

**ÁNÁLISIS DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS DE RÁPIDA
DEGRADACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER SEDE BUCARAMANGA.**

**ROBERTO ALEXIS FORERO RIVERA
CRISTHIAN FERNEY PACHON FERRO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

**ÁNALISIS DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS DE RÁPIDA
DEGRADACIÓN PARA SU IMPLEMENTACIÓN EN LA UNIVERSIDAD
INDUSTRIAL DE SANTANDER SEDE BUCARAMANGA.**

TRABAJO DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

**ROBERTO ALEXIS FORERO RIVERA
CRISTHIAN FERNEY PACHÓN FERRO**

Director

**EDGAR RICARDO OVIEDO OCAÑA
Ingeniero Sanitario, .MSc, PhD.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO-MECÁNICAS
ESCUELA INGENIERÍA CIVIL
BUCARAMANGA**

2015

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION	16
1. JUSTIFICACION	18
2. MARCO CONCEPTUAL	20
2.1 COMPOSTAJE	20
2.2 PARÁMETROS DEL PROCESO	20
2.2.1 Contenido de humedad.	20
2.2.2 pH.	20
2.2.3 Microorganismos.	21
2.2.4 Temperatura.	21
2.2.5 Oxígeno.	21
2.3 ETAPAS DEL PROCESO	22
2.3.1 Fase mesófila.	22
2.3.2 Fase Termófila.	22
2.3 FASE DE ENFRIAMIENTO Y MADURACIÓN	22
3. ESTADO DEL ARTE	23
4. OBJETIVOS	26
4.1 GENERAL	26
4.2 ESPECÍFICOS	26
5. METODOLOGÍA	27
5.1 EXPERIMENTACIÓN DEL PROCESO A ESCALA PILOTO DEL COMPOSTAJE	27
5.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO	31
5.2.1 Prueba de germinación.	31

5.3 CONDICIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN A ESCALA REAL	33
6. RESULTADOS Y DISCUSION	34
6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS	34
6.1.1 Humedad.	35
6.1.2 pH.	35
6.1.3 Relación carbono nitrógeno.	35
6.1.4 Potasio y Fósforo.	36
6.1.5 Carbono oxidable total.	37
6.1.6 Nitrógeno total.	37
6.2 DESARROLLO DEL PROCESO	38
6.2.1 Humedad.	38
6.2.2 Temperatura.	39
6.2.3 pH.	41
6.2.4 Aireación.	42
6.2.5 Pérdidas de peso.	42
6.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO FINAL	43
6.3.1 Humedad.	43
6.3.2 Reducción volumen.	44
6.3.3 pH.	44
6.3.4 Relación Carbono – Nitrógeno (C/N). Zhu.	44
6.3.5 Cenizas.	45
6.4.6 Potasio y Fósforo.	45
6.3.7 Conductividad.	46
6.4 ENSAYO DE GERMINACIÓN	46

6.5 PROPOSICIÓN DE LAS CONDICIONES PARA IMPLEMENTACIÓN A ESCALA REAL	47
6.5.1 Situación y emplazamiento. Bucaramanga Colombia; Universidad Industrial de Santander, sede central, planta de compostaje.	47
6.5.2 Mezcla de composta elegida.	47
6.5.3 Requerimientos de área.	48
6.5.4 Tipo y tamaño de las pilas de composta.	49
6.5.5 Tiempo para el proceso de compostaje.	49
6.5.6 Método de aireación de las pilas.	49
6.5.7 Transporte.	51
6.5.8 Capacidad y tipos de recipientes para el almacenamiento de residuos	51
6.5.9 Disposición del recurso hídrico.	51
6.5.10 Volúmenes de agua y forma de humectación del proceso.	51
6.5.11 Requerimientos de obra de mano necesaria para las labores de operación y mantenimiento del proceso.	52
6.5.12 Herramientas necesarias para la puesta en marcha del proceso de compostaje y su desarrollo.	52
7. CONCLUSIONES	53
BIBLIOGRAFIA	54
ANEXOS	59

LISTA TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Resultados del examen físico-químico Inicial de los tipos de sustratos.	34
Tabla 2. Proporción de pérdidas de peso de los tratamientos divididos en escoria y tamizado.	42
Tabla 3. Resultados del análisis físico-químico final (ver anexo 2).	43
Tabla 4. Relaciones C/P y N/P en los tratamientos.	46

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Forma característica de las pilas de compostaje y sus dimensiones.	29
Figura 2. Convención para la toma en punto de temperatura pH y humedad de las pilas.	30
Figura 3. Diagrama del proceso de composta.	50

LISTA DE GRAFICAS

	Pág.
Grafica 1.Comportamiento de la temperatura de los tratamientos A1 Y B1 en el proceso.	40
Grafica 2.Comportamiento de la temperatura de los tratamientos A2 Y B2 en el proceso.	40
Grafica 3. pH de los tratamientos A1 Y B1 en el proceso.	41
Grafica 4. pH de los tratamientos A2 Y B2 en el proceso.	41

LISTA DE FOTOGRAFIAS

	Pág.
Fotografía 1. Instrumentos citados para la toma y registro de datos de pH y humedad.	31
Fotografía 2. Caja Petri perteneciente al tratamiento A1 transcurridas 48 horas.	32
Fotografía 3. Proceso de mezclado de material de poda y alimentos de todos los tratamientos.	38
Fotografía 4. Contraste del inicio y el final del proceso de compostaje.	44

LISTA DE ANEXOS

	Pág.
Anexo A. Análisis físico-químico inicial	59
Anexo B. Propuesta dimensión planta de compostaje	62

RESUMEN

TITULO: ANALISIS DEL COMPOSTAJE DE RESIDUOS ORGANICOS DE RAPIDA DEGRADACION PARA SU IMPLEMENTACION EN LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER SEDE BUCARAMANGA.*

AUTORES: CRISTHIAN FERNEY PACHÓN FERRO
ROBERTO ALEXIS FORERO RIVERA**

Palabras clave: Fitotoxicidad, proceso aeróbico, materia prima.

Actualmente las universidades juegan un rol muy importante en la investigación y gestión ambiental. En la Universidad Industrial de Santander se implementó un proyecto de compostaje a escala piloto con dos tipos de tratamientos, cada uno con un peso inicial de 100 Kg y con su respectiva réplica, tratamientos A1 y B1 en proporción (40% comida cruda-60% poda), y tratamientos A2 y B2 en proporción (100% poda) montados en forma de pilas cónicas, para hacer un análisis del proceso de compostaje y evaluar la calidad final del producto. Se encontró que la incorporación de residuos crudos contribuyó en la mezcla a la obtención de un producto con mejor relación C/N, alcanzando temperaturas más elevadas en la etapa termófila, presentando mejores índices de germinación y una mejor calidad final agronómica en el producto. Al finalizar el estudio con los resultados obtenidos se propusieron una serie de requerimientos mínimos para la implementación a escala real del compostaje en la Universidad Industrial de Santander que permitían nuevamente el aprovechamiento de la infraestructura de la planta de compostaje, y el procesamiento de los residuos orgánicos de rápida degradación presentes en las zonas verdes del campus universitario (residuos de poda) y los residuos de comida crudos de la sección de comedores.

* Trabajo de grado

** Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas, Escuela de Ingeniería Civil. Director: Ingeniero Sanitario, .MSc, PhD. Edgar Ricardo Oviedo Ocaña.

ABSTRACT

TITLE: COMPOSTING ANALYSIS OF ORGANIC RESIDUES OF RAPID DEGRADATION FOR HIS IMPLEMENTATION IN THE INDUSTRIAL UNIVERSITY OF SANTANDER HEADQUARTERS BUCARAMANGA.*

AUTORES:

CRISTHIAN FERNEY PACHÓN FERRO
ROBERTO ALEXIS FORERO RIVERA**

Keywords: Phytotoxicity, aerobic process, raw material.

Currently universities play an important role in the investigation and environmental management . In the Industrial University of Santander a project implemented in pilot scale composting with two treatments, each with an initial weight of 100 kg and with their respective replica treatments A1 and B1 in proportion (40% raw food-implemented 60% pruning), and treatments A2 and B2 in proportion (100% pruning) mounted conical shaped cells, to make an analysis of the composting process and evaluate the final product quality. It was found that the addition of raw waste in the mixture contributed to obtaining a product with better C / N, reaching higher temperatures in the thermophilic stage, showing better germination rates and better agronomic quality in the end product. At the end of the study with the results they set a series of minimum requirements to implement full-scale composting at the Industrial University of Santander that allowed the use of the infrastructure of the composting plant again, and the processing of organic waste rapid degradation present in the campus greenery (garden waste) and waste of raw food eaters section.

* Work Degree

** School of Physics and Mechanical Engineering, School of Civil Engineering. Director: Sanitary engineer,.MSc, PhD. Edgar Ricardo Oviedo Ocaña.

INTRODUCCION

El crecimiento económico durante décadas ha sido la máxima prioridad para las sociedades, gracias a la modernización e implementación de tecnología industrial, relegando los efectos nocivos de estas actividades para el ambiente.

El compostaje se ha convertido en una alternativa viable para el tratamiento de los residuos orgánicos que constituyen una gran parte de los residuos sólidos municipales, en los países en vía de desarrollo. A pesar de la promoción del aprovechamiento de los residuos en los PGIRS (**programas de gestión de residuos sólidos reglamentados por el decreto 2891 de 2013**), el compostaje sigue siendo un actividad poco utilizada en Colombia.

De otro lado a pesar de la investigación desarrollada para mejorar la calidad y rendimiento del proceso de compostaje, y de la necesidad de incorporar esta opción tecnológica para el manejo de residuos orgánicos en las instituciones educativas, son aún incipientes las experiencias de implementación de los métodos de compostaje en las universidades de Santander y del país.

Entre los principales problemas para la implementación de programas y procesos de tratamiento alternativo de residuos sólidos se encuentran; la disposición de recursos para la implementación de proyectos a escala piloto, la cultura ciudadana, la dificultad en la separación en la fuente y la recolección selectiva, factores determinantes en la implementación de un proyecto de gestión sostenible de residuos.

Este proyecto evalúa las condiciones para la implementación de proceso de compostaje de residuos de poda y alimentos crudos generados en la Universidad industrial de Santander contribuyendo de esta manera a disminuir los residuos que se destinan a disposición final en el vertedero el Carrasco y con el propósito de

generar un producto que pueda ser aplicado para el mejoramiento de suelos en el campus universitario. Desde la universidad se busca generar conciencia, crear cierre a una importante brecha que gesta deterioro y degradación de la calidad ambiental debido a las alteraciones fuertes que generan las actividades humanas, promover e incentivar al estudiante a crear investigación en campos sostenibles a nivel local.

