores de enfermedades.

RECOMENDACIONES

- Para obtener resultados óptimos tanto en el proceso de compostaje como en el producto final, se recomienda que se haga el compostaje a través de pacas digestoras. Esto no sólo ayuda a la velocidad de conversión y la uniformidad de la estructura del compost, sino también evita la producción de compuestos volátiles, que se producen a cielo abierto.
- Para los Centros e Instituciones Educativas, es recomendable aprovechar los residuos orgánicos generados para producir compost, mediante las pacas digestoras, las cuales se constituyen un proceso económico, de bajo impacto ambiental y alta eficiencia.
- Gestionar los recursos para capacitar a todos los miembros de las veredas cercanas a Centro Educativo, acerca de la elaboración de las pacas digestoras y el uso final del compost producido.

REFERENCIAS

- Casta, T. G., & Romero, M. (2012). Compostaje de subproductos de la agroindustria de palma de aceite en Colombia : estado del arte y perspectivas de investigación, (31).
- Cristina, & Díaz, Paula Prada, M. M. (2010). Optimización del proceso de compostaje de productos post-cosecha (cereza) del café con la aplicación de microorganismos nativos, 213–219.
- Escobar, F., A, M. A., & Modelo, G. (2011). Evaluación del proceso de compostaje con diferentes tipos de mezclas basadas en la relación C / N y la adición de preparados biodinámicas en la Granja Modelo Pairumani, 5, 390– 410.
- Issn, P. (2006). El compostaje como una estrategia de producción más limpia en los centros de beneficio animal del departamento de Risaralda, (32), 469– 474.
- Libreros, S. S. (2012). Compostaje de residuos industriales en Colombia, 13–18.
- Röben, E. (2002). Manual de Compostaje Para Municipios.
- Trochez, J. S. M. (2005). Compostaje en pescador, Cauca, Tecnología apropiada para el manejo de residuos organicos y su contribución a la solución de problemas medio ambientales.
- Villada, H. S., Cauca, U., & Valle, U. (1909). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial Revista de la Facultad de Ciencias Agropecuarias Universidad del Cauca, (2).
- Camacho, E. C. (2010). Compostaje alto andino, suelo vivo y cambio climático, 2(1), 221–227.

Crosara, A. (2010). Los suelos y los problemas ambientales.

Daniel, J., & Cáceres, B. (2008). La contaminación ambiental como delito de resultado, 1(1), 79–96.

Derecho, E. L., Medio, A. U. N., & Sano, A. (2012). El derecho a un medio ambiente sano.

Marmolejo, L. F., Oviedo, É. R., Carlos, J., & Torres, P. (2010). Influencia de la separación en la fuente sobre el compostaje de residuos sólidos municipales

Influence of source separation on municipal solid waste composting, 28(2), 319–328.

Miguel, D. (2000). El desarrollo rural y el medio ambiente en América Latina después de Brundtland : dos pasos atrás y uno adelante.

Villada, L. A. S., & Torres, J. A. A. (2013). *Manual de Compostaje* (pp. 1 – 88). Area metropolitana Antioquia.

Chiumenti, A.(2005). *Modern Composting Technologies*. USA: The JG Press. Inc.

Díaz, L. F. (2010). *Reciclaje y tratamiento biológico de los residuos sólidos Municipales*. Quito, Ecuador: Editorial Ecuador.

Colombia. El Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio Y El Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. Resolución 0754 del 25 de diciembre de 2014. Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. República de Colombia.

Colombia. Ministerio de Medio Ambiente. Decreto 1743 de agosto 3 de 1994. República de Colombia.

Colombia. Presidencia de Colombia. Decreto 838 (marzo 23 2005). Por el cual se modifica el Decreto [1713](#) de 2002 sobre disposición final de residuos sólidos y se dictan otras disposiciones.

Colombia. El Ministerio De Vivienda, Ciudad Y Territorio Y El Ministerio De Ambiente Y Desarrollo Sostenible. (**Resolución 754 de 2014**). Por la cual se adopta la metodología para la formulación, implementación, evaluación, seguimiento, control y actualización de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=64163#12>

Colombia. Ministerio de Educación Nacional (1994). Ley General de educación 115 y sus decretos reglamentarios. Bogotá. Colombia. Editorial Magisterio.

Colombia. EL PUEBLO DE COLOMBIA. Constitución Política de Colombia. (1991). <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=4125>

Domínguez, J., Elvira, C., & Sampedro, L. a. (1996). Effects of bulking agents in composting of pig slurries. *The science of composting* , 1146-1149.

Finstein, M. a. (1985). "Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odor control, and cost effectiveness". *Composting of Agricultural and Other Wastes* , 13-26.

ICONTEC. Norma Técnica Colombiana 5167. Productos para la Industria agrícola, Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Editada 2004. 40 p.

- Moreno, C., & Joaquín, R. H. (2007). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Fidel, R. S. J. (2009). Composta una alternativa para la producción de alimentos y el manejo ecológico del suelo”, (26), 1–44.
- Janon, C. E. de. (2010). “Programa de compostaje en escuelas como herramienta para el aprovechamiento de la materia orgánica,” 1–47.
- Portillo, N. (2012). Elaboración y uso del bocashi, 1–16.
- Domínguez, J., Elvira, C., & Sampedro, L. a. (1996). Effects of bulking agents in composting of pig slurries. *The science of composting* , 1146-1149.
- Moreno, C., & Joaquín, R. H. (2007). *Compostaje*. Madrid, España: Mundi-Prensa.
- Augusto, C., & Gómez, M. (2012). Proyecto Escuela Segura Centro Educativo Rural La Hérida Municipio de El Peñol Antioquia Medellín-Colombia.
- Bonilla, L. P. (2011). Proyecto piloto para la reutilización de residuos orgánicos en el GI School, 1–69.
- Jaramillo, J. (1999). Gestión integral de residuos sólidos y peligrosos , siglo xxi gestión integral de residuos sólidos municipales - GIRSM, 1–20.
- Pérez, G. S. (2011). Gestor De La Paca Digestora y Promotor del Basurero Orgánico Limpio.
- Quintero, C. (2012). Manejo de residuos sólidos en instituciones educativas, (145), 1–11.
- Sztern, D., & Pravia, M. (1999). Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos.