

**COMPOSTAJE DEL BUCHÓN DE AGUA COMO ALTERNATIVA  
DE GESTION. PRIMEROS RESULTADOS.**



**TESIS DE GRADO PARA OPTAR AL TITULO DE MAGÍSTER EN  
INGENIERÍA CIVIL**

**POR: ING. LUIS OLMEDO CRUZ FARAK**

**ASESOR:  
DR. MANUEL S. RODRIGUEZ SUSA**

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
MAGÍSTER EN INGENIERÍA CIVIL  
BOGOTÁ D.C. FEBRERO DE 2006**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi asesor el Ing. Manuel Salvador Rodríguez, por su colaboración.*

*A mi asesora externa la Ing. Edna Lorena Delgado, por su interés y apoyo.*

*Al personal del CIIA y CIMOC por su total colaboración en las instalaciones del CITEC.*

## TABLA DE CONTENIDO

<b>AGRADECIMIENTOS.....</b>	<b>2</b>
<b>TABLA DE CONTENIDO .....</b>	<b>3</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>7</b>
<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
OBJETIVO GENERAL.....	10
<i>OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....</i>	<i>10</i>
<b>CAPITULO 1. MARCO CONCEPTUAL .....</b>	<b>11</b>
1.1 COMPOSTAJE .....	11
1.2 SISTEMAS DE COMPOSTAJE.....	11
1.2.1 <i>Pilas estáticas con aireación forzada.....</i>	<i>11</i>
1.2.2 <i>Windrows.....</i>	<i>12</i>
1.2.3 <i>Pilas Pasivas.....</i>	<i>12</i>
1.2.4 <i>Reactores ( In Vessel).....</i>	<i>13</i>
1.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	13
1.3.1 <i>Temperatura.....</i>	<i>13</i>
1.3.2 <i>Humedad.....</i>	<i>14</i>
1.3.3 <i>Relación Carbono/Nitrógeno.....</i>	<i>15</i>
1.3.4 <i>pH.....</i>	<i>15</i>
1.3.5 <i>Tamaño de partícula.....</i>	<i>16</i>
1.3.6 <i>Oxígeno y aeración.....</i>	<i>16</i>
1.4 BUCHÓN DE AGUA (ECHORNIA CRASSIPES).....	16
1.4.1 <i>Antecedentes de compostaje del buchón de agua.....</i>	<i>17</i>
<b>CAPITULO 2. MONTAJE Y METODOLOGIA .....</b>	<b>19</b>
2.1 MONTAJE.....	19
2.2 CONFIGURACIÓN DE LAS PILAS .....	21
2.3 LOCALIZACIÓN Y REGISTRO DE TEMPERATURAS .....	23
2.4 REQUERIMIENTOS DE OXÍGENO Y TASAS DE AIREACIÓN.....	24
2.6 TOMA DE MUESTRAS.....	27
2.7 ANÁLISIS DE LABORATORIO .....	27
2.7.1 <i>Humedad.....</i>	<i>27</i>
2.7.2 <i>Sólidos Volátiles.....</i>	<i>27</i>
2.7.3 <i>Carbono orgánico.....</i>	<i>28</i>
2.7.4 <i>Nitrógeno.....</i>	<i>28</i>
2.7.5 <i>pH.....</i>	<i>28</i>
2.7.6 <i>Respirometrías.....</i>	<i>28</i>
2.7.7 <i>Metales.....</i>	<i>29</i>
<b>CAPITULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....</b>	<b>30</b>
3.1 PRIMERA CORRIDA .....	30
3.1.1 <i>Humedades y material abultante.....</i>	<i>30</i>

3.1.2 Temperatura.....	32
3.1.3 Relación C:N.....	34
3.1.4 pH.....	37
3.1.5 Respirometrías y producción de CO <sub>2</sub> .....	38
3.2 SEGUNDA CORRIDA.....	39
3.2.1 Humedades y material abultante.....	39
3.2.2 Temperaturas.....	41
3.2.3 Relación C: N.....	43
3.2.4 pH.....	45
3.2.5 Respirometrías y producción de CO <sub>2</sub> .....	46
3.2.6 Actividad biológica (% de producción de CO <sub>2</sub> ) comparada con los demás parámetros del compostaje.....	46
<b>CAPITULO 4. CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO .....</b>	<b>49</b>
4.1 COMPARACIÓN CON LAS NORMAS TÉCNICAS COLOMBIANAS.....	49
4.1.1 Primera corrida.....	49
4.1.2 Segunda corrida.....	50
<b>CAPITULO 5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>53</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Desarrollo de las temperaturas durante el compostaje. ....	14
Figura 2. Esquema del montaje de las pilas para la primera corrida.....	19
Figura 3. Invernadero para proteger las pilas del ambiente.....	20
Figura 4. Esquema del montaje de las pilas para la segunda corrida.....	20
Figura 5. Camas de material abultante sobre las tuberías.....	22
Figura 6. Pilas montadas con sus respectivos abultantes y sensores.....	22
Figura 7. Localización de RTD en la pila de madera, buchón y pasto (MBP) de la segunda corrida.....	23
Figura 8. Analizador de gases infrarrojo marca Geotechnical Instruments.....	29
Figura 9. Humedades de las pilas durante la primera corrida con respecto al tiempo de compostaje. ....	30
Figura 10. Temperaturas de la pila de buchón durante el tiempo de análisis.....	32
Figura 11. Temperaturas de la pila de madera y buchón durante el tiempo de análisis.....	33
Figura 12. Temperaturas de la pila de caucho y buchón durante el tiempo de análisis.....	34
Figura 13. Comportamiento de la relación C:N durante el tiempo de compostaje para la primera corrida.....	35
Figura 14. Comportamiento del pH de las pilas durante la primera corrida.....	37
Figura 15. Respirometrías de la pila MB durante las semanas 1 y 4., primera corrida.....	38
Figura 16. Respirometrías de la pila CB durante las semanas 1 y 4., primera corrida.....	39
Figura 17. Respirometrías de la pila B durante las semanas 1 y 4., primera corrida.....	39
Figura 18. Humedades de las pilas durante la primera corrida con respecto al tiempo de compostaje.....	40
Figura 19. Temperaturas de la pila de madera, pasto y buchón durante el tiempo de análisis.....	42
Figura 20. Temperaturas de la pila de caucho, pasto y buchón durante el tiempo de análisis.....	43
Figura 21. Comportamiento de la relación C:N durante el tiempo de compostaje para la segunda corrida.....	44
Figura 22. Comportamiento del pH de las pilas durante la segunda corrida.....	45
Figura 23. Respirometrías de la pila MBP durante las semanas 3 y 4., segunda corrida.....	46
Figura 24. Producción de CO <sub>2</sub> , Δ %CO <sub>2</sub> /(g SV x t) durante el tiempo de compostaje (días).....	47
Figura 25. Actividad biológica Δ %CO <sub>2</sub> / (g SV x t) con respecto a la humedad de las pilas durante la segunda corrida.....	47

Figura 26. Actividad biológica $\Delta \%CO_2/ (g SV \times t)$ con respecto a la relación C:N de las pilas durante la segunda corrida.....	48
Figura 27. Actividad biológica $\Delta \%CO_2/ (g SV \times t)$ con respecto al desarrollo de las temperaturas de las pilas durante la segunda corrida.....	48

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Localización de RTD dentro de las pilas de la primera y segunda corrida.....	23
Tabla 2. Tasas de aireación durante la primera corrida. ....	25
Tabla 3. Tasas de aireación durante la primera corrida. ....	26
Tabla 4. Porcentajes de carbono y nitrógeno de las pilas de la primera corrida. ....	36
Tabla 5. Porcentajes de carbono y nitrógeno de las pilas de la segunda corrida. ....	45
Tabla 6. Características del compost final de la primera corrida. ....	49
Tabla 7. Características del compost final de la segunda corrida.....	50

## INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas presentados en los cuerpos de agua de Colombia es su contaminación de forma natural y antropogénica que se ve traducido en el aumento de aquellas plantas acuáticas, consideradas como malezas debido a su acelerada proliferación; dentro de estas macrófitas tenemos el buchón de agua que es el generador principal de diversos problemas como la obstrucción de las vías acuáticas, imposibilitando la navegación; el rompimiento de las cadenas tróficas y por ende la descompensación de los ecosistemas acuáticos.

Esta problemática se desarrolla más que toda en aquellas zonas tropicales en las que se encuentran cuerpos de agua eutrofizados que son sinónimo de contaminación ambiental; sumado a esto, la poca disponibilidad presupuestal del país para la solución de problemas ambientales ha traído consigo la necesidad de investigación con el fin de que se pueda alcanzar un desarrollo sostenible a costos razonables, viéndonos obligados a la implementación de nuevas alternativas de gestión ambiental en cuanto al manejo del buchón de agua. Una de ellas es a través de la utilización de éste, como un sustrato húmedo, el cual puede tener una transformación a un producto más estable y aprovechable a través del sistema de compostaje.

En este estudio se trabajó con buchón de agua del Embalse del Muña, el cual recibe las aguas del río Bogotá con un alto grado de contaminación orgánica e industrial de la capital del país que se transfieren al embalse, el cual se encuentra cubierto por este en un alto porcentaje.



La comunidad del Municipio de Sibaté (Cundinamarca) es la zona mas afectada debido a su estrecha cercanía al embalse, lo que se ha convertido en un gran problema para los moradores de esta población que se ven afectados por los constantes olores desagradables despedidos por el embalse debido a la falta de oxigenación de sus aguas por estar cubierto de buchón de agua.

Actualmente la empresa Emgesa S.A esta retirando el buchón de una forma mecánica y amontonándolo en pilas en los alrededores del embalse pero con la problemática que implica el manejo de este y los interrogantes que se buscan resolver con respecto al manejo posterior de este como una alternativa de saneamiento ambiental contemplada.

## **OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar la viabilidad técnica del proceso de compostaje del buchón de agua bajo ciertos escenarios como una alternativa de gestión.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Evaluar la incidencia de la madera como agente abultante en el proceso de compostaje del buchón de agua.
- Estudiar la influencia del caucho como material abultante durante el proceso de compostaje del buchón de agua.
- Evaluar los parámetros inherentes al proceso de compostaje como: temperaturas de operación, humedad, relación carbono nitrógeno, pH y producción de CO<sub>2</sub>.

## CAPITULO 1. MARCO CONCEPTUAL

---

### 1.1 Compostaje

El compostaje es la descomposición y estabilización biológica de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permiten el desarrollo de temperaturas termofílicas como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable, libre de patógenos, malezas y que puede ser aplicable a la tierra<sup>1</sup>.

Una vez se ha aglomerado el sustrato a compostar se da inicio a la degradación de la materia orgánica fresca, que por causa de la acción oxidativa de los microorganismos aerobios incrementa la temperatura (Peigne, 2002), y se da una eliminación de patógenos, obteniéndose humus con condiciones estables.

### 1.2 Sistemas de compostaje

El proceso de compostaje se puede llevar a cabo utilizando diferentes métodos como las pilas estáticas aireadas, windrows, pilas pasivas y reactores o in vessel.