1. JUSTIFICACION

Durante el año 2012 en el área metropolitana de Bucaramanga se registraron cerca de 800 toneladas diarias de residuos sólidos (URL-1). Ese mismo año, la Universidad Industrial de Santander (UIS) en su estudio de caracterización de residuos sólidos en el área metropolitana de Bucaramanga arrojó que la capacidad máxima de aprovechamiento de residuos es del 76% entre elementos con potencial que pueden convertirse en compostaje y reciclables secos (URL-2).

Ya que durante años la **Universidad Industrial de Santander** ha sido un foco de saber y progreso para el departamento y el país; es preocupante que las iniciativas que apoyan el manejo adecuado de los residuos y van en pro del desarrollo sostenible de las comunidades han sido lentamente acogidas en las universidades de la región; el direccionamiento de los planes de estudios de las dependencias educativas no contempla de manera significativa la importancia de las técnicas de aprovechamiento y tratamiento de los residuos de las actividades económicas y laborarles para las que se formó el profesional.

En las diferentes universidades de Bucaramanga la investigación sobre el aprovechamiento y transformación de los residuos orgánicos es limitada, la Universidad Pontificia Bolivariana sede Piedecuesta implementó la utilización de los residuos orgánicos sólidos para la producción de compostaje (Guzmán y Fernanda, 2001) arrojando como resultado del proceso de compostaje un mejorador de suelos a base de residuos de comida cruda y cocida a la cual se le adicionaron otros residuos vegetales. De otro lado en la Universidad Industrial de Santander sede principal, Gaitán y Hernández (2014) realizaron la “evaluación de la calidad fisicoquímica de los residuos orgánicos de rápida degradación generados en el campus universitario como potencial materia prima del proceso de compostaje”, arrojando como resultado las características necesarias de los residuos para el proceso de compostaje.

La presente propuesta busca promover la investigación e implementación de compostaje; dentro del campo de la ingeniería civil aunque menos amplio pero importante se encuentra el manejo de residuos sólidos municipales, de vital importancia para el desarrollo de las sociedades, logrando darle un lugar al residuo de las actividades desarrolladas por sus individuos.

Conocida la problemática, a través del compostaje se busca que la universidad sea parte de la solución y no del problema, intentando disminuir el daño ambiental provocado por la actividad académica y de prestación de servicios que presenta la misma. La universidad debido a sus zonas verdes genera cantidades significativas de desechos de poda que sin el adecuado trato, serán destinados al abandono y perderán su carácter aprovechable.

La universidad tiene el potencial de generar 15 m³ de poda cada dos semanas en promedio; con un peso alrededor de 2625 Kg de poda (Gaitán y Hernández, 2014), los cuales son totalmente aprovechables para generar compostaje, además de un promedio de 200 Kg de residuos crudos provenientes de la sección de comedores estudiantiles cada dos semanas, siendo también 100% aptos para su aprovechamiento; es un proyecto de bajo costo que puede generar grandes beneficios al campus. Los beneficios que se plantean son en esencial: el mejoramiento de suelos, el cuidado de las plantas en la universidad y el mantenimiento general de los jardines, además de la generación de conciencia ambiental en el campus universitario.

2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 COMPOSTAJE

De acuerdo con Dios et al. (2003) el compostaje es el proceso biológico de transformación de la materia orgánica por vía aeróbica, y en condiciones termófilas genera un material más estable e higienizado el cual puede ser utilizado en el suelo como enmienda orgánica contribuyendo al mantenimiento de la propiedades de los suelos. (Pérez Lomas et al., 2010)

2.2 PARÁMETROS DEL PROCESO

2.2.1 Contenido de humedad. Parámetro importante para el proceso debido a que un contenido alto de humedad producirá condiciones anóxicas, ya que el agua ocupa los espacios libres entre las partículas desplazando el contenido de aire; si por el contrario el contenido de agua es bajo la actividad microbológica no va a avanzar (Sztern y Pravia, 1999) La humedad recomendada para la biodegradación aeróbica, se sitúa en el orden del 40 al 60 % (Shulze et al., 1962). Humedades inferiores al 20% afectan a las poblaciones microbianas (Madejón et al., 2002) produciendo fases estacionarias y deteniendo el proceso de compostaje.

2.2.2 pH. Este parámetro varía durante el proceso (Sztern y Pravia, 1999) un pH cercano al neutro 6,5 a 7,5 ligeramente ácido o ligeramente alcalino asegura el desarrollo favorable para la mayoría de grupos fisiológicos. Un valor de pH menor al 5,5 no permite el desarrollo de la mayoría de grupos fisiológicos y un valor superior al 8 puede convertirse en un agente inhibidor del crecimiento, debido a que se produce una precipitación de nutrientes esenciales del medio y es imposible que los microorganismos los puedan consumir.

2.2.3 Microorganismos. Son los principales entes encargados de la transformación de los sustratos orgánicos (compuestos por proteínas, carbohidratos, aminoácidos y azúcares simples), incidiendo en la efectividad del compostaje. Entre los microorganismos se encuentran bacterias que son las de menor tamaño y las más numerosas llegando a corresponder hasta en el 90% de los microorganismos del proceso de compostaje (Trautmann y Olynciw, 2000).

De otro lado los **actinomicetos** tienen funciones similares a las de las bacterias, pero se especializan en degradar sustancias lignocelulíticas (McCarthy et al., 2003).

Otros organismos involucrados en el proceso son los **hongos** los cuales se encargan del material más resistente a la degradación, lo que ayuda a las bacterias a continuar con el proceso de descomposición (Chang, 1967).

2.2.4 Temperatura. Es un factor clave en el proceso debido a que de esta depende la supervivencia de los microorganismos esenciales; a temperaturas superiores a 60 C° se eliminan la mayoría de los microorganismos patógenos *“La temperatura del proceso refleja la actividad biológica de los microorganismos, siendo una de las condiciones ambientales determinante de la rapidez con la que algunos materiales en el proceso son metabolizados”* (Alexander, 1977).

2.2.5 Oxígeno. Este parámetro es fundamental en el proceso de compostaje debido a que se trata de un proceso aerobio por lo tanto los microorganismos que intervienen en la degradación del material necesitan de oxígeno para realizar su metabolismo y por este motivo la aireación de las pilas es importante. Su concentración a una profundidad de 60 cm o menos dentro de la pila debe estar entre 0,5% y 2%(Ekinci et al., 2004).

2.3 ETAPAS DEL PROCESO

2.3.1 Fase mesófila. Goyal et al. (2005) definen la fase mesófila como la fase inicial en la cual la pila de compostaje comienza a generar calor producto de una asimilación de elementos nutritivos de la materia orgánica a los microorganismos, utilizando una parte de los compuestos orgánicos como fuente de energía y otra para formar nueva masa de microorganismos.

2.3.2 Fase Termófila. Imbeah (1997) define esta fase, como la sucesora de la fase mesófila la cual comienza por encima de los 40°C de tal modo que esto induce a una disminución de la microflora mesófila o lo que es equivalente un cambio en la población bacteriana.

2.3 FASE DE ENFRIAMIENTO Y MADURACIÓN

Acorde con Bernal et al. (2009) cuando la temperatura disminuye a 40°C o menos los microorganismos termófilos progresivamente comienzan a desaparecer y finalizan realizando la descomposición de la celulosa. A medida que la temperatura sigue descendiendo a menos de 40°C reaparecen los organismos mesófilos los cuales también reinician su actividad. Esto induce a que el pH sufra un ligero descenso hasta finalmente alcanzar la temperatura ambiente y en ese momento se dice que la pila inició su fase de maduración, la cual puede durar entre 1 o 2 meses, dependiendo de las condiciones ambientales. En esta fase, los hongos asimilan los compuestos carbonatados que no fueron degradados durante el proceso y estabilizan los compuestos de difícil degradación.

3. ESTADO DEL ARTE

Entre las estrategias adoptadas en algunos centros educativos para la reutilización de los residuos sólidos de rápida degradación a nivel mundial se encuentra el compostaje, este ha sido un tema de interés debido a la posibilidad de permitir un desarrollo sostenible y amigable con el medio ambiente.

Un ejemplo en Colombia, es la **Universidad Icesi** (Cali), la cual posee un programa de compostaje desde finales del año 2012 en el cual se aprovechan los residuos de poda generados en el campus universitario. Los residuos generados son convertidos en material de abono, el cual es utilizado para beneficio propio de la universidad (Mantenimiento de jardines y su embellecimiento). Esto hace parte del Programa de Gestión Ambiental el cual tiene como objetivo aprovechar al 100% los residuos vegetales producidos en la universidad (Centro virtual de noticias de la educación, 2013).

En **La Universidad de Piura** (Lima, Perú) se realizó una propuesta para la elaboración de compostaje basándose solo en residuos de poda mediante la utilización de 4 pilas de compostaje y en un tiempo de 2 meses a las cuales se les aplicaron microorganismos eficaces (EM) como un componente acelerador (Antonio, 2012), aplicándose de forma diferente para cada pila. Se concluyó que el tratamiento seguido por las pilas 2 y 3 fueron las más eficientes basados en el comportamiento del proceso de degradación y el análisis de calidad final del producto de compostaje (Antonio, 2012).

Por otra parte en **La Universidad de Talca** (Talca, Chile) se realizó un estudio que consistía en la elaboración de compostaje utilizando diferentes tipos de material presente en el campus universitario, se construyeron 3 pilas. La pila 1 elaborada con viruta (25%), aserrín (25%) y material vegetal (50%); la pila 2 elaborada con material vegetal (100%); y pila 3 elaborada con viruta (100%). El

proceso se monitoreó durante 2 meses y medio y al final del proceso se analizaron las pilas donde se concluyó que la pila 1 y la pila 2 arrojaron valores normales dentro de los rangos recomendados de pH, humedad y relación C / N pero la pila 3 nunca logró compostar (Rivera, 2003).

En el año 2007 en **La Universidad Juárez Autónoma de Tabasco** (Villahermosa, México) se realizó una investigación que comparó dos métodos de aireación en el proceso de compostaje, utilizando 2 pilas, una estática con aireación forzada (dos aireaciones diarias) y otra pila con el método tradicional de volteo periódico manual (2 volteos semanales). Cada pila contenía 1500 Kg de residuos de jardinería y 220 Kg de cáscaras de cítricos triturados. El proceso demoró 120 días. Los resultados mostraron que el comportamiento de la temperatura al final del proceso fue similar en ambos tratamientos (36°C). La humedad, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, carbono orgánico, nitrógeno, relación C/N y fósforo en el producto final en el tratamiento de aireación forzada fue de 57,22%, 1,73 dS m⁻¹, 7,95, 39,27%, 21,82%, 1,21%, 18,70, y 277 mg kg⁻¹ respectivamente y de 64,74%, 1,0 dS m⁻¹, 8,23, 42,80%, 23,78%, 1,46%, 16,51 y 217 mg kg⁻¹ para la utilización de la técnica de volteo manual respectivamente demostrando que el método de aireación forzada influyo de una mejor manera en el proceso (Izasa et al., 2007).

