

**COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (VOCs) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON SEPARACIÓN EN LA FUENTE Y SU EFECTO EN LA  
SALUD HUMANA**

**JUAN FERNANDO SALDARRIAGA ELORZA**

**UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
MAESTRIA EN INGENIERÍA URBANA  
MEDELLÍN  
2009**

**COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (VOCs) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS  
RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS Y SU EFECTO EN LA SALUD HUMANA**

**JUAN FERNANDO SALDARRIAGA ELORZA**

**TESIS DE GRADO PARA OPTAR EL TITULO DE MAGISTER EN INGENIERÍA URBANA**

**DIRECTORA  
GLADIS ESTELA MORALES MIRA  
MSc. Química**

**UNIVERSIDAD DE MEDELLIN  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA URBANA  
UNIVERSIDAD DE MEDELLIN  
2009**

Nota de Aceptación

---

---

---

---

---

---

---

Firma del Presidente del Jurado

---

Firma del Jurado

---

Firma del Jurado

A mi padre, que desde algún lugar me está apoyando  
Y a mi madre por estar siempre a mi lado apoyándome en todo

## AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el cariño y confianza que me brindan en todo momento, pero sobre todo por estar, cada uno a su manera, respaldándome para alcanzar mis objetivos.

A la profesora Gladis Morales, directora de la tesis, mi más sincera gratitud por su confianza, paciencia, disposición en todo momento y valiosos consejos que me permitieron alcanzar los objetivos de esta tesis. Gladis mi mayor agradecimiento por aceptar el reto de dirigir mi trabajo de investigación y enseñarme a disfrutar de él, pero sobre todo gracias por tu amistad.

A Julián E. López y Jorge L. Gallego, siempre pienso la suerte de haber coincidido con ustedes, por apoyarme desde el principio, gracias por todo lo que me enseñaron y ayudaron, fue un placer y lo seguiré siendo trabajar con ustedes.

Al grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales GEMA, por permitirme desarrollar este trabajo.

Al profesor Claudio Jiménez por haberme ayudado con los análisis cromatográficos.

A la Cooperativa Recuperar, por permitirme el montaje de las composteras y el desarrollo de gran parte de este trabajo.

Y no puedo dejar de lado a mis amigos (Tony, Rafael, Paula, Olga, Nancy, Lina y Norberth), que sin ustedes a mi lado no lo hubiera logrado, tantas desveladas sirvieron de algo y aquí está el fruto. Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean. Los quiero mucho.

## Contenido

RESUMEN EJECUTIVO.....	xiii
1. INTRODUCCIÓN .....	xiv
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
3. MARCO TEÓRICO .....	3
3.1. MANEJO DE RESIDUOS .....	3
3.2. PROCESO DE COMPOSTAJE .....	5
3.3. PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO .....	6
3.3.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS.....	6
3.3.1.1 Contenido de humedad .....	6
3.3.1.2 Densidad .....	6
3.3.1.3 Capacidad de Retención de Agua (CRA) .....	7
3.3.1.4 Contenido de cenizas .....	7
3.3.1.5 Conductividad eléctrica .....	7
3.3.1.6 pH .....	8
3.3.1.7 Nitrógeno Total .....	8
3.3.1.8 Carbono Orgánico Total (COT) .....	9
3.3.1.9 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) .....	9
3.3.1.10 Relación C/N .....	10
3.3.1.11 Fósforo .....	10
3.3.1.12 Metales .....	10
3.3.1.13 Temperatura. ....	11
3.3.2. PARAMETROS BIOLÓGICOS .....	11
3.3.2.1 Microbiológicos .....	11
3.3.2.2 Respirimetría .....	11
3.4. PROBLEMAS ASOCIADOS AL COMPOST Y AL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	12
3.4.1. Compost no estabilizado .....	12
3.4.2. Proceso de compostaje .....	12
3.5. COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES (VOC´S) .....	13
3.6. EFECTOS EN LA SALUD DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES .....	15
3.7. EXTRACCION DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	20
3.7.1. Extracción a través de Bolsas Tedlar .....	20
3.7.2. Microextracción en fase solida (SPME) .....	20
3.8. CROMATOGRAFIA DE GASES (GC).....	20
3.9. CROMATOGRAFIA GASEOSAS ACOPLADA A MASAS (GC-MS) .....	21
3.10. EVALUACION DEL RIESGO EN LA SALUD .....	21
3.11. REGULACION Y LEGISLACION .....	22
4. OBJETIVOS .....	24

4.1. Objetivo General .....	24
4.2. Objetivos Específicos .....	24
5. HIPÓTESIS .....	24
6. METODOLOGÍA .....	25
6.1. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS .....	25
6.1.1. Materiales para el proceso de compostaje .....	25
6.1.2. Equipos, reactivos y condiciones de análisis .....	25
6.1.2.1 Análisis fisicoquímicos .....	25
6.1.2.2. Microbiológicos .....	26
6.2. ESTABLECIMIENTO DE LA COMPOSTERA .....	26
6.3. MUESTREO .....	27
6.4. TRATAMIENTO DE LA MUESTRAS .....	27
6.4.2. Análisis Fisicoquímicos .....	28
6.4.1.1 Contenido de Humedad .....	28
6.4.1.2 Densidad .....	29
6.4.1.3 Capacidad de Retención de Agua (CRA) .....	29
6.4.1.4 Cenizas .....	29
6.4.1.5 Conductividad Eléctrica .....	30
6.4.1.6 pH .....	30
6.4.1.7 Nitrógeno total .....	30
6.4.1.8 Carbono Orgánico Total (COT) .....	31
6.4.1.9 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC). .....	31
6.4.1.10 Fósforo .....	32
6.4.1.11 Metales .....	32
6.4.3. Análisis Microbiológicos .....	33
6.4.2.1 Análisis Microbiológicos .....	33
6.4.3.2. Determinación de la actividad microbiana en los ensayos por respirometría. .....	34
6.5. CUANTIFICACIÓN DE VOC ´S .....	34
7. RESULTADOS Y ANÁLISIS .....	36
7.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS.....	36
7.1.1. Contenido de humedad .....	36
7.1.2. Densidad .....	36
7.1.3. Capacidad de Retención de Agua (CRA) .....	37
7.1.4. Cenizas .....	38
7.1.5. Conductividad eléctrica .....	39
7.1.6. pH .....	40
7.1.7. Nitrógeno total .....	41
7.1.8. Carbono Orgánico Total (COT) .....	42
7.1.9. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) .....	43

7.1.10. Relación C/N .....	44
7.1.11. Fósforo .....	45
7.1.12. Metales .....	46
7.1.13. Temperatura .....	47
7.1.14. Correlaciones entre las diferentes variables fisicoquímicas .....	48
7.2. PARÁMETROS BIOLÓGICOS .....	52
7.2.1. Microorganismos .....	52
7.2.2. Respirimetría .....	54
7.2.3. Relación de Temperatura y Microorganismos .....	55
7.3. COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES VOC´s .....	56
7.3.1. Cinéticas de los VOC´s presentes durante todo el proceso de compostaje .....	58
7.3.1.1. Xilenos ( <i>o</i> , <i>m</i> , <i>p</i> ) .....	58
7.3.1.2. Benzaldehído .....	59
7.3.1.3. Limoneno .....	60
7.3.1.4. Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl.....	61
7.3.1.5. Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester .....	61
7.3.1.6. Cariofileno .....	62
7.3.1.7. Pentadecano .....	63
7.3.1.8. Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)- ..	63
7.3.1.9. Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- .....	64
7.3.1.10. Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,(1S-cis)-	65
7.3.1.11. Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- .....	65
7.3.1.12. Copaeno.....	66
7.3.2. Correlaciones entre los doce compuestos seleccionados .....	67
7.3.3. Cuantificación de VOC´s .....	71
7.3.4. Estimación del riesgo a la salud .....	73
8. CONSIDERACIONES FINALES .....	76
9. CONCLUSIONES .....	78
10. RECOMENDACIONES .....	79
11. BIBLIOGRAFÍA .....	80
12. ANEXOS .....	91



## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Compuestos Orgánicos Volátiles Comunes y sus fuentes .....	13
Tabla 2. Compuestos Orgánicos Volátiles y su efecto en la salud. ....	16
Tabla 3. Matriz de correlación entre las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje .....	50
Tabla 4. Matriz de estadísticos iniciales. ....	51
Tabla 5. Matriz de componentes principales. ....	52
Tabla 6. VOC´s emitidos durante el proceso de compostaje .....	57
Tabla 7. Matriz de correlación de orgánicos volátiles .....	67
Tabla 8. Matriz de estadísticos iniciales. ....	68
Tabla 9. Matriz de componentes principales de compuestos orgánicos volátiles .....	69
Tabla 10 Concentración de Xilenos durante todo el proceso .....	72
Tabla 11 Concentración de etilbenceno durante todo el proceso .....	72
Tabla 12 Concentración de Tolueno durante todo el proceso .....	72
Tabla 13 Relación de riesgo asociada a xilenos, etilbenceno y tolueno .....	74

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Cinética del contenido de Humedad (%) durante el proceso de compostaje ..	36
Figura 2. Cinética de la densidad (g/cm <sup>3</sup> ) durante el proceso de compostaje .....	37
Figura 3. Cinética de la CRA (%) durante el proceso de compostaje .....	38
Figura 4. Cinética del contenido de Cenizas (%) durante el proceso de compostaje ....	39
Figura 5. Cinética de la conductividad eléctrica (mS/cm) durante el proceso de compostaje .....	40
Figura 6. Cinética de pH durante el proceso de compostaje .....	41
Figura 7. Cinética del Nitrógeno (%) durante el proceso de compostaje .....	42
Figura 8. Cinética del COT (%) durante el proceso de compostaje .....	43
Figura 9. Cinética de la CIC (cmol(+)/Kg-1) durante el proceso de compostaje .....	44
Figura 10. Cinética de la relación C/N durante el proceso de compostaje .....	45
Figura 11. Cinética del Fósforo (%) durante el proceso de compostaje .....	46
Figura 12. Gráfico de dispersión del comportamiento de metales durante el proceso ..	46
Figura 13. Cinética de metales (Na y Ca) durante el proceso de compostaje .....	47
Figura 14. Temperatura durante el proceso de compostaje .....	48
Figura 15. Gráfico de sedimentación de factores .....	51
Figura 16. Microorganismos durante el proceso de compostaje .....	53
Figura 17. Microorganismos totales (UFC/g) durante el proceso de compostaje .....	53
Figura 18. Microorganismos mesófilos y termófilos durante el proceso de compostaje .	54
Figura 19. Cinética de la Respirimetría (mg CO <sub>2</sub> ) durante el proceso de compostaje ..	55
Figura 20. Relación entre la temperatura y los microorganismos mesófilos .....	56
Figura 21. Cromatograma de VOC´s provenientes de RSU-sf (DÍA 8, Tedlar) .....	56
Figura 22. Cromatograma de VOC´s provenientes de RSU-sf (DÍA 8, SPME) .....	57
Figura 23. VOC´s durante el proceso de compostaje .....	58
Figura 24. Cinética de los Xilenos durante el proceso de compostaje .....	59
Figura 25. Cinética del Benzaldehído durante el proceso de compostaje .....	60
Figura 26. Cinética Limoneno durante el proceso de compostaje .....	60
Figura 27. Cinética de Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl durante el proceso de compostaje .....	61
Figura 28. Cinética de Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester durante el proceso de compostaje .....	62
Figura 29. Cinética del cariofileno durante el proceso de compostaje .....	62
Figura 30. Cinética del Pentadecano durante el proceso de compostaje .....	63
Figura 31. Cinética de Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-(1S-cis)-durante el proceso de compostaje .....	64
Figura 32. Cinética de Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-durante el proceso de compostaje .....	64

Figura 33. Cinética del Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)- durante el proceso de compostaje .....	65
Figura 34. Cinética de Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- durante el proceso de compostaje .....	66
Figura 35. Cinética del Copaeno durante el proceso de compostaje .....	66
Figura 36. Gráfico de sedimentación de factores .....	68
Figura 37. Relación de aparición de los cinco VOC´s .....	70
Figura 38 Perfil cromatográfico de estándares de VOC´s .....	71
Figura 39. Relación de riesgo asociada a los xilenos .....	74
Figura 40. Relación de riesgo asociada al etilbenceno .....	75

## **ANEXOS**

Tabla 1. Registro de las Variables Fisicoquímicas Evaluadas Durante el Proceso de Compostaje

Tabla 2. Análisis de regresión de las variables fisicoquímica

Tabla 3. Análisis de regresión de los volátiles presentes durante todo el proceso de compostaje

Tabla 4. Compuestos orgánicos volátiles presentes en todo el proceso de compostaje

Tabla 5. Presencia y ausencia de Compuestos orgánicos volátiles presentes en el proceso de compostaje

Tabla 6. Afecciones en la salud de algunos compuestos presentes en el proceso de compostaje

Tabla 7. Clase de veneno

# COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES (VOCs) EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE DE LOS RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS CON SEPARACIÓN EN LA FUENTE Y SU EFECTO EN LA SALUD HUMANA

Autor: JUAN FERNANDO SALDARRIAGA ELORZA

Titulo otorgado: Magister en Ingeniería Urbana

Línea de énfasis: Servicios públicos

Directora del Trabajo: Gladis Estela Morales Mira

Programa: Maestría en Ingeniería Urbana

Ciudad: Medellín

Año: 2010

## RESUMEN EJECUTIVO

El compostaje es un proceso de estabilización de la materia orgánica cuyo producto final es el compost; este aplicado al suelo es una alternativa de recuperación del mismo mejorando su estructura, además de sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Durante el proceso de compostaje, se presenta la emisión de olores, los cuales están asociados a diferentes compuestos que se generan durante la mineralización y condensación de la materia orgánica. Entre éstos se encuentran los VOC's, muchos de los cuales son peligrosos para las plantas, los animales y el ser humano. En este trabajo se determinó y cualificó la generación de los VOC's mediante cromatografía gaseosa acoplada a masas, durante un proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos con separación en la fuente proceso llevado a cabo durante siete semanas. Paralelamente a los VOC's se analizaron variables fisicoquímicas y microbiológicas las cuales al final del proceso cumplieron con la norma NTC-5167. Se tuvo un acercamiento al potencial de emisión del proceso, encontrando cerca de 311 VOC's destacando entre ellos compuestos, aromáticos, aromáticos policíclicos, alifáticos y terpenos, a lo largo de todo el proceso de compostaje, siendo la tercera y cuarta semana las de mayor generación con 141 y 158 respectivamente; donde se destacan los xilenos (*o,m,p*), tolueno y etilbenceno conocidos por poseer efectos adversos a la salud.

## ABSTRAC

Composting is a process of stabilization of organic matter whose end product is compost, and this applied to the soil is an alternative to improve recovery of the structure, in addition to their physical, chemical and biological weapons. During the composting process, presents the odor emission, which are associated with different compounds that are generated during the mineralization and condensation of organic matter. These include the VOC's, many of which are dangerous to plants, animals and humans. In this

study we determined and qualified the generation of VOCs by gas chromatography coupled to mass, during a composting process of urban solid waste source separation process carried out for seven weeks. Parallel to the VOC's were analyzed physicochemical and microbiological variables which at the end of the process complied with the NTC-5167. It was an approach to the emission potential of the process, finding nearly 311 VOCs most notably compounds, aromatics, polycyclic aromatic, aliphatic and steroid, along the entire process of composting, the third and fourth week of the increased generation of 141 and 158 respectively, which highlights the xylenes (or, m, p), toluene, ethylbenzene known to have adverse health effects.

## 1. INTRODUCCIÓN

El material orgánico equivale a un 50 y 60% del total de los residuos convirtiéndolo en un material susceptible de aprovechamiento (Li'ao et al., 2009; Osman et al., 2009; Gamze et al., 2009; Cherubini et al., 2008; AMVA, 2006), ya que al ser tratado de forma eficiente no solo se disminuye la cantidad de residuos a disponer en rellenos sanitarios, sino que se obtiene un producto con un valor agregado que puede en principio servir como enmienda orgánica y de esa manera, ayudar a mejorar la condiciones del suelo (Pagans et al., 2006).

Como alternativas para el tratamiento de residuos orgánicos se encuentra el compostaje, el cual se define como un “proceso de degradación biooxidativo y catabólico seguido de un proceso de resíntesis de un sustrato orgánico sólido a través de organismos descomponedores endémicos (artrópodos y microorganismos), hasta la obtención de un producto heterogéneo denominado compost, con apariencia completamente independiente del material de origen y que se caracteriza por su estabilidad química y sanitización, con respecto a parámetros de referencia establecidos por un patrón” (Acevedo et al., 1999) citado por Restrepo et al. (2010).

La estabilidad se define en términos de biodisponibilidad de la materia orgánica, refiriéndose a su grado de descomposición y describe las condiciones en que se encuentra el material, es relativamente fácil de medir y cuantificar ((Cooperband et al., 2003) citado por Barrena (2006); (Boulter-Bitzer et al., 2006)). Un compost maduro se define, como el apropiado para el crecimiento de las plantas y normalmente se asocia con el grado de humificación. La madurez, depende del uso final que se le vaya a dar al material, y por tanto, requiere de una valoración sobre si el compost producido es apropiado o no para el uso al que se destina (Cooperband et al., 2003) citado por Barrena, (2006).

Una desventaja del proceso de compostaje es la emisión de compuestos orgánicos volátiles los cuales se caracterizan por presentar una presión de vapor menor a 0,01 kPa a 20°C, estos provienen de los hidrocarburos, los cuales son contaminantes primarios del aire y se emiten directamente a la atmosfera. Muchos de estos hidrocarburos evolucionan posteriormente transformándose en los llamados oxidantes fotoquímicos, contaminantes secundarios, causantes de efectos mucho mas acusados y graves que los originados por los propios hidrocarburos (Ott, 2007; Orozco, 2003).

La composición de las sustancias emitidas puede variar de un lugar a otro, del tipo de residuo tratado, del estado de descomposición y de las condiciones de operación del proceso (Bruno et al., 2007). También se argumenta que la producción de VOC's se debe a la aireación incompleta o insuficiente durante el proceso de compostaje y que esto lleva a la producción de compuestos de sulfuro, la emisión de alcoholes, cetonas, esterres y ácidos orgánicos (Pagans et al., 2006).

En este trabajo se analizó la generación de compuestos orgánicos volátiles de un proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos separados en la fuente, dicho proceso fue llevado a cabo durante siete semanas. Se hizo seguimiento tanto a variables fisicoquímicas, microbiológicas y los VOC's, los cuales tuvieron su máxima presencia entre la tercera y la cuarta semana. Resaltando que en ellas se encontraron compuestos tales como hidrocarburos aromáticos e hidrocarburos aromáticos policíclicos, altamente nocivos para la salud y el ambiente, adicionalmente se realizó un acercamiento teórico con el fin de evaluar los impactos nocivos en la salud y el ambiente de los principales volátiles detectados.



## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En la mayoría de los municipios de nuestro País, se presentan pocas alternativas viables de tratamiento de residuos sólidos, debido a los altos costos y la poca viabilidad técnica, de ahí que el relleno sanitario o botadero a cielo abierto es la principal alternativa para el manejo de los residuos. Se resalta que en casi un 100% de los municipios, se encuentran establecidos los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos implementados por cada uno de los municipios según el decreto 1713 de 2002 y la resolución 1045 de 2003.

Para que un relleno sanitario tenga un tiempo de vida útil amplio se requiere hacer una separación de los residuos y proponer alternativas viables para el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos. Hace varios años se viene proponiendo los lombricompostos y el compostaje (Tosun et al., 2008; Biiyuksonmez & Evans, 2007; Dresboll & Magid, 2006; Decreto 1505 de 2003). En este último se han realizado grandes avances en pro de la obtención de un compost de alta calidad en lo que respecta a su futura aplicación bien sea como enmienda o bien sea como abono para los suelos (Bhattacharyya et al., 2001). La mayor limitante que se ha tenido para que no sea excesivamente implementado; a pesar de que ya hay un amplio conocimiento del proceso y de estudios que indican su viabilidad, es la falta de experiencias por parte de los técnicos y ausencia de la legislación al respecto, que obligue a que dicha práctica sean llevada a cabo.

En la Guía del MINAMBIENTE (2002), se atribuye que uno de los principales impactos negativos del proceso de compostaje al ambiente, es una posible emisión de olores. No obstante, debido a las altas tasas de generación de residuos sólidos urbanos en nuestro país y que los residuos orgánicos componen casi el 60% de estos, el compostaje se convierte en uno de los sistemas de aprovechamiento de residuos más importante (Decreto 1713 de 2002); por lo que es necesario que se realicen investigaciones que lleven a cabo el análisis de dicho tratamiento, tanto en sus fases de degradación como en su producto final.

En el proceso se presentan las etapas de latencia, mesófila y termófila (Miyatake & Iwabuchi, 2005; Sztern & Pravia, 2000). Durante éstas etapas se originan un sin fin de reacciones generando la producción de CO<sub>2</sub>, agua y olores, los cuales están asociados a los compuestos orgánicos volátiles (VOC's) (Smet et al., 1999).

Los VOC's se caracterizan algunos de ellos por ser cancerígenos como los derivados del benceno entre los que se encuentran el benzaldehído y los xilenos. Se ha encontrado, que tanto dimetil disulfuro como el metanotiol son tóxicos en animales, ambos manifestaban irritación de las membranas además provocaban nauseas. Otros al ser emitidos al ambiente y mezclarse con óxidos como el nitrógeno (NO<sub>x</sub>), producen el ozono troposférico, principal causante del calentamiento global y responsable del daño de la capa de ozono (Tansy et al., 1981), citados por Wilkins & Larsen (1996).

Las emisiones de VOC's, al igual que los bioaerosoles y microorganismos patógenos, están asociados con el riesgo a la salud de los operarios de las composteras, es así como en muchos estudios se recomienda controlar los niveles de exposición para prevenir los

efectos adversos en la salud (Nadal et al., 2009). Solo en lo que concierne a la exposición a los VOC's, se encontró que pueden producir efectos crónicos y agudos en la salud, como afecciones al sistema respiratorio, toxicidad neurológica, cáncer de pulmón, irritación de ojos y garganta, dolor de cabeza, náuseas, depresión y letargia (Guo et al., 2004).

Luego de una intensa búsqueda se pudo establecer el poco o nulo trabajo que se ha realizado en el país acerca de la emisión de VOC's durante el proceso de compostaje, que volátiles estamos generando; caso de residuos sólidos con separación en la fuente. Cual podría ser el efecto en la salud, no solo de los operarios de las composteras sino de los habitantes de zonas aledañas a ellas, asociados éstos a un factor de riesgo. Adicionalmente, el conocimiento de las emisiones de VOC's, y la precisión en el tiempo de compostaje de aquellos menos inocuos podría ser útiles en el diseño de futuras instalaciones con miras a reducir o minimizar los riesgos debido a las emisiones de VOC's (Eitzer, 1995).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Objetivo General

Identificar los principales VOC's generados en el proceso de compostaje de los Residuos Sólidos Urbanos con separación en la fuente y como afectan a la salud humana

### 4.2. Objetivos Específicos

- Identificar los principales compuestos orgánicos volátiles a partir del proceso de compostaje de los residuos sólidos urbanos
- Hacer un estimativo de la cantidad de compuestos orgánicos volátiles emitidos durante el proceso de compostaje
- Estudiar la afección de dichos compuestos tanto a la salud como al ambiente
- Identificar cuáles son perjudiciales para la salud a partir de una revisión bibliográfica

## 5. HIPÓTESIS

La producción de compuestos orgánicos volátiles en el proceso de compostaje de residuos sólidos urbanos con separación en la fuente genera afecciones a la salud humana.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. MANEJO DE RESIDUOS

Desde los días de la sociedad primitiva, los seres humanos y los animales han utilizado los recursos de la tierra para la supervivencia y evacuación de residuos (Tchobanoglous et al., 1994). Hace millones de años las basuras no planteaban ningún inconveniente, esto debido a que la relación población versus terreno era lo suficientemente grande como para que estas no presentaran problema alguno.

Los problemas de disposición y tratamiento se dan cuando el hombre se convierte en sedentario, y empieza a agruparse en tribus, aldeas o comunidades, lo que conllevó a la acumulación de residuos. El mal manejo de estos residuos, los cuales eran dispuestos en las vías sin ninguna gestión adecuada, llevó a la reproducción de ratas, siendo las principales transmisoras de la peste bubónica, junto con ésta se dio la epidemia, la plaga, la muerte negra, causante de la muerte de casi la mitad de las personas que habitaban en ese entonces Europa (siglo XIV) (Davis & Masten, 2005; Pineda, 1998; Tchobanoglous et al., 1994).

Para el siglo XIX, se empiezan a considerar de vital importancia que la recolección y evacuación de los residuos de comida se debía realizar de una forma sanitaria para controlar roedores, moscas y vectores sanitarios. Se evidenció también, que la relación entre salud pública y el almacenamiento, recolección y evacuación inapropiada de residuos era muy claro (Vázquez, 1996; Tchobanoglous et al., 1994). Fenómenos como la contaminación del agua, aire y afecciones a la salud humana han sido atribuidos a la gestión inapropiada de los residuos sólidos, esto debido a que se ha demostrado que las ratas, moscas y otros transmisores se reproducen en vertederos incontrolados; por otro lado el lixiviado que producen los residuos luego de ser dispuestos, han contaminado tanto las aguas superficiales como subterráneas, debido a la falta de aplicaciones ingenieriles en el manejo de los rellenos (Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994).

Otra solución dada para el tratamiento de los residuos fue la incineración, siendo esta uno de los métodos más antiguos, se desarrolló y tecnificó a finales del siglo XIX. Con este tratamiento se creyó llegar a la solución ideal, gracias a la reducción del volumen y el peso de los residuos, además de dejar residuos inoloros y homogéneos, con poco atractivo tanto para insectos como roedores, pero con la incineración como solución se generó un nuevo problema, la contaminación atmosférica. (Collazos, 2005; Davis & Masten, 2005).