#### *1.2.1 Pilas estáticas con aireación forzada*

Son pilas de sustrato establecidas sobre tuberías con perforaciones a lo largo de estas, las cuales están conectadas a un ventilador o blower, con el fin de suministrar oxígeno a la pila de forma positiva a través de la descarga, o negativamente con succión. Estas pilas permanecen estáticas durante la mayoría de tiempo del proceso y para esto es indispensable que estas reposen sobre una cama de material abultante que cubran las

---

<sup>1</sup> Haug, Roger T. THE PRACTICAL HANDBOOK OF COMPOST ENGINEERING. Capítulo 1, Pág. 1.

tuberías de aireación con el fin de evitar un taponamiento de los orificios y además que estas estén mezcladas con un agente abultante que cree suficientes espacios para que el aire fluya a través de esta.

Las temperaturas que se generan en las pilas son difíciles de controlar, por tal motivo esta alternativa de compostaje esta acompañada de unos sensores algunas veces, con el fin de controlar las temperaturas a través del encendido del blower produciendo enfriamiento en la pila. Este sistema es muy recomendado para sustratos húmedos que estén acompañados de un agente abultante que brinde soporte a la pila y además genere los suficientes espacios para que el aire fluya a través de esta.

### ***1.2.2 Windrows***

Las windrows son aquellas pilas que tienen una forma alargada como una fila y que para mantener las condiciones de oxigenación son volteadas periódicamente a través de maquinas especiales para esta tarea. La selección de la maquinaria para voltear las pilas depende principalmente de las dimensiones de las pilas y de la geometría de estas. La oxigenación obedece principalmente a la aireación natural y a los constantes volteos que permiten un intercambio de gases dentro de la pila.

### ***1.2.3 Pilas Pasivas***

Las pilas pasivas son utilizadas más que todo para materiales no tan húmedos y que posean un tamaño de partícula uniforme que permita el paso del aire a través del sustrato de una forma natural. Estas pilas son sometidas a volteos manuales con el fin de oxigenar las partes interiores de las pilas, contrarrestar cualquier calentamiento por encima de lo normal y controlar la humedad.

### ***1.2.4 Reactores ( In Vessel)***

Los reactores son sistemas cerrados en los cuales se lleva a cabo el proceso de compostaje asegurándose que suceda una buena mezcla del sustrato y oxigenación de este. Este sistema puede tener forma de tambor rotatorio o de tanque dependiendo de la necesidad.

## **1.3 Factores que intervienen el proceso de compostaje**

Es un proceso que depende de unos rangos óptimos de humedad y suministro de oxígeno para lograr su desarrollo y de otros parámetros como humedad, temperatura, relación carbono /nitrógeno, pH, tamaño de partícula y suministro de oxígeno.

### ***1.3.1 Temperatura***

Es el factor mas critico del compostaje debido a que a través de esta se puede determinar la acción de los microorganismos, la necesidad de aireación del proceso y la etapa en la cual se encuentra el proceso de compostaje.

La temperatura del proceso se genera como producto de la actividad microbiológica que genera energía en forma de calor, siendo esta disipada a través de la evaporación del agua. La temperatura tiende a elevarse durante los primeros días de compostaje y posteriormente esta disminuye como producto de la poca disponibilidad del carbono de la pila que ya ha sido consumido.

El proceso de compostaje obedece a ciertas etapas dentro de las que se tiene una etapa inicial denominada mesofílica, en la que se dan temperaturas desde los 25° C hasta los 45°C, proliferándose aquellos organismos mesofílicos que utilizan el oxígeno disponible para luego transformar el carbono disponible del sustrato y convertirlo en energía para sus funciones de movimiento y generar CO<sub>2</sub>. Posteriormente se libera tanto calor que se llega a los 45°C y estos microorganismos cesan su acción y se accionan los

microorganismos termofílicos, que generan todavía más calor que los mesofílicos como producto de su actividad biológica. Esta temperatura llega hasta los 66°C permitiendo la eliminación dentro del sustrato de patógenos, malezas y semillas indeseables que contaminan el sustrato (ver fig. 1). Los microorganismos termofílicos degradan la materia orgánica hasta el punto de que los nutrientes disminuyen cesando la actividad de estos y disminuyendo posteriormente la temperatura. Esta empieza a experimentar una baja y la comunidad mesofílica vuelve a actuar, degradando la materia orgánica de una forma más lenta hasta alcanzar la temperatura ambiente, en la que posteriormente se deja reposar el sustrato, denominándose esta, etapa de maduración y el producto final compost<sup>2</sup>.

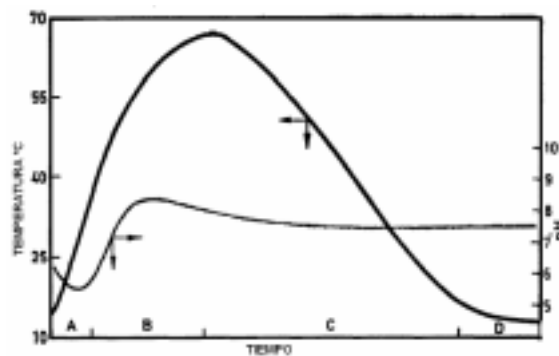


Figura 1. Desarrollo de las temperaturas durante el compostaje.

Fuente: The Art and Science of Composting. A resource for farmers and compost producers.

### ***1.3.2 Humedad***

Es la base para que se den los procesos microbiológicos ya que gracias al agua se pueden dar las diferentes reacciones químicas que se desarrollan durante el proceso, se da el transporte de nutrientes y se pueden trasladar los microorganismos de un lugar a otro.

<sup>2</sup> U.S. Environmental Protection Agency. Office of Solid Waste and Emergency Response Composting of yard Trimmings and Municipal solid Waste.

El rango óptimo de humedad para que se pueda dar el compostaje aerobio de una forma rápida se encuentra entre el 40 y 65% según Rynk (1992). Bajos porcentajes de humedad pueden generar que los nutrientes no sean tan fácilmente asimilables por los microorganismos y altos porcentajes de contenido de humedad pueden generar poco fluido de aire a través de la pila y generar zonas anaerobias que pueden trastornar el proceso.

### ***1.3.3 Relación Carbono/Nitrógeno***

El carbono es el elemento principal para que los microorganismos puedan a través de la asimilación de él tener energía para sus procesos metabólicos y crecer; por otro lado, el nitrógeno se encuentra en los aminoácidos, enzimas, coenzimas y resinas, indispensables también para el crecimiento celular.

La relación óptima para que se de un proceso de compostaje se encuentra entre 20 y 40 partes de carbono con respecto a una parte de nitrógeno según Cooperband (2002); por otro lado Hoornweg y colaboradores (1999) establecieron que una relación óptima puede estar entre 20 y 25 para un proceso de compostaje en general. Cuando existen relaciones C:N muy altas se puede dar una degradación de la materia orgánica lenta y una baja de nitrógeno de una forma gradual; pero cuando las relaciones C:N son bajas se puede generar una degradación de la materia orgánica rápida que puede generar pérdidas de nitrógeno a través de la volatilización del nitrógeno en forma de amoníaco.

### ***1.3.4 pH***

Este parámetro es muy variable debido a la cantidad de microorganismos que se pueden generar durante el proceso, sin embargo el rango preferido para que se pueda dar, está entre 6 y 8, el compostaje se desarrolla mas que todo con valores de pH cercanos al neutro. Las fluctuaciones en el pH son como resultado de la formación de ácidos orgánicos y de la producción de amoníaco; pero si durante el compostaje y al final del

proceso el pH no está en un rango cercano al neutro y se encuentra en un rango muy ácido, significa que el producto final todavía está inmaduro.

### ***1.3.5 Tamaño de partícula***

Si el sustrato está compuesto por pedazos pequeños, los microorganismos tienen una mayor área de contacto y pueden degradar más rápidamente la materia orgánica, menores a 2.5 cm, pero hay que tener cuidado ya que si se utilizan pedazos muy pequeños, estos pueden aglomerarse demasiado y obstruir el paso del aire a través de los intersticios. Sin embargo para sustratos con tamaños de partículas más grandes, el proceso se llevará a cabo durante mucho más tiempo, porque para la comunidad microbiana es más difícil degradar tamaños de sustrato grandes.

### ***1.3.6 Oxígeno y aeración***

El proceso de compostaje aerobio consume grandes cantidades de oxígeno durante las primeras etapas, en las cuales se dan los procesos de metabolización de carbono y se genera calor. Una vez que hay falla en el suministro de aire, el sistema puede volverse anaerobio dando lugar a nuevos microorganismos y cambiando las características del proceso. Dentro del sustrato a comportar se garantiza como mínimo una concentración del 5% de oxígeno para suplir las necesidades aeróbicas, teniendo en cuenta que el aire contiene un 21% de oxígeno.

## **1.4 Buchón de Agua (*Echornia Crassipes*)**

El buchón de agua o jacinto de agua de la familia Pontederiaceae es una planta que se desarrolla en cuerpos de agua de zonas tropicales de América del Sur. Es considerada como una maleza debido a su boom de proliferación; y como alternativa de utilización del sustrato que este genera se ha llegado a utilizar para la fabricación de muebles y



papel. Es una macrófita que debido a su alto grado de retención y concentración de metales se ha considerado como un medio para tratamiento de aguas residuales.

#### ***1.4.1 Antecedentes de compostaje del buchón de agua.***

En Vietnam y Tailandia, Nguyen llevo a cabo experimentos sobre el compostaje de buchón con el fin de observar la viabilidad de compostar buchón de agua mezclado con residuo sólido compuesto por materia orgánica compostable y determinar las condiciones óptimas del proceso de compostaje para obtener un ahorro de tiempo y espacio durante el proceso. Se montaron dos pilas, una estatica y la otra con aireación forzada, dando como resultado de estos experimentos que el tiempo requerido para el proceso de compostaje para alcanzar el tiempo de maduración era mas largo para el proceso de compostaje aerobio superficial de las pilas por el método Chino (el cual fue realizado en Vietnam) que el de pilas con aireación forzada (realizado en Tailandia). La relación optima buchón/residuo fue de 4:1 y el tamaño de cultivo bacterial que iba de 0.01% a 0.025% dio casi la misma tasa de aceleración del tiempo de maduración. Finalmente el producto de compost sirvió como acondicionador de suelo debido a la relación N:P:K, que era igual a 2%:1%:2%.

Por otra parte Erazo (1998) realizó un montaje con tres reactores de PVC para llevar a cabo el compostaje aerobio, logrando compostar y observando además que el proceso de compostaje se vio afectado debido a la baja relación de carbono /nitrógeno que presentaba el buchón del embalse del Muña en Cundinamarca (Colombia) y que a menores tamaños de picado de buchón de agua, era más eficiente el proceso de compostaje.

Delgado (1998) presentó un montaje parecido al de Erazo (1998) en el que concluyo que con un tamaño de picado de buchón entre los 1.5 y 2 cm se pudieron alcanzar temperaturas termofílicas, y que a una menor relación de mezcla (abultante: buchón) se

tiene un menor desarrollo de temperaturas termofílicas, presentando temperaturas de 45°C para una relación de mezcla de 1.28 y 48°C para una relación de 0.37.

## CAPITULO 2. MONTAJE Y METODOLOGIA

Durante la realización de la investigación se realizaron dos corridas: la primera corrida con tres pilas que duró 5 semanas de pruebas y análisis, las cuales posteriormente se dejaron en estado de maduración durante 4 semanas más y se evaluó el producto final. Las pilas de esta corrida estaban compuestas una por buchón y madera, buchón y caucho y una con buchón solamente.