Es posible concluir de las experiencias que se han realizado en las universidades mencionadas que el compostaje es una alternativa de manejo de residuos sólidos de creciente interés en el sector académico. A través de procesos limpios se ha obtenido un producto buena calidad y ha funcionado como un método en el cual se aprovechan los residuos propios de gran variedad de actividades de los campus universitarios, el compostaje brinda sostenibilidad y le da una buena destinación a los residuos sólidos orgánicos, algo similar se plantea en la Universidad Industrial de Santander, en la cual se genera un esfuerzo por movilizar este tipo de experiencias ya que la cantidad de residuos de poda es

considerable y adicionalmente se cuenta con una cantidad de residuos crudos producto de la sección de comedores para los cuales se busca una adecuada destinación final .

4. OBJETIVOS

4.1 GENERAL

Proponer las condiciones para la implementación del compostaje de los residuos orgánicos en la Universidad Industrial de Santander sede principal.

4.2 ESPECÍFICOS

- Evaluar el proceso de compostaje empleando al menos dos mezclas de residuos de poda y alimentos crudos.
- Analizar la calidad final del producto de compostaje realizado con las mezclas de residuos de poda y alimentos crudos.
- Identificar los elementos técnicos necesarios para la implementación del compostaje a escala real.

5. METODOLOGÍA

Este proyecto fue desarrollado en dos etapas que comprendieron:

- i) Experimentación del proceso de compostaje a escala piloto.
- ii) Identificación de las condiciones para la implementación a escala real.

5.1 EXPERIMENTACIÓN DEL PROCESO A ESCALA PILOTO DEL COMPOSTAJE

Comprendió una evaluación del proceso de compostaje y de la calidad del producto de una mezcla de residuos y alimentos crudos.

Para iniciar el experimento se realizó la recolección durante dos días de los residuos de la sección de comedores de la Universidad, posteriormente fueron pesados, divididos en las proporciones que eran requeridas para el proceso y a su vez homogenizadas con machete, a un tamaño de partícula, de 5 a 7 cm para los dos tipos de residuos acorde con Benito et al. (2005). Dentro de los pesos de tipo de comida cruda iniciales se encontró:

Cáscaras y residuos de papa: 10,05 Kg.

Cáscaras y residuos de zanahoria: 2,95 Kg.

Cáscaras y residuos de frutas (banano, naranja, papaya): 16,12 Kg.

Residuos de lechuga: 6,5 Kg.

Residuos y cáscaras de pimentón: 11,50 Kg.

Cáscaras y residuos de plátano: (verde y maduro): 30,37 Kg.

Residuos de habichuela: 5 Kg.

Se realizó un análisis fisicoquímico inicial de los sustratos tomando material de diferentes lugares de cada pila fue homogenizado, sellado en bolsas herméticas y

enviado al laboratorio para su análisis con tres tipos de sustratos: residuos de poda, residuos de comida y la mezcla de comida propuesta por Gaitán y Hernández (2014).

Para el caso de los residuos de poda se recolectó una muestra representativa de los residuos disponibles en la planta de compostaje de la universidad, la cual no está en funcionamiento. Los residuos de poda fueron tomados de los almacenados en el área de manejo de residuos del campus universitario. Estos residuos corresponden a los residuos recolectados en un periodo de tres a cinco días. Se hizo el montaje de dos tratamientos cada uno con una réplica. Para la comparación y evaluación del proceso, para el primer tratamiento se tuvo en cuenta la propuesta de Gaitán y Hernández (2014) incorporando 40% en peso de alimentos crudos y 60% de residuos de poda y jardín. El segundo tratamiento comprendió el montaje de dos pilas con 100% de residuos de poda. Cada pila tuvo un peso de 100 Kg de material y estuvieron sometidas a iguales condiciones ambientales. Las pilas fueron montadas en estructuras tipo cama para lombricompostaje con las que se disponía en la planta de manejo de residuos de la Universidad. Las convenciones dadas a cada tratamiento fueron las siguientes:

Tratamiento A1: 40% en peso de alimentos crudos mixtos homogenizados, 60% en peso de poda mixta.

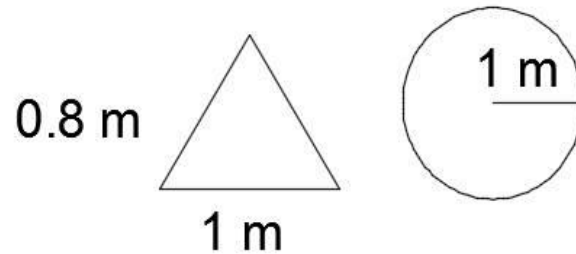
Tratamiento B1: (Pila réplica de A1 con la misma mezcla).

Tratamiento A2: 100% en peso de poda mixta.

Tratamiento B2: (Pila réplica de A2 con la misma mezcla).

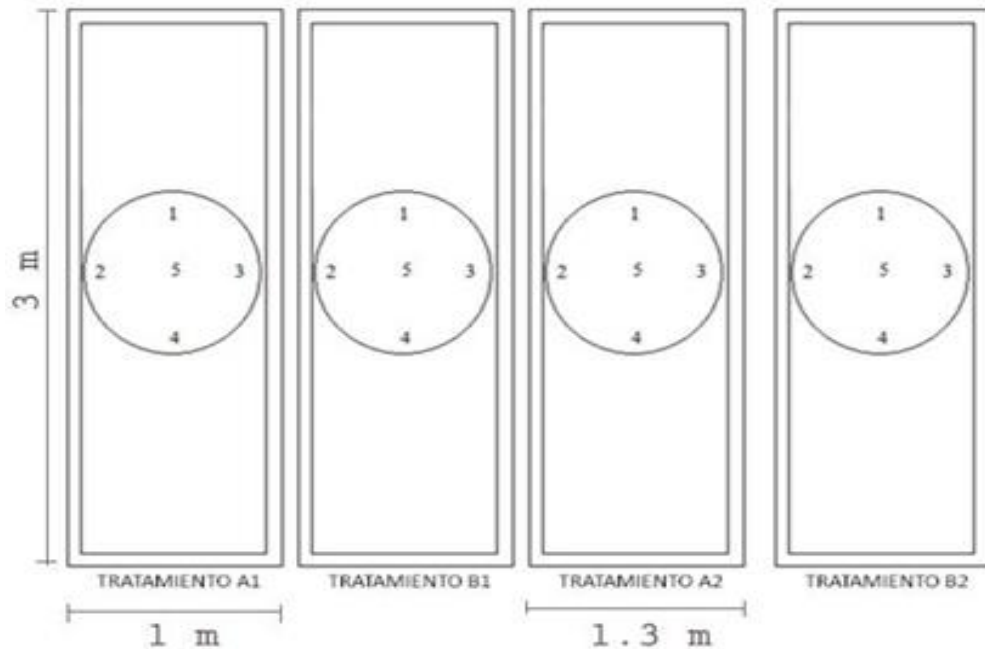
La frecuencia de volteo de las pilas fue acorde con los requerimientos del proceso de compostaje, (López et al., 1999) esto en pro de un manejo adecuado de la temperatura y la humedad. La altura de las pilas de compostaje fue limitada por la capacidad de la cama de compostaje, en este caso 0,80 m de altura (ver Figura 1).

Figura 1. Forma característica de las pilas de compostaje y sus dimensiones.



Se realizó un monitoreo de temperatura mediante una toma de datos diaria en campo en cinco puntos distintos para cada pila, que comprenden los puntos ordinales y la parte superior central (ver Figura 2), para las tomas de pH y humedad se hizo la homogenización de una muestra conformada por fracciones de material tomadas de la misma parte de la toma de temperatura. El contenido de humedad se determinó al menos tres veces por semana, las dos primeras semanas de experimento; posteriormente dos veces por semana o dependiente de las condiciones ambientales circundantes. La determinación del pH se realizó las dos primeras semanas con una frecuencia de dos veces por semana, después de este lapso se tomó una lectura por semana.

Figura 2. Convención para la toma en punto de temperatura pH y humedad de las pilas.



Para la medición de pH y humedad se realizó con un pH metro ionómetro de mesa modelo S220K, y un medidor de humedad Ohaus MB-35 respectivamente, mientras que para la medición de temperatura mediante un termómetro metálico para compost. Con los datos obtenidos, se realizó un análisis comparativo del comportamiento del proceso de compostaje en los tipos de pila.

Fotografía 1. Instrumentos citados para la toma y registro de datos de pH y humedad.

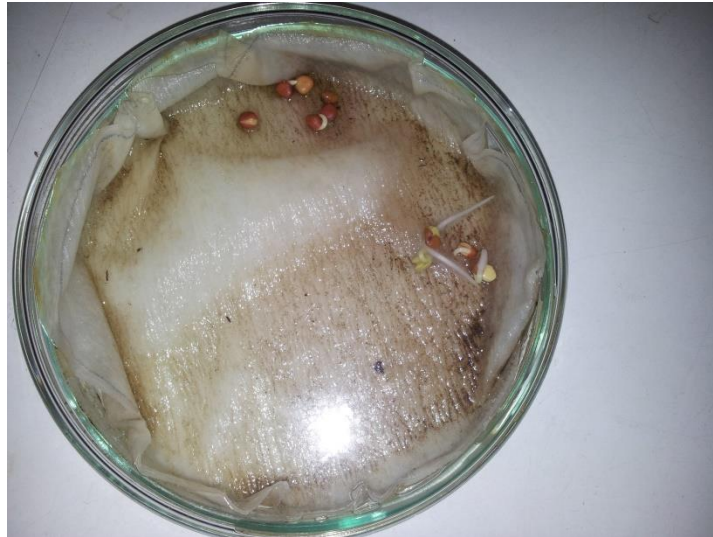


5.2 EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL PRODUCTO

Una vez concluida la etapa de compostaje de las pilas se realizó una toma de muestras en diversos puntos de cada pila y se hizo una posterior homogenización para un análisis de laboratorio que permitió determinar la calidad del producto final. Las pruebas de laboratorio se realizaron siguiendo la norma técnica colombiana NTC 5167e incluyeron: carbono (método espectrofotométrico), nitrógeno (Titrimétrico Kjeldah, NTC 360), fósforo (espectrofotométrico) y potasio (Absorción atómica) y se analizó el cumplimiento de los límites propuestos por esta misma norma.