Hoy en día, el relleno sanitario se convierte en una de las alternativas más eficientes para la disposición adecuada de los residuos sólidos, pero a largo plazo, tampoco será el método o al menos el único, debido a que cada día con el crecimiento urbano se dificulta mas la consecución de terrenos aptos para el establecimiento de los mismos

(Collazos, 2005; Pineda, 1998). Por esta razón se han venido desarrollando diferentes tratamientos, los cuales utilizan poco espacio y pueden tratar todo el material como es el caso de la termólisis o pirolisis, o fracciones, como la biogeneración o el compostaje (Davis & Masten, 2005; Pineda, 1998).

Actualmente surgen preocupaciones importantes por los millones de toneladas de residuos que se generan en el mundo, ya que éstos no tienen un buen manejo y tratamiento; otro factor primordial es la composición, que a medida que pasa el tiempo ha venido cambiando como también sus características químicas, físicas y biológicas. Es por esto que hace unas décadas se viene hablando de un sistema integral para el manejo de los residuos sólidos, que tenga en cuenta reducción en origen, reciclaje de residuos, transformación y evacuación (Orozco, 2005; Decreto 1713 de 2002; Kiely, 1999; Tchobanoglous et al., 1994). Éste presenta diferentes tecnologías de tratamiento para la evacuación definitiva, como lo son la minimización de residuos, la reutilización y reciclado, el tratamiento biológico, el tratamiento térmico y la evacuación a rellenos sanitarios.

En la actualidad, pocos son utilizados en el medio, debido a los altos costos como es el caso de los térmicos, ya que son tecnologías nuevas en el país, las cuales utilizan una mano de obra capacitada, grandes cantidades de energía, llevando a un aumento de los costos de funcionamiento, pero con una gran ventaja, la disminución de impactos al ambiente. Por esto otro tipo de tratamientos de menor costo, se imponen en el medio; como es el caso de los rellenos sanitarios o evacuación a vertedero, la cual se convierte en la mejor opción de tratamiento en el país debido a su fácil manejo (Resolución 1390 de 2005; Decreto 838 de 2005; Resolución 1045 de 2003; MINAMBIENTE, 2002; Decreto 1713 de 2002).

Este tratamiento combinado con otros como es el caso de la reutilización y el reciclaje para los residuos inorgánicos y el tratamiento biológico para los residuos orgánicos, logra disminuir la cantidad a disponer en el vertedero. Son los residuos orgánicos, los de mayor proporción en la cantidad total de residuos, con un rango entre 50 y 60% (Li'ao et al., 2009; Gamze et al., 2009; Osman et al., 2009; Cherubini et al., 2008; AMVA, 2006; PGIRS Subregional, 2002), convirtiéndose en el tipo de residuo más importante para ser tratado, debido a que se logra disminuir la cantidad de residuos a disponer en el relleno sanitario (Li'ao et al., 2009; Xiao et al., 2009).

Para la gestión integral de residuos sólidos, reglamentada por el decreto 1713 de 2002 y modificado parcialmente por el decreto 1505 de 2003, se tiene para el tratamiento de los residuos orgánicos el compostaje, como una de las mejores alternativas. Ésta se define como “proceso de degradación biooxidativo y catabólico seguido de un proceso de resíntesis de un sustrato orgánico sólido a través de organismos descomponedores endémicos (artrópodos y microorganismos), hasta la obtención de un producto heterogéneo denominado compost, con apariencia completamente independiente del material de origen y que se caracteriza por su estabilidad química y sanitización, con respecto a parámetros de referencia establecidos por un patrón” (Acevedo et al., 1999) citado por Restrepo Sánchez et al. (2010).

### 3.2. PROCESO DE COMPOSTAJE

Dentro de las ventajas más importantes del compostaje son el aprovechamiento de los residuos orgánicos que además de obtener un producto útil al suelo, proporciona equilibradamente nutrientes a este y las plantas, mejora la calidad biológica de los alimentos, no hay contaminación del ambiente durante el proceso, el producto final puede comercializarse, se reduce la cantidad de residuos que tiene que recogerse, transportarse y enterrarse en los rellenos sanitarios y se respeta el ciclo biológico (Benito et al., 2003). El compost, se puede considerar como un bien ambiental, debido a que disminuye la cantidad de agroquímicos requeridos por los cultivos donde es aplicado y al considerar que se devuelve a la sociedad un bien que fue generado por ella, evitando el agotamiento del humos y tierras productivas (Goyal et al., 2005; Wang et al., 2004; Sellami et al., 2008).

El proceso se caracteriza por el predominio de los metabolismos respiratorios aerobios y por la alternancia de etapas mesotérmicas (10-40°C) con etapas termogénicas (40-75°C), y con la participación de microorganismos mesófilos y termófilos respectivamente (Hassen et al., 2001; Sztern & Pravia, 1999).

Se diferencian dos etapas principales, la primera de degradación o descomposición la cual consta de dos fases una mesófila con temperaturas hasta los 45 °C y una termófila con temperaturas que puede llegar hasta los 70 °C. La segunda etapa de maduración, la cual consta también de dos fases, la primera llamada de enfriamiento con temperaturas desde los 40 °C hasta temperaturas ambiente y la segunda llamada de estabilización que se desarrolla a temperatura ambiente y que es caracterizada por una baja actividad microbiana y por la aparición de microorganismos superiores ((Adani et al., 1997) citado por D'Imporzano et al. (2008); Barrena, 2006; Sztern & Pravia, 1999).

Según el tiempo de duración del proceso el compost como producto final puede ser estable o maduro, por ende el seguimiento de éste tiene en cuenta el grado descomposición y transformación de la materia orgánica, asociándose la estabilidad a la actividad microbiana principalmente (Kalamdhad et al., 2008; Gómez et al., 2008; Iannotti et al., 1993), ésta se puede determinar por el índice de producción de la absorción de oxígeno o del dióxido de carbono, o por el calor lanzado como resultado de la actividad microbiana (Som et al., 2009; Boulter-Bitzer et al., 2006; Wang et al., 2004).

Se considera entonces inestable un compost cuando contiene una parte elevada de la materia biodegradable poco alterada la cual favorece una gran actividad microbiana, por el contrario si el material contiene productos recalcitrantes o sustancias húmicas producto de la resíntesis y transformaciones orgánicas, se considera estable (Kalamdhad et al., 2008; Gómez et al., 2008).

Se define un compost maduro como el apropiado para el crecimiento de las plantas y normalmente se asocia con el grado de humificación. La madurez, sin embargo, depende del uso final que se le vaya a dar al material, y por tanto, requiere de una valoración sobre si el compost producido es apropiado o no para el uso al que se destina (Aslam et al., 2008; (Cooperband et al., 2003) citado por Barrena (2006); Boulter-Bitzer et al., 2006;). Otra definición de madurez es la implicación del contenido estable de materia orgánica y la ausencia de compuestos fitotóxicos y patógenos para plantas y animales (Aslam et al., 2008; (Bernal et al., 1998) citado por Bernal et al. (2008); Boulter-Bitzer et al., 2006).

Se han descrito numerosos y diversos métodos que indican la madurez del compost, pero aun no se ha encontrado un sistema fiable, consecuente y que la cuantifique para todos los tipos de compost y sus usos (Barrena, 2006; Boulter-Bitzer et al., 2006), una alternativa para el seguimiento de la madurez del compost se determina con base a varios parámetros como por ejemplo, crecimiento vegetal, índice de humificación, relación C/N, entre otros (Som et al., 2009).

Los parámetros biológicos en el compost que estudian la biomasa y actividad microbiana son también usados como indicadores de madurez, y la aplicación de estos parámetros han mostrado proveer una valiosa información acerca de la dinámica del proceso y la evaluación de la calidad del producto final. Algunas de estas pruebas incluyen: FDA (análisis del diacético de la fluoresceína), PLFA (análisis del ácido graso del fosfolípido) respiración microbiana y actividad enzimática (Boulter-Bitzer et al., 2006).

### **3.3. PARÁMETROS UTILIZADOS PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO**

#### **3.3.1. PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS**

##### **3.3.1.1 Contenido de humedad**

La humedad es un parámetro fundamental dentro del proceso de compostaje, por lo que permite la difusión de oxígeno en la matriz orgánica, debido a que un aumento permite la aparición de zonas anaerobias y malos olores, mientras que un déficit limita la actividad microbiológica.

La humedad es considerada como un parámetro de control; de ahí que se ha establecido un rango entre el 40% y el 60%, como valor óptimo para el proceso de compostaje (Bueno et al., 2008; Canet & Pomares, 1995)

### 3.3.1.2 Densidad

La densidad es el peso de un material por unidad de volumen (por ejemplo  $\text{g/cm}^3$ ), se define también como la medida de la masa dentro de un volumen dado, la cual está influenciada por características mecánicas como porosidad, fuerza y compactibilidad (Mohee & Mudhoo, 2005). Se calcula como la masa de las partículas divididas por el volumen que ocupan, además incluyen los vacíos interpartículas (Ruggieri et al., 2009).

La densidad es importante dentro del proceso de compostaje debido a que permite el paso de aire internamente en la cama de compost, logrando así que el proceso se dé aeróbicamente (Mohee & Mudhoo, 2005). Se encontró que la porosidad del material disminuía con el aumento de la densidad y del contenido de agua (Ahn et al., 2008) citados por Ruggieri et al., 2009). Dentro de la norma se tiene como valor máximo permitido para una enmienda o abono orgánico un valor  $0,6 \text{ g/cm}^3$  (NTC-5167).

### 3.3.1.3 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La CRA permite realizar un balance hídrico dentro del sistema, permitiendo que no se pierdan los nutrientes por lixiviación. Este parámetro es un factor importante para evaluar, debido a que cuando se adiciona un compost con buena CRA, éste ayuda a mejorar la calidad del suelo, haciéndolo poroso y por ende con una buena retención de agua, considerándose como un parámetro primordial en la evaluación de la calidad del compost (Dresboll & Magid, 2006).

### 3.3.1.4 Contenido de cenizas

Las cenizas son una aproximación del contenido de materia orgánica presente en el producto, pero también indican el porcentaje de sustancias inorgánicas no volátiles presentes en el proceso de compostaje (GIEM, 2000). Se considera que la mineralización de la materia orgánica lleva a que se dé un aumento en el contenido de cenizas (Himanen & Hänninen, 2009; Wang et al., 2004).

Su incremento dentro el proceso se debe a la presencia de minerales y de suelo (arena, lúgamo y arcilla), además los compost con altos niveles de minerales (por ejemplo potasio), sugieren altos niveles de cenizas y los compost con contenidos medios de cenizas tienen altos contenidos de N y K, mientras que compost con contenidos altos de cenizas contiene bajos niveles de N y K (Dimambro et al., 2007).



### 3.3.1.5 Conductividad eléctrica

La conductividad es la propiedad que tienen los cuerpos de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí, por lo que una alta conductividad en una enmienda puede llegar a causar problemas en las plantas, inhibiendo el crecimiento y/o germinación (Iannotti et al., 1994). Se sugiere que el valor máximo para la conductividad eléctrica en compost es de 4 mS/cm, el cual es un punto considerable y aceptado para la sensibilidad salina media de las plantas (Lasaridi et al., 2006) citado por Campitelli & Ceppi, 2008).

### 3.3.1.6 pH

Es importante la evaluación del pH en el proceso de compostaje, ya que permite apreciar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos dentro de la pila (Avendaño, 2003). Este se presenta en un intervalo óptimo que va de 4 a 8, con el fin que los microorganismos del medio tengan la oportunidad de manifestarse. En el inicio del proceso se presenta la formación de los ácidos orgánicos, los cuales hacen que el pH se vea afectado y comience a disminuir (Boulter-Bitzer et al., 2006).

Cuando el proceso llega a la fase termófila la cual se caracteriza las reacciones de oxidación y degradación de los compuestos ácidos y aromáticos causadas por los microorganismos, los cuales inducen al incremento de la temperatura y el pH empieza a subir hasta aproximadamente 8 ó 8,5 para el resto del proceso aerobio ((Maystre and Duflon, 1994) citados por Som et al., 2009; Cegarra, 1998; Tchobanoglous et al., 1994).

Por tanto el pH, es uno de los parámetros más usados en la caracterización del material compostado y vermicompostado, siendo reglamentado en un rango de 6.0 y 8.5 para enmiendas orgánicas (Campitelli & Ceppi, 2008).

### 3.3.1.7 Nitrógeno Total

El nitrógeno permite dentro del proceso la formación de las células microbianas, haciendo que los microorganismos pasen por ciclos adicionales de consumo de carbono y síntesis de las células. Un compost inestable aplicado a la tierra puede dañar las plantas, producir compuestos fitotóxicos, deficiencias de nitrógeno y concentraciones de oxígeno (Senesi et al., 1996) citado por Sellami et al. (2008). Y un compost inmaduro puede promover la inmovilización del nitrógeno en el suelo, ya que los suelos contienen altas concentraciones de compuestos de carbono fácilmente degradables (Bernal et al., 1998).

La mineralización del contenido de nitrógeno en los residuos orgánicos dependen de una variedad de factores los cuales incluyen el tipo y la forma de los residuos; y que la

inmovilización de éste es atribuida a las relaciones C/N relativamente amplias, como también las condiciones físicas y químicas que prevalecen en un medio de descomposición, afectan la velocidad de mineralización (Adegbidi & Briggs, 2003; Levanon & Pluda, 2002).

#### 3.3.1.8 Carbono Orgánico Total (COT)

El carbono es utilizado dentro del proceso de compostaje tanto para tomar energía como para su crecimiento (GIEM, 2000), además es utilizado para el control de la calidad y el valor inicial dependerá del material con el que se esté trabajando. Éste ha sido propuesto como un parámetro para medir la estabilidad del proceso, ya que consistentemente decrece durante el proceso de compostaje (Zmora-Nahum et al., 2005).

El carbono orgánico es considerado como uno de los parámetros más activos debido a que consiste de azúcares, hemicelulosas, sustancias fenólicas, aminoácidos, péptido y otras sustancias fácilmente biodegradables (Hsu y Lo, 1999) citados por Castaldi et al. (2005). El carbono es una de las fracciones más inestables de la materia orgánica, este es fácilmente descompuesto por microorganismos y contribuye a mantener el alto nivel de actividad microbiana. Esta fracción se compone de carbohidratos, polifenoles y aminoácidos, además de la fracción soluble de ácidos fúlvicos (Hernández et al., 2006).

La disminución de la fracción de carbono durante el compostaje indica que los microorganismos utilizaron los compuesto solubles en agua como una fuente de carbono para así construir sus propias estructuras y poder alterar las fracciones más resistentes de carbono, reflejando de esta manera una gran estabilidad de la materia orgánica en el producto final (compost) (Hernández et al., 2006).

#### 3.3.1.9 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La CIC es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido de arcillas. Estas están cargadas negativamente, por lo que el suelo con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores; se dice también, que son procesos reversibles en donde las partículas sólidas del suelo simultáneamente adsorben iones de la fase acuosa y desorben cantidades equivalentes de cationes, para establecer un equilibrio entre ambas fases (GIEM, 2000).

La CIC es relacionada con la concentración de lignina de la materia orgánica y con parámetros de degradabilidad, estabilidad y mineralización (Bernal et al., 1998), aunque valores de CIC establecidos previamente para indicar un buen grado de madurez no

pueden ser generalizados a compost hechos de otros materiales (Bernal et al., 1996) citado por Bernal et al., 1998).

La CIC se ha evaluado como un parámetro de control de la madurez del compost, encontrando que ésta incrementa en función de la humificación y de la formación de grupos funcionales carboxílicos y fenólicos (Smith & Hughes, 2004; Benito et al., 2003).

#### 3.3.1.10 Relación C/N

La relación carbono - nitrógeno (C/N), es una medida de las condiciones bioquímicas, por esto que el valor óptimo para que se dé una descomposición favorable y rápida es de 30 (Sharma et al., 1997). Asegurando así que se encuentre la cantidad adecuada de nitrógeno para la síntesis de las células y el carbono suficiente como fuente de energía. Esta relación va disminuyendo durante el proceso de compostaje sin importar la técnica que se utilice y al final la relación depende de la materia prima utilizada y de la medida de nitrógeno (Zmora-Nahum et al., 2005). Si la relación C/N es mucho mayor de 30, significa que no hay suficiente nitrógeno para formar las células microbianas, haciendo que los microorganismos pasen por ciclos adicionales de consumo de carbono, síntesis de células y descomposición, impidiendo la formación de compost (Kiely, 1999).

La relación C/N ha sido evaluada encontrando rangos iniciales y finales óptimos para un buen proceso de compostaje, con rangos iniciales entre 25 y 30, llegando a valores finales entre 15 y 20 (Rynk, 1992) citado por Confesor et al. (2008).

Permite conocer si hay un adecuado proceso de mineralización de la materia orgánica, además debe permanecer en equilibrio para permitir el metabolismo de los diferentes microorganismos presentes durante el proceso de compostaje (Confesor et al., 2008 y Zmora-Nahum et al., 2005). Se dice que la relación C/N no es un parámetro para medir la madurez del compost, debido a que tiene una gran variabilidad en las materias primas utilizadas y que a menudo da una indicación engañosa de ésta (Ko et al., 2008).

#### 3.3.1.11 Fósforo

Según la norma NTC-5167 para una enmienda orgánica no húmica no se tiene un valor establecido. La concentración de fósforo dentro del proceso de compostaje se encuentra en bajas proporciones, pero éste es importante debido a que cuando el compost es aplicado a las plantas luego del tercer mes empieza a proveer el suficiente fósforo para el crecimiento de las plantas (Hargreaves et al., 2008),.

### 3.3.1.12 Metales

Los metales presentan cierta toxicidad a las plantas, algunos de ellos son considerados como elementos esenciales para la vida o para la subsistencia del organismo. La presencia de metales que son constituidos como nutrientes en las plantas son buenos para la calidad del compost, además es una garantía de ventaja agronómica, pero la presencia de contaminantes inorgánicos dentro del compost puede constituirse en un peligro ambiental (Huang et al., 2008). Este parámetro debe ser medido en el proceso ya que es importante obtener información básica acerca de las concentraciones de metales en el compost antes de ser aplicado al suelo (Ko et al., 2004) citado por Huang et al., 2008).

### 3.3.1.13 Temperatura.

Es necesaria para que se dé un buen proceso de compostaje, ya que proporciona una rápida sanitización del producto y es determinante en la actividad microbiana durante el proceso de degradación de la materia orgánica (Agnew & Leonard, 2003). Permite la presencia de diferentes comunidades de microorganismos como es el caso de los mesófilos y termófilos. Es así que al inicio del proceso se da una etapa mesófila, donde interactúan microorganismos de este tipo (mesófilos), mientras que va aumentando la temperatura en el proceso, estos microorganismos van desapareciendo y son los microorganismos termófilos los que se presentan. La temperatura es primordial debido a que en las etapas termófilas de los procesos se logra la sanitización del producto, logrando eliminar todos los microorganismos patógenos (Gea et al., 2005; Kiely, 1999).

## 3.3.2. PARAMETROS BIOLÓGICOS

### 3.3.2.1 Microbiológicos

El proceso de compostaje se define como un proceso biooxidativo caracterizado por una sucesión de diversas poblaciones microbianas (Amir et al., 2008). Son estos los que tienen un mayor aporte en la degradación de los residuos y dentro del proceso se encuentran una gran variedad de microorganismos aerobios mesófilos, termotolerantes y termófilos, siendo esta diversidad microbiana un requisito previo para un proceso de compostaje satisfactorio (Amir et al., 2008; Bustamante et al., 2008)

Se ha observado que después de la primera semana se evidenciaron muestras visibles de la actividad microbiana en el material fresco y secado al aire; y que tanto la diversidad

como la actividad microbiana son indicadores de descomposición (Dresboll & Magid, 2006).

### 3.3.2.2 Respirimetría

La respirometría es una medida general de la actividad microbiana, esta ha sido utilizada ampliamente para evaluar la estabilidad del compost y representa la evolución del CO<sub>2</sub> y la tarifa de absorción de oxígeno (Gómez et al., 2008). Según (Iannotti et al., 1994) citado por Boulter-Bitzer et al. (2006), ha sido propuesta como un indicador potencial de madurez del compost, reportando que el oxígeno respirométrico estuviera relacionado con el tiempo de compostaje. Además, se ha encontrado una relación directa entre la actividad enzimática y el contenido húmico de las sustancias (Mondini et al., 2004) citado por Boulter-Bitzer et al. (2006).

Las medidas de la actividad biológica se han sugerido extensamente en la literatura como medida del contenido de biodegradabilidad o de estabilidad de la materia orgánica. En este sentido se han propuesto las técnicas aerobias y los análisis de la actividad metanogénica, además las metodologías sugeridas diferencian en los parámetros dominantes del análisis, tales como temperatura, la cual se relaciona directamente con la actividad biológica, además cambios en el valor de temperatura óptima, puede determinar la máxima actividad con la evolución del proceso de compostaje, por lo que concluyen que los índices respirométricos son convenientes para el control de procesos operativos biológicos (Ponsá et al., 2008).

Esta se ha propuesto como indicador potencial de la madurez, generalizando que la respiración del oxígeno fuera correlacionado con el tiempo. Además, se ha encontrado que el aumento en la edad del compost permite la disminución de la respiración microbiana (Boulter-Bitzer et al., 2006).

## 3.4. PROBLEMAS ASOCIADOS AL COMPOST Y AL PROCESO DE COMPOSTAJE

### 3.4.1. Compost no estabilizado

El uso de compost inestable puede producir una competencia para el oxígeno entre la biomasa microbiana y las raíces de las plantas. Este factor puede privar las semillas y/o raíces de las plantas del oxígeno y llevando a la producción de H<sub>2</sub>S y NO<sub>2</sub><sup>-</sup> (Mathur et al., 1993) citado por Gómez et al. (2008). Otro problema es la deficiencia de nitrógeno en el compost, haciendo que los microorganismos que se encuentran en el suelo sufran una competencia por éste y que la relación de C/N sea alta. Además, la fitotoxicidad del compost inestable representa un problema mucho mayor, debido a la emisión de amoníaco y la presencia de otras sustancias fitotóxicas como compuestos fenólicos y el óxido de etileno que son sintetizados durante la descomposición del compost inestable

en el suelo. También los ácidos orgánicos de bajo peso molecular (ácidos acético, propiónico y butírico) producidos por la digestión anaeróbica de la matriz orgánica son también responsables de la fitotoxicidad del compost (Fuchs, 2002) citado por Gómez et al. (2008).

### 3.4.2. Proceso de compostaje

Para alcanzar unas buenas condiciones en el proceso de compostaje es necesario que las instalaciones tengan un buen diseño, teniendo en cuenta las direcciones y entradas de aire, los suministros de agua, la ubicación, condiciones ambientales, entre otros relacionados con la operación y mantenimiento del sistema. Éstos factores son fundamentales para que el proceso se desarrolle rápidamente mediante la degradación aeróbica, transformándose adecuadamente la materia orgánica, con lo cual se previene la formación y volatilización de moléculas orgánicas como son los VOC's (D'Imporzano et al., 2008).

Es por esto que a pesar de poseer tantos beneficios, el compostaje también presenta una gran desventaja y es la producción y emisión de compuestos olorosos y/o peligrosos llamados compuestos orgánicos volátiles VOC's (Mao et al., 2006), los cuales en concentraciones altas o persistentes pueden llegar a afectar el sistema inmune de las personas que se encuentran operando el proceso, como también de las personas que viven cercanas al sitio de tratamiento.

### 3.5. COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES (VOC's)

La denominación compuestos orgánicos volátiles (VOC's) se refiere a aquellos compuestos los cuales presentan una presión de vapor menor a 0,01 kPa a 20 °C (Pagans et al., 2007), estos provienen de los hidrocarburos, los cuales son contaminantes primarios del aire y se emiten directamente a la atmosfera. Muchos de estos hidrocarburos evolucionan posteriormente transformándose en los llamados oxidantes fotoquímicos, contaminantes secundarios, causantes de efectos mucho mas acusados y graves que los originados por los propios hidrocarburos (Ott, 2007; Orozco, 2003; Eitzer, 1995).

Los VOC's muchos de los cuales son usados en pinturas, adhesivos, solventes, fragancias y otros ingredientes en procesos y productos de consumo (Tabla 1), los VOC's tienen gran importancia económica, además son de alta producción anual. Otros pueden encontrarse como ingredientes o impurezas no deseadas, como por ejemplo el benceno en la gasolina o el formaldehído en los productos de madera presionada (Ott, 2007).

**Tabla 1. Compuestos Orgánicos Volátiles Comunes y sus fuentes**

QUÍMICO	MAYOR FUENTE DE EXPOSICIÓN
---------	----------------------------

QUÍMICO	MAYOR FUENTE DE EXPOSICIÓN
Acetona	Cosméticos
Alcoholes (etanol, isopropanol)	Bebidas alcohólicas
Hidrocarburos aromáticos (tolueno, xileno, etilbenceno, trimetilbenceno)	Pinturas, adhesivos, gasolina, fuentes de combustión
Hidrocarburos alifáticos (octano, decano, undecano)	Pinturas, adhesivos, gasolina, fuentes de combustión
Benceno	Humo de cigarrillo, conducción, automóviles, extractor de auto, parque automotor
Tetracloruro de carbono	Fungicidas
Cloroformo	Solvente, extracción de ADN
p-Diclorobenceno	Ambientadores
Etilenglicol, Texanol	Pinturas
Formaldehido	Productos presionados de madera
Furfural	Fabricación de plásticos
Cloruro de metileno	Solvente industrial y eliminar la pintura
metil tert-butil éter (MTBE)	Aditivo para mejorar el octanaje de la gasolina
Fenol	Fabricación de resinas fenólicas, manufactura del nylon
Estireno	Fabricación de caucho, plástico, material aislante, cañerías, partes de automóviles.
Terpenos (limoneno y alfa-pineno)	Aceites esenciales
Tetracloro etileno	Limpieza de textiles y metales
Tetrahidrofurano	Sellador para suelo de vinilo
1,1,1-tricloroetano	Aerosol en espray, solventes, muchos productos de consumo
Tricloroetileno	Cosméticos, partes electrónicas, corrección de fluidos.