La segunda corrida estuvo compuesta por dos pilas, la cual tuvo una duración de 7 semanas de análisis y se dejó también en un estado de maduración de 4 semanas; en esta corrida se montaron las pilas con los mismos agentes abultantes que para la primera corrida pero con la adición de pasto para mejorar la relación carbono/nitrógeno.

### 2.1. Montaje

En la primera corrida se utilizó como sistema de aireación un blower conectado a un ducto rectangular (10cm x 20 cm) de latón del cual se desprendía una tubería de pvc de 4" con tres ramificaciones de 4", sobre las cuales reposaron las pilas de buchón de agua (ver fig. 2).

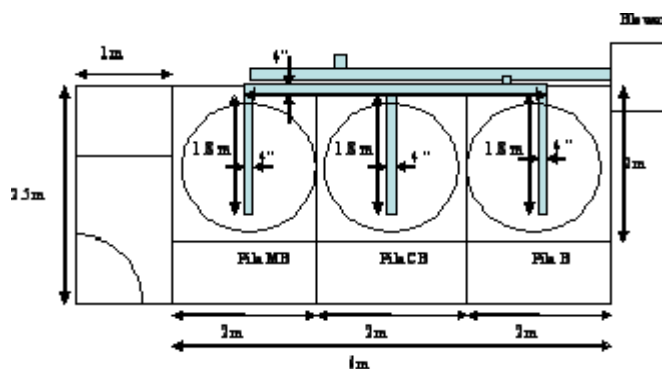


Figura 2. Esquema del montaje de las pilas para la primera corrida.

Cada tubería tenía tres líneas de orificios de 27/64" de diámetro y estaban espaciados cada 10 cm a lo largo de las tuberías (1.8m). El blower era controlado a través de computador por un programa en Labview, que permitía el establecimiento de tiempos de encendido y apagado. Las temperaturas de las pilas eran registradas por unas RTDS conectadas a una tarjeta de adquisición de datos marca National Instruments. Las pilas se encontraban dentro de un invernadero de 2.5 m por 7 m de largo, con un recubrimiento en geotextil y una pendiente del 1% en el suelo, con el fin de evitar que los lixiviados contaminaran zonas aledañas (ver fig. 3)



Figura 3. Invernadero para proteger las pilas del ambiente.

Para la segunda corrida se montaron solo dos pilas para las que se utilizaron dos ramificaciones de 2 metros de longitud, con el mismo diámetro pero cada una conectada directamente al ducto principal e interconectadas entre ellas (ver fig. 4).

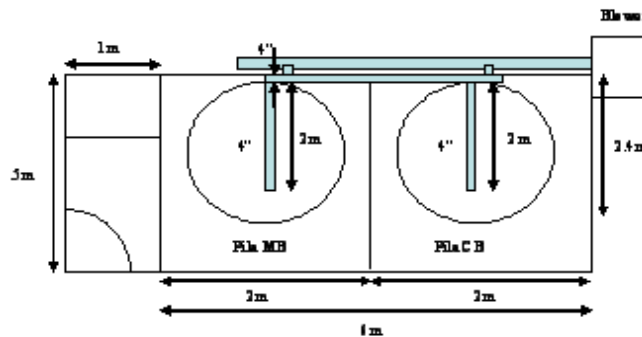


Figura 4. Esquema del montaje de las pilas para la segunda corrida.

## 2.2 Configuración de las pilas

El buchón de agua utilizado en la primera corrida fue extraído del Embalse del Muña localizado en el municipio de Sibaté, en el departamento de Cundinamarca (Colombia). Este fue extraído de la zona sur occidental y presentó una humedad inicial del 92 %, un carbono orgánico de 41.89% y un nitrógeno del 3%.

Para la primera corrida, el buchón de agua se picó manualmente en trozos mayores e iguales a 5 cm. Se utilizaron plantas de diferentes edades, lo cual cambió las características del sustrato de buchón e hizo que se obtuvieran algunas muestras heterogéneas. Una vez picado, se mezcló con pedazos de caucho con tamaños entre 5 y 6 cm para conformar la pila CB, con una relación de mezcla caucho: buchón 1:1, para un volumen total de 1.3 m<sup>3</sup>, reposando sobre una capa de 15 cm de pedazos de caucho que cubría la tubería con el fin de evitar obstrucciones. La otra pila estaba compuesta de buchón de agua y trozos de madera de diferentes tamaños, oscilando estos entre los 5 y 10 cm de longitud con una relación de mezcla madera: buchón de 1:1, y un volumen de 1.3 m<sup>3</sup>; esta yacía sobre una capa de trozos de madera que cubrían la tubería (ver fig. 5).

La tercera pila estaba conformada solamente con buchón y tuvo un volumen de 1.3 m<sup>3</sup> pero esta no reposaba sobre ningún material que recubriera la tubería. Las tres pilas tenían dimensiones de 1 m de alto, 2 m de ancho y 2 m de largo (ver fig.6). Antes de ser mezclado el buchón con los agentes abultantes, se agregó a la mezcla un compost de residuos de clavel en una proporción de 40 kg de compost por 1m<sup>3</sup> de buchón como inóculo de activación del proceso de compostaje.



Figura 5. Camas de material abultante sobre las tuberías.

El buchón utilizado en la segunda corrida provino del mismo sitio que de la primera corrida , pero presentó características diferentes lo que pudo ser debido la edad de las plantas utilizadas para esta corrida, ya que se presentaron niveles de carbono orgánico del 48.03% , de nitrógeno del 2.4% y una humedad del 88 %.

A diferencia de la primera corrida, en ésta, solamente se montaron dos pilas: una de madera mezclada con buchón y pasto, con una relación volumétrica 4.5: 2: 1 respectivamente, con dimensiones de 1.45 m de alto, 2.4 m de ancho y 2.4 m de largo, para un volumen total de 3 m<sup>3</sup> .La otra pila estaba compuesta con la misma relación volumétrica 4.5: 2: 1 para caucho, buchón y pasto respectivamente, pero con un volumen de 2.25 m<sup>3</sup> (1.17 m de alto, 2.4 m de ancho y 2.4 m de largo) (ver fig. 6).



Figura 6. Pilas montadas con sus respectivos abultantes y sensores.

El tamaño de los pedazos de buchón en esta ocasión fueron menores de 2.5 cm., para que pudiera existir mayor área disponible para la degradación generada por los microorganismos aerobios presentes en el proceso.

### 2.3 Localización y registro de temperaturas

Los sensores de temperatura estaban distribuidos de tal forma que se pudiera abarcar toda la pila (ver tabla 1); estos registraban las temperaturas cada 10 minutos durante todo el día.(ver fig.7)

Primera corrida					
RTD	Pila	Longitud	Loc. Vertical	Loc. Horizontal	Cara Pila
		cm	m	m	
1	B	50	-	0.5	1
2	B	100	1	-	CENTRO
3	B	25	-	0.4	2
4	MB	25	-	0.5	1
5	MB	50	-	0.75	2
6	MB	75	-	0.25	4
7	CB	50	-	0.5	1
8	CB	100	1	-	CENTRO
Segunda corrida					
1	MBP	25	-	0.4	3
2	MBP	50	-	0.6	4
3	MBP	75	-	0.4	2
4	MBP	100	1.2	-	CENTRO
5	CBP	25	-	0.4	1
6	CBP	50	-	0.4	2
7	CBP	75	-	0.4	4
8	CBP	100	1.2	-	CENTRO

Nota: La localización vertical es medida desde el principio de la pila.

La localización horizontal es medida desde el suelo.

Las caras de las pilas se enumeran en sentido horario empezando por la cara en la cual se incrusta la tubería de aireación.

Tabla 1. Localización de RTD dentro de las pilas de la primera y segunda corrida.

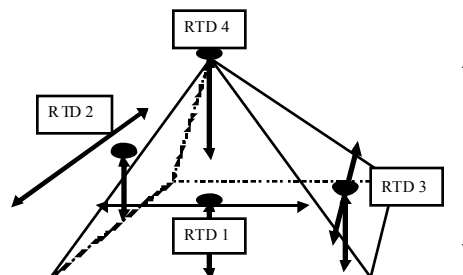
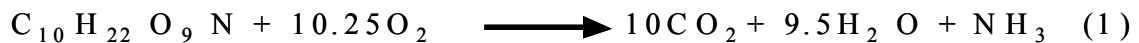


Figura 7. Localización de RTD en la pila de madera, buchón y pasto (MBP) de la segunda corrida.

## 2.4 Requerimientos de oxígeno y tasas de aireación.

La aireación juega un papel importante en el comportamiento de las temperaturas de las pilas de compostaje. Para ajustar la tasa de aireación fue indispensable utilizar una sonda para medir la velocidad del aire, la humedad relativa y la temperatura del aire dentro del ducto principal y de las tuberías. En el ducto principal se abrió un orificio para que pudiera introducirse la sonda y registrar la temperatura del aire. Al principio de cada tubería se colocó una compuerta para controlar el paso del aire a través de cada tubo, la medición de la velocidad del aire se realizó en unos orificios hechos después de las compuertas con el fin de obtener la velocidad neta dentro del tubo. Los orificios fueron tapados con tapones de caucho, para tener acceso a medidas posteriores. La tasa de aireación para la primera corrida se determinó partiendo de la composición elemental del buchón de agua:  $C_{10} H_{22} O_9 N$  (Calculado a partir de ensayos de laboratorio). Partiendo de esta, se procedió a determinar la demanda carbonácea de oxígeno obedeciendo la siguiente reacción:



La demanda estequiométrica de oxígeno fue de 1.09 g  $O_2$  / g de buchón, obteniéndose como resultado un requerimiento de 4.7 g Aire/ g de buchón. Asumiendo que se iba a tener esta cantidad a una tasa constante sobre 30 días de compostaje (Haug, 1993), se tuvo una tasa de aireación de  $5.44 \times 10^{-6} m^3$  Aire/ g de buchón x h; lo cual nos indica que se necesitaron 0.87  $m^3$  de Aire/ $m^3$  de buchón x h. En la segunda corrida se agregó pasto para lograr una relación carbono/nitrógeno óptima; la tasa de aireación requerida para degradar el buchón y el pasto fue de 0.99  $m^3$  de aire/  $m^3$  de mezcla x h, sumando ambos requerimientos por separado y utilizando la composición elemental para el pasto (Haug, 1993) junto con la expresión anterior (1):



En resumen, para satisfacer la cantidad de buchón para la pila que tenía caucho y buchón de la primera corrida fueron indispensables tener 0.65 $m^3$  de Aire/hora, al igual que para



la pila de madera, ya que solamente la mitad del volumen de la pila era buchón para degradar. Pero para la pila de buchón solo, fueron necesarios 1.13m<sup>3</sup> de Aire/hora (ver tabla 2)

	<b>Tubo</b>	<b>Velocidad</b>	<b>Caudal</b>	<b>Pila</b>	
		<b>m/h</b>	<b>m/h</b>		
	<b>1</b>	<b>13.58</b>	<b>0.11</b>	<b>B</b>	
	<b>2</b>	<b>11.47</b>	<b>0.09</b>	<b>CB</b>	
	<b>3</b>	<b>10.09</b>	<b>0.08</b>	<b>MB</b>	
<b>Tiempo</b>	<b>Tasa aireacion</b>		<b>Pila B</b>	<b>Pila CB</b>	<b>Pila MB</b>
	<b>ON</b>	<b>OFF</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>	<b>m<sup>3</sup>/h</b>
Semana 1	5	55	0.21	0.18	0.16
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 1	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 2	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 3	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 4	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63
Semana 5	20	30	0.85	0.72	0.63

Tabla 2. Tasas de aireación durante la primera corrida.