5.2.1 Prueba de germinación. Se realizó un ensayo de germinación siguiendo el protocolo sujeto a la norma Chilena de compost NCh 2880. Se utilizaron un total de 12 cajas Petri, las cuales se distribuyeron de la siguiente forma, 3 cajas Petri para los tratamientos A1 y B1, 2 cajas para los tratamientos A2 y B2 y 2 cajas fueron usadas como testigos, estas tenían en su interior agua destilada.

Fotografía 2.Caja Petri perteneciente al tratamiento A1 transcurridas 48 horas.



“La norma Chilena de compost NCh 2880, establece al rabanito como la especie adecuada para realizar estos bioensayos, calificando a un compost maduro si este muestra un porcentaje de germinación igual o superior al 80%. Un detalle de los procedimientos para determinar el índice de germinación (IG) se presenta en la norma Chilena para compost NCh 2880. Las ecuaciones presentan la forma de calcular el IG.

$$Gr; \text{germinacion relativa.} = \frac{\text{Numero de semillas germinadas por extracto}}{\text{Numero de semillas germinadas en testigo.}} * 100$$

$$Er; \text{largo de radicula} = \frac{\text{Largo promedio de radiculas en el extracto(cm)}}{\text{Largo promedio de radiculas en el testigo(cm)}} * 100$$

$$\text{Indice de germinacion ; IG} = \frac{GR * ER}{100}$$

5.3 CONDICIONES PARA LA IMPLEMENTACIÓN A ESCALA REAL

Se estima que se genera quincenalmente un total de 15 m³ de residuos de poda y jardín, y 200 Kg de residuos de comida crudos durante ese mismo periodo de tiempo en la Universidad Industrial de Santander (Gaitán y Hernández, 2014). Con esta información y la obtenida en el análisis experimental, se realizó una propuesta de implementación a nivel local en la Universidad Industrial de Santander considerando los siguientes parámetros:

- Área y tipo de infraestructura necesaria para la implementación
- Tiempo de duración del proceso de compostaje.
- Condiciones de transporte de los residuos.
- Tipo y tamaño de pilas para compostaje.
- Frecuencia de volteo adecuado para el volumen de materia orgánica en proceso de descomposición.
- Volúmenes de agua para la humectación del proceso.
- Herramientas necesarias para el montaje, monitoreo, labores de volteo y humectación de las pilas.
- Requerimientos de obra de mano necesaria para las labores de operación y mantenimiento del proceso.

6. RESULTADOS Y DISCUSION

6.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS SUSTRATOS

En las pilas de tratamiento A1 y B1 se presentan factores que favorecen la absorción de agua en los residuos de alimentos sin pérdida de su integridad estructural y porosidad, debido a que se trata de materiales fibrosos y voluminosos (Haug, 1993). En los alimentos crudos se encontraban frutas como papaya, sandía y naranja, también cáscaras de papa, cáscaras de plátano, restos de ahuyama, habichuela, cebolla, zanahoria, lechuga y pimentón. Para las proporciones de poda de jardín se encuentra principalmente pasto del tipo gramíneo, hojas de árboles de puma rosa, mango y Ceiba. Esta misma mezcla posiblemente favoreció espacios disponibles para la aireación en las pilas, que genera la comida cruda picada y mantiene el nivel de oxígeno disponible adecuado lo cual favorece los procesos de descomposición de la materia orgánica y evita la creación de condiciones anaerobias. La Tabla 1 presenta el resultado del análisis fisicoquímico inicial de los sustratos (Ver también anexo A).

Tabla 1. Resultados del examen físico-químico Inicial de los tipos de sustratos.

Tipo de ensayo.	pH	Humedad	Carbono total Oxidable	Nitrógeno total	Cenizas (%)	Potasio(%k2 O)	Fósforo total(%P205)	Conductividad (mS/cm)	Relación C/N
Residuos de poda (muestra 1)	6,01	25,44	24,12	1,62	10,42	3,32	0,28	3,67	14,89
Residuos de alimentos crudos(muestra 2)	4,38	88,35	38,73	1,56	6,35	4,86	0,26	9,66	24,83
Residuos de poda y alimentos crudos (muestra 3)	4,41	74,33	25,1	1,25	14,64	2,5	0,39	3,64	20,08

6.1.1 Humedad. La humedad recomendada para iniciar un proceso de compostaje está entre el 55% y 70% (Engineering and Composting, 1999). Para este caso la muestra 1 tiene un valor de 25,44% (ver Tabla 1), que es valor inferior al generalmente encontrado en pastos que está en rangos entre el 50% a 55% (Haug, 1993), esto pudo presentarse debido a la exposición prolongada de los residuos a la intemperie y a las altas temperaturas presentadas en la ciudad de Bucaramanga. Para el caso de la muestra 2 que comprende alimentos crudos el valor de humedad está entre los rangos esperados del 75% al 90% en este caso un valor de 88,35%. La muestra 3, combinación de los materiales de poda y comida cruda, tiene una humedad de 74,33%, esta mezcla da un balance de humedad, ya que debido a la naturaleza fibrosa del material de poda absorbe los excesos de humedad de los alimentos para el inicio del proceso. Aun siendo necesario la humectación inicial debido a la resequedad excesiva del material de poda para evitar una limitación de la actividad microbológica (Silva y López, 2005).

6.1.2 pH. En el caso de la muestra 2 y la muestra 3 se presentaron valores de pH ácidos debido posiblemente a la formación y alta proporción de ácidos orgánicos (ácidos grasos de cadena corta) al inicio de la degradación de los compuestos más lábiles de la materia orgánica, contenidos en los residuos de alimentos crudos además de algunas pulpas de frutas cítricas que tienen incidencia directa en la disminución del pH. Los pH ácidos son progresivamente estabilizados en el proceso; para el pH, en el caso de la muestra 1 se encontró una lectura de 6,01 que aun siendo ácido se acerca al valor alcalino en el cual las poblaciones microbianas empiezan a ejercer su actividad biológica.

6.1.3 Relación carbono nitrógeno. El tipo de sustrato en el proceso de compostaje incide de manera definitiva en la calidad final del compost, al iniciar el proceso de compostaje esta relación está recomendada en los rangos de 25 a 35 (Engineering and Composting, 1999) debido a que una ausencia o carencia de

nitrógeno puede frenar la actividad microbiana, o en el caso de exceso de carbono disminuya el crecimiento de los microorganismos y retrase el proceso de estabilización de la materia orgánica. La muestra 1 presentó una relación C/N de valor 14,88 lo cual indica que en el caso de la poda, el valor está debajo de los recomendados para el proceso pero está por encima de los valores de relación C/N de poda y hierba fresca (Silva y López, 2005). En la muestra 2 la relación C/N tiene el valor de 24,82 lo cual indica que parcialmente está en el rango deseado para el inicio de un proceso de compostaje eficiente. La muestra 3 presentó una relación C/N de 20,08 un valor que no está dentro del rango recomendado pero la adición de materiales de poda brinda una buena porosidad, reduce de manera importante la segregación de lixiviados debido a su naturaleza absorbente, además facilita la fijación del nitrógeno procedente de la actividad de descomposición de proteínas procedentes de celulosas y ligninas (Osorio, 2012).

6.1.4 Potasio y Fósforo. El fósforo es un macronutriente, desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos de naturaleza celular, ricos en producción de energía, siendo muy necesario para el desarrollo del metabolismo microbiano (Bueno et al., 2005). En la muestra 2 y 3, su presencia puede estar asociada a un contenido de leguminosas y vegetales; estos contenidos netos presentes en los sustratos para hacer compost no suelen ser elevados (López et al., 1999). La eficiencia del fosforo en el proceso de compost depende de la relación C/P, que está recomendada entre los rangos 120/1 a 175/1 (Bueno et al., 2005), la relación C/P para las muestras 1, 2 y 3 respectivamente es: 86,14/1-148,96/1-64,35/1; si esta es muy baja hay una alta mineralización del P orgánico durante la descomposición de la materia orgánica, y si esta es muy elevada ocurrirá una inmovilización del P aprovechable durante el proceso (Vargas, 2010).

Se encuentran niveles elevados de Potasio en la muestra 2 debido a altos contenidos de residuos netos de cáscaras de plátano, cabe resaltar que dentro de la mezcla de muestra 2 se encuentran alimentos crudos como la cebolla el

pimentón y frutas como la naranja y la piña con contenido bajos potasio, que no influyen de manera significativa en su proporción (Seom et al., 2010). La muestra 1 se encuentra en los rangos normales de contenido de potasio de pastos gramíneos; este rango está dado entre 0,84 a 2,52. En el caso de la muestra 3 el contenido neto de potasio fue de 2,50 que está dentro del rango recomendado para el inicio del proceso (Mufarreje, 2004).

6.1.5 Carbono oxidable total. En la muestra 2 se encuentra el contenido de carbono oxidable más alto con un valor de 38,73, todo esto debido a la capacidad de oxidación de la materia orgánica de los alimentos gracias al contenido de lípidos presentes en los residuos de hortalizas, como aceites vegetales y ceras como fosfolípidos, y en el caso de las frutas por la presencia de glúcidos (Bromatología y nutrición, 2009). La cantidad de carbono disponible en el pasto de la muestra 1 está dentro de los rangos que sugiere Osorio. (2012) al presentar altos contenidos de fibras de lenta degradación, características de estos materiales de naturaleza gramínea.

6.1.6 Nitrógeno total. El contenido de nitrógeno inicial para el proceso debe ser balanceado, debe evitarse que se pierda en exceso en forma de amoniaco en los procesos de asimilación de la materia orgánica y su descomposición (Jhorar et al., 1991). Estas pérdidas de nitrógeno no afectan el proceso de manera negativa, pero es de especial atención, ya que el amoniaco es un gas de efecto invernadero. Los valores obtenidos en la muestra 1, 2 y 3 son de 1,62-1,56-1,25 respectivamente; siendo el sustrato de la muestra 2 el que más se acerca a proporcionar una mejor relación C/N tomando como base condicionante al carbono disponible para la asimilación del nitrógeno (Gonzáles y Deza., 2002).

6.2 DESARROLLO DEL PROCESO

6.2.1 Humedad. Al iniciarse el proceso de compostaje fue necesaria la humectación previa a causa de que el material de poda tenía bajos valores. Debido a que el material era pastoso y voluminoso debió evitarse la humectación excesiva, la naturaleza fibrosa y absorbente del sustrato de los tratamientos A2 y B2 lograba una retención parcial de agua, de la cual una cantidad se resumía a la base de la cama de compostaje, debió evitarse la ocupación total de poros de los sustratos (Miyatake et al., 2006).

Fotografía 3. Proceso de mezclado de material de poda y alimentos de todos los tratamientos.