Tomada de Ott (2007).

La exposición a muchos de los VOC's es principalmente a través de la inhalación, un pequeño número de ellos se encuentran en el agua de bebida. Algunos de los VOC's viajan en las aguas subterráneas o a través del suelo desde los sitios de residuos peligrosos como es el caso de los rellenos sanitarios, o estaciones de gasolinas (Ott, 2007). La movilidad de este tipo de contaminantes depende de las propiedades suelo y de la composición química y las características de los compuestos; además, el desplazamiento de los contaminantes orgánicos se puede producir por tres mecanismos: difusión, dispersión mecánica y convección. (Orozco et al., 2005; Harrison, 2003; Capó Martí, 2002).

Algunos VOC's son considerados carcinógenos en humanos (benceno, cloruro de vinilo, formaldehido, cloruro de metilo, tricloroetileno, tetracloroetileno, cloroformo, p-diclorobenceno, 1,3-butadieno), otros son mutagénicos (alfa-pineno) o pueden ser agentes cancerígenos débiles en animales (limoneno) (Ott, 2007).

La producción natural de los VOC's por los microorganismos del suelo tiene un efecto importante en la química de la atmósfera, las interacciones bióticas y demás procesos. Los VOC's, particularmente los de origen biogénico, mediante mecanismos fotoquímicos, pueden disminuir las concentraciones de hidroxilos (OH), incrementar el ozono troposférico y producir simultáneamente nitratos orgánicos en la atmósfera (Monson and Holland, 2001) citado por Leff & Fierer (2008).

Se ha encontrado que los residuos sólidos y las plantas de tratamiento de aguas residuales facilitan la producción de los VOC's (Pagans et al., 2006). En las emisiones producidas durante el proceso de compostaje se han identificado el dimetil sulfuro, dimetil disulfuro, limoneno y el  $\alpha$ -pineno como los compuestos que se encontraron en mas cantidad y más persistentes (Van Durme et al., 1992) citado por Pagans et al. (2006).

La mayor cantidad de VOC's emitidos en las plantas de compostaje se da en las primeras etapas del proceso, además la aireación incompleta o insuficiente en las pilas de compostaje genera condiciones anaeróbicas bajo las cuales se puede presentar la producción de compuestos sulfurados con un olor intenso, mientras que bajo condiciones aeróbicas los volátiles que predominan son los alcoholes, cetonas, esterres, ácidos orgánicos e hidrocarburos en particular el tolueno y etilbenceno (Smet et al., 1999; Komilis et al., 2004; Pagans et al., 2006).

La composición de las sustancias emitidas puede variar de un lugar a otro, dependiendo del tipo de residuo tratado, del estado de descomposición y de las condiciones de operación del proceso; en muchos casos estas sustancias son sulfuros, compuestos de nitrógeno, ácidos orgánicos, aldehídos y cetonas (Bruno et al., 2007).

### **3.6. EFECTOS EN LA SALUD DE LOS COMPUESTOS ORGÁNICOS VOLÁTILES**

La importancia toxicológica de los VOC's se debe a sus propiedades de volatilidad y liposolubilidad, que hacen que ingresen al organismo por la vía inhalatoria y a través de la piel, además, dichas propiedades hacen que tengan especial dirección al sistema nervioso central y periférico (Vallejo & Baena, 2007).

Comúnmente para la mayoría de los VOC's registrados, está documentado su efecto en la salud, relacionados normalmente con el efecto cerebral a altas concentraciones; se pueden evidenciar dos consecuencias principales, la primera de tipo tóxico, la cual se evidencia por la irritación aguda tanto de ojos, nariz, garganta, piel, dolor de cabeza, dificultad para concentrarse. Y la segunda de tipo mortal como es el cáncer (Ott, 2007).

Además de los efectos cancerígenos, la exposición a largo plazo puede causar lesiones de hígado, riñones y sistema nervioso central, mientras que a corto plazo puede causar irritación de los ojos y vías respiratorias, dolor de cabeza, mareos, trastornos visuales,



fatiga, pérdida de coordinación, reacciones alérgicas de la piel, náuseas y trastornos de memoria (Blount et al., 2006).

Un reciente estudio de las exposiciones al benceno en la industria de zapatería en China mostró una clara reducción en las células blancas, incluso para las más bajas exposiciones (cerca de 0.57 ppm), muy por debajo del estándar de salud ocupacional de la U.S de 1 ppm (Ott, 2007).

Algunos hidrocarburos aromáticos tienen una toxicidad a largo plazo como son los BTEX (Benceno, Tolueno, Etilbenceno, Xileno). El benceno produce leucemia, el tolueno, etilbenceno y xileno producen neuropatías periféricas. Además todos producen daño hepático y renal (Vallejo & Baena, 2007).

Los solventes con niveles de exposición altos pueden presentar narcosis y muerte; con niveles moderados o bajos y por largos períodos de exposición ocupacional, presentan disturbios del sistema nervioso central, algunos de los efectos en la salud de los principales solventes se muestran en la Tabla 2 (Vallejo & Baena, 2007). Los trabajadores industriales, los fumadores y las personas expuestas a la circulación de vehículos están más en contacto con este tipo de sustancias (Blount et al., 2006).

Se han analizado las implicaciones que tiene las emisiones de olores y VOC's tanto al ambiente como a la salud humana, realizando muestreos por medio de un analizador de gases tanto en viviendas cercanas a las instalaciones de la compostera como en las mismas, encontrando siete compuestos orgánicos volátiles como son el 3-metilfurano, 3-metil-1butanol, dimetildisulfuro, 2-heptanona, 1octen-3-ol, 3-octanona, y 3 octanol (Fischer et al., 2008).

Tabla 2. Compuestos Orgánicos Volátiles y su efecto en la salud.

COMPUESTO	EFFECTOS EN LA SALUD
ACETONA	La inhalación o la ingestión de la acetona, molesta los ojos y las vías respiratorias. La inhalación de grandes cantidades, en ambiente cerrado, puede dejar a la víctima inconsciente. El contacto frecuente con el producto puede acortar el ciclo menstrual de las mujeres.
ACETONITRILO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio, causa efectos en la respiración celular, en altas concentraciones de exposición causa la muerte; causa malformaciones congénitas en recién nacidos.
ACRILONITRILO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio, causa efectos en el hígado y en el sistema nervioso central, puede producir la muerte a altas concentraciones; produce dermatitis en la piel en contacto prolongado, sustancia carcinógena en seres humanos y origina lesión genética.
ACETATO DE VINILO	Irrita ojos, nariz y garganta. No se sabe cuáles son los efectos de respirar bajos niveles de Acetato de vinilo por largo tiempo. Tampoco se sabe si se ingiere esta sustancia que produce.
ACETATO ETÍLICO	Causa náuseas, vómito, daño a tracto digestivo por ingestión accidental; por inhalación causa irritación de mucosa y tracto respiratorio, daño pulmonar y cardiovascular. En la piel causa

COMPUESTO	EFFECTOS EN LA SALUD
	irritación, sequedad, daño del tejido y en los ojos causa irritación, conjuntivitis y visión borrosa.
BENCENO	Carcinógeno, mutagénico, posible teratogénico, efectos sobre el sistema nervioso central y periférico; efectos sobre el sistema inmunológico y gastrointestinal; desórdenes en las células de la sangre, alergias; irritaciones en los ojos y la piel.
BROMOFORMO	Irrita tracto respiratorio, piel y ojos; causa efectos en el sistema nervioso central y el hígado; produce dermatitis.
BROMODICLOROMETANO	Carcinogénico en seres humanos.
2 - BUTANONA (MEK)	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio, causa efectos en el sistema nervioso central, el líquido engrasa la piel en exposición prolongada.
BROMOMETANO	Irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de la sustancia puede originar edema pulmonar. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central, el riñón y los pulmones. La exposición a altas concentraciones puede causar la muerte. El contacto prolongado o repetido puede producir sensibilidad de la piel.
CLOROBENCENO	Daña el hígado y los riñones y afecta el cerebro a niveles altos.
CLORODIBROMOMETANO	No hay estudios de la salud de personas expuestas a esta sustancia.
CLORURO DE VINILO	Niveles altos de cloruro de vinilo por cortos periodos de tiempo puede causar mareo, somnolencia y pérdida del conocimiento. A niveles extremadamente altos, el cloruro de vinilo puede causar la muerte. Respirar esta sustancia por largos periodos de tiempo puede producir daño permanente del hígado, reacciones del sistema inmunitario, daño de los nervios y cáncer del hígado.
CLOROFORMO	Irrita los ojos. La sustancia puede causar efectos en el corazón, el hígado, el riñón y el sistema nervioso central, dando lugar a pérdida del conocimiento. El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis. Sustancia posiblemente carcinógena para los seres humanos.
CLOROMETANO	Produce cefalea, vértigo, ataxia y convulsiones; en un estado avanzado de intoxicación aguda severa se presenta coma y la muerte puede sobrevenir por fallas respiratorias. En la intoxicación crónica, por exposiciones continuadas en el medio ocupacional, predominan los síntomas neurológicos y psiquiátricos.
3 - CLOROPROPENO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio. Provoca edema pulmonar al ser inhalada. Causa efectos en el riñón, pulmón y el sistema nervioso central. La sustancia puede afectar el hígado, al riñón y al sistema nervioso periférico a exposiciones prolongadas.
CLOROETANO	Causa asfixia a elevadas concentraciones. Tiene efectos narcotizantes a bajas concentraciones. La sobre exposición puede causar calambres estomacales, vómitos y tos y también puede causar daños al hígado y a los riñones.
2 - CLOROETANOL	Irrita ojos y tracto respiratorio. Causa efectos en el sistema nervioso central, el sistema cardiovascular, el riñón y el hígado. La exposición prolongada puede producir la muerte.
CLORURO DE METILENO	Posible cancerígeno; efectos sobre el sistema nervioso central, pulmones, sistema respiratorio y sistema cardiovascular;

COMPUESTO	EFFECTOS EN LA SALUD
	desórdenes en la sangre; irritaciones en la piel y en los ojos.
DISULFURO DE CARBONO	Al ingerir e inhalar esta sustancia puede causar Confusión mental, vértigo, somnolencia, dolor de cabeza, náuseas, jadeo, vómitos, debilidad, irritabilidad y alucinaciones; En la piel se puede absorber y producir piel seca, enrojecimiento de ojos y dolor.
1,2 - DIBROMO - 3 - CLOROPROPANO	Disminuye la producción de espermatozoides en hombres, produce dolores de cabeza, náuseas, sensación de mareo y debilidad. Causa lesiones en la piel o en los ojos al contacto directo.
1,2 - DIBROMOETANO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio. Causa efectos en el sistema nervioso central. Afecta pulmones a exposiciones prolongadas, dando lugar a bronquitis. La sustancia afecta hígado y riñón. Sustancia posiblemente carcinógena para los seres humanos.
DIBROMOMETANO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio. La sustancia puede tener efectos sobre el sistema nervioso, riñón e hígado. La exposición podría causar disminución de la conciencia. El contacto prolongado con la piel, puede producir dermatitis.
1,2 - DICLOROBENCENO	Irrita ojos y la nariz y puede causar lagrimeo, tos, dificultad para respirar y malestar estomacal.
1,3 - DICLOROBENCENO	Se sabe muy poco de los efectos sobre la salud de esta sustancia, especialmente en seres humanos, pero es probable que sean similares a los efectos del 1,4 - Diclorobenceno y al 1,2 - Diclorobenceno.
1,4 - DICLOROBENCENO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio. Causa efectos en la sangre y en el sistema nervioso central. Puede afectar el hígado, el riñón y es una sustancia posiblemente carcinógena para los seres humanos.
DICLORODIFLUOROMETANO	El líquido puede producir congelación. La exposición podría causar arritmia cardíaca y asfixia.
1,1 - DICLOROETANO	Embriotóxico; efectos sobre el sistema nervioso central, hígado y riñones.
1,2 - DICLOROETANO	Causa desórdenes en el sistema nervioso, enfermedades del hígado y del riñón y efectos en los pulmones.
1,1 - DICLOROETENO	Daña el sistema nervioso central, hígado y los pulmones. Irrita piel y ojos.
1,2 - DICLOROPROPANO	Dificultad para respirar, tos, vómito, hemorragia nasal, fatiga y daño a células de la sangre, al hígado y a los riñones.
Cis - 1,3 - DICLOROPROPENO	Irritación en la piel, ojos, nariz y garganta.
Trans - 1,3 - DICLOROPROPENO	Irritación en la piel, ojos, nariz y garganta.
ETIL BENCENO	Efectos sobre el sistema nervioso central, daños en riñones e hígado; irritaciones en el sistema respiratorio, en los ojos y en la piel. La exposición por encima del LEL podría causar disminución de la conciencia. El contacto prolongado o repetido con la piel puede producir dermatitis.
ESTIRENO	No hay ninguna información sobre los efectos que respirar, ingerir o tocar estireno puede tener sobre el desarrollo del feto o la reproducción en seres humanos. Si se respira brevemente altos niveles de estireno se sufren trastornos del sistema nervioso. Es posible carcinogénico en seres humanos. Respirar estireno puede producir leucemia.

COMPUESTO	EFFECTOS EN LA SALUD
ETANOL	Retrasa y detiene el crecimiento, crea hipermetabolismo (mala nutrición). Causa anorexia, gastritis, diarrea, hiperlipidemia, insuficiencia cardíaca congestiva, anemia. (3)
HEXACLOROBUTADIENO	No hay estudios que hayan evaluado los efectos de esta sustancia en seres humanos. Posiblemente carcinogénico en seres humanos según la EPA. (40)
HEXACLORO ETANO	La exposición podría causar pérdida del conocimiento. La sustancia puede afectar el hígado y al riñón. Exposiciones por encima del OEL puede afectar el sistema nervioso central. (41)
2 - HEXANONA	Causa daño en el sistema nervioso No se sabe si respirar 2-hexanona afecta la reproducción o causa defectos de nacimiento en seres humanos. E igualmente si tocar o ingerir esta sustancia afecte la salud de seres humanos.
METACRILATONITRILO	Irrita ojos y tracto respiratorio. La exposición podría causar envenenamiento por cianuro. El contacto prolongado con la piel podría causar dermatitis.
METACRILATO METÍLICO	Por ingestión puede irritar la boca, el esófago y el tracto gastrointestinal. Irrita ojos, nariz, tráquea y sistema respiratorio. Causa irritación, inflamación y/o alergia en la piel.
METANOL	Irrita los ojos, piel y el tracto respiratorio, efectos en el sistema nervioso central, por ingestión puede producir ceguera y sordera, el contacto prolongado con la piel puede producir dermatitis.
METILAMINA	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio, la inhalación puede causar edema pulmonar, el contacto prolongado con la piel puede producir dermatitis.
NAFTALINA	Puede dañar o destruir una porción de sus glóbulos rojos. Cantidades de Naftalina también puede causar náuseas, vómito, diarrea, sangre en la orina y en la piel una coloración amarilla.
NITROBENCINA	Cefalea, vértigo, periodos de euforia y convulsiones. A veces trastornos en la marcha y de la palabra, somnolencia, coma y muerte. Anemia y hemoglobinuria.
2 - NITROPROPANO	Irrita los ojos y el tracto respiratorio. La exposición por encima del LEL podría causar daño en el hígado. La exposición a altas concentraciones podría producir la muerte. La sustancia puede afectar el hígado y el sistema nervioso. Sustancia posiblemente carcinogénica para los seres humanos.
OXIDO DE ETILENO	Irrita ojos, piel y las vías respiratorias y afecta el sistema nervioso. La exposición a esta sustancia puede inducir a abortos en mujeres embarazadas. Aumenta la tasa de leucemia y de cáncer en el estómago de seres humanos
PENTAFLOROETANO	Altamente tóxico, puede ser fatal si se inhala, se ingiere o por absorción cutánea.
TETRAFLORURO DE CARBONO	Irrita los ojos, causa efectos en el sistema nervioso central, en el hígado y el riñón, causa dermatitis en exposiciones prolongadas y es carcinógena.
1, 2,4 - TRICLOROBENCENO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio. El líquido desengrasa la piel y afecta el hígado en exposiciones prolongadas.

COMPUESTO	EFFECTOS EN LA SALUD
1, 1,1 - TRICLOROETANO	Produce severas lesiones al hígado, la inhalación de grandes concentraciones produce pérdida del conocimiento, algestesia, capacidad de reacción retardada, parálisis respiratorio/ circulatoria y muerte. Propicia el desarrollo de tumores malignos en el hígado.
1, 1,2 - TRICLOROETANO	No hay ninguna información disponible acerca de cómo puede afectar la salud al respirar o ingerir esta sustancia.
TRICLOROETENO	Irrita ojos y piel, la exposición crónica afecta el sistema nervioso central, el corazón, hígado y riñones. El tricloroeteno inhibe la reproducción celular y frena el crecimiento (atrofia).
1, 2,3 - TRICLOROPROPANO	Irrita ojos y garganta.
TRICLOROFLUOROMETANE	Efectos nocivos en huesos, cerebro, endocrina (pecho), corazón, leucemia, pulmón.
1, 1, 1,2 - TETRACLOROETANO	Irrita piel, ojos, nariz, garganta y los pulmones, causa tos, respiración con silbido y/o falta de aire, puede que afecte el hígado y el sistema nervioso.
1, 1, 2,2 - TETRACLOROETANO	Produce fatiga, vómito, mareo y probablemente pérdida del conocimiento. Produce daño al hígado, dolores de estomago, si se expone a grandes cantidades por largo tiempo.
TETRACLORO ETILENO	Irrita ojos, piel y tracto respiratorio. Puede ocasionar riesgos de neumonitis química al ser ingerido. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central. Al entrar en contacto con la piel produce dermatitis. La sustancia afecta el hígado y al riñón. Puede producir tumores en el ser humano.
TOLUENO	Posible mutagénico y cancerígeno, efectos sobre el sistema nervioso central, sistema cardiovascular, daños en los riñones y el hígado; irritación al sistema respiratorio, la piel y los ojos, alergia.
YODURO METILICO	Irrita los ojos, la piel y el tracto respiratorio. La inhalación de la sustancia puede originar edema pulmonar. La sustancia puede causar efectos en el sistema nervioso central y en los riñones. La exposición a elevados niveles puede producir pérdida de conciencia.

Tomada de la Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)

### 3.7. EXTRACCION DE COMPUESTOS ORGANICOS VOLATILES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

#### 3.7.1. Extracción a través de Bolsas Tedlar

Este tipo extracción permite conducir a través de un tubo de acero inoxidable o un tubo de teflón los compuestos volátiles generados en el proceso de degradación de los residuos orgánicos. La extracción consiste en introducir en el centro de la cama un tubo y al final de éste una bolsa especial de nylon 66 o Bolsa Tedlar, garantizando la no reacción de éstas con los compuestos extraídos (Mao et al., 2006; Shiraishi et al., 2006; Wilkins & Larsen, 1996).

### 3.7.2. Microextracción en fase sólida (SPME)

Existen básicamente dos modos de extracción posibles en SPME, introduciendo la fibra directamente en la muestra o en el espacio de cabeza (headspace). En suelos y lodos la adición de solventes orgánicos o agua a la matriz de la muestra es muy útil, ya que éstos ayudan a la difusión de los analitos desde la muestra hacia la capa de la fibra (Peñalver, 1999).

La agitación de la muestra permite que la difusión de los analitos hacia la capa de la fibra sea mucho más rápido, disminuyendo el tiempo de extracción para ambas técnicas, tanto headspace como inmersión directa. La técnica de agitación con magneto no es tan eficiente en la mezcla, pero existen técnicas de mezcla alternativas como es el caso del ultrasonido, pero aún no se ha probado la eficiencia de ésta (Peñalver, 1999).

Inicialmente la fibra recubierta del sorbente se pone en contacto con la muestra durante un tiempo y temperatura determinada, de esta manera se busca la producción de una migración de los analitos desde la solución a la fibra, hasta que se alcanza la situación de equilibrio. Se ha estudiado por diferentes autores tanto el tipo de agitación, el tiempo de exposición y el grado de temperatura a la cual se somete la muestra (Blount et al., 2006; Ozkaya, 2005; Peñalver, 2000; Peñalver, 1999).

### 3.8. CROMATOGRAFIA DE GASES (GC)

La cromatografía se puede definir según (Keulemans, 1959) citado por Day & Underwood (1989), como un método físico de separación, en el cual los componentes que se van a separar se distribuyen entre dos fases; una de estas fases constituye una capa estacionaria de gran área superficial, la otra es un fluido que eluye a través o a lo largo de la fase estacionaria.

La GC es una de las herramientas más utilizadas en la separación de compuestos para el análisis ambiental. Debe su popularidad al gran poder de separación, relativa simplicidad de su instrumentación y el desarrollo del método, además su buena sensibilidad (Nollet, 2006; Skoog et al., 2001; Fowles, 1995). Ésta es importante debido a que ayuda en la separación, identificación y cuantificación de contaminantes orgánicos, es ampliamente aplicado en el análisis de contaminantes presentes en el aire, agua, suelo (Jianping et al., 2005; Wady et al., 2003).

### 3.9. CROMATOGRAFIA GASEOSAS ACOPLADA A MASAS (GC-MS)

La espectrometría de masas se convierte probablemente en la técnica analítica más poderosa si se acopla a un sistema de separación. Así se puede conseguir que los analitos de una mezcla sean convenientemente separados y puedan ser analizados por

espectrometría de masas de manera individual (Nollet, 2006; Skoog et al., 2001; Day & Underwood, 1989).

El resultado de un GC con un detector MS acoplado es siempre una representación de la corriente eléctrica que llega al detector en función del tiempo. Para cada punto temporal del cromatograma es posible obtener un espectro de masas del material eluido en ese punto. De esta manera es posible, obtener un espectro de masas de cada uno de los analitos eluidos (Nollet, 2006; Skoog et al., 2001; Fowles, 1995; Day & Underwood, 1989).

La espectrometría de masas ofrece una valiosa información para fines de información cualitativa, siendo la identificación del peso molecular la más importante. Además. Es la única herramienta donde se produce una huella digital de las moléculas de interés que se pretenden analizar (Wady et al., 2003)

### **3.10. EVALUACION DEL RIESGO EN LA SALUD**

Algunos de los VOC's son conocidos por sus efectos genotóxicos y carcinogénicos, también por sus daños oxidativos en diferentes órganos, sumado a esto se tienen pocas investigaciones sobre sus efectos en las vías aéreas (Pariselli et al., 2009; Changa & Chen, 2008).

Una de las técnicas más conocidas para los análisis genotóxicos es el análisis del cometa, ésta se basa en la cuantificación de los fragmentos desnaturalizados del ADN que emigran del núcleo de la célula durante la electroforesis (Liao et al., 2009), la versión principal según Valverde & Rojas (2009), fue introducida por Singh et al. (1988), y consiste en detectar el daño producido al ADN en células eucarióticas inducido por los agentes y productos químicos. Esta versión es capaz de detectar rupturas de una sola fila del ADN; es conocida como la técnica unicelular de la electroforesis del gel (SCG), conocido por muchos investigadores como el análisis del cometa.

Se ha evaluado el daño genotóxico y mutagénico producido por los compuestos orgánicos volátiles microbianos al ADN por medio del análisis del cometa, además para la determinación de los daños producidos por el benceno y tolueno al ADN (Kreja & Seidel, 2002; Pariselli et al., 2009),

### **3.11. REGULACION Y LEGISLACION**

En Colombia los compuestos orgánicos volátiles se encuentra reglamentados en el decreto 948 de 1995, pero no se tienen límites permisibles estrictos, además son pocos los VOC's que se encuentran reglamentados, entre los cuales está el benceno, tolueno, metileno, formaldehído, xileno, etilenglicol.

En materia de residuos sólidos existe una normativa amplia, la cual aplica a los diferentes tipos de residuos y según la actividad que se genere. Se empieza a reglamentar el manejo de los residuos sólidos con el decreto 2811 de 1974, el dicta que se deben utilizar los mejores métodos de acuerdo con los avances de la ciencia y la tecnología, para la recolección, tratamiento, procesamiento y disposición final de los residuos sólidos; y es a partir de éste que se dictan otra conjunto de leyes y decretos que obligan al manejo de los mismos.

Para el año de 1998 se emite la primera ley (Ley 430 de 1998) para el manejo y disposición de los residuos sólidos, además que regula la entrada al territorio nacional de residuos peligrosos, pero esta ley no fue reglamentada. Solo para el año 2002 se dicta el decreto 1713, el cual reglamenta el Decreto-Ley 2811 de 1974 y la Ley 99 de 1993 en relación con la Gestión Integral de Residuos Sólidos, con este decreto se inicia en el país el manejo integral de los residuos sólidos, donde se busca que cada uno de los entes territoriales que conforman el país, adopten un plan y que éste sea actualizado periódicamente, buscando de esta manera el manejo integral de los residuos, disminución en la fuente a través de la educación y concienciación de las personas, separación en la fuente, recolección adecuada de los residuos y tratamiento selectivo.

En el decreto 1713 artículo 70, se dan formas de aprovechamiento como es el caso de la reutilización, el reciclaje, el compostaje, la lombricultura, la generación de biogás y la recuperación de energía. Además, la Guía de Residuos Sólidos del ministerio de Ambiente, Vivienda y Territorio, argumenta que las principales limitaciones que se han tenido en el país para que el proceso de compostaje no sea implementado de forma masiva, consiste en la falta de experiencias y conocimientos de los procesos por parte de los técnicos, ausencia de legislación al respecto que obligue al cumplimiento de ciertos objetivos y la carencia de estudios técnicos que determinen su viabilidad.