## **2.6 Toma de muestras**

Las muestras se tomaron semanalmente de la parte central de las pilas y cada vez que se hacia esto era indispensable retirar la parte superior de las pilas para tomar las muestras de la parte que no estuviera afectada por las temperaturas externas. Se les analizó nitrógeno total; sólidos volátiles para determinar el carbono orgánico, pH, humedades y respirometrías, acorde con los Standards Methods. Las muestras se secaban a 103° C con el fin de trabajar en base seca los demás parámetros y para lograr la determinación de la humedad de ellas. Posteriormente estas se licuaban y se maceraban hasta obtener una muestra con apariencia de polvillo de color marrón.

## **2.7 Análisis de laboratorio**

### ***2.7.1 Humedad***

La humedad se determino tomando el peso inicial de la muestra sometiéndola a un proceso de secado a 103° C durante 24 horas. Una vez seca se tomaba el peso de la muestra seca. La diferencia entre el peso humedo o inicial y el peso seco dividido entre el peso inicial multiplicado por cien era el porcentaje de humedad de la muestra.

### ***2.7.2 Sólidos Volátiles***

Estos se obtuvieron determinándole la humedad a una parte de la muestra siguiendo el protocolo anterior y en unas capsulas se introducían en una mufla a 500 ° C durante veinte minutos. Una vez enfriada la capsula en un desecador para estabilizar su peso, esta era pesada. La diferencia entre el peso seco de la muestra depuse de haberla sometido a 103°C y el peso después de haberla sometida a 500° C dividido entre el peso después de los 103°C multiplicada por cien nos daba como resultado el porcentaje de sólidos volátiles de la muestra.

### ***2.7.3 Carbono orgánico***

Este parámetro se obtuvo de una forma indirecta ya que se utilizaba el porcentaje de sólidos volátiles y se dividía entre 2, y se obtenía carbono orgánico en porcentaje.

### ***2.7.4 Nitrógeno***

Este se determinó utilizando el método Kjeldahl. Se pesaban 0.5 gramos de muestra y se introducían en un tubo digestor, a este se le agregaban 20 ml de ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y sulfato de cobre, estos dos últimos como catalizadores para acelerar la digestión, ya que los tubos se colocaban en un digestor. La muestra después de 2 horas y media en el digestor y después de una hora de reposo se diluía hasta completar los 100 ml. Se sacaban de la delusión 20 ml, se les adicionaba 12 ml de NaOH y se sometía a destilación. El producto que se destilaba llegaba a un recipiente de 100 ml que contenía 20 ml de una solución indicadora de ácido bórico de color morado hasta completar los 100 ml con un color verdoso. El producto final de la destilación se titulaba con ácido sulfúrico con una determinada normalidad.

### ***2.7.5 pH***

El pH se determinó pesando muestra de buchón y adicionándole agua destilada conservando una relación de 1: 10, respectivamente. La mezcla se agitaba durante 5 minutos y con un medidor de pH se registraban los valores.

### ***2.7.6 Respirometrías***

Los ensayos de respirometría se realizaron con un analizador de gases infrarrojo marca Geotechnics Instruments con el que se pudo determinar la tasa de producción de CO<sub>2</sub> de una muestra introducida en un erlenmeyer con desprendimiento lateral (ver fig. 8). Uno

de los orificios del erelenmeyer estaba conectado a una manguera que succionaba el aire dentro del recipiente y tomaba las lecturas durante más de 4 horas aproximadamente con intervalos de tiempo cada 15 minutos.



Figura 8. Analizador de gases infrarrojo marca Geotechnical Instruments.

### ***2.7.7 Metales***

Los metales como níquel, plomo, cadmio y cromo se determinaron a partir de la muestra seca, la que posteriormente se sometía a calcinación y se sometía a una digestión acida con acido nítrico y se registraba la lectura con absorción atómica.

Para el mercurio, la muestra se tomaba húmeda y se incubaba con permanganato de potasio y acido nítrico durante 24 horas, posteriormente se filtraba y se leía con absorción atómica con vapor frío y un generador de hidruros.

## CAPITULO 3. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 3.1 Primera corrida

Para esta corrida como ya se había mencionado anteriormente se montaron tres pilas con diferentes mezclas, una con madera y buchón denominada MB, una segunda con caucho y buchón (CB) y una tercera con buchón solamente llamada B.

#### 3.1.1 Humedades y material abultante

Al inicio del montaje el buchón de agua presentó una humedad del 92%, considerada demasiado alta, entendiéndose lógicamente que esta es una humedad estructural. Se registraron bajas en la humedad de la pila CB de caucho y buchón, desde la primera hasta la quinta semana, partiendo de un % inicial de 88% de humedad, llegando a un 59 % de humedad debido al aumento de la tasa de aireación a partir del segundo día de montaje (ver gráfica 1), el porcentaje de remoción del contenido de humedad fue del 32%. A pesar de tener material abultante, fue la pila con la segunda humedad más alta debido a que el caucho utilizado como abultante no ayudo a absorber humedad, presentando este una variación de 0.51% al 0.52 % al final del proceso, además esta pila presentó un asentamiento desde 1.0 m de alto hasta 0.70 m, para un asentamiento del 30%.

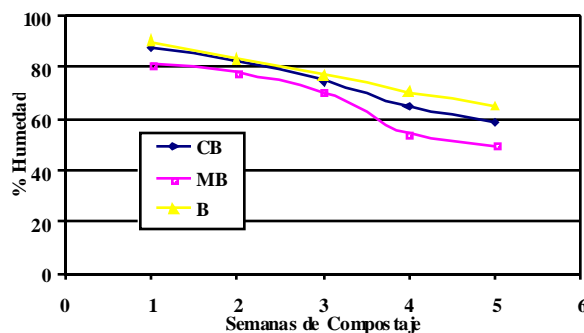


Figura 9. Humedades de las pilas durante la primera corrida con respecto al tiempo de compostaje.

La pila MB de madera y buchón inicio con una humedad del 81% y alcanzó una humedad del 50 % , para una remoción del 38%, siendo este el porcentaje de remoción de la humedad mas alto debido no solamente al aumento de la tasa de aireación, a la generación de un buen numero de intersticios, sino también a la absorción de la humedad por parte de la madera adicionada como agente abultante, ya que materiales fibrosos como paja o astillas de madera pueden absorber relativamente grandes cantidades de agua, manteniendo su estabilidad estructural y porosidad (Haug, 1993). Los pedazos de madera presentaron una apariencia húmeda, registrando estos al principio una humedad del 6% y al final del 18%. Además estos brindaron una excelente estructura de soporte a la pila, quedando demostrado con el tamaño de esta, ya que al principio se montó con una altura de 1.0 m hasta llegar a 0.9 m de altura. La pila B de solo buchón que no tuvo abultante, presentó al principio una humedad del 90% (las mas alta) y tuvo una disminución hasta el 65%. A pesar de no haber agente abultante en la pila se logró bajar la humedad un 27%, siendo este el porcentaje mas bajo de remoción de humedad de las tres pilas, seguida en orden ascendente por la de caucho con un 32% y la de madera con un 38%, viéndose reflejada la efectividad del sistema de aireación, Nguyen observó una disminución máxima de humedad del 16.98% durante 36 días de compostaje en una de tres pilas de buchón de agua mezclado con residuos sólidos domésticos.

Las pilas se debieron recomodar debido a los constantes asentamientos que estas presentaban por los altos grados de humedad observados al principio, pero sin duda alguna la que mas problemas tuvo fue la pila B, que diariamente había que recomodarla debido a su excesivo asentamiento del 50 % generado por el exceso de humedad de esta y la falta de un material abultante que permitiera soporte estructural y brindara unas buenas condiciones de aireación para contrarrestar la humedad.

Cabe anotar que el buchón una vez picado y almacenado en bolsas a la intemperie, recibió agua debido a una fuerte lluvia en la zona de la investigación, lo cual hizo que el compost de residuos de claveles agregado con una humedad del 25 %, no tuviera repercusiones en la baja de la humedad de ninguna de las pilas. Se notó que la parte exterior de las pilas, aproximadamente 5 cm presentaban un aspecto seco. Las tres pilas fueron volteadas una vez por semana con el fin de lograr una disminución de la humedad de una forma acelerada y evitar que se formaran cortos circuitos y aglomeraciones de material trayendo consigo la formación de zonas anaerobias, cambiando totalmente el proceso; a pesar de que este sistema de compostaje a través de pilas estáticas con aireación forzada tiene incidencia en casi toda la pila (Fernández y Sartaj, 1997).

### 3.1.2 Temperatura

Las temperaturas registradas por las tres pilas no sobrepasaron los 31° C, quedándose el proceso de compostaje en una etapa mesofílica comprendida entre los 20 y 50°C (Tchobanoglous, 1993). Las pilas pequeñas generan bajas temperaturas y las pilas grandes generan altas temperaturas (Taiwo y Oso, 2004).

La pila B empezó registrando temperaturas de 22 y 23°C en la primera semana y en las siguientes semanas decayeron hasta llegar a los 16 y 17 °C, que era la temperatura ambiente (ver fig. 10).

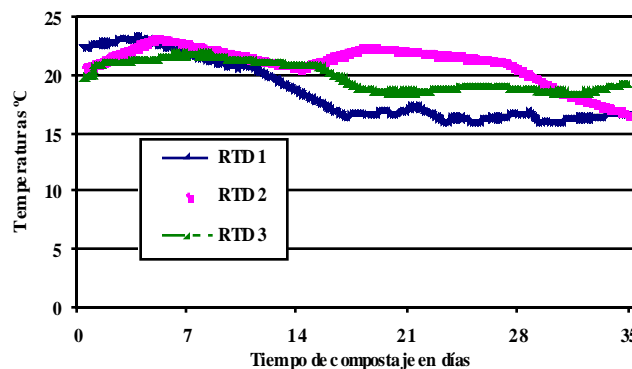


Figura 10. Temperaturas de la pila de buchón durante el tiempo de análisis.



Esto se pudo deber al poco o nulo espacio que había entre los pedazos de buchón que conformaban la pila lo cual hizo difícil el paso del aire a través de esta de tal forma que llegara suficiente oxígeno a los microorganismos y estos pudieran liberar energía durante la asimilación de la materia orgánica. La RTD 3 localizada en el centro de la pila B, con una longitud de 100 cm fue la que registró la temperatura más alta de los tres sensores. Las repetidas perturbaciones presentadas en esta pila se debe a los constantes volteos a los que fue sometido la pila, ya que no tenía material abultante que le brindara soporte.

En la pila MB se alcanzaron a tener temperaturas de 30 y 31° C correspondientes a los sensores 4 y 5 de 25 y 50 cm. respectivamente localizados a 0.5 y 0.75 m del principio de la pila, desde el tubo distribuidor (ver fig. 11).