La humedad promedio para el desarrollo del proceso se manejó en el rango del 50% al 70%. Los excesos de humectación fueron aliviados mediante tareas de volteo (Haug, 1993). A medida que evolucionó el proceso se denota en la terminación de la etapa termófila unos requerimientos de agua menores a los iniciales, el régimen de humedad en la finalización del proceso se mantuvo en el rango de 45 a 55%. Los tratamientos A2 y B2 requirieron mayor volumen de agua para la humectación debido a la naturaleza fibrosa y pastosa del material (Enggieniring and Composting, 1999).

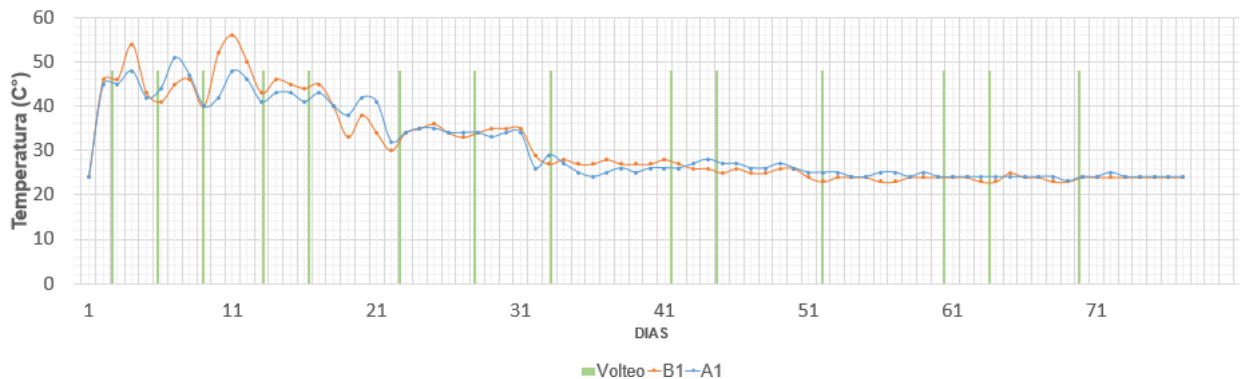
6.2.2 Temperatura. Las Gráficas 1 y 2 muestran el comportamiento de la temperatura en cada uno de los tratamientos. En la primera etapa mesófila se observa el aumento gradual de la temperatura en concordancia con las fermentaciones facultativas de la microflora mesófila y la respiración aerobia (Sztern y Pravia, 1999).

En la etapa termófila en todos los tratamientos era recomendable un régimen de temperaturas en los rangos de 45°C a 70°C (Bueno et al., 2005). La temperatura de la pila de tratamiento B1 presentó mejor comportamiento frente al tratamiento A1 manteniéndose en esta etapa del proceso entre los rangos de 40°C a 52°C. Las pilas de tratamiento A2 y B2 alcanzaron levemente las temperaturas adecuadas para la desinfección del producto. En la totalidad de los tratamientos las temperaturas no se mantuvieron más de dos días por encima del valor de los 56°C, esto pudiese ser contraproducente o insuficiente para eliminar bacterias patógenas presentes en las pilas, ya que es necesario que se mantengan por lo menos cuatro días (Oviedo et al., 2012).

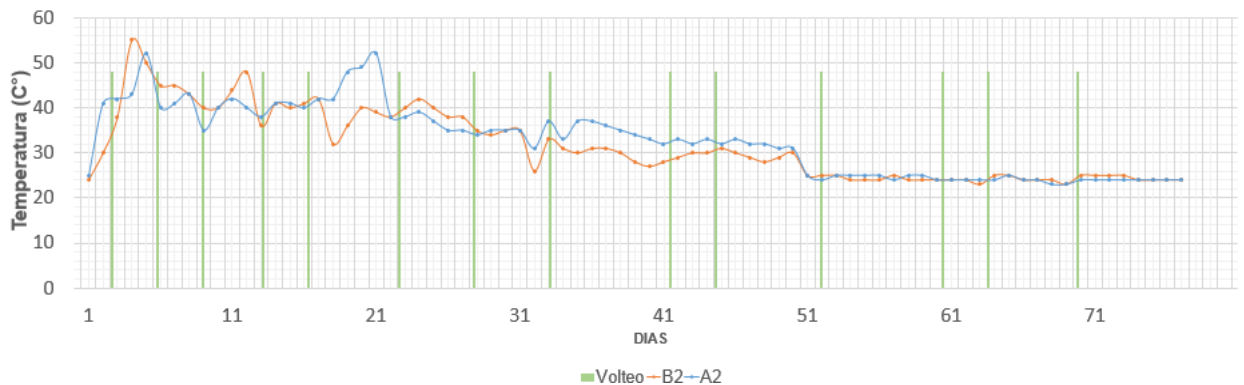
Terminada la etapa termófila con el agotamiento de los nutrientes y la desaparición de los organismos termófilos, todos los tratamientos empezaron el descenso gradual de la temperatura, se reactivó el desarrollo de los organismos mesófilos degradando los materiales más resistentes a la biodegradación y preparando la etapa de maduración. Los tratamientos A1 y B1 empezaron este

descenso cerca de los 17 días después de iniciado el proceso, mientras los tratamientos A2 y B2 lo hicieron cerca de los 25 días. Para los tratamientos A1 y B1 se identifica el inicio de la etapa de maduración cerca a los 50 días, para los tratamientos A2 y B2 cerca a los 55 días, con un descenso súbito de las temperaturas después de los 50 días; esto puede deberse a la muerte de los microorganismos por el agotamiento repentino de los nutrientes (Sztern y Pravia., 1999).

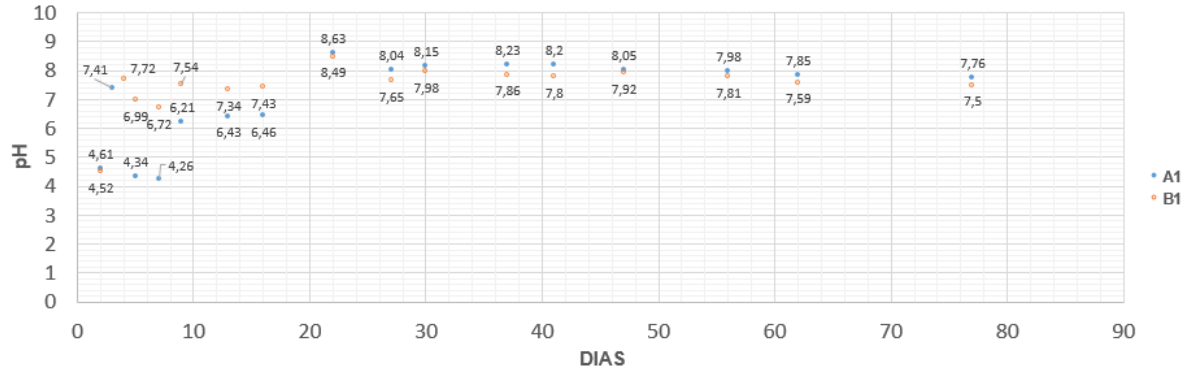
Grafica 1. Comportamiento de la temperatura de los tratamientos A1 Y B1 en el proceso.



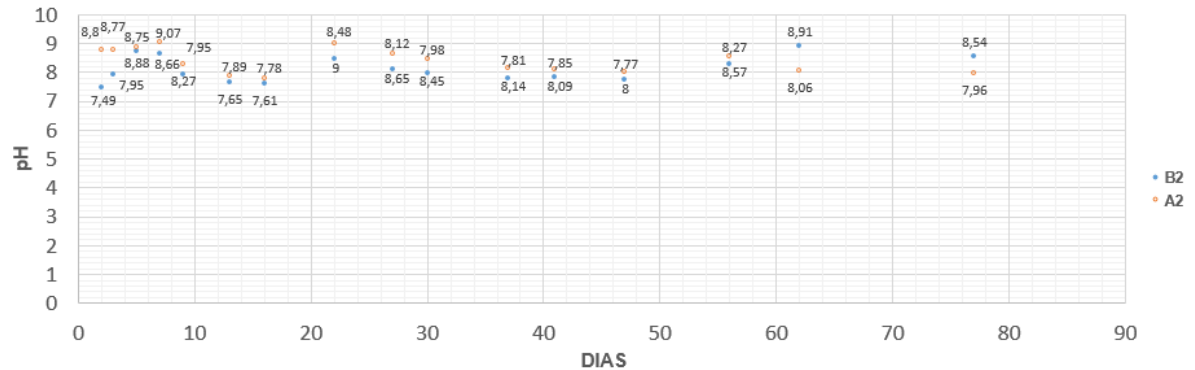
Grafica 2. Comportamiento de la temperatura de los tratamientos A2 Y B2 en el proceso.



Grafica 3. pH de los tratamientos A1 Y B1 en el proceso.



Grafica 4. pH de los tratamientos A2 Y B2 en el proceso.



6.2.3 pH. Al inicio del proceso se experimentaron pH ácidos en los tratamientos A1 y B1, algo normal debido a la acción de los microorganismos sobre la materia orgánica más lábil (Bueno et al., 1999). Después de 5 días del montaje se encontró un pH ácido en el tratamiento A1, cuando este ya tendría que estar oscilando los valores alcalinos; esto puede deberse a falta de aireación en la mezcla que creó condiciones anaerobias y liberó ácidos orgánicos (Sánchez Monedero, 2001) o a las labores de volteo y a la remezcla de los sustratos; en el transcurso del proceso se obtuvieron lecturas circundantes en los rangos de 7,50

a 8,50 normales en el desarrollo del proceso, ya que progresivamente aumentara el pH debido a la degradación de compuestos de naturaleza ácida y la mineralización de compuestos nitrogenados (Tolosa, 2013), síntoma de la transición de la descomposición de la materia orgánica hacia el inicio de la maduración del producto (Bueno et al.,1999).

6.2.4 Aireación. El lugar utilizado para el montaje ofreció limitaciones de aireación debido a que las camas de lombricompostaje no permitían la entrada lateral de aire a las pilas. La aireación fue proporcionada mediante volteos constantes, 15 en total, el buen manejo de la aireación en el proceso se evidenció en la carencia de malos olores de las pilas, sin contribuir de manera excesiva a su enfriamiento (Bidlingmair et al., 1996). Las frecuencias de volteo disminuyeron en la etapa de maduración para evitar una rápida mineralización que generara el consumo de los compuestos húmicos (Tomati et al., 2003).

6.2.5 Pérdidas de peso. Todos los tratamientos inicialmente tenían un peso de 100 Kg; la Tabla 2 ilustra las pérdidas de peso durante el proceso de compostaje; % de escoria y % de material tamizado, mediante tamiz de abertura de ½ pulgada.

Tabla 2. Proporción de pérdidas de peso de los tratamientos divididos en escoria y tamizado.