Luego de este decreto se han venido dictado otro tipo normativa, como son los decretos 1505 y 1140 ambos de 2003, los cuales modifican el decreto 1713 de 2002 en cuanto a los Planes de Gestión de Residuos Sólidos y el tema de las unidades de almacenamiento, respectivamente. La resolución 00008 de 2004 adopta el Plan Maestro para la Gestión de Residuos Sólidos en el Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

Debido a las altas tasas de generación de residuos sólidos urbanos en nuestro país y que los residuos orgánicos componen casi el 60% de éstos, el compostaje se convierte en uno de los sistemas de aprovechamiento de residuos más importantes junto con la lombricultura (Decreto 1713 de 2002); por lo que es necesario que se realicen investigaciones que lleven a cabo el análisis de dicho tratamiento, tanto en sus fases de degradación como en su producto final, para poder evitar impactos al ambiente y la salud humana, disminuyendo así las emisiones que se den en la degradación de éstos.



## 6. METODOLOGÍA

### 6.1. DESCRIPCIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

#### 6.1.1. Materiales para el proceso de compostaje

Para el proceso de compostaje se utilizaron residuos orgánicos, los cuales provienen de la separación en la fuente realizada por los habitantes del corregimiento de Altavista, en el municipio de Medellín, a este se le adicionó material vegetal (chipeado) con el fin de reducir el porcentaje de humedad. Para la obtención de la muestra se utilizaron guantes de nitrilo y bolsas ziploc para almacenarla y ser llevada al laboratorio, además durante el proceso fue utilizado un termómetro de piso para la toma de las temperaturas para realizar seguimiento a la cama. Las instalaciones de la compostera están constituidas por 15 camas, construidas en cemento con un techo en eternit y encerradas con un anejo para evitar la proliferación de roedores e insectos.

#### 6.1.2. Equipos, reactivos y condiciones de análisis

##### 6.1.2.1 Análisis fisicoquímicos

**Contenido de humedad:** Horno 1Dies para el análisis, una balanza analítica Precisa XB 620M cap. 620 g.

**Densidad:** Balanza analítica, recipiente graduado.

**Capacidad de Retención de Agua (CRA):** Se utilizó balanza analítica, bureta, beaker y agitador.

**Cenizas:** Balanza analítica, crisoles y mufla Terrígeno.

**Conductividad Eléctrica:** Balanza analítica, Tubos falcon de 20 mL y un conductímetro Schott handylab LF11/SET.

**pH:** Balanza analítica, tubos falcon de 20 mL y pHmetro metrohm 691.

**Nitrógeno total:** Equipo Kenjdhal Büchi 316 distillation Unit, para la digestión se utilizó un Büchi 426 Digestion Unit y balanza analítica Adventurer Ohaus cap. 210 g. Ácido sulfúrico concentrado al 98%, catalizador (sulfato de cobre y sulfato de potasio), ácido bórico al 25%, ácido clorhídrico 0,1 N, hidróxido de sodio al 50%, indicador tashiro o mix (verde Bromocresol y alcohol etílico).

**Carbono Orgánico Total (COT):** Balanza analítica, Dicromato de potasio al 1,0 N, ácido sulfúrico concentrado, ácido ortofosfórico concentrado, solución indicadora de difenilamina, solución de sulfato ferroso amónico 0,5 N.

**Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC):** Balanza analítica Precisa XB 620M cap. 620 g, embudos Buchner, bombas de vacío, Erlenmeyer con desprendimiento lateral, Bureta. Solución de acetato de amonio al 1,0 N pH 7,0, etanol al 95%, solución de cloruro de sodio 10%, solución de formaldehído, hidróxido de sodio 0,1 N, fenolftaleína, formaldehído al 37%.

**Fósforo:** Centrifuga Dynac, Clay Adams, espectrofotómetro spectronic 601, balanza analítica, tubos falcon. Solución Bray (Fluoruro de amonio y ácido clorhídrico al 37%), Agente A (molibdato de amonio, tartrato antimonio de potasio y ácido sulfúrico al 98%), Agente C (Ácido ascórbico y agente A), solución de Fósforo 50 mg/L (Ortofosfato dihidrógeno de potasio y ácido sulfúrico al 98%).

**Metales:** Plancha de calentamiento, equipo de electroforesis capilar Hewlet Packard <sup>3c</sup>D. Ácido clorhídrico diluido 1:3.

#### 6.1.2.2. Microbiológicos

##### **Microorganismos:**

**Equipos:** Incubadora Heraeus UT-6, autoclave Eastern EA-620, Incubadora thermolab Dies, horno Kryoven Dies, balanza analítica Adventurer Pro Ohaus cap. 410 g, cuenta colonias indulab, estereomicroscopio Triocular SZX-9. Agar Plate Counte, Agar Violeta cristal-rojo neutro-bilis, agar Potato Dextrosa Agar (PDA).

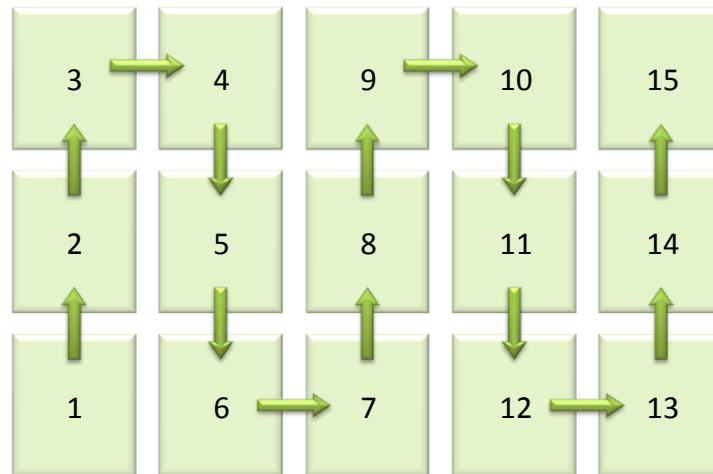
**Respirometría:** Balanza analítica, bureta, Erlenmeyer, agitador magnético. Hidróxido de sodio al 0,8 N, Cloruro de bario, fenolftaleína y ácido clorhídrico al 0,4 N.

## 6.2. ESTABLECIMIENTO DE LA COMPOSTERA

Las pilas se conformaron en Altavista, corregimiento de Medellín, departamento de Antioquia (Colombia), ubicado a 1600 msnm y con una temperatura promedio de 22 °C. Se eligió esta zona procurando que el proceso no afectara los asentamientos urbanos o a un alto flujo de personas, ubicándola en una zona elevada del terreno. Adicionalmente, se procuró que presentara un declive suave, de tal manera que fuese posible coleccionar los lixiviados generados durante el proceso.

Los residuos sólidos fueron separados en la fuente y el proceso se desarrolló a partir de aproximadamente 1300 kg de residuos urbanos, a este residuo se le adicionó un 3% (39 kg) de material vegetal cortado (chipeado), conformado por restos de la poda de las zonas verdes del municipio; este residuo se le adiciona con el fin de reducir la humedad con la que llega el material orgánico.

La compostera se encuentra construida en un sistema de tres por cinco camas de 1.50 m x 1.50 m, numeradas de la uno a la quince. La siguiente figura ilustra el diseño de las instalaciones:



**Diagrama 1.** Funcionamiento de las camas en las instalaciones de la compostera

Los residuos fueron puestos en la cama número 1, realizando dos volteos semanales como se ilustra en la Diagrama 1, para así asegurar una adecuada aireación. Las pilas se mantuvieron en invernadero hasta que la materia prima alcanzó la fase final; el proceso tuvo una duración total de siete semanas.

### 6.3. MUESTREO

El muestreo tanto para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y VOC's se tomaron semanalmente, las muestras tenían un peso de 500 gramos en promedio. La toma de éstas se realizó en nueve puntos diferentes de la cama; cada una de las esquinas, entre las esquinas y en la mitad de la cama, esto con el fin de garantizar la homogeneidad de la muestra (Benito et al., 2003; TMECC, 2001).

Adicionalmente para el muestreo de los compuestos orgánicos volátiles se siguió la metodología realizada por Wilkins & Larsen (1996), la cual consistía en tomar las muestras a través de Bolsas Tedlar, bolsas recomendadas para la recolección de este tipo de compuestos, garantizando que no se presenten reacciones cruzadas con los materiales de la misma. Para la recolección de la muestra en el centro de la cama se ubicó un tubo de acero inoxidable (con agujeros por todo el tubo) y la bolsa puesta al final del tubo, la cual se dejó durante 24 horas, tiempo en el cual se garantiza la recolección de los VOC's.

### 6.4. TRATAMIENTO DE LA MUESTRAS

Las muestras eran llevadas al laboratorio del grupo de Investigaciones y Mediciones Ambientales -GEMA, adscrito a la Facultad de Ingenierías de la Universidad de Medellín, para los análisis fisicoquímicos, microbiológicos y de VOC's realizado por los investigadores de acuerdo al siguiente protocolo.

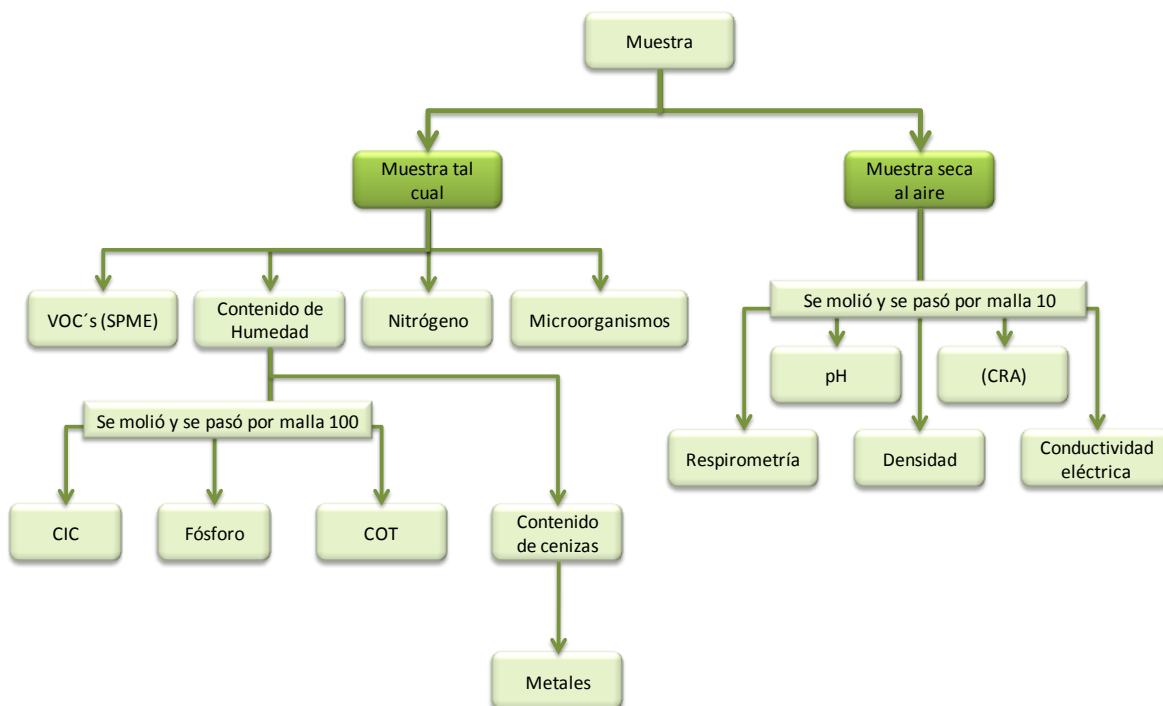


Diagrama 2. Protocolo de tratamiento de las muestras

## 6.4.2. Análisis Fisicoquímicos

### 6.4.1.1 Contenido de Humedad

Se determinó a partir de la norma técnica NTC-5167. Se pesó el frasco vacío, se le adicionó un poco mas de la mitad del frasco de muestra y se pesó de nuevo. Se llevó a la estufa, se secó y se pesó nuevamente.

La cuantificación de la humedad se calcula teniendo en cuenta la siguiente relación:

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

#### 6.4.1.2 Densidad

Este método se realizó a partir de la norma técnica NTC-5167. Se procedió con el pesaje de un recipiente de volumen conocido, se le adicionó la muestra sin apretar (libremente) y se peso nuevamente. Luego se determinó el peso de la probeta con el material.

La densidad del producto se expresó en g/cm<sup>3</sup> y se calculó según la ecuación:

$$\text{Densidad real} = \left( \frac{W_2 - W_1}{V} \right)$$

En donde:

$W_1$	=	Peso en g de la probeta vacía
$W_2$	=	Peso en g de la probeta con el material
$V$	=	Volumen ocupado por el material en la probeta expresado en cm <sup>3</sup>

#### 6.4.1.3 Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua fue medida a través del porcentaje de saturación de la muestra, según procedimientos de la norma técnica NTC-5167. Se tomaron 10 g de muestra pasada por malla 10 en un recipiente de plástico. Se le adicionó agua destilada hasta la saturación del material.

Se expresa la capacidad de retención de agua teniendo en cuenta la siguiente relación:

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

En donde

A	=	Volumen en ml de agua utilizado para alcanzar el punto de saturación
$W_m$	=	Peso en g de la muestra seca
%Humedad	=	Contenido de humedad del producto

#### 6.4.1.4 Cenizas

Se tomaron 2 g de muestra seca a 100°C en un crisol, se llevó a la mufla a 600°C durante 4 horas, se dejó enfriar y se registró el peso final.

El contenido de cenizas se determinó con la siguiente ecuación:

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

En donde:

% humedad = Contenido de humedad del producto

#### 6.4.1.5 Conductividad Eléctrica

Se tomaron 2 g de muestra pasada por malla 10, se llevó a tubos Falcon y se le adicionó 20 mL de agua destilada, se agitó por 2 minutos. Se procedió con la medición de la conductividad eléctrica en el filtrado. Se registró cada una de las lecturas y se expresó en mS/cm.

#### 6.4.1.6 pH

El método utilizado para el pH es el mismo método que se utilizó para la determinación de la conductividad eléctrica, el cual se basa en la pasta de saturación. Se pesaron 2 gramos de muestra molida gruesa y se pasó por malla 10, se llevó a tubos Falcón, se les adicionó 20 mL agua destilada, se agitó durante 2 minutos y se procedió a la lectura con el pHmetro.

#### 6.4.1.7 Nitrógeno total

Se aplicó el (Método Kjeldahl) según la norma ICONTEC 370, se pesaron 0.4 g de muestra las cuales se adicionaron a un balón Kjeldhal, se le adicionó ácido sulfúrico al 98% y catalizador. Se llevó a digestión durante 1 hora. Se lavaron las paredes del balón con agua destilada y se dejó en reposo, se le adicionó fenolftaleína y se llevó al equipo Kjeldhal, se le adicionó NaOH hasta color rosado. El destilado fue recibido en un erlenmeyer que contenía ácido bórico e indicador tashiro o mix. Luego se tituló con HCl 0,1 N.

Para el cálculo del Nitrógeno Total se emplea la siguiente ecuación:

$$\% \text{ de Nitrógeno} = \frac{[V_m - V_b] \times C \times 1.4}{W_m}$$

V<sub>b</sub> = Volumen de ácido clorhídrico gastado en la titulación de blanco en mL  
 V<sub>m</sub> = Volumen de ácido clorhídrico gastado en la titulación de la muestra en mL  
 W<sub>m</sub> = Masa de la muestra expresada en gramos  
 C = Concentración del ácido clorhídrico  
 1.4 = Masa del miliequivalente de nitrógeno por 100%

#### 6.4.1.8 Carbono Orgánico Total (COT)

La evaluación del contenido de carbono orgánico en cada una de las muestras, fue evaluada según procedimientos tanto del IGAC como de la norma técnica Colombiana NTC-5167. Se tomaron 0.05 g de compost pasados por malla 100 en un erlenmeyer de 500 ml, se le adicionó dicromato de potasio 1.0 N y ácido sulfúrico al 98%, se agitó suavemente durante un minuto y se dejó en reposo hasta que la mezcla se enfrió (aproximadamente 20 minutos), paralelamente se preparó un blanco de reactivos (dicromato de potasio y ácido sulfúrico al 98%).

Luego se le adicionó ácido ortofosfórico concentrado y solución indicadora difenilamina y agua destilada, se agitó suavemente y se tituló con sulfato ferroso amónico.

El contenido de carbono orgánico total fue calculado de la siguiente manera:

$$\text{Normalidad} = \frac{10 \text{ mL}}{V}$$

En donde:

10 ml = Volumen de solución de dicromato 1.0N usado para el blanco  
 V = Volumen en ml de solución de sulfato ferroso amónico gastado en la titulación

$$\%CO_{ox} = \left( \frac{(V_b - V_m) \times N \times 0.003 \times 100}{W_m} \right) \left( \frac{100 - \% \text{humedad}}{100} \right)$$

En donde:

V<sub>b</sub> = Volumen en ml de solución de sulfato ferroso amónico gastado en el blanco  
 V<sub>m</sub> = Volumen en ml de solución de sulfato ferroso amónico gastado en la muestra  
 N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso amónico  
 W<sub>m</sub> = Peso en g de muestra seca  
 % humedad = Contenido de humedad del producto

#### 6.4.1.9 Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC).

Para evaluar la capacidad de intercambio catiónico, se realizó a través de la norma técnica Colombia NTC-5167, la cual se basa en el método del acetato de amonio 1N pH 7.0. Se tomaron 5 g de material seco y tamizado, se les adicionó 100 ml de acetato de amonio 1.0 N pH 7.0, se filtró con embudos Buchner lavando la muestra con acetato de

amonio 1.0 N pH 7.0, etanol al 95% y solución de NaCl al 10%. El filtrado resultante se le adicionó formaldehído al 37% y unas gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH al 0.1N. Se llevó simultáneamente un blanco de reactivos.

La capacidad de intercambio catiónico CIC fue calculada usando la formula:

$$CIC_{\text{cmol}_{(+)}\text{Kg}^{-1}} = \left[ \frac{(N_{\text{NaOH}} \text{ muestra}) - (V_{\text{NaOH}} \text{ blanco}) \times N_{\text{NaOH}} \times 100}{W_m} \right] \left[ \frac{100 - \% \text{ humedad}}{100} \right]$$

En donde:

$V_{\text{NaOH}} \text{ muestra}$	=	Volumen en ml de NaOH empleado en la titulación de la muestra
$V_{\text{NaOH}} \text{ blanco}$	=	Volumen en ml de NaOH empleado en la titulación del blanco
$N_{\text{NaOH}}$	=	Peso en gramos de la muestra seca
% Humedad	=	Contenido de humedad del producto

#### 6.4.1.10 Fósforo

Este procedimiento se realizó a través del método de fósforo disponible: Solución Extractante Bray No. 2 (ECW, 2008). Se pesaron 0.03 g de suelo, pasado por malla 100, en un tubo falcon, se le adicionó solución Bray Extractante, llevando un blanco simultáneamente. Se agitó vigorosamente durante un minuto y se llevó a la centrifuga a 6000 rpm durante 5 minutos. Se tomó del sobrenadante 0.5 ml y se le adicionó reactivo C, se dejó reposar en un celda de colorimetría y se llevó a lectura en el espectrofotómetro.

El contenido disponible de fósforo se calculó de la siguiente manera:

$$\text{Fósforo disponible} \left( \frac{\text{mg}}{\text{kg}} \right) = \frac{C \times 14}{\text{ODW}}$$

En donde:

C	=	Concentración de fósforo de la carta de la ecuación ( $\mu\text{g}/2.5 \text{ ml}$ )
ODW	=	Peso seco de la muestra
14	=	Factor de dilución

#### 6.4.1.11 Metales

Para este análisis se tomó 1 g de muestra seca y calcinada a 600 °C, luego fue sometida a una digestión con ácido clorhídrico diluido 1:3, sometiéndola a calentamiento hasta reducir el volumen, luego fue aforado y filtrado, se tomó una muestra la cual fue llevada



a electroforesis capilar, donde se cuantificó la cantidad de metales presentes en la muestra según metodología realizada por Vargas, (2001).

### 6.4.3. Análisis Microbiológicos

#### 6.4.2.1 Análisis Microbiológicos

A cada una de las muestras tomadas durante el muestreo se les realizó ensayos microbiológicos de mohos y levaduras, enterobacterias, mesófilos y termófilos. Para la preparación de la muestra se tomó un gramo de compost y se diluyó en 10 mL de caldo nutritivo, a partir de esta primera muestra se procedió a realizar diluciones seriadas tomando un mililitro y diluyendo en 9 mL de caldo nutritivo, como se muestra a continuación:

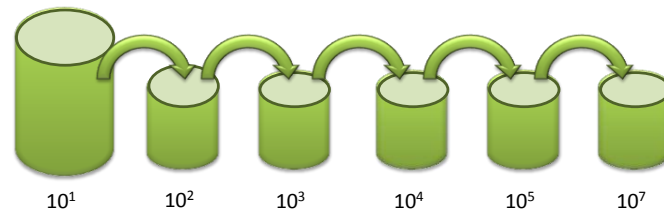


Diagrama 3. Tratamiento de la muestra microbiológica

Para la siembra de las muestras en cada uno de los cultivos, se tomó de cada dilución 1 mL y se siembra por duplicado en el medio apropiado para el crecimiento de las diferentes clases de microorganismos, como se ilustra a continuación:

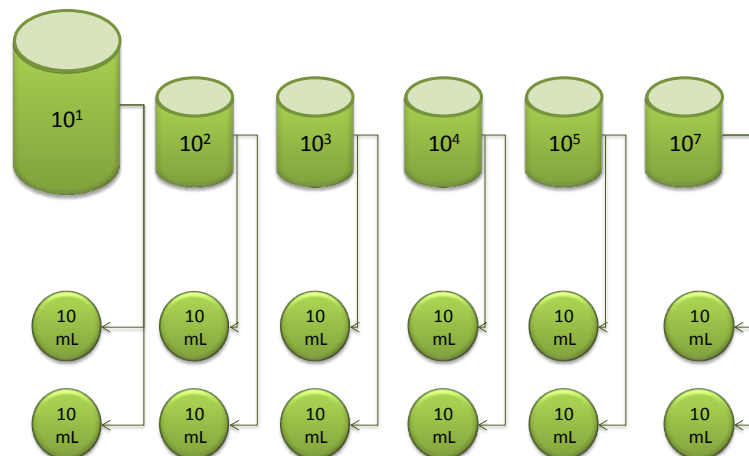


Diagrama 4. Siembra de las muestras

Las diluciones uno y tres se utilizaron para el análisis de enterobacterias, para la cual se utilizó agar VRB (violeta cristal-rojo neutro-bilis), las diluciones 2 y 4 se utilizaron para

el análisis de mohos y levaduras, utilizando agar PDA (Potato Dextrose Agar); y las diluciones 5 y 7 fueron utilizadas para el análisis de mesófilos y termófilos, usando agar Plate Counte. Estos últimos fueron incubados durante 24 horas a 37 °C para el conteo de mesófilos y a 55 °C para el conteo de termófilos.

#### 6.4.3.2. Determinación de la actividad microbiana en los ensayos por respirometría.

Se realizó la medición de la mineralización en fase sólida usando la prueba de respirometría. Se depositaron 20 g de muestra al interior de un recipiente ámbar de 750 mL de capacidad, cerrados herméticamente con tapa rosca, se introdujo un tubo de ensayo con de Hidróxido de Sodio (NaOH) 0.8N, colocado con el fin de captar el CO<sub>2</sub> producido por la actividad de los microorganismos y se llevó a incubación durante 24 horas a temperatura ambiente.

El NaOH contenido en el tubo fue titulado tomando alícuotas de 3 ml y adicionando fenolftaleína como indicador, además de una pizca de BaCl<sub>2</sub>. Como agente titulante se utilizó una solución de ácido clorhídrico (HCl) 0.4 N.

El CO<sub>2</sub> producido fue calculado usando la fórmula:

$$\text{mg CO}_2 = \frac{(\text{Vb}-\text{Vm}) \times \text{N}_{\text{HCl}} \times 22.005}{\text{P}}$$

En donde:

Vb	=	Volumen de HCl gastado en el blanco.
Vm	=	Volumen de HCl gastado en la muestra.
N <sub>HCl</sub>	=	Normalidad del HCl utilizado.
P	=	Peso del suelo seco usado en el ensayo.

## 6.5. CUANTIFICACIÓN DE VOC ´S

Para el análisis de VOC ´s se tuvo en cuenta dos tipos de muestras:

La primera se tomó tal cual, sometiéndola a un proceso de microextracción en fase sólida (SPME), se realizó según metodología sugerida por Peñalver (1999); para el procedimiento se tomaron 0.5 g de material en un vial de 40 mL sugerido para este proceso (Clear vial, Screw Top Hole cap con PTFE/silicone septa), se llevó a una plancha de calentamiento, donde se le colocó la fibra de extracción apropiada para volátiles (Fibra SPME 75 um Carboxen PDMS for Merlin Microseal, 23 gauge needle Manuel Holder Black). El calentamiento se realizó durante 30 minutos a 60 °C, luego de ese tiempo se retiró el holder con la fibra y se llevó al cromatógrafo gaseoso donde se desorbió la muestra en el puerto de inyección, para su posterior separación.

También se colectó la muestra a través de bolsas Tedlar (Nylon 66) de acuerdo al procedimiento realizado por Wilkins & Larsen (1996), ubicando en la parte central de la

cama un tubo, que tenía en su parte final la bolsa en la cual se iban recogiendo los gases emitidos por el proceso de compostaje, luego fue llevada al laboratorio donde se procedió con el análisis cromatográfico.

Para la identificación de los compuestos orgánicos volátiles tanto para SPME como para las Bolsas Tedlar se utilizó un cromatógrafo gaseoso (Agilent Technologies 7890A GC systems) con inyector PTV, acoplado a un detector de masas (Agilent Technologies 5975C VL-MSD with Triple-Axis Detector), con una columna capilar DB-624 (30m x 1,40µm x 0,25mm). Para esto se inyectaron 10 µL de muestra proveniente de las Bolsas Tedlar, y para la SPME se dejó desorber la fibra durante 5 minutos aproximadamente. La temperatura inicial de la columna fue de 40°C manteniéndose por 5 minutos, luego se aplicó una rampa 9.0 °C/min hasta 175°C y luego otra rampa de 45 °C/min hasta 200°C manteniéndose por 3 minutos. El inyector y el detector tuvieron temperaturas de 160 °C y 230 °C respectivamente.