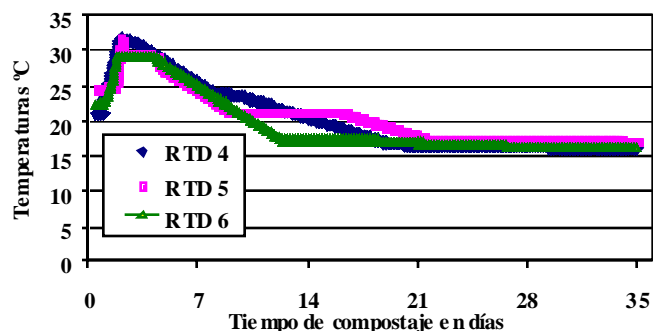


Figura 11. Temperaturas de la pila de madera y buchón durante el tiempo de análisis.

Posteriormente las temperaturas fueron bajando hasta llegar a un rango constante entre los 16 y 17 °C. El incremento en la temperatura de esta pila se dio posteriormente al aumento de la tasa de aireación impuesta después del primer día, lo que demuestra que hubo un aumento en la actividad microbiana presente en la pila.

La pila CB tuvo elevación de temperaturas con el aumento en la tasa de aireación. El registro de la RTD 7 señaló que la temperatura se mantuvo en los 29°C durante 1 día, lo

que demuestra que la pila de caucho asimilo el aumento en el suministro de aire (ver fig.12).

Aunque las temperaturas para la RTD 8 en esta pila no se mantuvieron en su máximo durante mucho tiempo, sino que fue un registro que duró apenas unas horas.

En las tres pilas se notó que los sensores que estaban más cerca del principio de la pila presentaron las temperaturas mas altas debido a su cercanía con la zona de influencia del sistema de aireación, ya que en estas zonas el suministro de aire es mayor debido a que las velocidades del aire en los primeros orificio es mayor que en los últimos orificios del tubo; a que el sistema de aireación tiene una amplia zona de incidencia que abarca casi toda la pila. Las temperaturas estaban todas en el mismo rango para las pilas CB y MB, con excepción de la pila B de buchón. Las temperaturas de las tres pilas después de las primeras dos semanas se volvieron casi constantes sin ninguna oscilación debido a una baja actividad biológica. El registro de estas temperaturas consideradas bajas para un proceso de compostaje pudo haberse debido a la baja relación C/N que provoco el trastorno en del desarrollo del proceso debido a una excesiva pérdida de nitrógeno estancándolo en una etapa mesofílica.

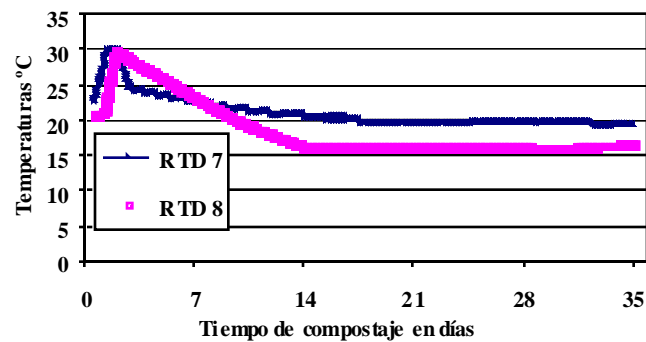


Figura 12. Temperaturas de la pila de caucho y buchón durante el tiempo de análisis.

### 3.1.3 Relación C:N

Para un proceso de compostaje con buchón de agua, Goyal (2004), presentó una relación de C:N de 18.1, mientras que Tchobanoglous mostró una de 20.9 y por otro lado Suzuki

y colaboradores (1982) presentaron una relación de 21.7 lo que indica que el buchón de agua es un material que puede ser sometido a compostaje sin la necesidad de un material adicional acondicionador para ajustar la relación carbono/nitrógeno a un óptimo.

Todas las investigaciones anteriores contrastaron con la relación C:N obtenida del buchón de agua del embalse del Muña (Colombia), que fue de 13.96 según los resultados obtenidos por el Ingeominas (Instituto de Investigación e Información Geocientífica, Minero-Ambiental y Nuclear de Colombia), lo que significa que las plantas de la misma clase pueden variar en su composición elemental dependiendo del sitio de origen y entorno. Sin embargo se procedió a llevar a cabo el proceso, independientemente de la relación carbono/nitrógeno, siendo esto una de las principales causas por las cuales no se pudo dar el proceso de una forma adecuada en la primera corrida.

Durante la segunda semana se obtuvieron relaciones más altas debido a pérdidas de nitrógeno y al poco tiempo de degradabilidad de la materia orgánica (ver fig 13), debido a un bajo porcentaje de carbono degradado por la descomposición de la materia orgánica por parte de los microorganismos presentes (ver tabla 4); esto sumado a que sustratos como buchón, con bajas relaciones de carbono: nitrógeno presentan pérdidas excesivas de nitrógeno (Goyal, 2004).

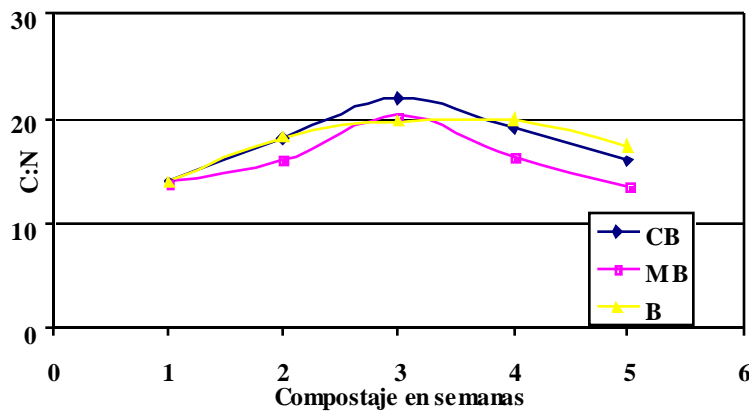


Figura 13. Comportamiento de la relación C:N durante el tiempo de compostaje para la primera corrida.

Primera corrida						
Pilas						
	CB	MB	B	CB	MB	B
Semana	% C	% C	% C	% N	% N	% N
1	41.89	41.89	41.89	3.00	3.00	3.00
2	39.89	40.39	38.42	2.20	2.52	2.10
3	36.51	35.32	36.43	1.66	1.74	1.85
4	31.05	28.22	32.76	1.62	1.73	1.65
5	25.49	22.81	29.24	1.58	1.68	1.68

Tabla 4. Porcentajes de carbono y nitrógeno de las pilas de la primera corrida.

La mayor pérdida de nitrógeno se generó en la pila de buchón, luego la de caucho y por ultimo en la de madera. Hubo un aumento hasta la segunda semana y después empezaron a descender debido al descenso simultáneo del carbono, como producto de la degradación.

Los porcentajes de carbono fueron disminuyendo con el tiempo al igual que los porcentajes de nitrógeno, lo que directamente hizo que la relación C:N en las tres pilas fuera disminuyendo; fenómeno también observado por Khan y Sawar (2002), quienes obtuvieron disminuciones en la relación C:N a medida que se iba dando el proceso de compostaje. Goyal et al (2004) demostró que el buchón de agua tendía a presentar una baja en el porcentaje de carbono al final del proceso de compostaje. Bernal y colaboradores (1998) también demostraron que durante el proceso de compostaje el carbono orgánico iba disminuyendo como resultado de la degradación de materiales orgánicos. Todo lo anterior se debió a la baja relación carbono/nitrógeno inicial y al alto porcentaje de humedad que aglomeró al buchón, creándose algunas zonas anaerobias y por ende la conversión de exceso de nitrógeno en forma de gas amonio (Higgings et al, 1987). A pesar de las bajas temperaturas registradas después de la tercera semana, los porcentajes de carbono siguieron disminuyendo como se puede ver en la tabla 3, tendiendo a la baja automática de las relaciones C: N, pero no tan significativas debido a la estabilización del nitrógeno.

La lenta degradabilidad del carbono pudo haberse debido también al tamaño de partícula del sustrato, lo que hacia que hubiera un retardo en cuanto a la degradación de la materia orgánica.

### 3.1.4 pH

Según Beranek (2000) en un boletín técnico del ejército de los EUA para desarrollar compostaje dentro de sus instalaciones, el rango óptimo de pH para llevar a cabo un proceso de compostaje se encuentra entre 6 y 8, lo que hace referencia a un estado neutro. El pH en un proceso de compostaje depende del tipo de material a tratar (Holmqvist y Stenström, 2002).

Durante las semanas de compostaje se registraron pH en rangos de 6 y 7, rangos preferidos para el proceso de compostaje según (Christian y Evanylo, 1997). La pila MB registró los menores valores de pH durante todas las semanas de compostaje, lo que podría estar asociado a algún componente químico de la madera utilizada como abultante. Se presentaron ascensos de los pH de la tres pilas como consecuencia de la perdida de nitrógeno registrada durante la segunda y tercera semana (ver fig. 14).

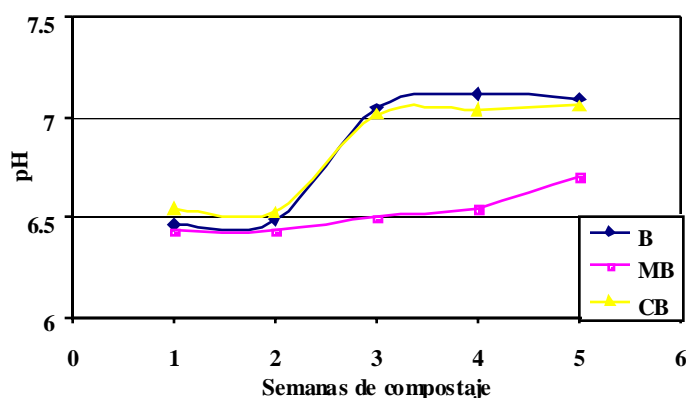


Figura 14. Comportamiento del pH de las pilas durante la primera corrida.

### 3.1.5 *Respirometrías y producción de CO<sub>2</sub>*

La respirometría es una medida de la actividad microbial sobre el material que se esta compostando pero en esta investigación se expresó en producción de CO<sub>2</sub>.

A partir de las respirometrías realizadas con el analizador de gases infrarrojo se observó que a medida que iban pasando las semanas, la producción de CO<sub>2</sub> iba disminuyendo, esto debido al cambio de pendientes en las curvas respirométricas, en la gráfica se pueden observar los cambios en la pendiente de la pila MB desde la primera hasta la cuarta semana (ver fig 15).

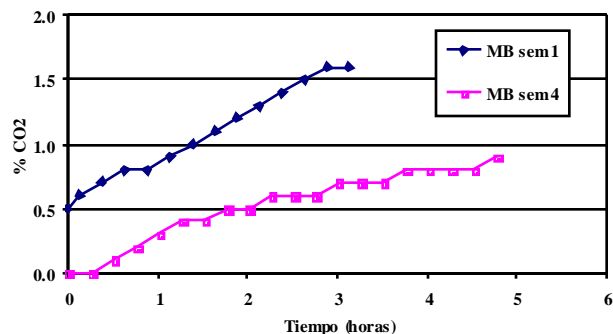


Figura 15. Respirometrías de la pila MB durante las semanas 1 y 4., primera corrida.

Esto ocurrió para las otras dos pilas también, viéndose una disminución de las pendientes a medida que pasaba el tiempo de compostaje (ver fig. 16 y 17). Esto puede estar asociado a un descenso paulatino de la actividad biológica de degradación como producto de la disminución del carbono orgánico disponible en el sustrato.