	Tratamiento A1		Tratamiento B1		Tratamiento A2		Tratamiento B2	
Peso inicial en kilogramos	100		100		100		100	
Peso final en kilogramos	Escoria	Tamizado	Escoria	Tamizado	Escoria	Tamizado	Escoria	Tamizado
	16,75	44,00	18,00	37,51	27,63	50,73	34,12	52,95
% de pérdida de peso.	39,25		44,49		21,65		12,93	

Las pérdidas de peso son mayores en los tratamientos A1 Y B1, debido a la mezcla de los sustratos donde la comida brinda una estabilidad estructural y aumenta la superficie de contacto entre los microorganismos y el material que está en proceso de compostaje (Bidlingmair et al., 1996), los tratamientos A2 y B2 tienen una pérdida de peso menor en el proceso debido a que están constituidos por materiales de poda que son fibrosos y leñosos que pierden lentamente su estructura física y hacen más difícil el comportamiento osmótico de las bacterias (Sztern y Pravia, 1999).

6.3 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO FINAL

Tabla 3. Resultados del análisis físico-químico final.

Tipo de ensayo.	pH	Humedad	Carbono total Oxidable	Nitrógeno total	Cenizas (%)	Potasio(%K ₂ O)	Fósforo total(%P ₂ O ₅)	Conductividad (mS/cm)	Relación C/N
Tratamiento A1	7,21	47,54	19,39	1,73	50,04	2,65	0,48	5,07	11,21
Tratamiento B1	7,22	42,32	26,37	1,46	45,49	2,67	0,43	5,73	18,06
Tratamiento A2	7,61	48,59	18,63	2,00	46,29	3,37	0,6	9,07	9,32
Tratamiento B2	7,5	56,86	19,94	2,16	45,22	2,92	0,49	6,73	9,23

6.3.1 Humedad. En los tratamientos A1 y B1, el comportamiento de la humedad fue muy similar Breitenback y Schellinger (2004) mencionan que, un rango aceptable de humedad al finalizar el proceso puede estar entre 35% y 60%. La humedad al finalizar el proceso es limitada por el manejo y transporte del producto final, ya que humedades altas dificultan la manipulación del producto debido al peso que puede llegar a presentar y humedades muy bajas pueden convertirlo en un elemento polvoriento e irritante para trabajar. Los tratamientos A2 y B2 se mantienen también en los rangos recomendados.

6.3.2 Reducción volumen. El proceso de compostaje tuvo una duración de 77 días, se observó una reducción significativa en el volumen de cada uno de los tratamientos, comparando el volumen con el cual se inició el proceso, la reducción en el volumen del compost al finalizar, en contraste con el comienzo de todo el proceso, puede llegar a alcanzar valores cercanos al 46% (Breitenback y Schellinger, 2004).

6.3.3 pH. Los resultados presentados por los tratamientos A1 y B1 son similares para los tratamientos A2 y B2 (ver Tabla 3); han aumentado hasta llegar a valores que oscilan entre 7,21 y 7,61; Torres et al. (2007) sugieren que un pH entre el rango de 6,5 y 8,0 es un valor que indica que el compostaje obtenido es de buena calidad para ser utilizado como enmienda en el suelo. El aumento periódico del pH a lo largo del proceso refleja la cantidad de amoníaco que se desprende en la descomposición de las proteínas (Soliva, 2004).

Fotografía 4. Contraste del inicio y el final del proceso de compostaje.



6.3.4 Relación Carbono – Nitrógeno (C/N). Zhu. (2006) Mediante un experimento analizó un rango en el cual se podía afirmar que un compost era maduro y de calidad, para esto estudió la relación C/N de muestras mediante

montajes con distintas mezclas de sustratos, encontró que se puede considerar una relación C/N apropiada en pilas de compostaje maduro con valores menores a 20, pero superiores a 10.

Los tratamientos A1 y A2 están en el rango recomendado para clasificarlos como un compost maduro, a diferencia sus tratamientos réplica, que están ligeramente por debajo del rango recomendado, esto se pudo presentar debido a una mineralización del nitrógeno orgánico mediante reacciones de amonificación que son el resultado de alta actividad microbiana desarrollada durante el proceso de compostaje (Barrera, 2006).

6.3.5 Cenizas. Los tratamientos presentaron un contenido de cenizas comprendido en un rango de 19% a 27%. La norma NTC 5167 (Icontec, 2011) indica que el valor máximo de cenizas presentes debe ser igual o menor al 60%, se puede concluir que todos los tratamientos están por debajo de ese rango, por lo tanto su contenido de cenizas es aceptable como producto final. El bajo porcentaje de cenizas en los tratamientos puede deberse a una buena mineralización de los residuos, altos contenidos de N y K, y a la ausencia de minerales del suelo tales como arena, légamo y arcilla (Dinambro et al., 2007).

6.4.6 Potasio y Fósforo. El fósforo es un nutriente esencial después del carbono y nitrógeno Singh y Amberger (1990) encontraron mediante un ensayo utilizando compostaje a base de paja de trigo, que la relación C/P para el compostaje es mejor en el rango de 75 a 150, mientras la relación N/P debe estar entre el rango de 5 a 20. En todos los tratamientos las relaciones C/P y N/P se mantuvieron por debajo del rango debido posiblemente a una alta pérdida de nitrógeno por amonificación en el proceso de compostaje (Saldarriaga, 2009).

Tabla 4. Relaciones C/P y N/P en los tratamientos.

	Relación C/P	Relación N/P
Tratamiento A1	40,40	3,60
Tratamiento B1	61,33	3,40
Tratamiento A2	31,05	3,33
Tratamiento B2	40,69	4,41

6.3.7 Conductividad. La conductividad eléctrica en una pila de compostaje está determinada por la composición y naturaleza del material con el cual se ha realizado el proceso, el contenido de minerales salinos y por la presencia de iones de amonio, (Sánchez Monedero., 2001). La conductividad de los tratamientos aumentó. Carrasco et al. (2007), sugieren que un rango comprendido entre 1,5 y 3,0 mS/cm contempla valores aceptables que son indicadores de la obtención de compost de buena calidad al finalizar la etapa de maduración.

El total de los tratamientos registraron comportamientos ligeramente apartados de los valores recomendados (ver Tabla 3), registrando un valor de 9,07 mS/cm como el más alto, que pueden dificultar la absorción de agua por las raíces de las plantas debido a la cantidad de sales presentes, inhibiendo la germinación de las semillas y permitiendo solo prosperar especies vegetales más resistentes (Saldarriaga, 2009).

6.4 ENSAYO DE GERMINACIÓN

El Índice de germinación para las diferentes pilas arrojó como resultado que los tratamientos A1 y B1 tienen respectivamente un IG de 99 y 95; mientras que las

pilas de tratamientos A2 y B2 un IG de 84 y 36, partiendo de este resultado, se puede concluir que las pilas de compostaje que están compuestas de comida y poda logran madurar y estabilizar los compuestos fitotóxicos más rápidamente comparadas con las pilas compuestas en su totalidad por poda, la diferencia de los IG de los tratamientos A2 y B2 pudo presentarse porque las sustancias fitotóxicas no fueron metabolizadas durante la maduración debido a la presencia de contenido de amonio, ácidos volátiles y sales, o debido a que las temperaturas presentadas en la etapa termófila no se mantuvieron lo suficiente para la eliminación de entes patógenos del producto (Varnero et al., 2007).

6.5 PROPOSICIÓN DE LAS CONDICIONES PARA IMPLEMENTACIÓN A ESCALA REAL

6.5.1 Situación y emplazamiento. Bucaramanga Colombia; Universidad Industrial de Santander, sede central, planta de compostaje.

6.5.2 Mezcla de composta elegida. Debido a la factibilidad y mejor comportamiento mostrado en el transcurso y análisis del proceso de compostaje (temperatura, humedad, pH), parámetros fisicoquímicos iniciales más apropiados (relación C/N, K, P, N, C) y mejor calidad final, la mezcla de proporciones 40% comida cruda 60% residuos de poda es la recomendada para la puesta en marcha de un proceso de compostaje a escala real en la Universidad Industrial de Santander. Sin embargo puede recomendarse elevar la porción de alimentos crudos disponibles en la mezcla a con el fin de mejorar la relación C/N y situarla en el rango de 25 a 35 (Jhorar et al., 1991), además se puede contemplar añadir residuos de comida cocida para realizar montaje de pilas de compostaje con la frecuencia deseada sin tener limitaciones de materia prima por parte de los alimentos crudos.

6.5.3 Requerimientos de área. El almacenaje de los residuos de poda de jardín en la planta de compostaje es inadecuado. Cuando estos no sufren un tratamiento y almacenaje adecuado son generadores de malos olores, proliferación de enfermedades, animales y emanación de gases de efecto invernadero (Binner, 2014) .La falta de una separación selectiva de los materiales, y su disposición a la intemperie genera condiciones desfavorables para el proceso de compostaje, tales como posible contaminación con otros tipos de materiales. Se propone la creación de un área de almacenaje para los residuos de poda sobre una placa de concreto de 36 m² con pared en ladrillo y cubierta metálica a 3 m de altura con una capacidad de almacenaje de más de 30 m³ de poda.

Las instalaciones con las que cuenta la universidad para la logística de una propuesta sostenible de gestión de residuos son inadecuadas; las camas para composta no ofrecen las condiciones de aireación y comodidad de trabajo necesarias para llevar a cabo un proceso de calidad. Se propone remover las camas de composta (demolición). El área total requerida para compostar es de 260 m²; 26 m de largo por 10 m de ancho (ver anexo 3), para la ubicación de 12 pilas, 2 por fila que sean desplazadas en forma rotación hacia la parte posterior cada semana (ver figura 3), esto requiere una ampliación del área disponible.

Para la maduración, se propone la construcción de una placa anexa de concreto de 120 m², de dimensiones de 12 m de largo por 10 m de ancho (ver anexo 3); considerando una pérdida de peso del 40% a lo largo del proceso.

Por último la construcción de un área de 25 m² con techo para el almacenaje de material compostado en costales que no permiten pérdidas de humedad.