Para la cualificación se apoyó del espectro de masas, el cual indicaba por medio de la librería el pico de mayor calidad y el compuesto que éste representaba.

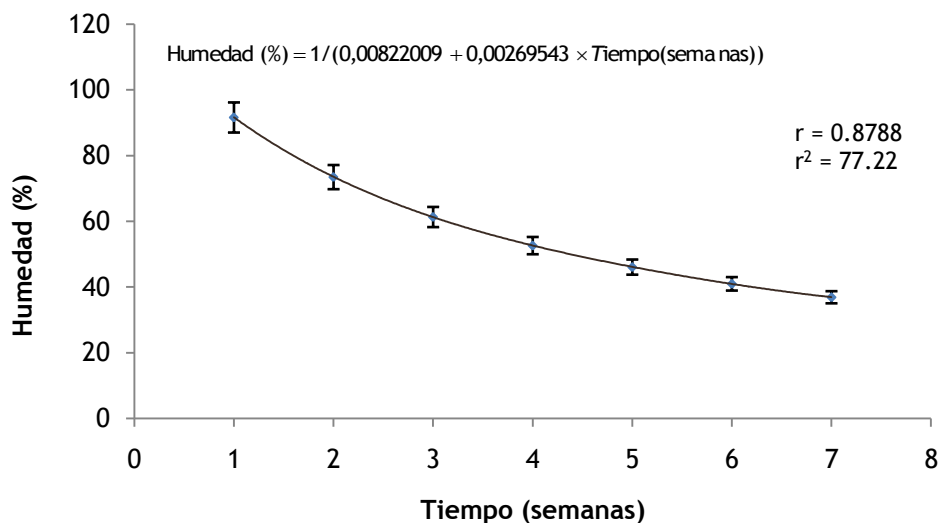
## 7. RESULTADOS Y ANÁLISIS

### 7.1. PARÁMETROS FISICOQUÍMICOS

#### 7.1.1. Contenido de humedad

La humedad se ajustó a un modelo de regresión inverso en  $Y^1$  (Figura 1), se puede observar que ésta tiende a disminuir a medida que transcurre el proceso. Dicho comportamiento se atribuye a la influencia de la aireación y a la evapotranspiración causada por las altas temperaturas dentro del sistema (Lu et al., 2009).

Durante todo el proceso de compostaje, la humedad fluctuó entre 40-60% según la Norma Técnica Colombiana -NTC-5167-, ideal para que efectivamente se cumplan las condiciones adecuadas y que no se favorecieran el metabolismo fermentativo; ya que las altas humedades reducen el paso de oxígeno a los microorganismos, presentando malos olores; o que el proceso presentara valores menores a 20% llevando a fases estacionarias, dándose entonces un retardo del proceso y por ende la muerte de los microorganismos. (NTC-5167; Jacobs, 1998).



**Figura 1.** Cinética del contenido de Humedad (%) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.2. Densidad

<sup>1</sup> Todos los análisis de correlación lineal de los Análisis Físicoquímicos para este proceso de compostaje, están sintetizados en la Tabla 2 del Anexo

La densidad se ajusta a un modelo de regresión inverso en X, estabilizándose en valores cercanos a  $0.16 \text{ g/cm}^3$ . Ésta va aumentando con la degradación de los residuos (figura 2), el valor final es más bajo que el encontrado en otros estudios, pero el comportamiento de los procesos son similares (Ruggieri et al., 2009; Mohee & Mudhoo, 2005).

Según la norma NTC-5167 la densidad debe tener un valor máximo de  $0,6 \text{ g/cm}^3$ , indicando esto que el resultado final es aceptado por la norma. Los valores presentados permitieron que las condiciones de manejo fueran las adecuadas, debido a que el sistema siempre fue aerobio; este comportamiento se vio favorecido por la buena separación en la fuente del material, ya que si el sistema hubiera presentado altas densidades, el flujo de aire dentro de la matriz disminuiría llevando entonces a la reducción en la actividad microbiana y retraso en el proceso de compostaje.

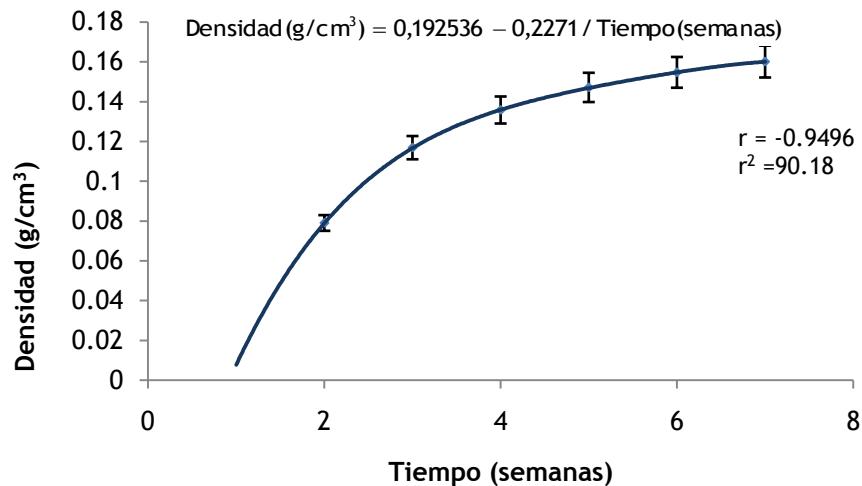


Figura 2. Cinética de la densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) durante el proceso de compostaje

### 7.1.3. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

La capacidad de retención de agua se ajustó a un modelo de regresión exponencial en Y, llegando a un valor final de 137%. La CRA aumenta durante todo el proceso de compostaje (Figura 3), mostrando el mismo comportamiento presentado por diferentes autores (Wang et al., 2004; Bhattacharyya et al., 2001).

Se observa que el valor obtenido se ajusta a los exigidos por la NTC-5167, la cual para una enmienda exige que tenga mínimo su propio peso. Durante el proceso los contenidos de CRA llevaron a que las condiciones y el manejo fueran el adecuado, permitiendo así que al aplicar el compost al suelo el agua pueda ser absorbida a un ritmo adecuado.

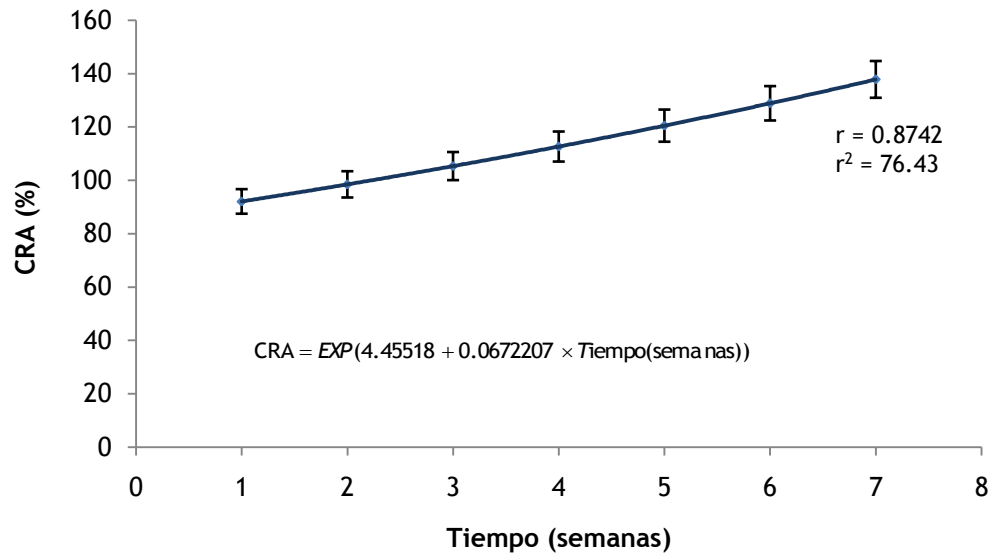


Figura 3. Cinética de la CRA (%) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.4. Cenizas

Las cenizas se ajustaron a un modelo curva S, alcanzando valores de hasta 25% al final del proceso. El comportamiento presentado fue un aumento durante todo el tiempo estabilizándose las últimas dos semanas (figura 4), evidenciándose de esta manera las tendencias de mineralización de la materia orgánica durante el proceso (Wang et al., 2004; Levanon & Pluda, 2002).

El contenido de cenizas se ajustó a la NTC-5167, la cual tiene como valor máximo para una enmienda un porcentaje de 60. Esto indica que el proceso fue llevado de manera adecuada, ya que a medida que transcurre el proceso de degradación de los residuos sólidos se espera que se dé una buena mineralización.

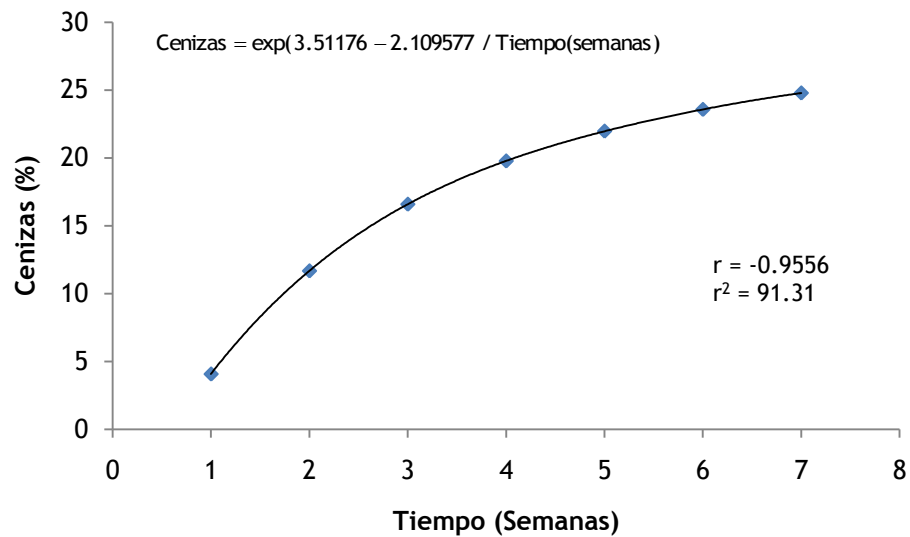


Figura 4. Cinética del contenido de Cenizas (%) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.5. Conductividad eléctrica

La conductividad se ajustó a un modelo de regresión logarítmico en X, con valor máximo de 4,2 mS/cm. Las primeras semanas de iniciado el proceso la conductividad va aumentado para irse estabilizando en las últimas (figura 5), este comportamiento se debe a la formación de compuestos inorgánicos y al incremento en la concentración relativa de iones debido a la pérdida de masa de la pila (Bueno et al., 2008; Bustamante et al., 2008; Campitelli & Ceppi, 2008; Wang et al., 2004; Iannotti et al., 1994)

El resultado final de la conductividad se encuentra cercano al valor sugerido por Lasaridi et al. (2006), los cuales dicen que el valor de ésta debe ser máximo de 4mS/cm, sin embargo la NTC-5167 sólo exige que ésta sea reportada.

Dentro del proceso se espera que con la concentración de los metales la conductividad eléctrica aumente, lo cual se observó claramente en el proceso, debido a que una alta conductividad en el compost inhibiría la germinación de semillas y el crecimiento de las plantas.

En la literatura es reconocido este parámetro como una medida de la estabilidad del compost, la cinética obtenida en el presente estudio muestra una tendencia creciente, mostrando alguna estabilización en las dos últimas semanas; por lo tanto se debe ser cuidadoso con la extrapolación del modelo a otro tipo de procesos; a pesar que los resultados originales muestran un proceso de estabilización a partir de la semana cinco y en general las características finales del compost corresponde a un material estable y fueron verificadas con otros parámetros de control.

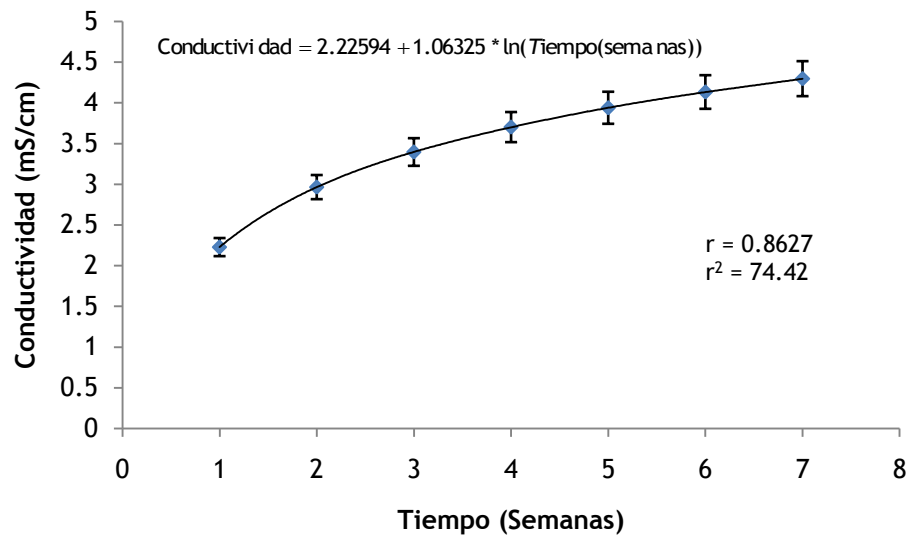


Figura 5. Cinética de la conductividad eléctrica (mS/cm) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.6. pH

El pH se ajustó a un modelo de regresión logarítmico en X, llegando a valores cercanos de 8.6, el comportamiento mostrado por el pH es un aumento significativo durante las primeras semanas del proceso para irse estabilizando al final (figura 6); esta tendencia ha sido mostrada por diferentes autores (Sundberg & Jönsson 2008; Martín et al., 2008; Aulinas & Bonmatí 2008; Campitelli & Ceppi 2008).

El valor final del pH se ajusta a la norma técnica colombiana 5167, la cual sugiere para una enmienda un pH mayor a 5 y menor a 9. El comportamiento mostrado por éste durante todo el proceso permitió que la actividad microbiana fuera la adecuada, ya que no se presentaron valores extremos que llevaran a la inhibición del crecimiento de los microorganismos, indicando así que se mantuvo en un rango favorable.



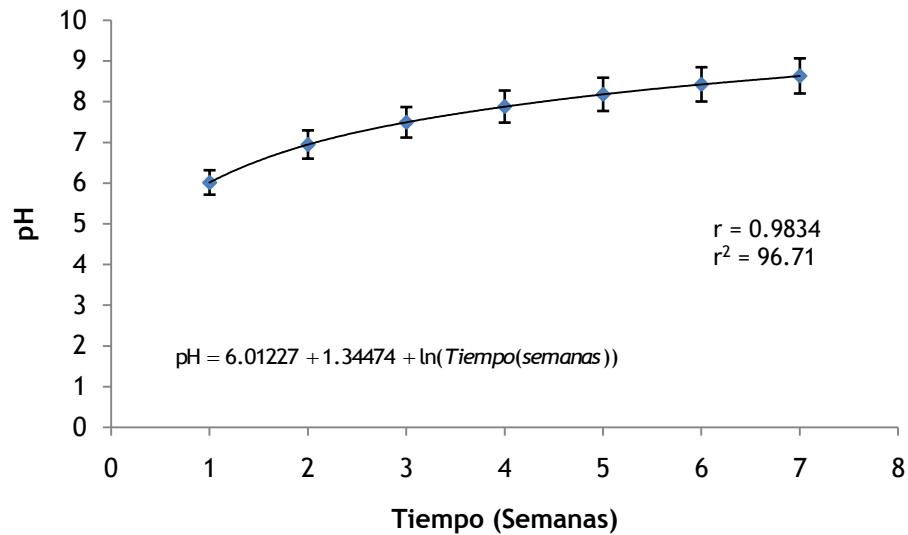


Figura 6. Cinética de pH durante el proceso de compostaje

#### 7.1.7. Nitrógeno total

Para el presente trabajo el nitrógeno se ajustó a un modelo de regresión multiplicativo en Y, estabilizándose en valores cercanos a 1,0% (Figura 7). El nitrógeno permaneció constante entre valores de 0.8 y 1.0, esto porque dentro del proceso se produce una pérdida por nitrógeno volátil, pero permanece constante debido a las pérdidas de la materia orgánica, llevando entonces a que éste fuera tomado y dejado por los microorganismos. El comportamiento presentado por el nitrógeno en diferentes estudios, es una disminución a medida que la actividad microbiana va degradando los residuos sólidos, este comportamiento se le atribuye principalmente al aumento en las velocidades de aireación del proceso y la síntesis realizada por los microorganismos (Lu et al., 2009; de Guardia et al., 2008, Restrepo et al., 2010).

La NTC-5167, para enmiendas tiene un valor máximo permisible de 1%, por lo que el valor obtenido puede considerarse como aceptable. Así mismo, la evolución de este parámetro dentro del proceso permitió mostrar que fue bien llevado, debido a que las pérdidas de amonio en la pila fueron mínimas dándole un valor económico y agronómico al producto final, y además la generación de olores dentro del proceso fueron inapreciables (Bustamante et al., 2008).

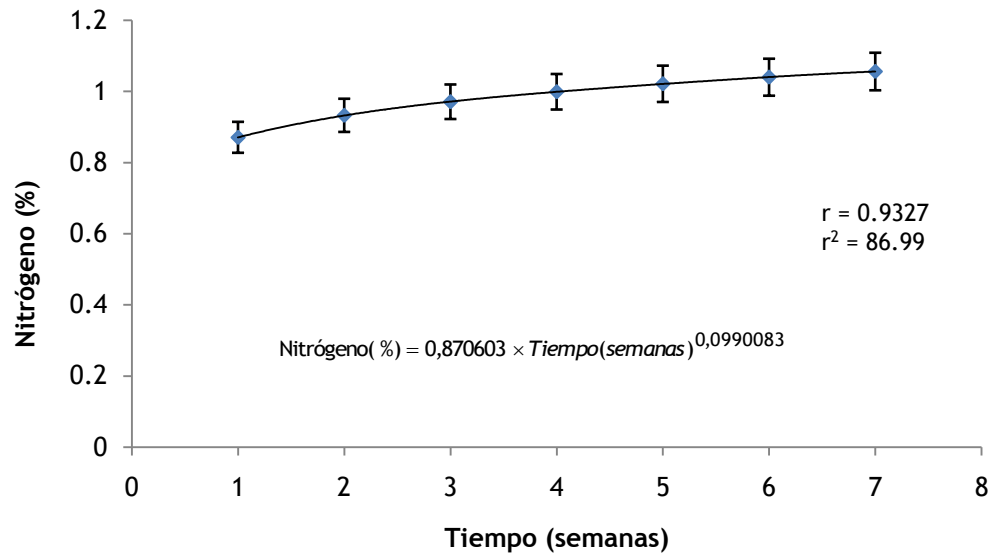
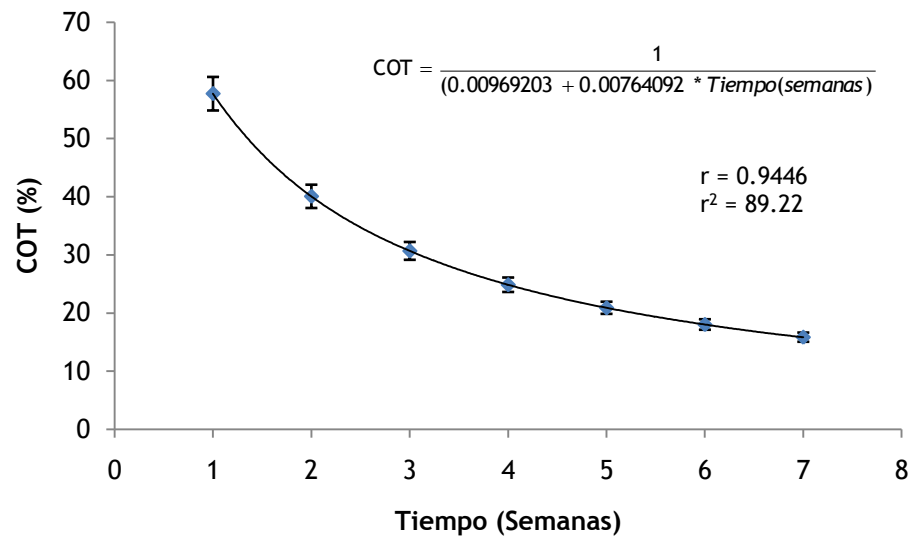


Figura 7. Cinética del Nitrógeno (%) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.8. Carbono Orgánico Total (COT)

El carbono orgánico total se ajusta a un modelo de regresión inverso en Y, llegando a valores de 15.8%. Durante las primeras semanas del proceso se da una pérdida considerable de COT, debido esto, a la alta actividad microbiana presente en las primeras fases, para luego irse estabilizando en el tiempo (Figura 8). Algunos autores dicen que los residuos orgánicos de la fracción municipal poseen un mayor porcentaje de COT que otro tipo de residuos como es el caso de los estiércoles (Lu et al., 2009; Dimambro et al., 2007; Zmora-Nahum et al., 2005).

Según la NTC-5167 para enmiendas orgánicas exige un valor mínimo de 15%, por lo que el valor obtenido puede considerarse como aceptable. El comportamiento presentado por el COT en este trabajo es el esperado, debido a que los microorganismos van consumiendo y mineralizando el carbono presente dentro de la pila, llevando entonces a que la materia orgánica vaya disminuyendo en el sistema.



**Figura 8.** Cinética del COT (%) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.9. Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC)

La capacidad de intercambio catiónico se ajustó a un modelo logarítmico en X, llegando a valores de casi  $40 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ , esto indica que es un valor que se ajusta a la norma NTC-5167, la cual para una enmienda orgánica no húmica exige un valor mínimo de  $30 \text{ cmol}_{(+)}\text{kg}^{-1}$ , mostrando de esta manera que el producto obtenido cumple con las especificaciones establecidas.

La cinética de la CIC, presenta una tendencia a estabilizar al final del proceso de compostaje (figura 9), la cual se debe a la formación de grupos carboxílicos y fenólicos (Bernal et al., 2008; Bustamante et al., 2008; García et al., 2005; Smith & Hughes 2004; Benito et al., 2003; Bernal et al., 1998). Los valores finales muestran entonces que el compost obtenido tiene una buena capacidad de intercambiar o retener cationes por iones de suelo que estén cargados negativamente, llevando entonces a mejorar las condiciones del suelo.

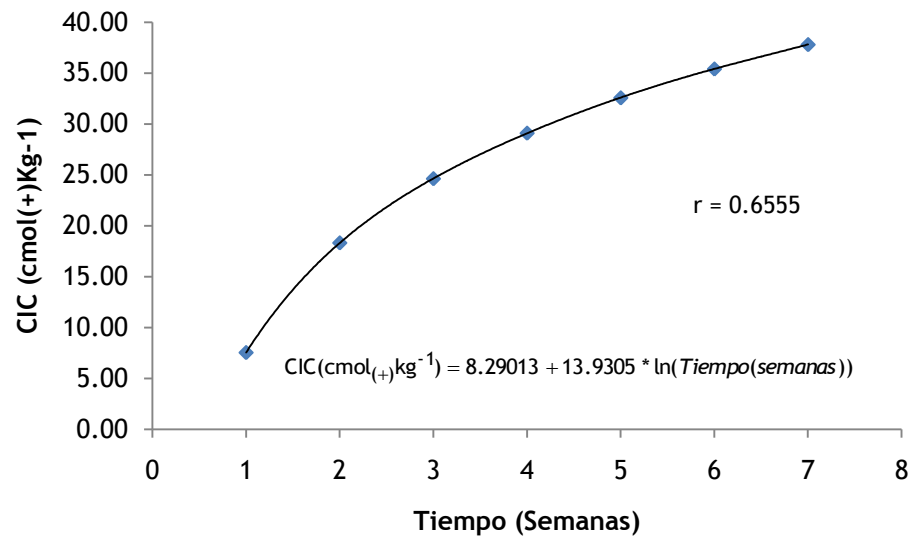


Figura 9. Cinética de la CIC (cmol<sub>(+)</sub>Kg<sup>-1</sup>) durante el proceso de compostaje

#### 7.1.10. Relación C/N

La relación carbono-nitrógeno (C/N) se ajustó a un modelo inverso en X, llegando a valores cercanos a 18. Ésta en las primeras semanas del proceso presenta una disminución considerable debido a la actividad microbiana que se da en la pila (figura 10) para luego irse estabilizando con el tiempo; un comportamiento similar es presentado en otras investigaciones, en las cuales al evaluar dicha relación, mostraron una tendencia decreciente durante todo el proceso (Dimambro et al., 2007; Levanon & Pluda 2002).

Según la NTC-5167, para enmiendas orgánicas no se tiene un valor establecido, sin embargo algunos autores aseguran que para una buena calidad del producto, se debe tener una relación de C/N en un rango entre 15 a 20 (Sharma et al., 1997).

Esta relación dentro del proceso es muy importante, debido a que permite que la actividad microbiana sea adecuada; ya que altos contenidos de nitrógeno pueden acelerar la descomposición de la materia orgánica pero con pérdidas considerables de nitrógeno, y una alta cantidad de carbono puede disminuir la actividad microbiana (Sharma et al., 1997); por tanto se muestra que el proceso fue llevado de tal forma que la degradación de la materia orgánica, permitió que al final la C/N presentara un valor aceptable para una enmienda.