Se notó en toda la corrida que la mayor producción de CO<sub>2</sub> se dio para la pila MB, debido al gran número de intersticios creados para que llegara mas oxígeno a los microorganismos y estos pudieran metabolizar el carbono, generando CO<sub>2</sub>, fenómeno que se dio de una forma baja en la pila B debido al poco o casi nulo espacio entre las partículas del sustrato.

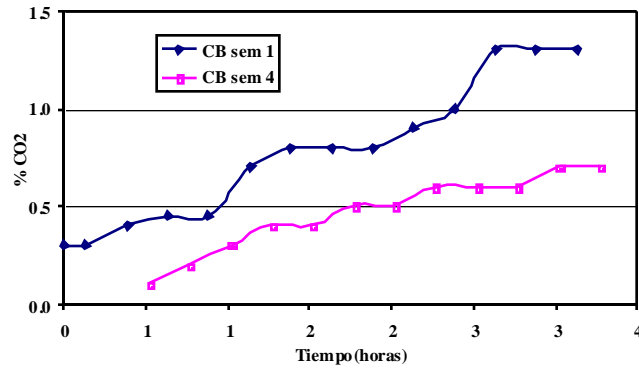


Figura 16. Respirometrías de la pila CB durante las semanas 1 y 4., primera corrida.

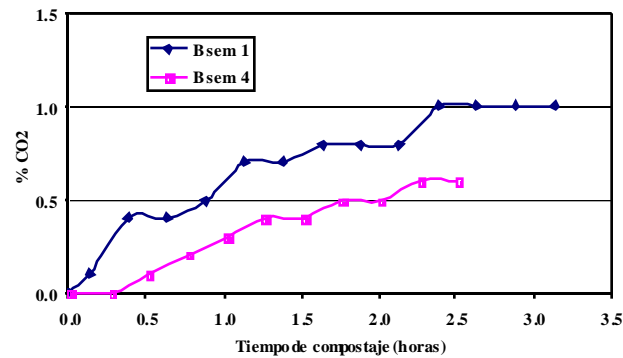


Figura 17. Respirometrías de la pila B durante las semanas 1 y 4., primera corrida.

### 3.2 Segunda corrida

Debido al comprobado efecto negativo de la baja relación carbono/nitrógeno de la primera corrida en el proceso de compostaje de buchón, se decidió adicionar pasto como acondicionante para poder tener una relación carbono /nitrógeno optima.

#### 3.2.1 Humedades y material abultante.

La mezcla de pasto y buchón para el arreglo de las dos pilas siguientes tenía una humedad del 88 %, viéndose un poco reflejado a la hora de adicionar el material abultante, ya que la pila CBP de caucho, buchón y pasto, presentó una humedad inicial

del 84 %, lo cual indica que el caucho no absorbió humedad; mientras que la pila MBP de madera, buchón y pasto, una vez que se le adicionó la madera bajó al 81 %. En esta ocasión la madera no absorbió tanta humedad como en la primera corrida debido a que ya había sido utilizada anteriormente y presentaba un 10% de humedad y al final de la séptima semana alcanzó una del 18%. Pero a pesar de lo anterior esta pila logró bajar un 25%, en contraste con un 18% de la pila CBP, lo que indica que es un buen material para crear intersticios suficientes (ver fig. 18).

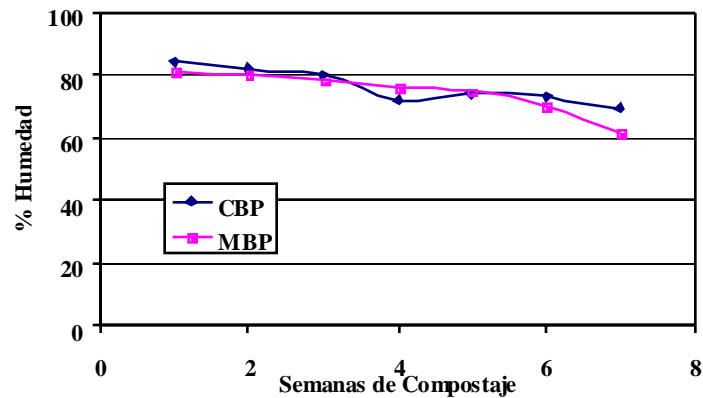


Figura 18. Humedades de las pilas durante la primera corrida con respecto al tiempo de compostaje.

También quedó demostrado que la madera de la pila MBP ayudó a brindar soporte estructural, ya que la pila al principio presentó una altura de 1.45 m y 7 semanas después todavía conservaba un altura de 1.35 m, para un asentamiento del 6%; en comparación con el caucho utilizado en la pila CBP, que inicialmente tuvo una altura de 1.17 m quedando esta en 0.97 m mostrando un asentamiento del 17%, después del tiempo del ensayo, a pesar de ser la pila MBP la que tuviera el mayor volumen del montaje y la mayor cantidad de sustrato a contrarrestar humedad. Esta corrida presentó los asentamientos más bajos para toda la investigación, fenómeno que pudo haberse atribuido a la relación volumétrica utilizada en esta corrida. En esta corrida se utilizó un plástico que hacía de manto impermeable, siendo necesario para asegurar que el oxígeno, la humedad y el calor se mantuvieran en la pila, de tal forma que se creara un



microclima en ella con el propósito de disminuir la duración del proceso de compost (Aitken, 2002).

### ***3.2.2 Temperaturas***

En la segunda corrida se le hizo un seguimiento más estricto a las pilas, debido a que las temperaturas en ambas pilas empezaron a aumentar progresivamente una vez fueron montadas, sobrepasando los records de la primera corrida. Después de los tres días se registraron temperaturas termofílicas entre los 50 y 63°C, demostrando que el proceso se había empezado a dar en su totalidad. Estos valores de temperaturas superiores a los reportados por Goyal y sus colaboradores (2005), quienes observaron temperaturas máximas de 46° C para el compostaje de buchón de agua sin abultante después de haber transcurrido 14 días. Esta diferencia puede estar asociada a la mezcla del buchón con material abultante, lo cual permite el contacto inmediato del oxígeno con los microorganismos aerobios descomponedores de sustrato.

Manuel Eraso y Edna Delgado (1998), en investigaciones separadas, observaron que el proceso de compostaje tiende a mejorar cuando las partículas de buchón disminuyen, haciendo que el área para que ocurra la degradación microbiana sobre el sustrato sea mayor, originando un mayor desprendimiento de energía, viéndose reflejado esto en un aumento de temperaturas de las pilas como quedó demostrado en esta corrida, con tamaños de partícula  $\leq 2.5$  cm con referencia a la primera corrida en la que se utilizaron tamaños  $\geq 5$  cm.

El proceso arrancó de forma inmediata y se aireó solamente al tercer día pero durante 1 hora, con el fin de evitar que temperaturas más altas siguieran elevándose e inhibieran el proceso de compostaje, (ver fig. 19); Pearson y sus colaboradores (2004) observaron lo mismo en un montaje con pilas de lodos provenientes de piel de ovejas, en las que no fue necesario que los microorganismos se adaptaran al medio, sino que de forma

inmediata estos permitieron que las temperaturas se elevaran en forma ascendente e inmediata después de haber realizado el montaje de las pilas.

La RTD 4 tuvo un daño irreversible, lo que hizo que nada más se tomara el ascenso de la temperatura hasta el tercer día.

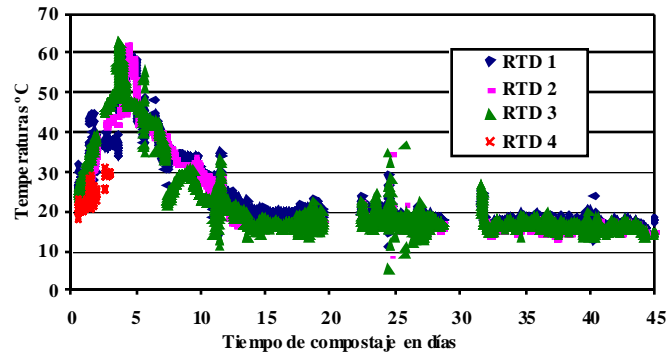


Figura 19. Temperaturas de la pila de madera, pasto y buchón durante el tiempo de análisis.

La pila MBP alcanzó temperaturas de 63°C después del tercer día, pero solamente se alcanzaron a mantener así durante 10 horas. Una vez en su estado máximo de temperatura, la pila procedió a disminuir progresivamente. En el quinto día se programó el blower y esto ayudó a mantener las temperaturas, pero posteriormente siguieron en descenso, esto se volvió a repetir para el día 8 y en cada zona horizontal de la gráfica se observa la estabilización de la temperatura. Para el día 11 se observó un salto y perturbación en la gráfica, lo que obedeció a un volteo en esta pila para ayudar a homogenizar más el material de mezcla y evitar aglomeraciones. También se observó una baja y luego una subida en el día 7, debido al cambio de la RTD 3 de sitio, al ver que iba en descenso la temperatura en comparación con las otras RTD. Para los días 22 y 24 se realizaron los últimos volteos de la pila y se colocó finalmente a una tasa de aireación alta, lo que se ve evidenciado con el comportamiento serpenteante de las curvas debido a las elevaciones y bajas generadas por la tasa de aireación propuesta. En la gráfica se notaron vacíos durante los días 19 y 29, debido a la falta de fluido eléctrico durante el primer vacío y el segundo a fallas de la tarjeta de adquisición de datos.

La pila de caucho registró temperaturas altas después de los tres días, llegando hasta los 63°C (ver fig. 20).

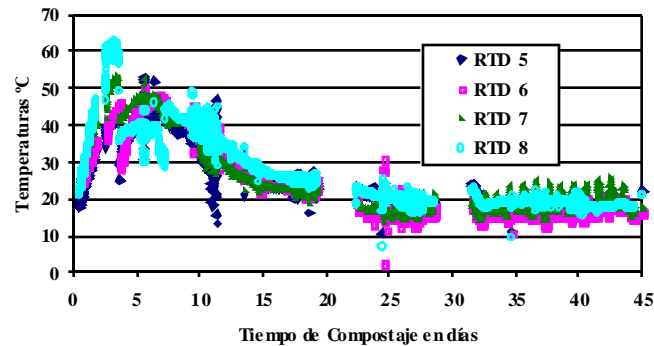


Figura 20. Temperaturas de la pila de caucho, pasto y buchón durante el tiempo de análisis.

Al tercer día se realizó un volteo a esta pila y sus temperaturas descendieron y volvieron a subir pero solamente hasta los 53°C. Los volteos se realizaron para las dos pilas los mismos días (11, 22 y 24) como se puede observar en la gráfica 6. Las temperaturas bajaron y se establecieron en los 48°C según las RTD 6 y 7; las otras dos se estacionaron entre los 40 y 43°C. Solamente la RTD 8 de 100 cm de longitud registró la temperatura más alta, localizada en todo el centro de la pila de forma vertical. Debido a las fallas anteriormente mencionadas, se presentaron también vacíos en la gráfica para las 4 RTD. Después del día 31 se presentó una elevación en las temperaturas de ambas pilas, debido a la aplicación de una tasa de aireación alta que pudo subir las temperaturas de las pilas. La pila CBP, a pesar de no haber registrado las mas altas temperaturas, se mantuvo por encima de las temperaturas de la pila MBP y demoró en bajar mas lentamente como se observa en la gráfica, debido a que esta se encontraba cubierta con un plástico, evitando que se escapara el calor generado en la pila. A partir del día 25 se impuso una tasa de aireación con mayor frecuencia y empezaron a aparecer fluctuaciones en la temperatura.