Estas dimensiones fueron concebidas debido a las siguientes razones; **la disponibilidad de abastecimiento de materia prima para compostar, la**

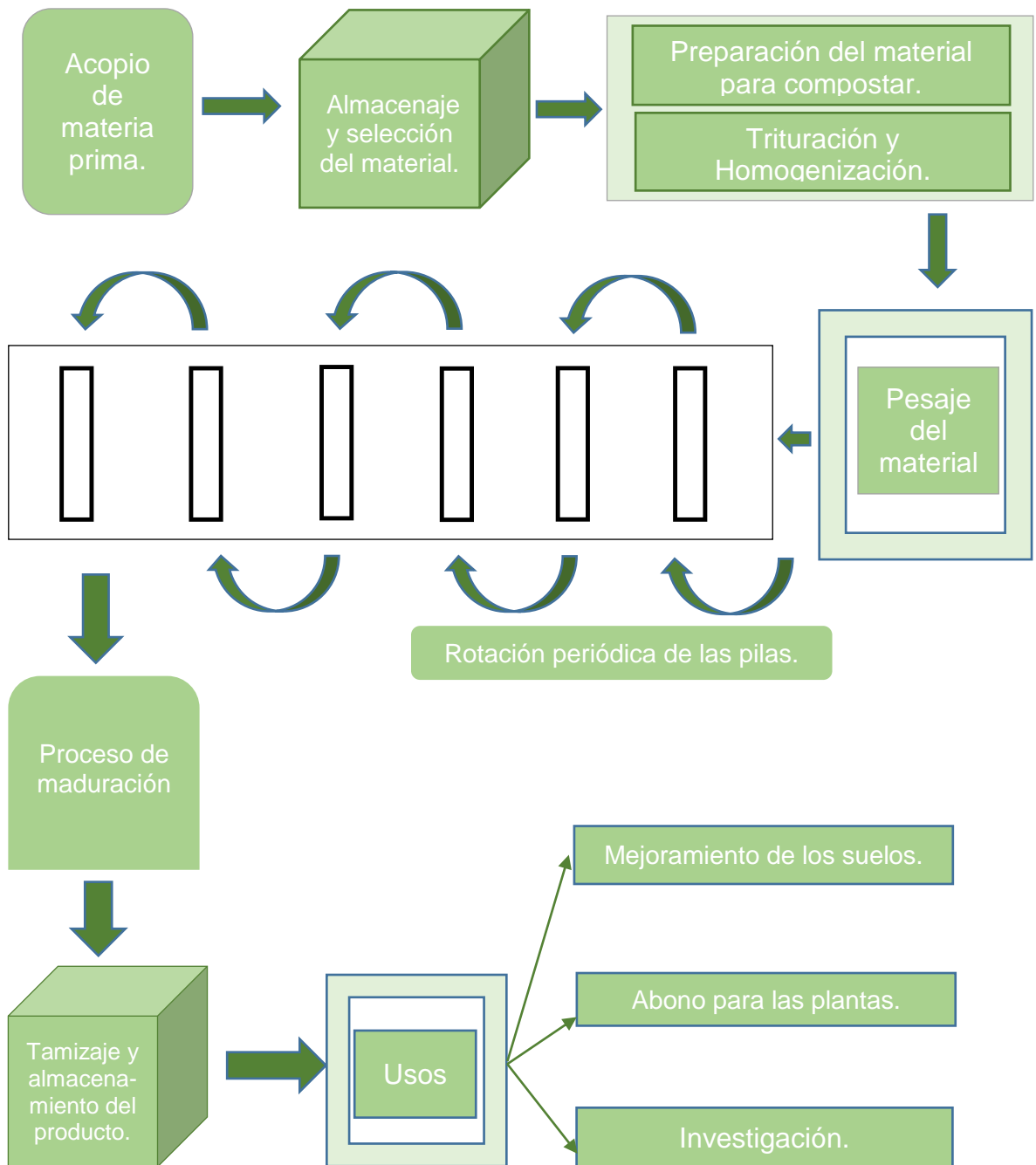
disponibilidad de infraestructura de la planta y al rendimiento de la aireación, (Salinas, 2006).

6.5.4 Tipo y tamaño de las pilas de composta. El peso volumétrico de referencia es 175 kg/m^3 , el tamaño de partícula es recomendado de 5 a 7 cm. Se puede realizar montaje de pilas de compostaje de un peso de 500 Kg, el diámetro de la base de las pilas debe ser de al menos 2,2 m y la altura propuesta para las mismas es de máximo 1 m; ya que pilas muy pequeñas producen alta disipación de calor y pilas demasiado grandes producen problemas de aireación por compactación (González, 2005), el material de poda es muy voluminoso se busca comodidad en el manejo y labores de humectación y volteo.

6.5.5 Tiempo para el proceso de compostaje. El inicio de la maduración se puede presentar de los 45 a 55 días, desde iniciado el proceso de compostaje, generalmente 40 días (Romero et al., 2006). El tiempo recomendado para el proceso de compostaje hasta la maduración está cerca de los 75 a 80 días desde el montaje; el periodo de maduración puede llegar extenderse cerca de un mes más debido a la variabilidad de los sustratos, y características del desarrollo del proceso como variabilidad del pH, la humedad y la temperatura ambiente.

6.5.6 Método de aireación de las pilas. El tipo de material orgánico, la aireación y la humedad incide de manera decisiva en la calidad final del compostaje (Dalzell et al., 1991). Puede realizarse por volteo manual. Sin embargo, es recomendable el estudio de un sistema de aireación mecanizado. La frecuencia de volteo se puede determinar basándose en pruebas de oxígeno disponible o mediante tomas de temperatura en campo, temperaturas mayores a 70°C pueden ser excesivas y acabar con las poblaciones bacterianas que son benéficas en el proceso; un volteo excesivo puede generar el enfriamiento de la pila (González, 2005).

Figura 3. Diagrama del proceso de composta.



6.5.7 Transporte. El transporte de los residuos de poda se realiza por medio de un vehículo destinado por la universidad (volqueta); los residuos de comida son de disposición diaria; un operario con carretilla puede transportarlos dada la cercanía de la sección de comedores y la planta de compostaje, se estima un peso de 20 a 35 Kg diarios. El transporte interno en la planta, que se refiere al movimiento de materias primas desde el sitio de recepción hasta la destinación final se realizará con carretilla.

6.5.8 Capacidad y tipos de recipientes para el almacenamiento de residuos.

Ya que los residuos de comida cruda son biodegradables y se descomponen fácilmente en el ambiente, son por lo general depositados en bolsas verdes y son trasladados al cuarto de almacenaje de residuos ordinarios y corrientes. (Guía de manejo de residuos sólidos en comedores y cafetería, 2009).

6.5.9 Disposición del recurso hídrico. Durante temporadas secas y en todo el proceso de compostaje se hace necesario contar con agua para la adicionar al compost (Salinas, 2006). El sector cuenta con una toma de agua con suministro no interrumpido. Es necesario el mantenimiento y adecuación del tanque de almacenamiento que tiene una capacidad de 2000 litros de agua para que salvaguarde el proceso de compostaje en caso presentarse falla en el suministro. Se requiere de la instalación de una manguera de conducción para el agua que garantice una irrigación cómoda y eficiente del material.

6.5.10 Volúmenes de agua y forma de humectación del proceso. Las solicitudes de humectación se pueden determinar mediante pruebas de humedad en el monitoreo del proceso, debido a que este parámetro depende de la variabilidad de la actividad microbiana, la frecuencia de los volteos y de la naturaleza de los sustratos (González et al., 2005). La humectación puede realizarse manualmente mediante canecas, baldes o tubería flexible con boquilla de irrigación.

6.5.11 Requerimientos de obra de mano necesaria para las labores de operación y mantenimiento del proceso. Son necesarias dos personas de planta de disponibilidad de tiempo completo como mínimo, que suplan las tareas de homogenización del material al tamaño de partícula requerido, volteo, humectación de las pilas, acopio y manejo de los residuos que hay que almacenar, y la realización de las pruebas que aseguran la calidad el proceso (humedad , pH y temperatura).

6.5.12 Herramientas necesarias para la puesta en marcha del proceso de compostaje y su desarrollo. -Dos (2) machetes para la homogenización de los sustratos para el compostaje.

-Dos (2) palas para el volteo de las pilas en composta y manejo de los sustratos.

-Dos (2) carretillas para el movimiento de materiales en composta.

-Un mínimo de 30 m de manguera de jardín con boquilla de irrigación para la humectación de materiales.

- Dos rastrillos industriales en plástico o metal para el barrido de hojas y escoria que se acumula por el movimiento de material.

-Dos escobas tipo industrial para la limpieza del lugar de composta.

-Lector de humedad para toma de datos en campo y manejo de la calidad del proceso

-Lector de pH para toma de datos en campo y manejo de la calidad del proceso.

-Suministro de agua destilada para pruebas de monitoreo del proceso.

-Balanza de tipo industrial de capacidad de 100kg.

-Termómetro impermeable para compost de 80 centímetros de longitud de tallo.

-Lector de oxígeno disponible.

7. CONCLUSIONES

La proporción de residuos orgánicos sigue siendo considerable dentro del total de los residuos sólidos municipales, los residuos de comida cruda aportan buenas condiciones para el montaje de un proceso de compostaje que en conjunto con los residuos de poda presentan características tales como mejor absorción de la humedad, buena relación C/N al principio del proceso y buena porosidad .

La adición de residuos de comida cruda a los residuos de poda contribuyó al alcance de mejores temperaturas en la etapa termófila y a una estabilidad más marcada en los valores de temperatura punto de las pilas, además de reflejar un mejor avance en la descomposición de los materiales y menores requerimientos de humectación durante el proceso que las pilas compuestas por solo desechos de poda, las cuales durante el proceso presentaron lentitud en la descomposición, temperaturas punto con diferencias más marcadas y resultados más bajos en el examen de germinación, donde se determinaba si el material estaba libre de compuestos fitotóxicos. La calidad final de los productos de los distintos tratamientos deja entrever y concluye que la adición de residuos de comida cruda mejora el proceso de composta y su producto final, siendo la mezcla de poda y residuos de comida la adecuada para la puesta en marcha de un proceso de compostaje en la Universidad Industrial de Santander.

Los elementos propuestos para la implementación de compostaje a una escala real en la Universidad Industrial de Santander, pueden tener un impacto positivo y eficaz dentro de la gestión y aprovechamiento de los residuos, dependiendo de la disposición y compromiso de los entes encargados de su ejecución y en general de toda la comunidad universitaria.

BIBLIOGRAFIA

Agreda. R., Deza. C. (2015). Factores que condicionan el proceso de compostaje. Recuperado el 15 de septiembre de 2015, de <https://www.uam.es>

Alexander, M. 1977. Introduction to soil microbiology. p. 250-255. En J. Wiley and sons (eds). New York.

Bárbaro, L.A., Karlanian, M.A., Morisigue, D. (2010). Utilización de azufre micronizado en la corrección del pH de compost de residuos de poda. Córdoba, Argentina.

Barrera G. (2006). Compostaje de residuos sólidos orgánicos. España

Binner, E. (2014). Fundamentos y diseño de plantas de compostaje. Recuperado el 20 de septiembre de 2015, de <http://www.lamolina.edu.pe/>

Bohórquez, A., Puentes, Y., Menjivar, J.C. (2013). Evaluación de la calidad del compost producido a partir de subproductos agroindustriales de caña de azúcar. Universidad Nacional de Colombia sede Palmira. Palmira, Valle del Cauca, Colombia.