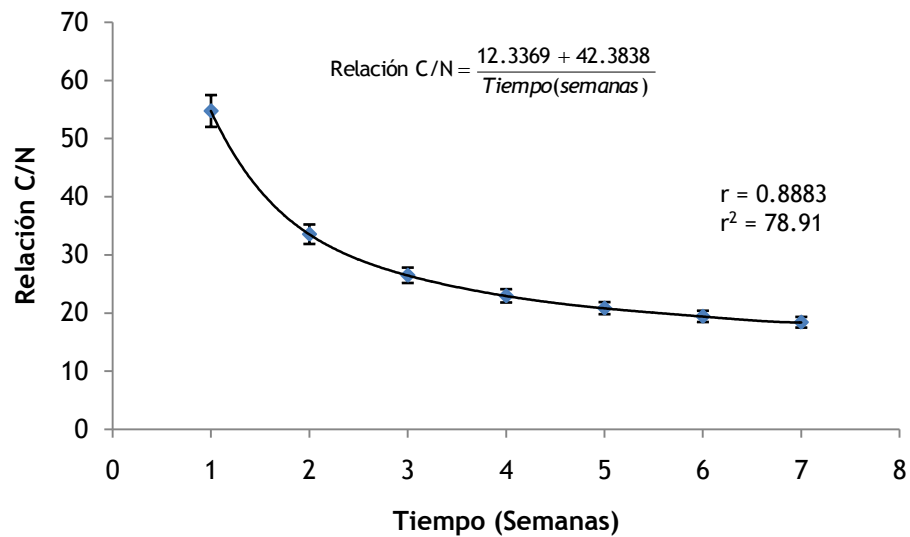


Figura 10. Cinética de la relación C/N durante el proceso de compostaje

#### 7.1.11. Fósforo

El fósforo se ajusta a un modelo de regresión multiplicativo en Y, llegando a valores cercanos de 0,53%, la tendencia mostrada durante el proceso fue a aumentar (figura 11). Estudios similares han mostrado la misma tendencia en el contenido de fósforo durante el proceso de degradación (Martín et al., 2008).

La NTC-5167 exige que para enmiendas éste debe ser reportado, sin embargo el valor mínimo de fósforo debe ser de 0,4% en base seca, con lo que el resultado se ajusta a este valor (Sharma et al., 1997), mostrando así que el producto final tiene las condiciones para que pueda ser aplicado al suelo.

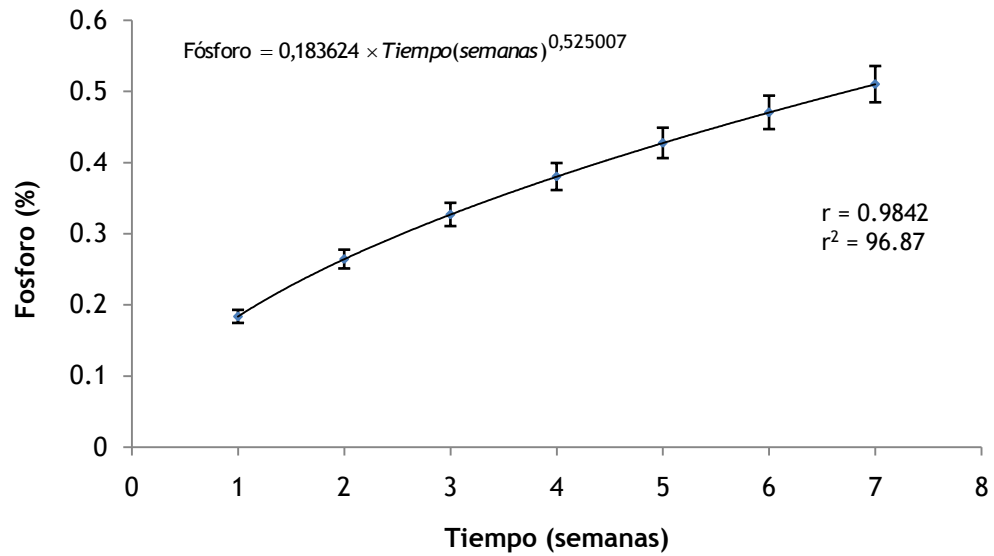


Figura 11. Cinética del Fósforo (%) durante el proceso de compostaje

### 7.1.12. Metales

Los metales presentes durante el proceso de compostaje fueron el aluminio, calcio, potasio, magnesio, sodio y zinc (figura 12), cada uno de éstos se ajustó a un modelo diferente, los cuales se pueden observar en la tabla 12 del anexo. Aplicando una comparación de muestras múltiples se encontró que solo hay diferencia significativa en dos metales el calcio y el sodio (Figura 12), por esto solo se presentan las cinéticas de éstos dos.

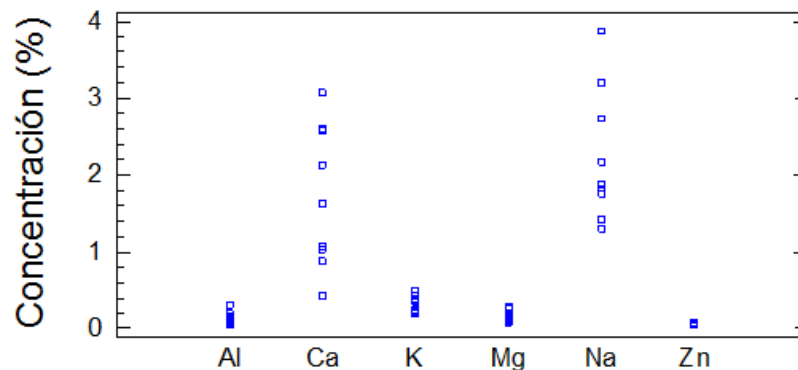


Figura 12. Gráfico de dispersión del comportamiento de metales durante el proceso

El sodio presentó un modelo de regresión inverso en Y, con una tendencia a aumentar durante todo el proceso con valores finales cercanos a 3,0%. Además, el calcio se ajustó a un modelo de regresión doble inverso en Y, con un valor final de 2,6 %, presentando un aumento durante todo el proceso (figura 13).

La NTC-5167 para enmiendas dice que se debe reportar si la riqueza total de cada elemento es de mínimo 2,0 %. El sodio en un compost debe estar en un rango de concentración entre 0,35 a 2,1 % (Hargreaves et al., 2008) y la concentración promedio de calcio debe de estar en 1,0 % (He et al., 1995) citado por Hargreaves et al. (2008). Por tanto, los valores obtenidos cumplen con la norma y superan los rangos recomendados por los autores.

Los valores de sodio no pueden ser muy altos en el producto final, debido a que altas cantidades de sales en éste produce el aumento de la conductividad eléctrica, lo que lleva a la inhibición del crecimiento de la planta (Bustamante et al., 2009; Hargreaves et al., 2008).

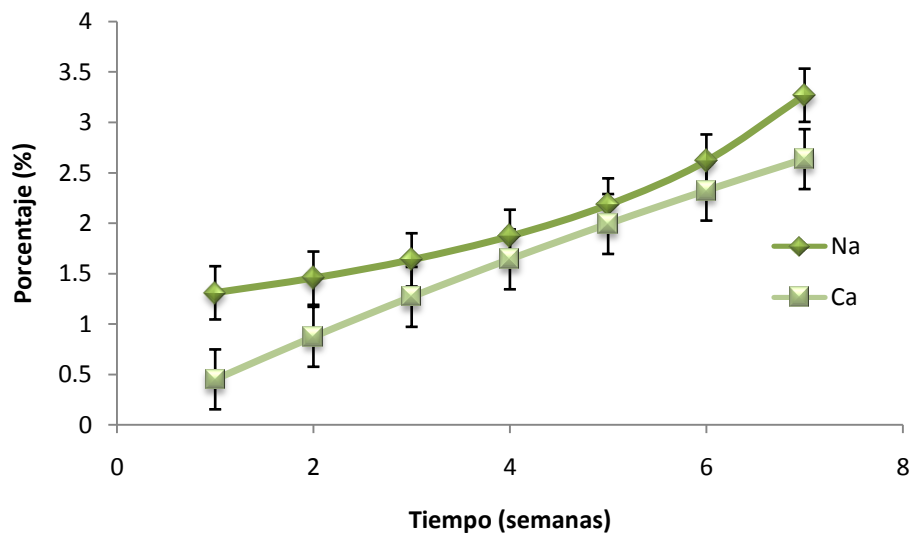


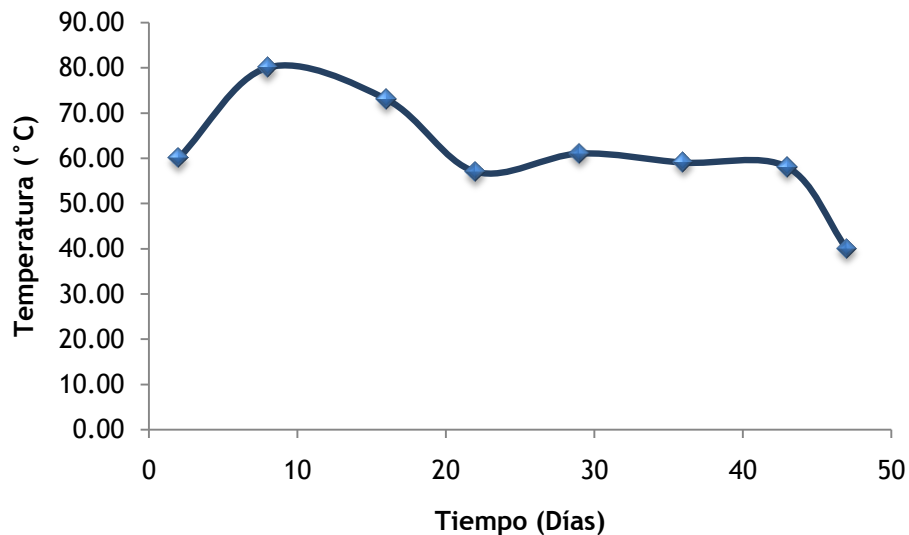
Figura 13. Cinética de metales (Na y Ca) durante el proceso de compostaje

### 7.1.13. Temperatura

Los valores tomados de temperatura durante el proceso de compostaje, estuvieron dentro de los rangos recomendados (Kiely, 1999 y Sharma et al., 1997) (figura 14). El comportamiento mostrado permite evidenciar dos fases termofílicas dentro del proceso, en las cuales la primera es bastante marcada con un valor máximo en el día 11, luego para la semana cinco se muestra la otra fase menos marcada, pero con igual importancia

que la primera, permitiendo de esta manera el desplazamiento de posibles patógenos y el establecimiento de microorganismos termófilos.

Comportamientos similares son mostrados por diferentes autores (Som et al., 2009; Bustamante et al., 2008; Boulter-Bitzer et al., 2006), indicando de esta manera la aproximación a la estabilización del compost.



**Figura 14.** Temperatura durante el proceso de compostaje

#### 7.1.14. Correlaciones entre las diferentes variables fisicoquímicas

Con el fin de correlacionar los diferentes parámetros fisicoquímicos se realizó una matriz de correlación (tabla 3), para esto se utilizó el paquete estadístico SPSS. En ésta se puede observar las relaciones existentes entre cada una de las variables evaluadas durante el proceso de compostaje y así poder disminuir la cantidad de parámetros a analizar.

Se encontró una alta relación entre la conductividad eléctrica y el contenido de cenizas, debido a que a medida que se degradan los residuos, se van formando compuestos inorgánicos no volátiles los cuales favorecen el aumento de la conductividad eléctrica, además este comportamiento permite la mineralización de la materia orgánica con lo cual las cenizas aumentan y el consumo de carbono disminuye, llevando a que haya una alta relación entre el COT y el contenido de cenizas (tabla 3).

Se presentan también las relaciones entre nitrógeno total, el COT y la relación C/N, atribuido esto a que el nitrógeno permite la síntesis de los microorganismos y el COT el alimento en el sistema, y la relación C/N es importante para que los microorganismos tengan el contenido de nutrientes necesarios para la degradación de los residuos.



En la matriz se muestra la relación que existe entre el pH y el COT, debido que a medida que el carbono es consumido se da la descomposición de proteínas y la liberación de dióxido de carbono, lo cual permite el aumento del pH (Sharma et al., 1997).

En la matriz de correlación se muestran variables con alta relación que ayudan a explicar mejor el comportamiento de éstas en el proceso, tal es el caso de la CIC, el COT, la conductividad, el pH y el nitrógeno total; por tal motivo son indicadoras de la estabilidad del proceso, siendo utilizadas en diferentes investigaciones para dicha estimación (Som et al., 2009; Gómez et al., 2008; Sundberg & Jönsson, 2008; Boulter-Bitzer et al., 2006).

**Tabla 1. Matriz de correlación entre las variables fisicoquímicas evaluadas durante el proceso de compostaje**

	Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Contenido de humedad (%)	CRA (%)	Contenido de cenizas (%)	Conductividad eléctrica (mS/cm)	pH	Nitrógeno total (%)	COT (%)	CIC (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	Fósforo (%)	Relación C/N
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	1	-0.304	0.314	0.238	0.301	0.439	0.448	-0.262	0.314	0.286	-0.609
		(0.426)	(0.411)	(0.538)	(0.431)	(0.237)	(0.227)	(0.497)	(0.411)	(0.455)	(0.082)
Contenido de Humedad (%)	-0.304	1	-0.832**	-0.340	-0.325	-0.174	-0.338	0.266	-0.838**	0.148	0.290
	(0.426)		(0.005)	(0.371)	(0.394)	(0.655)	(0.374)	(0.489)	(0.005)	(0.705)	(0.449)
CRA (%)	0.314	-0.832**	1	0.712 <sup>†</sup>	0.605	0.581	0.479	-0.679 <sup>†</sup>	0.984**	0.288	-0.489
	(0.411)	(0.005)		(0.032)	(0.084)	(0.101)	(0.192)	(0.044)	(0.000)	(0.453)	(0.181)
Contenido de cenizas (%)	0.238	-0.340	0.712 <sup>†</sup>	1	0.932**	0.907**	0.807**	-0.990**	0.699 <sup>†</sup>	0.810**	-0.792 <sup>†</sup>
	(0.538)	(0.371)	(0.032)		(0.000)	(0.001)	(0.009)	(0.000)	(0.036)	(0.008)	(0.011)
Conductividad eléctrica (mS/cm)	0.301	-0.325	0.605	0.932**	1	0.887**	0.929**	-0.907**	0.572	0.841**	-0.908**
	(0.431)	(0.394)	(0.084)	(0.000)		(0.001)	(0.000)	(0.001)	(0.108)	(0.005)	(0.001)
pH	0.439	-0.174	0.581	0.907**	0.887**	1	0.789 <sup>†</sup>	-0.936**	0.530	0.922**	-0.861**
	(0.237)	(0.655)	(0.101)	(0.001)	(0.001)		(0.012)	(0.000)	(0.142)	(0.000)	(0.003)
Nitrógeno total (%)	0.448	-0.338	0.479	0.807**	0.929**	0.789 <sup>†</sup>	1	-0.764 <sup>†</sup>	0.445	0.737 <sup>†</sup>	-0.938**
	(0.227)	(0.374)	(0.192)	(0.009)	(0.000)	(0.012)		(0.017)	(0.230)	(0.023)	(0.000)
COT (%)	-0.262	0.266	-0.679 <sup>†</sup>	-0.990**	-0.907**	-0.936**	-0.764 <sup>†</sup>	1	-0.663	-0.842**	0.774 <sup>†</sup>
	(0.497)	(0.489)	(0.044)	(0.000)	(0.001)	(0.000)	(0.017)		(0.052)	(0.004)	(0.014)
CIC (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.314	-0.838**	0.984**	0.699 <sup>†</sup>	0.572	0.530	0.445	-0.663	1	0.246	-0.465
	(0.411)	(0.005)	(0.000)	(0.036)	(0.108)	(0.142)	(0.230)	(0.052)		(0.524)	(0.207)
Fósforo (%)	0.286	0.148	0.288	0.810**	0.841**	0.922**	0.737 <sup>†</sup>	-0.842**	0.246	1	-0.824**
	(0.455)	(0.705)	(0.453)	(0.008)	(0.005)	(0.000)	(0.023)	(0.004)	(0.524)		(0.006)
Relación C/N	-0.609	0.290	-0.489	-0.792 <sup>†</sup>	-0.908**	-0.861**	-0.938**	0.774 <sup>†</sup>	-0.465	-0.824**	1
	(0.082)	(0.449)	(0.181)	(0.0119)	(0.001)	(0.003)	(0.000)	(0.014)	(0.207)	(0.006)	

Para observar el efecto de las variables en el proceso de compostaje se aplicó un análisis de componentes principales, el cual arrojó tres valores propios mayores a uno con una varianza acumulada del 94.65% (tabla 4), como se observa en el gráfico de sedimentación (figura 15).

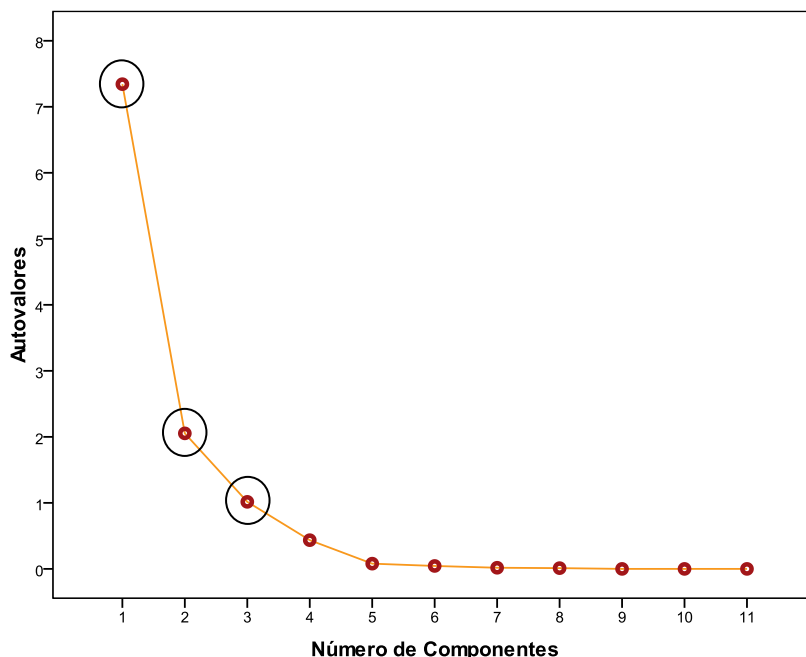


Figura 15. Gráfico de sedimentación de factores

Tabla 2. Matriz de estadísticos iniciales.

Componente	Autovalores Iniciales		
	Total	% de la varianza	% Acumulado
1	7.343	66.755	66.755
2	2.053	18.665	85.420
3	1.016	9.234	94.654

La componente uno representa la mayor varianza (66.76 %), para la cual se relacionan el contenido de cenizas (0.955), conductividad eléctrica (0.954), pH (0.933), COT (0.941) y relación C/N (0.909). Mientras que las otras dos componentes no son significativas dentro del análisis.

Es entonces solo la primera componente la única que agrupa una serie de variables con valores altamente significativos, permitiendo de esta manera mejorar la selección de las mismas.

Tabla 3. Matriz de componentes principales.

Variables	Componentes
-----------	-------------

	1	2	3
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	0.465	-0.076	0.844
Humedad (%)	-0.452	0.854	-0.102
CRA (%)	0.753	-0.623	-0.132
Cenizas (%)	0.955	0.058	-0.259
Conductividad (mS/cm)	0.954	0.163	-0.095
pH	0.933	0.252	-0.022
Nitrógeno (%)	0.883	0.183	0.165
COT (%)	-0.941	-0.114	0.251
CIC (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	0.727	-0.653	-0.129
Fósforo (%)	0.803	0.562	-0.079
Relación C/N	-0.909	-0.219	-0.293

Del análisis de matriz de correlación y de componentes principales se pueden extraer aquellos parámetros que tengan un menor peso en la componente y que presenten correlaciones con otros compuestos como son la conductividad eléctrica, humedad, densidad, CRA, pH, relación C/N, nitrógeno total, COT y fósforo.

De los parámetros seleccionados por el análisis de componentes principales y por la matriz de correlación, el contenido de cenizas y la capacidad de intercambio catiónico son parámetros que sirven para evaluar la estabilidad del compost.

En el sistema se pudo observar que ambos parámetros se manejaron adecuadamente, permitiendo que al final se obtuviera un producto con buenas condiciones para ser aplicado a cualquier tipo de suelo, en el caso de la CIC el aumento mostrado permite que al ser aplicado como enmienda esta pueda hacer un buen intercambio de cationes en el suelo.

## 7.2. PARÁMETROS BIOLÓGICOS

### 7.2.1. Microorganismos

El comportamiento de los microorganismos (mesófilos, termófilos, enterobacterias, mohos y levaduras), durante el proceso de compostaje es un aumento entre la segunda y cuarta semana para disminuir con la estabilización (figura 16), así mismo se muestra la desaparición de las enterobacterias la última semana del proceso, mostrando así la sanitización realizada por las altas temperaturas; este comportamiento es evidenciado en otros trabajos (Amir et al., 2008; Sole-Mauri et al., 2007; Dresbøll & Magid, 2006; Tuomela et al., 2000)

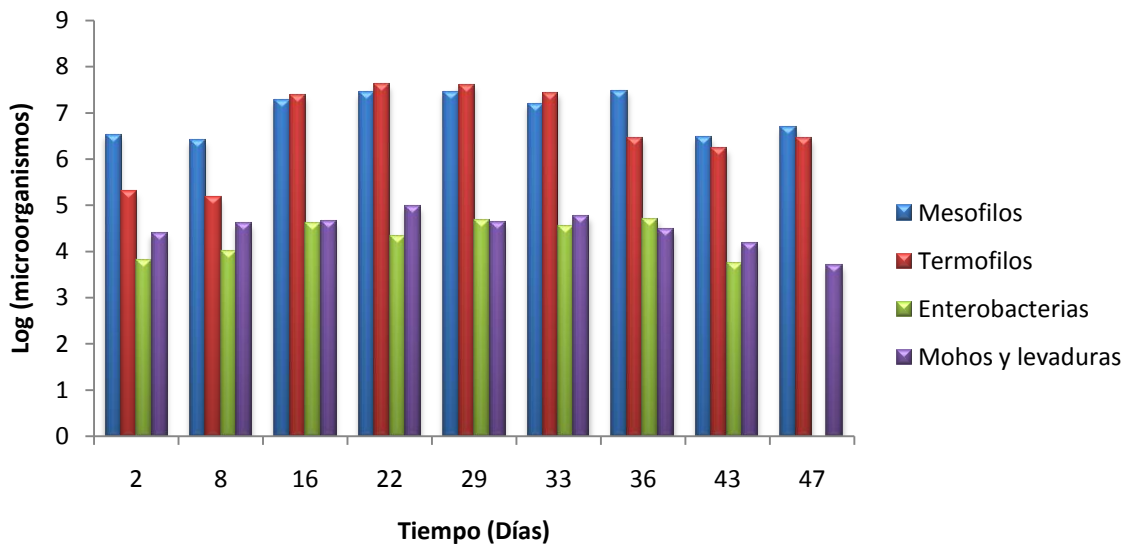


Figura 16. Microorganismos durante el proceso de compostaje

La tendencia de la actividad microbiana durante el proceso de compostaje estuvo marcado por un pico importante entre la cuarta y quinta semana (figura 17), para luego ir disminuyendo hasta estabilizarse el proceso en las última semanas, esta tendencia se debe a la disponibilidad de nutrientes dentro de la pila y de unas condiciones especiales como son temperatura, humedad, pH, aireación y relación C/N (Amir et al., 2008; Sole-Mauri et al., 2007; Dresbøll & Magid, 2006; Tuomela et al., 2000 Hassen et al., 2001; Sharma et al., 1997).