### **3.2.3 Relación C: N**

Teniendo al inicio una relación baja y fuera del rango óptimo de compostaje, se debió adicionar pasto al buchón y finalmente se pudo obtener una relación C:N de 20 para el

desarrollo del proceso de compostaje. Se pudo observar que el carbono para la pila MBP disminuyó progresivamente al igual que el nitrógeno, pero sin presentar pérdidas notables; efecto contrario a la pila de caucho CBP que presentó porcentajes de carbono mas altos y disminución en los porcentajes de nitrógeno, la cual presentó un pico equivalente a 22.35 , lo que se debió a un % de nitrógeno bajo , posiblemente asociado a una muestra no homogénea, pudiendo estar esta conformada por los restos de una planta adulta con bajo contenido de nitrógeno, ya que en las dos pilas de esta corrida no se dio una pérdida abrupta de nitrógeno sino un disminución gradual de este debido a la relación inicial optima. Se notó al final que la relación C: N de la pila MBP era menor que la pila CBP, esto debido a que la madera como buen abultante permitió el paso del oxígeno al sustrato (ver fig. 21 y tabla 5),

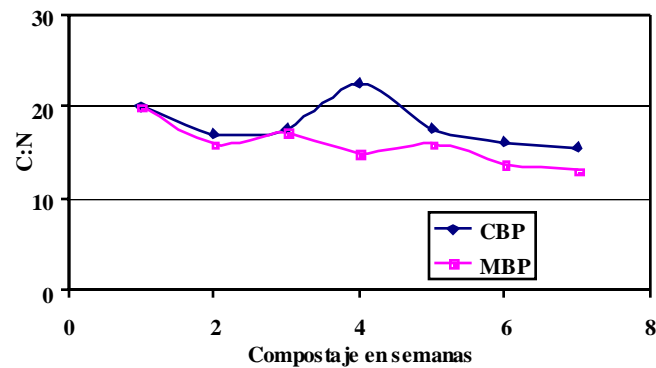


Figura 21. Comportamiento de la relación C:N durante el tiempo de compostaje para la segunda corrida.

lo que permitió que se pudiera asimilar el carbono de una forma mejor; además también se registraron fluctuaciones en esta pila durante el proceso debido a la falta de homogeneidad de la muestra, pero conservando la tendencia a la baja.

Las tasas de aireación moderadas permitieron que el nitrógeno de la mezcla para ambas pilas descendiera gradualmente manteniéndose dentro de un rango no muy amplio.

En general, en esta corrida se pudo observar una disminución gradual de la relación C/N hasta llegar a valores bajos con respecto a la primera corrida, fenómeno que pudo

deberse a que el tamaño de partículas era menor y por consecuencia el área de acción de la comunidad microbiana, mayor, permitiendo una asimilación del carbono de una forma mas rápida.

Segunda corrida					
Pilas					
	CBP	MBP		CBP	MBP
Semana	% C	% C		% N	% N
1	48.03	48.03	-	2.40	2.40
2	37.45	33.34	-	2.21	2.10
3	36.36	32.12	-	2.07	1.87
4	35.10	28.65	-	1.57	1.92
5	33.74	32.39	-	1.92	2.03
6	27.23	28.00	-	1.70	2.03
7	26.03	25.98	-	1.69	2.00

Tabla 5. Porcentajes de carbono y nitrógeno de las pilas de la segunda corrida.

### 3.2.4 pH

El pH de las pilas se incrementó al principio con el aumento de las temperaturas y luego disminuyó, siendo esto también observado por Nguyen (1990) para compostaje de buchón (valores desde los 6.5 hasta los 7.5) como se observa en la segunda y tercera semana de compostaje, pero al cabo de la cuarta semana el pH se tiende a estabilizar y mantenerse dentro de cierto rango (ver fig.22). La pila MBP presentó de nuevo, al igual que en la primera corrida el pH mas bajo del montaje.

El hecho de que el pH de las pilas subieran, bajaran y luego se estableciera dentro de un rango muy cercano, pudo darse debido a que en esta corrida no se presentó una pérdida abrupta de nitrógeno durante la corrida.

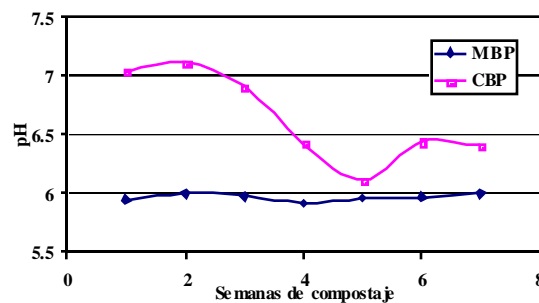


Figura 22. Comportamiento del pH de las pilas durante la segunda corrida.

### 3.2.5 *Respirometrías y producción de CO<sub>2</sub>.*

Con las respirometrías de la segunda corrida se pudo observar que las pendientes de las tres pilas, eran más elevadas para la pila MBP debido a una mayor producción de CO<sub>2</sub> como resultado del suficiente suministro de oxígeno que tenían los microorganismos. (ver fig.23)

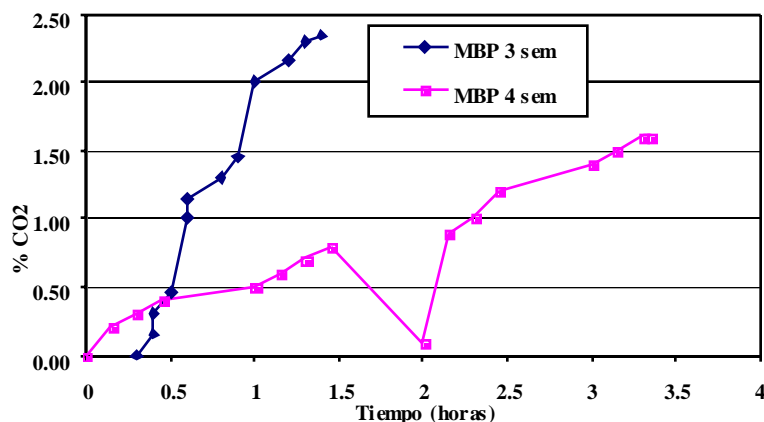


Figura 23. Respirometrías de la pila MBP durante las semanas 3 y 4., segunda corrida.

### 3.2.6 *Actividad biológica (% de producción de CO<sub>2</sub>) comparada con los demás parámetros del compostaje*

En esta corrida se comparó el porcentaje de producción de CO<sub>2</sub> por gramos de sólidos volátiles – tiempo versus el tiempo de compostaje (ver fig. 24). En esta grafica se muestran una serie de puntos para ambas pilas de la segunda corrida, que hacen referencia a la pendiente de la curva de las graficas de %CO<sub>2</sub> /(gSV-t). Se observó un decaimiento correspondiente a una disminución gradual de la actividad biológica, causado por el consumo paulatino de la materia orgánica, que se acentuaba más en la pila que tenia madera como abultante.

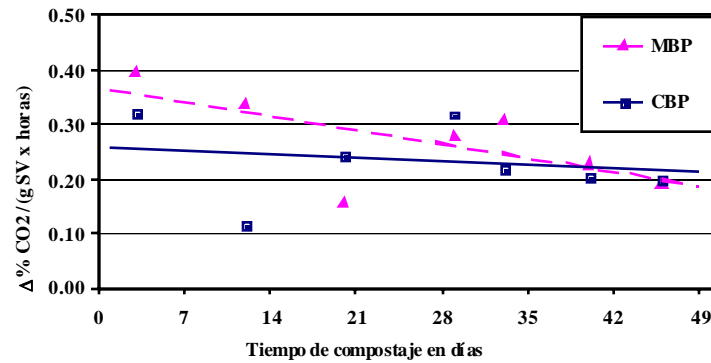


Figura 24. Producción de CO<sub>2</sub>, Δ %CO<sub>2</sub>/(g SV x t) durante el tiempo de compostaje (días).

La humedad de las pilas de la segunda corrida culminaron en porcentajes relativamente aptos para el desarrollo del proceso de compostaje, y se observó que la actividad biológica disminuyó a medida que la humedad iba bajando en la pila MBP, lo que hace referencia a que cuando se tiene mayor humedad, los nutrientes disponibles en el sustrato pueden ser más solubles para los microorganismos (ver fig. 25).

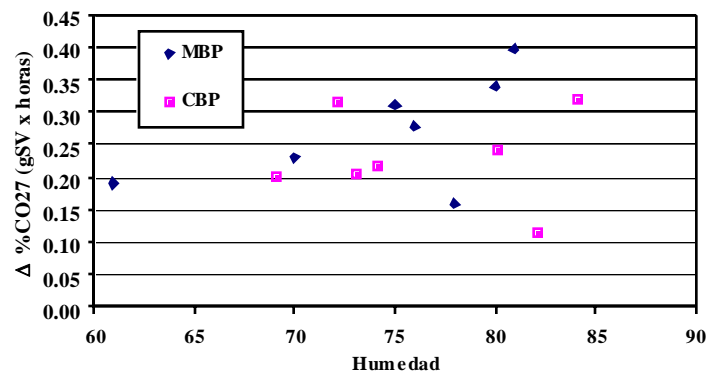


Figura 25. Actividad biológica Δ %CO<sub>2</sub>/ (g SV x t) con respecto a la humedad de las pilas durante la segunda corrida.

Es importante mencionar que el sustrato para el periodo de estudio nunca estuvo dentro del rango óptimo de humedad reportado por la literatura. En el caso de la pila CBP se puede observar que no hay una tendencia entre la actividad microbiana y la humedad, considerando esta una variable no dependiente (para el rango de las humedades).

En la figura 26 se puede observar la relación entre la actividad biológica y la relación carbono /nitrógeno. Es claro que la relación C:N decrece como resultado de la disminución de carbono orgánico del sustrato y la disminución de nitrógeno.

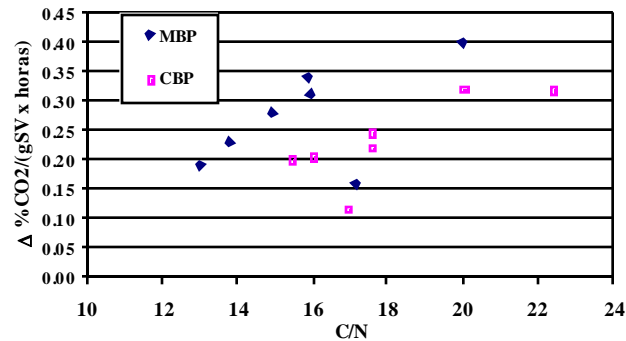


Figura 26. Actividad biológica  $\Delta\%CO_2/$  (g SV x t) con respecto a la relación C:N de las pilas durante la segunda corrida.