Breitenbeck, A., Schellinger, D. (2004). Calculating the Reduction in Material Mass And Volume during Composting. United State.

Bromatología y nutrición. (2014). Alimentos vegetales frutas y hortalizas. Recuperado el 16 de septiembre de 2015, de <http://www.fbioyf.unr.edu.ar/>

BPA – Buenas Practicas Agricolas. (2006). Gramineas de corte. Recuperado el 15 de septiembre de 2015, de <http://ftp.fao.org>

Darlington, W. (2010). A Guide for Evaluating and Using Compost Materials as Soil Amendments. Soil & Plant Laboratory, United State:Orange office

Division de bienestar universitario. (2009). Guia de manejo de residuos orgánicos en comedores y cafeteria. 2015, de Universidad Industrial de Santander Sitio web: https://www.uis.edu.co/intranet/calidad/documentos/bienestar_estudiantil/guias/GB E.63.pdf

Guo, R., Li, G., Jiang, T., Schuchardt, F., Chen, T., Zhao, Y., Shen, Y. (2011). Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. Center for Environmental Remediation, China,Elsevier LTDA.

Haug, R.T. 1993. The Practical Handbook of Compost Engineering. Lewis Publishers. Boca Raton. Florida.

Hernández, L.B., Gaitán, C.A. (2014). Evaluación de la calidad fisicoquímica de los residuos orgánicos de rápida degradación generados en el campus universitario como potencial materia prima del proceso de compostaje. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia

Hrad, M., Binner, E., Piringer, M., Huber-Humer, M. (2014). Quantification of methane emissions from full-scale open windrow composting of biowaste using an inverse dispersion technique. United State: Elsevier Ltd.

Johri, N., Prakash, A., Satyanarana, T. (1991). Microorganisms in Sustainable Agriculture and Biotechnology. United State: Springer

Márquez, P.B, Díaz, M.J., Cabrera, F. (2008). Compostaje, Factores que afecta al proceso de compostaje (pp 93-109). Sevilla, España: Grupo mundi-prensa

Lizcano, C., Arnold, J., Tato, A., Zaller, J.G., Domínguez, J.. (2008). Compost and vermicompost as nursery pot components: effects on tomato plant growth and morphology. España: Uvigo.

McCarthy, A., Williams, S. (2003). Actinomycetes as agents of biodegradation in the environment. University of Liverpool - Liverpool, Inglaterra.

Miyatake F. 2006. Effect of compost temperature on oxygen uptake rate, specific growth rate and enzymatic activity of microorganisms in dairy cattle manure. Biores. Technol.,

Montserrat Soliva, Margara Lopez. (Noviembre de 2004). Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Escuela Superior de Agricultura de Barcelona, 1, 1.

Mufarrege. D. (2004). El potasio en la ganadería de la región nea. Recuperado el 17 de septiembre de 2015, de <http://www.produccion-animal.com.ar/>

Osorio, A.M. (2012). Evaluación del pasto estrella (*Cynodon plectostachyus*) como material de soporte en el compostaje de biorresiduos de origen municipal en versalles – valle del cauca, Universidad del Valle, Santiago de Cali, Colombia.

Oviedo, O., Torres, M.D., Rebellon, L.M., Ortiz, A.O., Lozada, P.T. (2013). Influencia de la incorporación de pasto estrella como material de soporte (*Cynodon Plectostachyus*) en el compostaje de biorresiduos de origen municipal. Valle del cauca, Colombia.

Oviedo, O., Marmolejo, L., Torres, P. (2013). Influencia de la frecuencia de volteo para el control de la humedad de los sustratos en el compostaje de biorresiduos

de origen municipal. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. Distrito federal, México.

Pérez, A.L., Delgada, G., Parraga, J., Delgado, R., Almendros, G., Aranda, V. (2010). Evolution of organic matter fractions after application of co-compost of sewage sludge with pruning waste to four Mediterranean agricultural soils. A soil microcosm experiment. Universidad de Granada, España.

Romero, A.S. (2006). Elaboración, caracterización, y comparación de abonos orgánicos a base de equinaza y bovinaza. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

SAG- Servicio Agrícola y Ganadero. (2004). Compost clasificación y requisitos. Recuperado el 12 de septiembre de 2015, de <http://www.sinia.cl/>

Salinas. (2006). Manual de Compostaje Municipal. México.

Sánchez, A., Gabarrell, X., Artola, A., Barrena, R., Colón, Joan., Font, X., Komilis, D. (2015). Resource recovery to approach zero municipal waste. United States, New York: CRC press.

Sztern, D., Pravia, M. (1999). Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. Oficina de planeamiento y presupuesto, Unidad de desarrollo municipal, Presidencia de la república de Uruguay. Organización Panamericana de la Salud (OPS), Organización Mundial de la Salud (OMS).

Sundberg, C., Franke, I., Kauppi, S., Smars, S., Insam, H., Jonsson, H., Romantschuk, M. (2012). Effects of pH and microbial composition on odour in food waste composting. Lahti, Finlandia.

Sundberg, C., Smars, S., Jonsson, H. (2004). Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. Uppsala, Suecia.



Torres, P., Perez, A., Escobar, J., Uribe, I., Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Valle del cauca, Colombia.

Universidad Nacional de Salta. (2015). Manual de microbiología de los alimentos. Recuperado el 30 de septiembre de 2015, de <http://unsa.edu.ar>

Varnero, M.T., Rojas, C., Orellana, R. (2007). Índices de fitotoxicidad en residuos orgánicos Durante el compostaje. Santiago, Chile.

ANEXOS

Anexo A. Análisis físico-químico inicial

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALÍTICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 1 de 3	



Acreditado por el IDEAM según la Resolución No. 2111 de 2015, en los parámetros pH, DBO₅, DQO, SST, Sólidos, SPM, arena y cenizas en aguas, metales totales y disueltos en aguas, metales totales en suelos y toma de muestras puntuales y compuestas





Autorización del Ministerio de la Protección Social mediante la resolución 5534 de 2010, para la realización de análisis físicos, químicos y microbiológicos al agua para consumo humano

Informe de resultados No.	I-15-280-01	Fecha de emisión:	Julio 07 de 2015
Cliente:	RICARDO OVIEDO OCAÑA		
Dirección del cliente:	Escuela Ingeniería CIVIL - UIS		
Solicitud de servicio No.	15-248	No. de muestras:	03
Fecha de recepción de las muestras:	Junio 18 de 2015		
Muestras recibidas por:	Amparo López		
Fecha de análisis:	Junio 18 de 2015 – Julio 07 de 2015		

1. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	15-248-01	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	Muestra 1. Residuos Recientes corte de césped y hojas de árboles		
Matriz de la muestra:	Residuos vegetales		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	UIS / Planta Física		
Fecha del muestreo:	Junio 18 de 2015		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH Unidades de pH)	6,01	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	25,44	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable (%C)	24,12	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N _T)	1,62	Titrimétrico -Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	10,42	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio (%K ₂ O)	3,32	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P ₂ O ₅)	0,28	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (mS/cm)	3,67	Conductivimétrico/NTC 5167

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 2 de 3	

Informe de resultados No. 1-15-280-01 Solicitud de servicio No. 15-248

2. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	15-248-02	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	Muestra 2. Residuos Alimentos Crudos		
Matriz de la muestra:	Residuos vegetales		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	UIS / Planta Física		
Fecha del muestreo:	Junio 18 de 2015		



PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	4,38	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	88,35	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable (%C)	38,73	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N _T)	1,56	Titrímtrico -Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	6,35	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio(%K ₂ O)	4,86	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P ₂ O ₅)	0,26	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (mS/cm)	9,60	Conductivimétrico/NTC 5167

3. ANALISIS FISICOQUIMICO

Codificación de la Muestra:	15-248-03	Tipo de muestra:	Compuesta
Identificación de la muestra:	Muestra 3. Residuos Césped y Alimentos Crudos		
Matriz de la muestra:	Residuos vegetales		
Muestreo realizado por:	El Cliente		
Lugar y punto de muestreo:	UIS / Planta Física		
Fecha del muestreo:	Junio 18 de 2015		

PARÁMETRO	RESULTADO	MÉTODO/ NORMA
pH (Unidades de pH)	4,41	Potenciométrico/NTC 5167
Humedad (%)	74,33	Gravimétrico/NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable (%C)	25,10	Espectrofotométrico/NTC 5167
Nitrógeno Total (%N _T)	1,25	Titrímtrico -Kjeldahl/NTC 370
Cenizas (%)	14,64	Gravimétrico/NTC 5167
Potasio (%K ₂ O)	2,50	Absorción Atómica/NTC 5167
Fósforo Total (%P ₂ O ₅)	0,39	Espectrofotométrico/NTC 5167
Conductividad (mS/cm)	3,64	Conductivimétrico/NTC 5167

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
 Conmutador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
 Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/oci/> E-mail: labquimico@gmail.com;
labquimico@uis.edu.co
 Bucaramanga - Colombia

	LABORATORIO QUÍMICO DE CONSULTAS INDUSTRIALES	Código: F-PA-02	
	POST-ANALITICO	Versión: 05	
	INFORME DE RESULTADOS	Fecha: 2012/01/16 Página 3 de 3	

Informe de resultados No. 1-15-280-01 Solicitud de servicio No. 15-248

Observaciones: Ninguna

Nota 1: Estos resultados son válidos únicamente para las muestras analizadas y reportadas por el laboratorio.

Nota 2: En caso de ser copia del resultado original se realizará la siguiente aclaración: Copia del resultado original.

Estimado cliente: Para nosotros es muy importante conocer sus inquietudes, sugerencias, felicitaciones, quejas y/o reclamos en los servicios prestados por el laboratorio, con el propósito de mejorar nuestros servicios. Le agradecemos que se comunique con el laboratorio, donde un miembro del personal amablemente recibirá su solicitud y pronto estaremos en comunicación con usted para aclarar y/o resolver su requerimiento.

Revisó y aprobó:



Luz Yolanda Vargas Flallo
Directora del Laboratorio
Química, M.Sc Química UIS
MP PQ 1144

Bobad: Anselmo López Guerrero

Ciudad Universitaria Carrera 27 Calle 9 – Edificio Camilo Torres/ Laboratorio 222
Commutador: (7) 6344000 Ext. 2465. Telefax: (7) 6349009
Página web: <http://ciencias.uis.edu.co/lqci/> E-mail: labquimco@gmail.com
labquimco@uis.edu.co
Bucaramanga - Colombia

Anexo B. Propuesta dimensión planta de compostaje