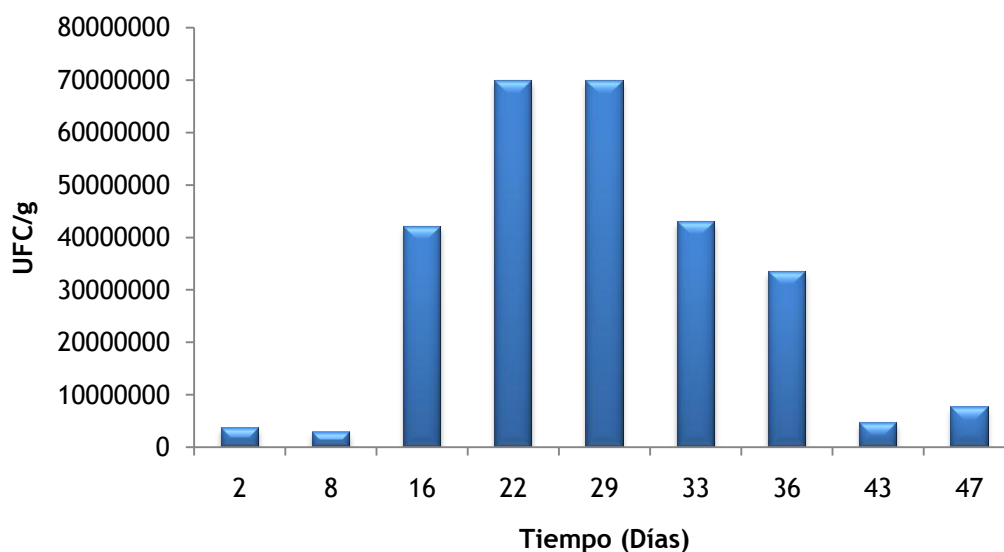


Figura 17. Microorganismos totales (UFC/g) durante el proceso de compostaje

Se puede observar que el comportamiento de los microorganismos termófilos como mesófilos es una sucesión en la cual mientras los termófilos están en su máximo pico de actividad los mesófilos permanecen latentes dentro del proceso pero en menor cantidad (figura 18) (Amir et al., 2008; Sole-Mauri et al., 2007; Dresbøll & Magid, 2006; Hassen et al., 2001)

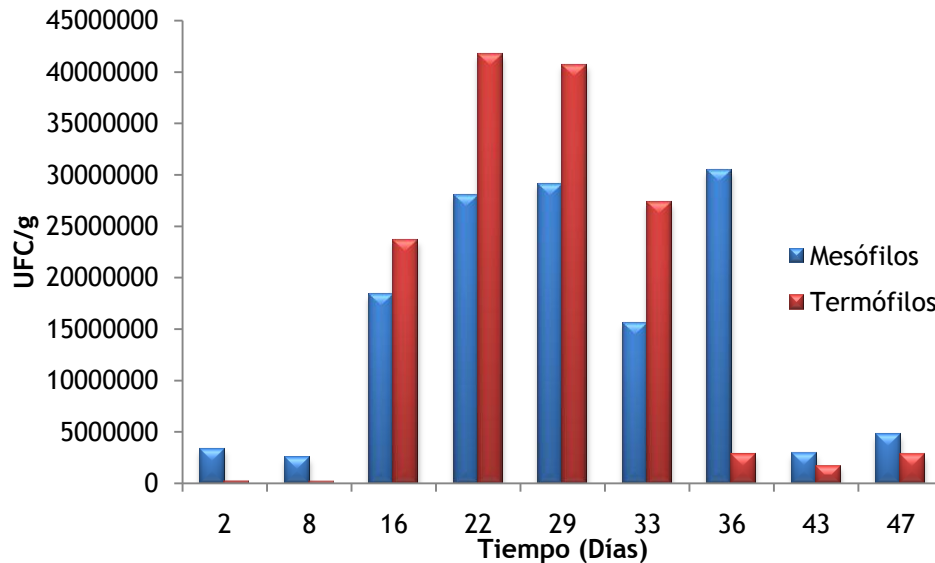
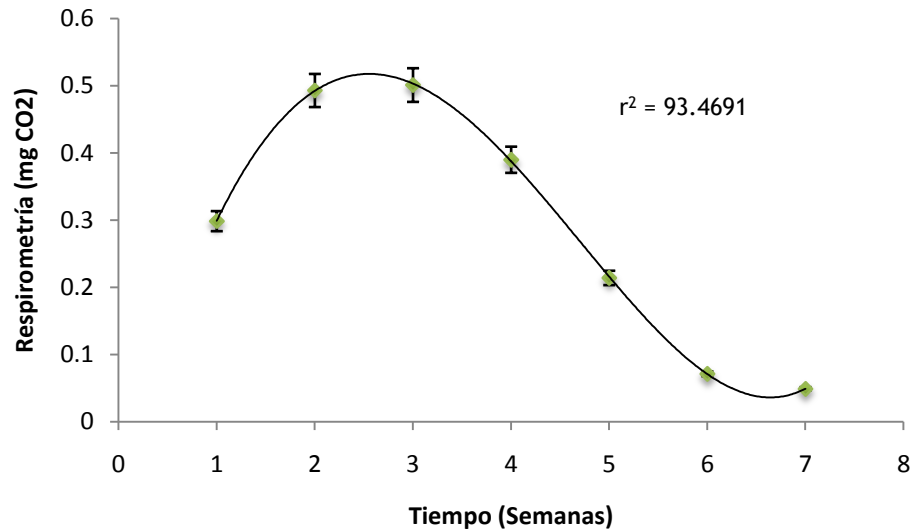


Figura 18. Microorganismos mesófilos y termófilos durante el proceso de compostaje

### 7.2.2. Respirometría

La respirometría presenta un modelo polinomial de tercer grado, estabilizándose en valores cercanos a 0,1 mg CO<sub>2</sub>. Este parámetro muestra la máxima actividad microbiana que se presenta en la pila, la cual se da entre segunda y cuarta semana, para luego ir disminuyendo hasta la estabilización del proceso (Figura 19). Este comportamiento se debe en la medida que los residuos orgánicos son degradados por los microorganismos, se van agotando los nutrientes (se estabiliza el sistema), permitiendo de esta manera observar la evolución del CO<sub>2</sub> (Gómez et al., 2008; Iannotti et al., 1994; Boulter-Bitzer et al., 2006; D'Imporzano et al., 2008).



**Figura 19.** Cinética de la Respirometría (mg CO<sub>2</sub>) durante el proceso de compostaje

### 7.2.3. Relación de Temperatura y Microorganismos

Los microorganismos mesófilos presentan una alta relación con la temperatura (figura 20), ya que las poblaciones de mesófilos se ven disminuidas por las altas temperaturas; así mismo se observa que en la segunda semana, cuando aparecen los máximos picos de temperatura, se da la aparición de los microorganismos termófilos (figura 17).

El comportamiento de la temperatura en la pila es normal (figura 14), debido a que el aumento de ésta favorece las actividades saprófitas que causan la transformación del material en compost, además este comportamiento afecta la presencia de los microorganismos dentro del sistema debido a que temperaturas menores de 60°C favorecen la aparición de microorganismos mesófilos y temperaturas mayores a 60°C dan lugar a la digestión termofílica (figura 20).

Así mismo los termófilos no presentan una correlación directa con la temperatura, debido a que a medida que la temperatura del proceso fue disminuyendo los microorganismos termófilos fueron incrementando.

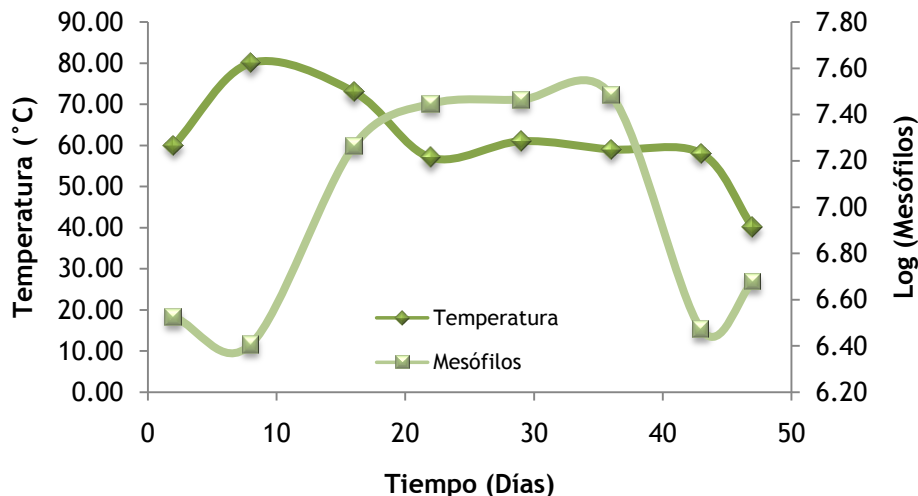


Figura 20. Relación entre la temperatura y los microorganismos mesófilos

### 7.3. COMPUESTOS ORGANICOS VOLÁTILES VOC ´s

Para la identificación y cuantificación de los VOC ´s se tuvieron en cuenta dos formas de extracción, la primera a través de bolsas Tedlar y la segunda a partir de microextracción en fase sólida (SPME).

En la figura 21 y 22 se presentan los perfiles cromatográficos obtenidos tanto de las bolsas Tedlar como de la SPME del día 8, en éste se puede observar la formación de compuestos volátiles, mostrando que la técnica de extracción empleando SPME, permite evaluar una mayor cantidad de compuestos volátiles comparado con las bolsas Tedlar en una relación de 40:1.

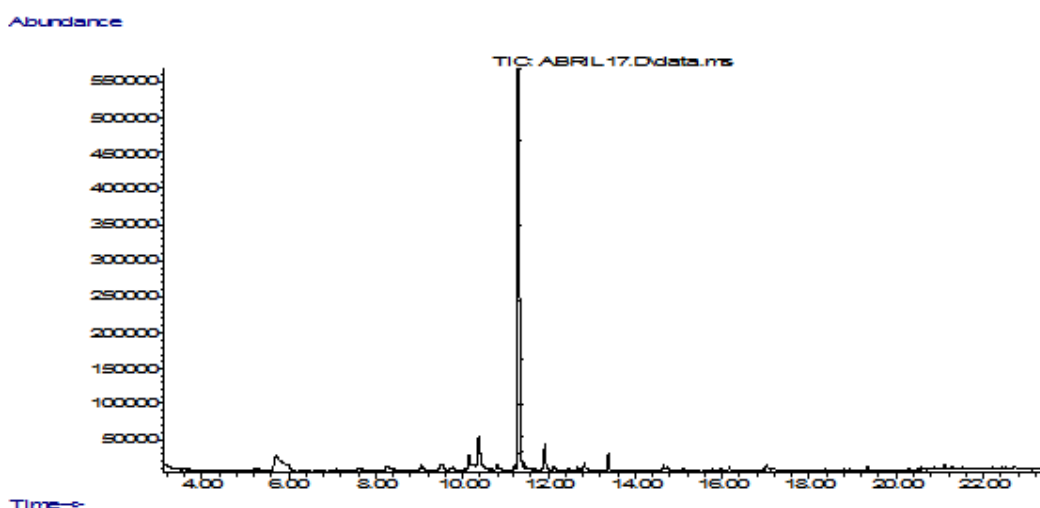


Figura 21. Cromatograma de VOC ´s provenientes de RSU-sf (DÍA 8, Tedlar)



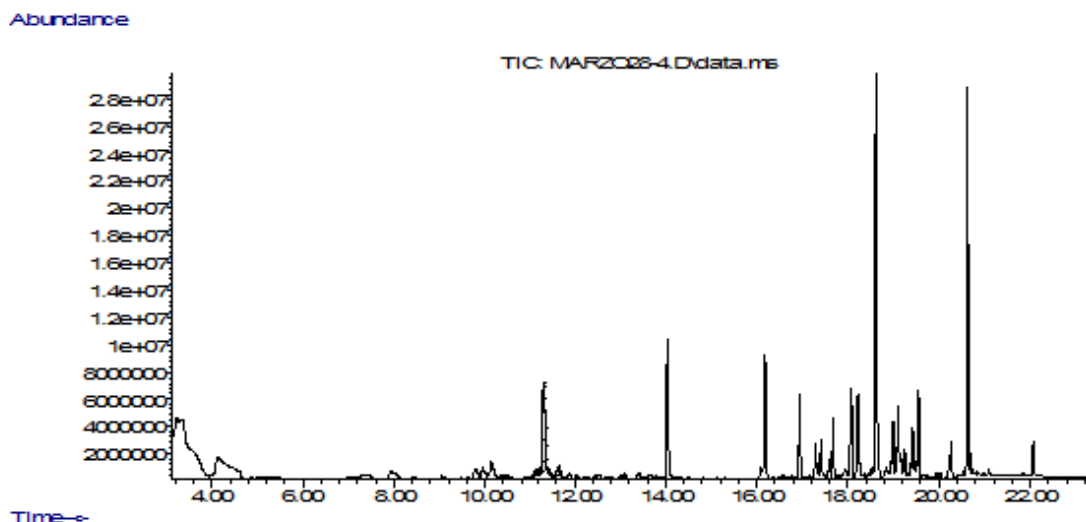


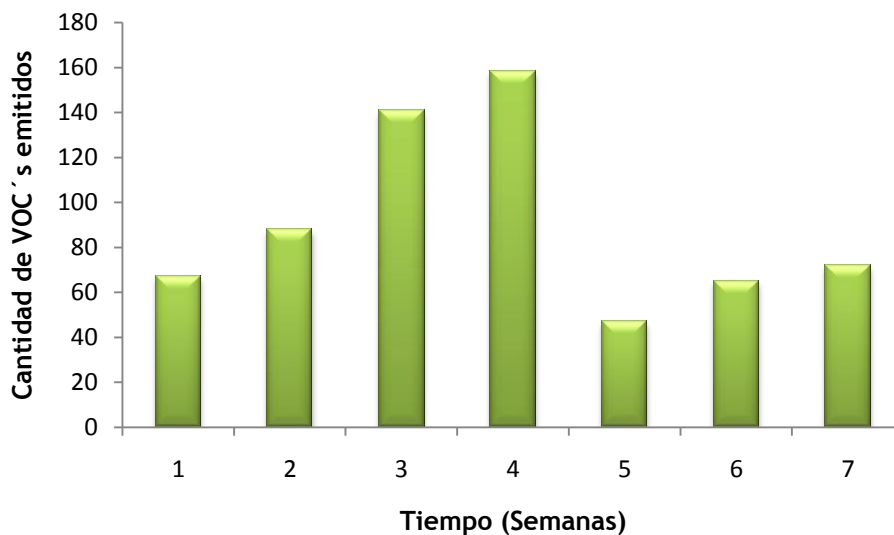
Figura 22. Cromatograma de VOC's provenientes de RSU-sf (DÍA 8, SPME)

La mayor formación de compuestos volátiles se presentan en las primeras semanas de llevado el proceso (Komilis et al., 2004 y Eitzer, 1995), En este proyecto en particular, se registró un incremento en la producción de volátiles hasta la cuarta semana, mostrando una disminución a partir de esta. En general por muestra se determinaron más de 60 compuestos de los cuales en promedio 30 mostraron calidades mayores al 90; siendo la tercera y cuarta semana las que presentaron mayor cantidad de compuestos con 141 y 158 respectivamente (Tabla 6).

Tabla 4. VOC's emitidos durante el proceso de compostaje

Muestra	Identificación de VOC's por muestra	VOC's por muestra con confiabilidad >90
Día 2	67	30
Día 8	88	44
Día 16	141	37
Día 22	158	45
Día 29	47	22
Día 36	65	19
Día 43	81	27
Día 47	63	33

En la figura 23 se puede observar un aumento de VOC's desde la primera hasta la cuarta semana, siendo esta ultima la de mayor de cantidad de compuestos emitidos, llevando entonces a que sea una de las semanas de mayor cuidado en el manejo del proceso en lo que se refiere a la salud ocupacional.



**Figura 23.** VOC's durante el proceso de compostaje

Compuestos aromáticos como el tolueno, xilenos, etilbenceno, derivados del naftaleno, estireno, benzaldehído, indol se registraron en mayor cantidad durante la tercera y cuarta semana. Hidrocarburos alifáticos como los derivados del ácido propanoico y terpenos como el limoneno, pineno, camfor, fueron identificados durante todo el proceso de compostaje pero en especial en la primera y segunda semana, en cierta medida estos resultados coincidieron con otros estudios de compostaje del mismo tipo de residuos (Wilkins & Larsen, 1996; Schlegelmilch et al., 2005; Tolvanen et al., 2005; Smet et al., 1999; Nadal et al., 2009; Eitzer, 1995 y Komilis et al., 2004).

En la tabla 5 del anexo, se registran los compuestos orgánicos volátiles determinados en este proyecto. Adicionalmente en la tabla 6 del anexo se resaltan estudios toxicológicos para algunos de estos compuestos.

Con el fin de evaluar la generación de los volátiles y su comportamiento cinético en el tiempo, se seleccionaron doce compuestos, tomando como referencia, su presencia permanente y su concentración relativa.

### 7.3.1. Cinéticas de los VOC's presentes durante todo el proceso de compostaje<sup>2</sup>

#### 7.3.1.1. Xilenos (*o*, *m*, *p*)

El comportamiento de los xilenos se ajusta a un modelo polinomial de grado cinco, evidenciándose la aparición de éstos desde la primera hasta la cuarta semana del proceso, luego se da un descenso en la formación hasta la última semana, donde el sistema se estabiliza (figura 24). Los xilenos a altas concentraciones o largas exposiciones (435 mg/m<sup>3</sup> según NIOSH REL) se caracterizan por producir dolor de cabeza,

<sup>2</sup> Los Análisis de regresión para los VOC's están registrados en el anexo en la tabla 4

falta de coordinación muscular, irritación de piel, ojos, nariz y garganta, además la exposición a altos niveles de xileno puede causar pérdida de conocimiento y muerte (ATSDR, 2007; Liang & Liao, 2007; Maguin et al., 2006).

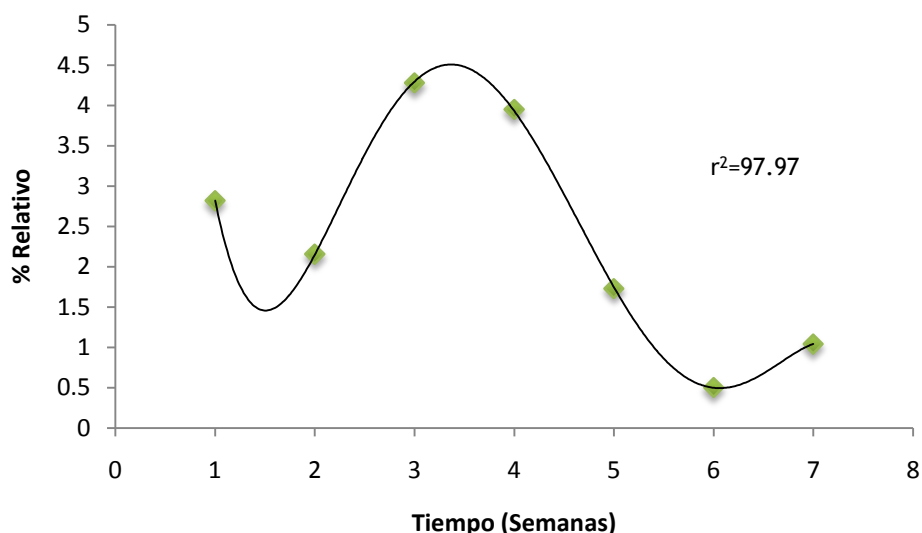
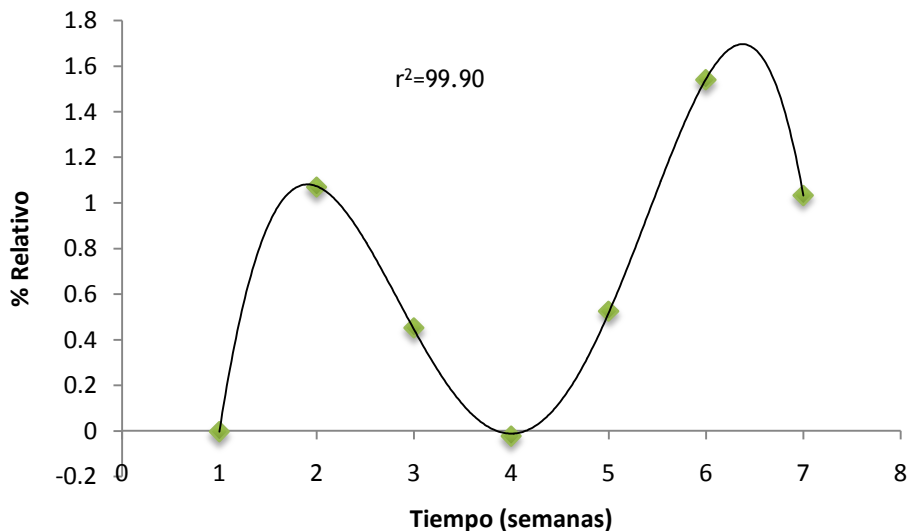


Figura 24. Cinética de los Xilenos durante el proceso de compostaje

### 7.3.1.2. Benzaldehído

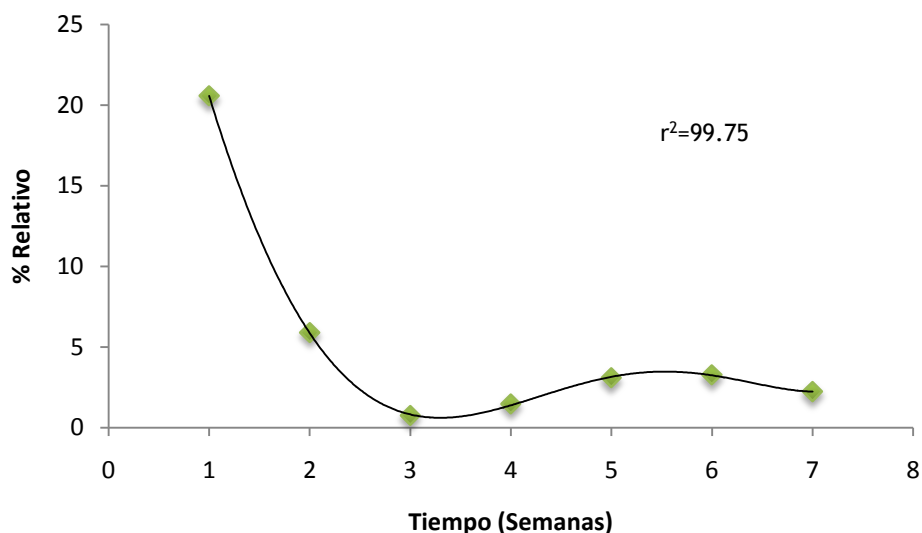
El benzaldehído presentó un modelo polinomial de cuarto grado, mostrando su mayor presencia relativa en la segunda y sexta semana, con tendencia a disminuir con la estabilidad del sistema (figura 25). El benzaldehído a largas y/o altas concentraciones (ver tabla 6 del anexo) es conocido por causar irritación de ojos, vías aéreas superiores y piel; posee propiedades narcóticas o puede causar la muerte a dosis altas y concentradas (Pichard et al., 2005).



**Figura 25.** Cinética del Benzaldehído durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.3. Limoneno

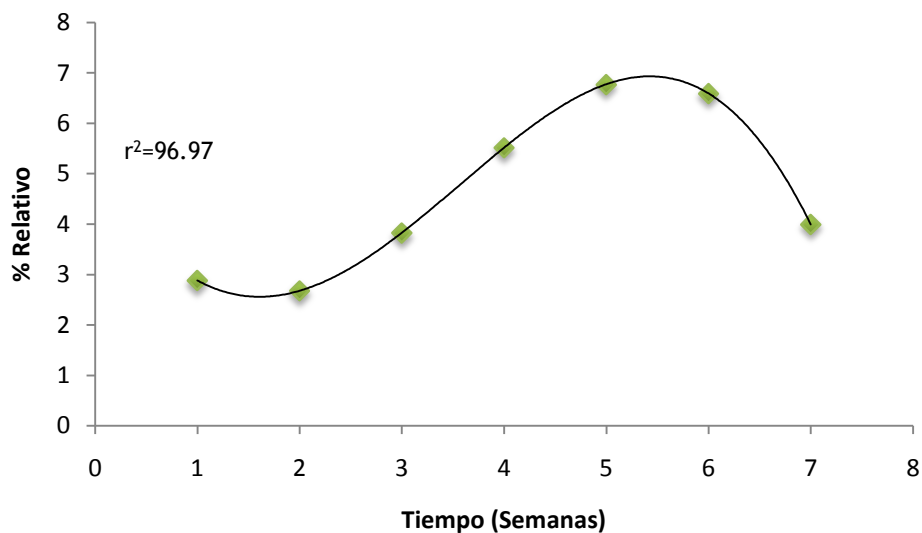
El limoneno presentó un modelo polinomial de cuarto grado, su máxima presencia se da en la primera semana y disminuye a medida que avanza el proceso (figura 26). El limoneno es característico de los cítricos en particular de las naranjas, limones, mandarinas y limas. Los productos formados por la oxidación de éste, contribuyen a la irritación de ojos y vías respiratorias (Nøjgaard et al., 2005).



**Figura 26.** Cinética Limoneno durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.4. Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl

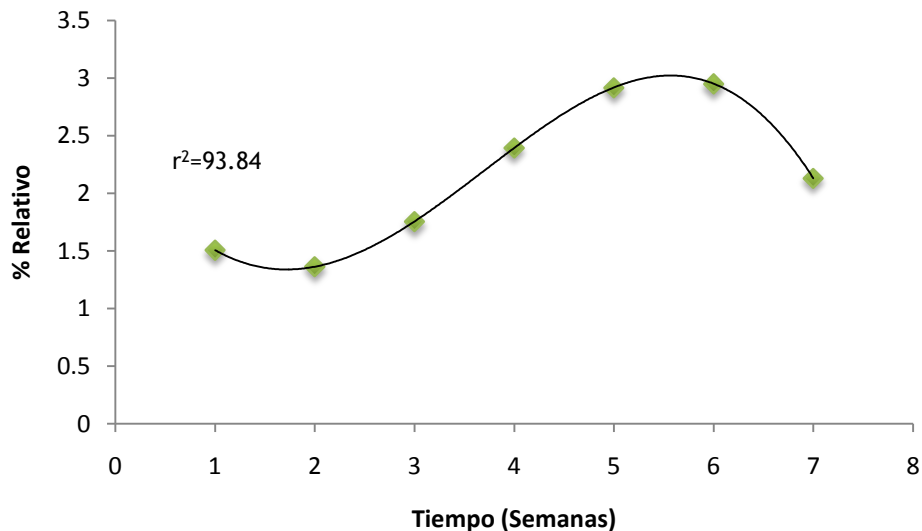
El Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl) propyl presenta un modelo polinomial de tercer grado, este compuesto aparece dentro del proceso desde la primera semana con un aumento en su porcentaje de formación hasta la quinta semana, para luego ir disminuyendo a medida que el sistema se estabiliza en el tiempo (figura 27).



**Figura 27.** Cinética de Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.5. Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester

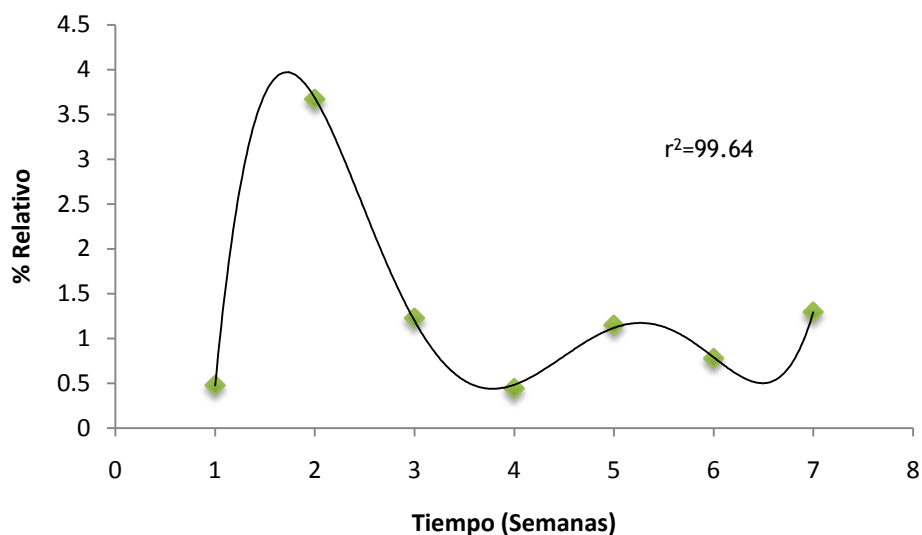
El Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester presentó un modelo polinomial de tercer grado (figura 28), el cual se evidencia en el proceso desde la primera semana de iniciado, este presenta una tendencia muy similar a la dada por el Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl, para el cual en la segunda semana se observa un aumento y va disminuyendo a partir de la sexta semana hasta finalizar el proceso. En investigaciones realizadas se ha encontrado una dosis letal oral (LD50) para ratas mayor a 5000 mg/kg, además una dosis dérmica (LD50) para conejos mayor a 5000 mg/Kg, y en humanos a altas y/o largas exposiciones puede causar irritación tanto de piel como de ojos.