Durante el desarrollo del proceso de compostaje, se pudo observar que para temperaturas más altas (ver fig. 27), la actividad biológica era mayor como producto del calor liberado

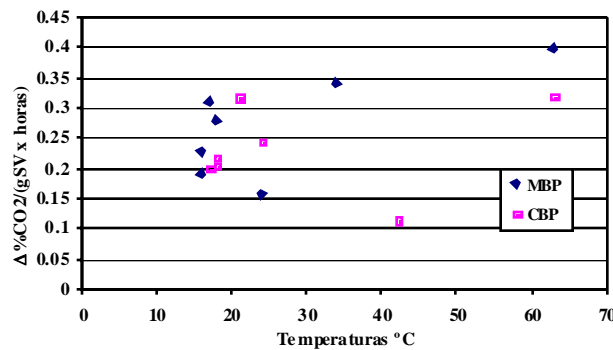


Figura 27. Actividad biológica  $\Delta\%CO_2/$  (g SV x t) con respecto al desarrollo de las temperaturas de las pilas durante la segunda corrida

por los microorganismos debido a una mayor concentración del carbono orgánico al principio del proceso Sin embargo al bajar la temperatura se tiene un amplio rango de actividad, lo cual indica una no dependencia de la temperatura con respecto a la actividad biológica, a temperaturas bajas (cerca de temperatura ambiente).



## CAPITULO 4. CALIDAD DEL COMPOST OBTENIDO

### 4.1 Comparación con las Normas Técnicas Colombianas

#### 4.1.1 Primera corrida

En esta corrida se pudo obtener un producto final a partir de las pilas CB y MB, contrastando con la pila B, de la que no se pudo obtener compost, ya que todavía presentaba en su mayoría trozos de buchón enteros como producto de una degradación incompleta del sustrato (ver tabla 6).

Parámetros	Primera Corrida			NTC 5167. Fertilizantes o abonos orgánicos	
	Pila CB	Pila MB	Pila B	Abono Orgánico	Abono Orgánico mineral sólido
Humedad (%)	49.60	40.90	-	Mat.Origen Vegetal < 35%	< 15%
pH	7.06	6.60	-	4 - 9	Reportar
NTK (%)	1.51	1.62	-	Reportar si > 1%	Reportar si > 2%
Carbono (%)	22.30	20.36	-	> 15%	5 - 15%
C:N	14.77	12.57	-	-	-
SV (%)	44.60	40.72	-	> 40% *	% *
Cenizas	55.40	59.28	-	< 60% *	% *
Plomo (mg/Kg -Bs)	9.00	11.00	-	300 mg/Kg -Bs	300 mg/Kg -Bs
Cadmio (mg/Kg -Bs)	0.90	1.70	-	39 mg/Kg -Bs	39 mg/Kg -Bs
Cromo (mg/Kg -Bs)	90.00	110.00	-	1200 mg/Kg -Bs	1200 mg/Kg -Bs
Niquel (mg/Kg -Bs)	72.00	88.00	-	420 mg/Kg -Bs	420 mg/Kg -Bs
Mercurio (mg/Kg -Bs)	0.41	<0.41	-	17 mg/Kg -Bs	17 mg/Kg -Bs

\* La suma debe ser igual al 100%.

Fuente : Norma Técnica Colombiana (NTC) Primera Actualización

Tabla 6. Características del compost final de la primera corrida.

Se observo que ambas pilas cumplen con los requerimientos establecidos por las Normas Técnicas Colombianas (NTC 5167) para fertilizantes o abonos orgánicos.

En cuanto a metales, estos se encuentran muy por debajo de los estándares establecidos por la norma, clasificando el producto final como un abono orgánico.

#### 4.1.2 Segunda corrida.

En la segunda corrida se pudo obtener compost de las dos pilas CBP y MBP, cumpliendo con la NTC 5167, clasificando el producto final de este ensayo también como un abono orgánico (ver tabla 7).

En ambas corridas se observó que la humedad fue el único factor por debajo de la norma, pero sin embargo, el producto final se puede someter a un secado posterior.

Parámetros	Segunda Corrida		NTC 5167. Fertilizantes o abonos orgánicos	
	Pila	Pila		
	CBP	MBP	Abono Orgánico	Abono Orgánico mineral sólido
Humedad (%)	64.00	51.00	Mat.Origen Vegetal < 35%	< 15%
pH	6.34	6.02	4 - 9	Reportar
NTK (%)	1.65	1.97	Reportar si > 1%	Reportar si > 2%
Carbono (%)	23.33	22.40	> 15%	5 -15%
C:N	14.14	11.37	-	-
SV (%)	46.66	44.80	> 40% *	% *
Cenizas	53.34	55.20	< 60% *	% *
Plomo (mg/Kg -Bs)	33.30	33.70	300 mg/Kg -Bs	300 mg/Kg -Bs
Cadmio (mg/Kg -Bs)	1.48	1.43	39 mg/Kg -Bs	39 mg/Kg -Bs
Cromo (mg/Kg -Bs)	3.70	2.90	1200 mg/Kg -Bs	1200 mg/Kg -Bs
Niquel (mg/Kg -Bs)	29.90	29.30	420 mg/Kg -Bs	420 mg/Kg -Bs
Mercurio (mg/Kg -Bs)	1.80	1.70	17 mg/Kg -Bs	17 mg/Kg -Bs

\* La suma debe ser igual al 100%.

Fuente : Norma Técnica Colombiana (NTC) Primera Actualización

Tabla 7. Características del compost final de la segunda corrida.

## CAPITULO 5. CONCLUSIONES

---

En los procesos de compostaje de pilas con aireación forzada de sustratos clasificados húmedos como el buchón de agua no puede ser compostado solo, ya que no hay espacio de poros suficientes para el paso del aire a través del sustrato.

La madera resultó ser un mejor agente abultante para el compostaje de buchón que el caucho, ya que se logro además de un buen acondicionamiento estructural; absorción de humedad y favoreciendo la circulación de aire por los intersticios del sustrato.

El caucho es un buen elemento de soporte estructural en las pilas de compost de buchón de agua pero puede ser más útil para compostar materiales no tan húmedos.

La relación carbono/ nitrógeno es un factor determinante del proceso de compostaje, que aunque existen reportes en la literatura de procesos exitosos con solo buchón; el buchón de agua del embalse del Muña por su baja relación carbono/nitrógeno no compostó. Por lo que fue necesario la adición de un acondicionante que le suministrara carbono a la mezcla para lograr un sustrato en el rango optimo, favoreciendo el proceso, alcanzando temperaturas hasta de 63° C.

Las zonas localizadas justamente al principio y encima de las tuberías tendieron a desarrollar temperaturas más altas.

Como se habai reportado en otras investigaciones, se comprobo que a un menor tamaño de picado del buchón de agua mejoró el proceso de compostaje.

La cobertura con un plástico de la superficie permitió que se conservaran las temperaturas internas de las pilas durante más tiempo, evitando pérdidas de calor por convección, sin embargo también hizo que la humedad se mantuviera.

Para sustratos húmedos como el buchón de agua es necesario reacomodar y voltear con el fin de evitar que se presenten zonas anaerobias.

El compost de buchón de agua obtenido en esta investigación se clasifica como un abono orgánico según la norma técnica colombiana NTC, sin embargo quedó pendiente la evaluación de este a través de un ensayo de estabilidad y madurez.

**REFERENCIAS**

**A. Aitken. 2002.** *Red River College Wide Composting Initiative. Composting Initiative .Greenspace Management.*

**Bernal. M, Cegarra J, Roig A, Sánchez-Monedero M y Paredes C. 1998.** *Composting of organic wastes as a strategy for producing high quality organic fertilizers.*

**Christian A. H & Evanylo G. K. 1997.** *On Farm Composting. A Guide to Principles, Plannings and Operations. Virginia Polytechnic Intitute and State University. Publication .452-232.*

**Cooperband. L . 2002.** *The Art and Science of Composting. A resource for farmers and compost producers. University of W Wisconsin-isconsin-Madison. Center for Integrated Agricultural Systems.*

**Delgado E. L. 1998.** *Efecto del tamaño de picado y humedad en el compostaje aerobio de Eichornia Crassipes (Buchón) . Tesis Magíster. Santafé de Bogotá. Uniandes.*

**Fernandez L y Sartaj M. 1997.** *Comparative Study of Static Pile Composting Using Natural, Forced and Passive Aeration Methods. Compost Science & Utilization; Vol.5 Issue a, p65,13p.*

**Giraldo E. y Delgado E. 2003.** *Manual de Diseño de Compostaje de Lodos y Biosólidos. Centro de Innovación y Desarrollo Tecnológico-CITEC. Centrote Investigación en Ingeniería Ambiental- CIIA. Universidad de Los Andes.*

**Goyal.S, Dhull.S.K y Kapoor.K.K. 2004.** *Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. Bioresource Technology .*

**Haug R.T. 1993.** *The practical handbook of composting engineering. Florida. Lewis publishers.*

**Herrera M. D. 1998.** *Compostaje aerobio de Eichornia Crassipes. Tesis Magíster. Santafé de Bogotá . Uniandes.*

**Higgins, A. , Suhr, J. , Rahman, S., Singley, M. and Rajput, V. 1987.** *Shredded Rubber Tires as a Bulking Agent for Composting Sewage Sludge. United States Environmental Protection Agency, Water Engineering Research Laboratory Cincinnati OH .*

**Holmqvist. A & Stenström. T. 2002.** *Survival of Ascaris Suum Ova, Indicator Bacteria and Salmonella Thyphimurium. Phage 28 B in Mesophilic Composting of Household Waste.*

**Hoornweg D. L. Thomas,L. Otten. 1999.** *Composting and Its Applicability in Developing Countries Published for the Urban Development Division. The World Bank, Washington DC.*

**Khan S. & Sarwar K.S. 2002.** *Effect of Water-hyacinth Compost on Physical, Physico-chemical Properties of Soil and on Rice Yield. Pakistan Journal of Agronomy 1 (2-3): 64-65.*

**Nguyen T.L, Ph.D 1990.** *Conversion of Mixture of Water Hyacinth (Eichornia Crassipes) And Domestic Solid Waste To Soil Conditioner By Composting Procces. Faculty of Environmental Science, Vietnam National University.*

**Icontec. 2004.** *NTC 5167. Normas Técnicas Colombianas. Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo. Primera actualización.*

**Pearson J, Lu F and Gandhi K. 2004.** *Disposal of Wool Scouring Sludge by Composting. Autex Research Journal, Vol. 4, No3.*

**Peigne. J. & Girardin. P. 2000.** *Environmental Impacts of Farm- Scale Composting Practices. Water,Air,and Soil Pollution 153: 45-68,2004 .Public Work Technical Bulletin 420-49-14. Composting For Army Installations.*

**Rynk, R., et al. 1992.** *On-farm composting handbook. Ithaca, NY: Cooperative Extension, Northeast Regional Agricultural Engineering Service.*

**Clesceri. L, Greenberg. A and Eaton. A. 1998.** *Standards Methods.For the examination of water and wastewater. 20<sup>th</sup> Edition.*

**Suzuki, M. , Teppoolpon, M. , Morakul, P. , and Igarashi, T. 1988.** *Composting trials of Water Hyacinth in Tahiland En:Jaapanese Journal of Tropical Agriculture. Vol 26, No.2.*

**Tchobanoglous, G., Theisen, H., Vigil, S. 1998.** *Gestión Integral de Residuos Sólidos. Vol I.*

**Taiwo L. B. & Oso B. A. 2004.** *Influence of composting techniques on microbial succession, temperature and pH in a composting municipal solid waste. African Journal of Biotechnology* Vol. 3 (4), pp. 239-243.