**Figura 28.** Cinética de Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.6. Cariofileno

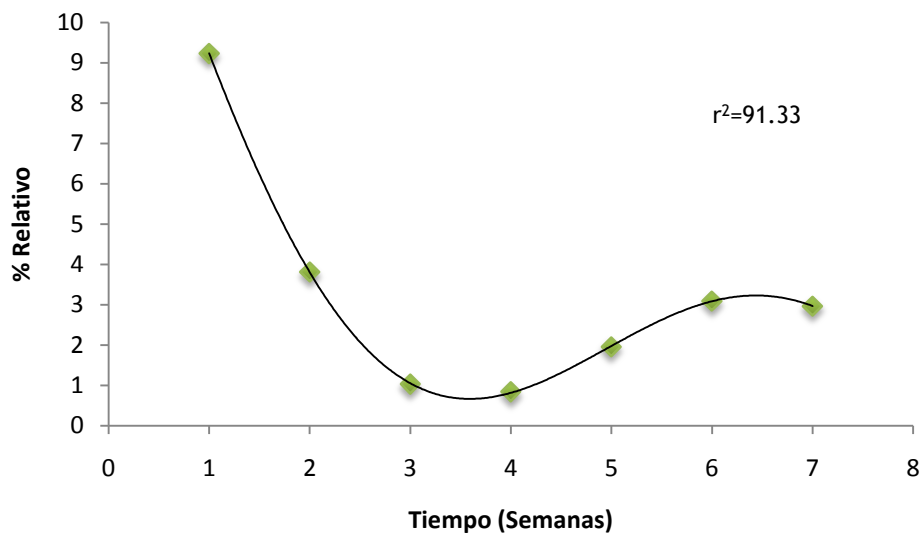
El cariofileno presenta un modelo polinomial de grado cinco, su mayor presencia se da en la segunda semana y disminuye con el tiempo a medida que los residuos son degradados y el proceso es estabilizado (figura 29). La inhalación de cariofileno puede causar irritación de piel a largas y/o altas concentraciones (ver tabla 6 del anexo).



**Figura 29.** Cinética del cariofileno durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.7. Pentadecano

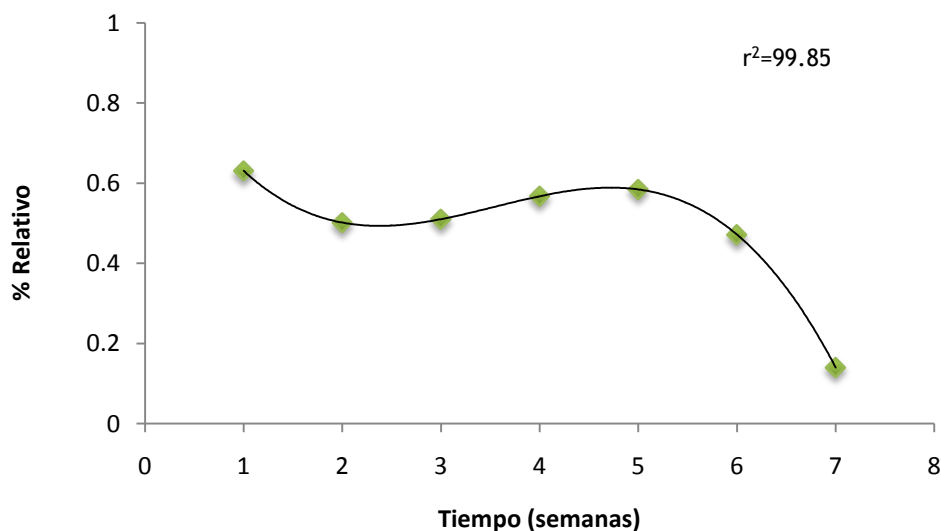
El pentadecano se ajustó a un modelo polinomial de tercer orden, mostrando su máximo pico en la primera semana de iniciado el proceso, después va disminuyendo su formación a medida que los residuos son degradados hasta la estabilización del sistema (figura 30). En estudios se ha encontrado que el pentadecano causa irritación del tracto digestivo, vías respiratorias, ojos y piel; daño del hígado, depresión del sistema nervioso central, dolor de cabeza, vértigos, somnolencia y náuseas, además la aspiración de este compuesto causa en los pulmones la neumonitis química, que puede ser fatal.



**Figura 30.** Cinética del Pentadecano durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.8. Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-

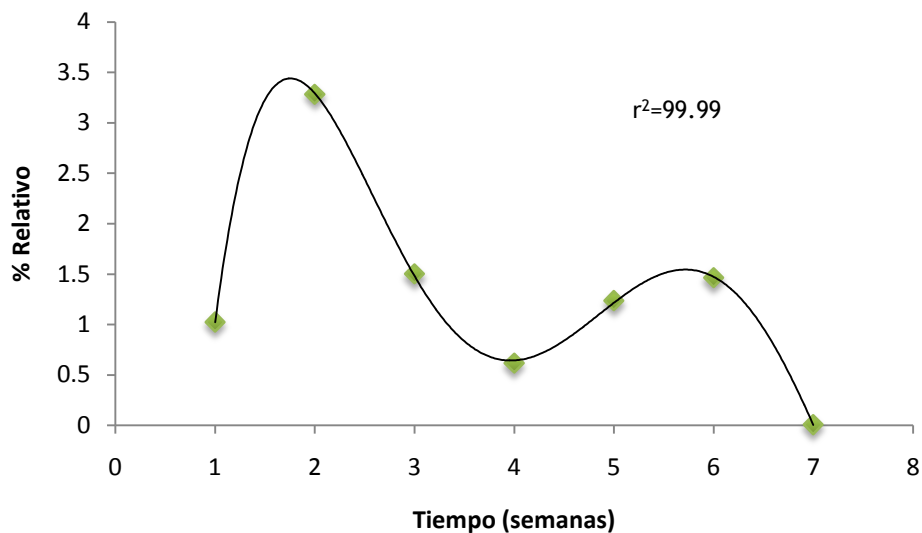
El Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)- presenta un modelo polinomial de tercer grado, se puede observar que presenta un comportamiento constante hasta la sexta semana para luego disminuir al final del proceso (figura 31).



**Figura 31.** Cinética de Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)- (1S-cis)-durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.9. Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-

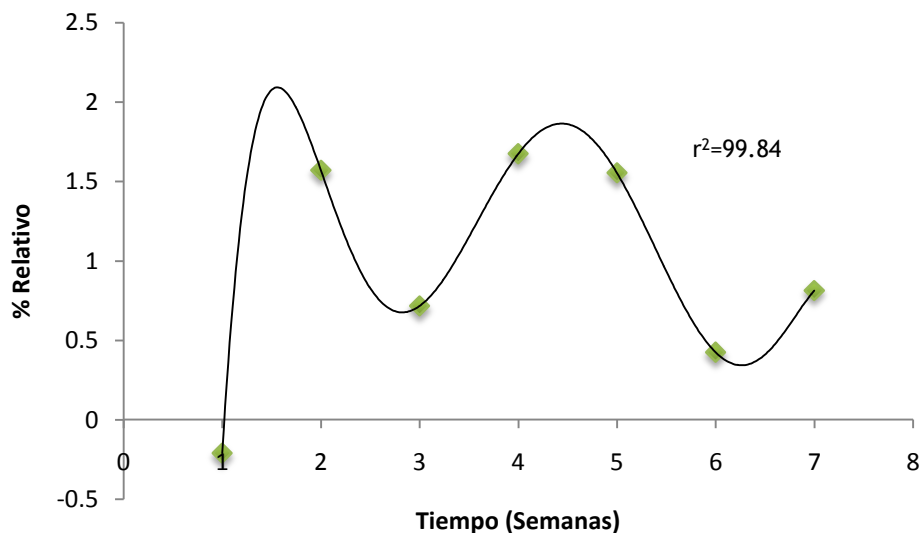
El Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-, conocido también como  $\alpha$ -bergamoteno presenta un modelo polinomial de quinto orden, su máxima presencia se da en la segunda semana y disminuye durante el proceso de compostaje (figura 32).



**Figura 32.** Cinética de Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.10. Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-

El Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a -hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-, también conocido como cadina- 1(10), 4-diene, presenta su máximo pico en la segunda y cuarta semana y luego disminuye notablemente (figura 33). Éste compuesto es conocido por ser un material irritante para las membranas mucosas y las vías respiratorias, causa irritación de piel y ojos.

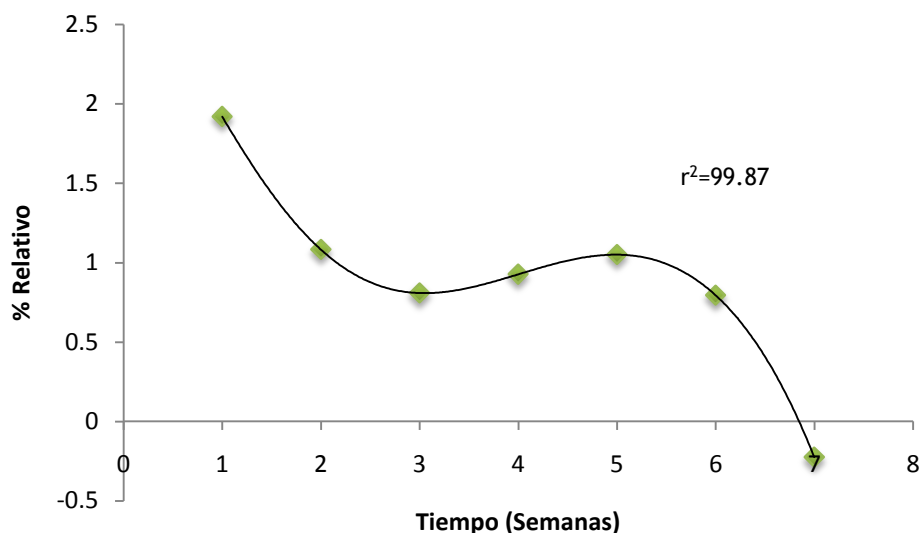




**Figura 33.** Cinética del Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,(1S-cis)- durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.11. Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-

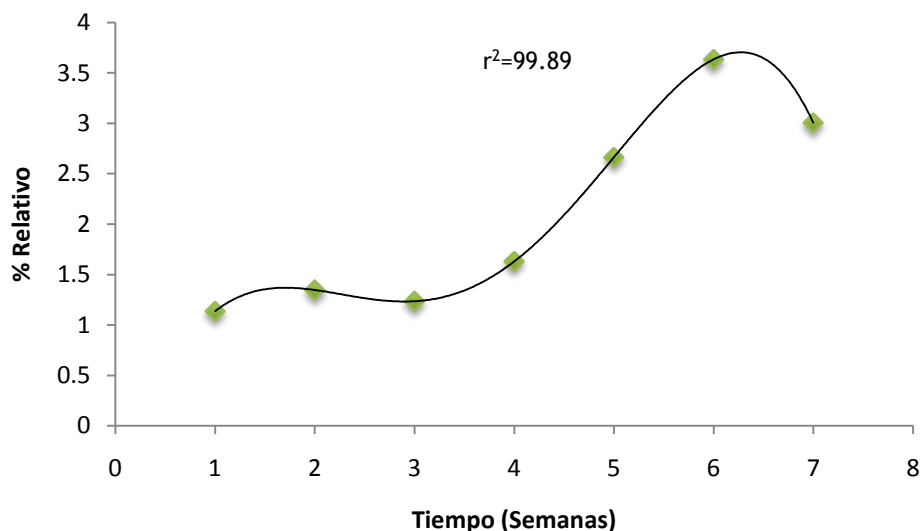
El Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-, se ajustó a un modelo polinomial de tercer grado, en el cual muestra la formación en la primera semana pero va decreciendo a medida que el proceso avanza (figura 34). Son pocos los estudios que se reportan acerca de este compuesto, la dosis letal oral 50 en ratas es de 5000 mg/Kg y en ratones, es de 13360 mg/Kg.



**Figura 34.** Cinética de Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- durante el proceso de compostaje

#### 7.3.1.12. Copaeno

La cinética del copaeno se ajusta a un modelo polinomial de cuarto grado, el cual tiende a aumentar hasta la sexta semana donde disminuye (figura 35). El copaeno causa irritación de las membranas mucosas y el tracto respiratorio, irritación de la piel y los ojos.



**Figura 35.** Cinética del Copaeno durante el proceso de compostaje

En las cinéticas de los doce compuestos se mostró que los máximos picos de formación se dieron entre la segunda y cuarta semana, éstas son según la cinética de respirometría (Figura 20) las que presentan una mayor actividad microbiana, mostrándose así la relación que hay entre dicha actividad y la formación de los VOC's.

### 7.3.2. Correlaciones entre los doce compuestos seleccionados

Con el fin hacer una selección y evaluar el impacto de los principales VOC's durante el proceso de compostaje se procedió a realizar una matriz de correlación (tabla 8) entre los doce compuestos seleccionados por su presencia constante durante todo el proceso de compostaje. Para ello se utilizó el paquete estadístico SPSS, encontrando una alta relación entre el limoneno (VOC3) con el pentadecano (VOC8) y con el Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- (VOC11). A su vez el pentadecano (VOC8) se correlaciona con el Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- (VOC11).

También se presenta una correlación significativa entre el Propanoic acid, 2-methyl-, 2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester (VOC4) con el Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester (VOC5), atribuido a su grupo funcional.

Se muestra en la matriz la relación existente entre el cariofileno (VOC7) y el Bicyclo [3.1.1] hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)- (VOC12), correspondiente a compuestos bicíclicos.

**Tabla 5.** Matriz de correlación de orgánicos volátiles

	VOC 1	VOC 2	VOC 3	VOC 4	VOC 5	VOC 6	VOC 7	VOC 8	VOC 9	VOC 10	VOC 11	VOC 12
VOC 1	1	-0.708*	0.249	-0.159	-0.449	-0.481	-0.502	-0.010	-0.284	0.527	-0.120	-0.467
		(0.049)	(0.553)	(0.707)	(0.265)	(0.227)	(0.205)	(0.981)	(0.496)	(0.180)	(0.798)	(0.243)

	VOC 1	VOC 2	VOC 3	VOC 4	VOC 5	VOC 6	VOC 7	VOC 8	VOC 9	VOC 10	VOC 11	VOC 12
VOC 2	-0.708 <sup>*</sup>	1	-0.373	0.186	0.534	0.593	0.098	-0.182	0.415	-0.277	-0.114	-0.072
	(0.049)		(0.363)	(0.659)	(0.173)	(0.122)	(0.817)	(0.665)	(0.307)	(0.507)	(0.808)	(0.866)
VOC 3	0.249	-0.373	1	-0.121	-0.103	-0.293	-0.269	0.949 <sup>**</sup>	0.257	0.015	0.804 <sup>*</sup>	-0.219
	(0.553)	(0.363)		(0.776)	(0.809)	(0.481)	(0.519)	(0.000)	(0.539)	(0.971)	(0.029)	(0.602)
VOC 4	-0.159	0.186	-0.121	1	0.855 <sup>**</sup>	0.689	-0.437	0.005	0.333	0.311	-0.196	-0.497
	(0.707)	(0.659)	(0.776)		(0.007)	(0.059)	(0.279)	(0.991)	(0.421)	(0.454)	(0.673)	(0.210)
VOC 5	-0.449	0.534	-0.103	0.855 <sup>**</sup>	1	0.827 <sup>*</sup>	-0.284	0.106	0.626	-0.072	-0.023	-0.396
	(0.265)	(0.173)	(0.809)	(0.007)		(0.011)	(0.495)	(0.803)	(0.097)	(0.865)	(0.961)	(0.332)
VOC 6	-0.481	0.593	-0.293	0.689	0.827 <sup>*</sup>	1	-0.223	-0.029	0.761 <sup>*</sup>	0.109	0.109	-0.356
	(0.227)	(0.122)	(0.481)	(0.059)	(0.011)		(0.595)	(0.946)	(0.028)	(0.798)	(0.816)	(0.386)
VOC 7	-0.502	0.098	-0.269	-0.437	-0.284	-0.223	1	-0.221	-0.260	-0.376	-0.117	0.934 <sup>**</sup>
	(0.205)	(0.817)	(0.519)	(0.279)	(0.495)	(0.595)		(0.598)	(0.535)	(0.358)	(0.804)	(0.001)
VOC 8	-0.010	-0.182	0.949 <sup>**</sup>	0.005	0.106	-0.029	-0.221	1	0.481	-0.079	0.905 <sup>**</sup>	-0.186
	(0.981)	(0.665)	(0.000)	(0.991)	(0.803)	(0.946)	(0.598)		(0.228)	(0.852)	(0.005)	(0.659)
VOC 9	-0.284	0.415	0.257	0.333	0.626	0.761 <sup>*</sup>	-0.260	0.481	1	-0.036	0.645	-0.397
	(0.496)	(0.307)	(0.539)	(0.421)	(0.097)	(0.028)	(0.535)	(0.228)		(0.932)	(0.118)	(0.330)
VOC 10	0.527	-0.277	0.015	0.311	-0.072	0.109	-0.376	-0.079	-0.036	1	-0.049	-0.514
	(0.180)	(0.507)	(0.971)	(0.454)	(0.865)	(0.798)	(0.358)	(0.852)	(0.932)		(0.918)	(0.192)
VOC 11	-0.120	-0.114	0.804 <sup>*</sup>	-0.196	-0.023	0.109	-0.117	0.905 <sup>**</sup>	0.645	-0.049	1	-0.254
	(0.798)	(0.808)	(0.029)	(0.673)	(0.961)	(0.816)	(0.804)	(0.005)	(0.118)	(0.918)		(0.582)
VOC 12	-0.467	-0.072	-0.219	-0.497	-0.396	-0.356	0.934 <sup>**</sup>	-0.186	-0.397	-0.514	-0.254	1
	(0.243)	(0.866)	(0.602)	(0.210)	(0.332)	(0.386)	(0.001)	(0.659)	(0.330)	(0.192)	(0.582)	

VOC 1 = Xilenos; VOC 2 = benzaldehído; VOC 3 = Limoneno; VOC 4 = Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester; VOC 5 = Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester; VOC 6 = Copaeno; VOC 7 = Caryophyllene; VOC 8 = Pentadecane; VOC 9 = Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-; VOC 10 = Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-,(1S-cis)-; VOC 11 = Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-; VOC 12 = Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-

Para realizar una selección adecuada de las variables (compuestos orgánicos volátiles) en el proceso de compostaje se aplicó un análisis de componentes principales, el cual arroja cuatro valores propios mayores a uno con una varianza total acumulada del 89,16% (tabla 9), correspondiente al gráfico de sedimentación ilustrado en la figura 36.

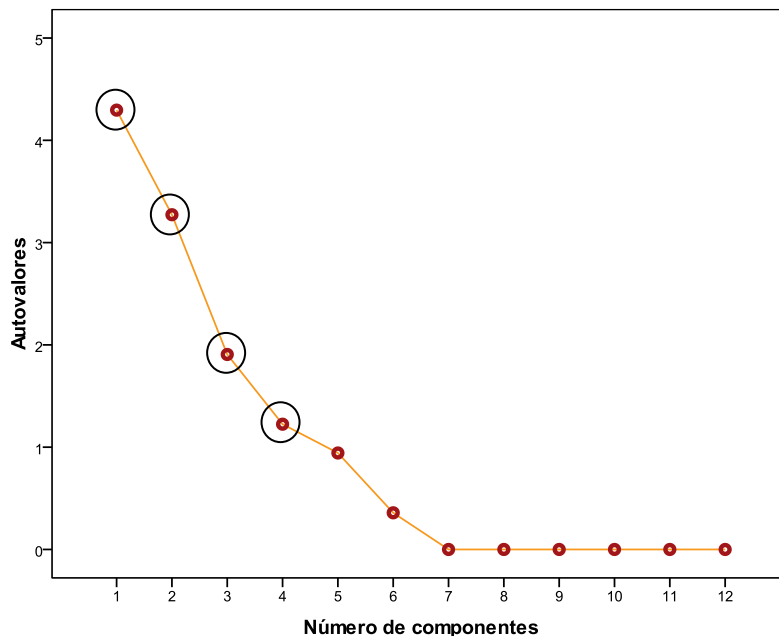


Figura 36. Gráfico de sedimentación de factores

Tabla 6. Matriz de estadísticos iniciales.

Componente	Autovalores Iniciales		
	Total	% de la varianza	% Acumulado
1	4.295	35.793	35.793
2	3.273	27.271	63.064
3	1.906	15.886	78.950
4	1.225	10.204	89.155

En la matriz de componentes principales (tabla 10) se puede ver que las variables Propanoic acid, 2-methyl-, hexyl ester (0,922), Copaeno (0,921), Xileno (0,904), Benzaldehído (0,764) y Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-(1S-cis)- (0,696), están relacionadas con la componente uno, la cual presenta la mayor varianza (35,8%).

Tanto el Pentadecano (0,940) y el Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- (0,937) son atribuibles a la componente dos con una variabilidad de 27,3%.

Se concluye entonces que la primera y la segunda componente son las únicas que agrupan una serie de variables con valores altamente significativos, permitiendo de esta manera mejorar la selección de las variables.

Tabla 7. Matriz de componentes principales de compuestos orgánicos volátiles

Variables	Componente
-----------	------------

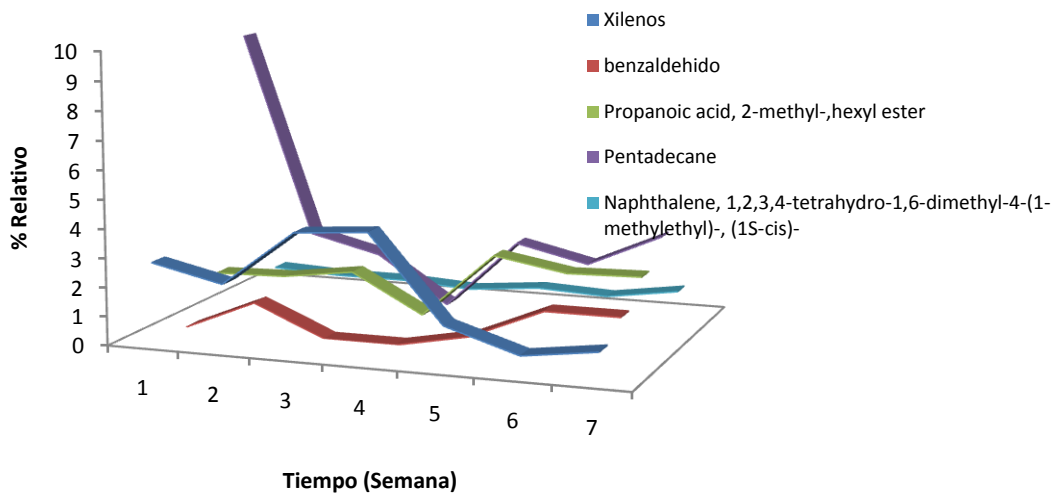
	1	2	3	4
Xilenos	-0.904	-0.033	-0.195	0.163
benzaldehído	0.764	-0.218	0.219	-0.494
Limoneno	-0.302	0.870	0.303	0.017
Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester	0.656	-0.204	-0.099	0.553
Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester	0.922	-0.015	-8.590E-5	0.137
Copaeno	0.921	-0.018	-0.138	0.265
Caryophyllene	0.159	-0.349	0.876	0.027
Pentadecane	-0.002	0.940	0.271	0.061
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0.696	0.560	0.036	0.062
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	-0.362	-0.295	0.245	0.730
Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-	0.066	0.937	0.197	0.134
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-	-0.170	-0.374	0.871	-0.024

Del análisis de matriz de correlación y de componentes principales podemos extraer aquellos compuestos en principio que tengan un menor peso en la componente y por otro lado que presente correlaciones con otros compuestos a saber Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester (VOC4), Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-(VOC12), Limoneno (VOC3), Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)- (VOC10) y por último el Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)- (VOC11)

De los siete compuestos seleccionados por el análisis de componentes principales y por la matriz de correlación, se encontró que se agrupan en cuatro categorías asociadas a su funcionalidad orgánica, a saber Hidrocarburos aromáticos: Xileno y Benzaldehído Hidrocarburos aromáticos policíclicos: Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis), Hidrocarburos alifáticos: pentadecane, Hidrocarburos alifáticos policíclicos: Copaeno y cariofileno y ácidos carboxílicos: Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester. Compuestos como el cariofileno y copaeno no están asociados a riesgos en la salud ni a riesgos ambientales, de ahí que se tomaron cinco compuestos para evaluar el impacto de los VOC's asociadas a las semanas de compostaje.

Se resalta por tanto (figura 37) los cinco compuestos que presentan mayor impacto a la salud. Si bien es cierto que todos están presentes desde la primera semana, es el Pentadecano el de mayor abundancia relativa en ella y el menos nocivo (tabla 6 del anexo).

Es a partir de la segunda semana donde hay mayor influencia de los compuestos aromáticos, específicamente el benzaldehído, aunque en la tercera semana este compuesto desaparece del sistema, se concentran en mayor abundancia relativa compuestos tales como orto, meta y para xileno (Xilenos) cuando el proceso tiene su máxima actividad microbiana (Figura 19).



**Figura 37.** Relación de aparición de los cinco VOC´s

Se pudo observar que durante todo el proceso de compostaje se emitieron en su mayoría compuestos nocivos para la salud y que su mayor relevancia se encuentra entre la segunda y cuarta semana, en la cuales se da la mayor actividad microbiana, por lo que es en estas donde se deben tener los mayores cuidados en el manejo de las pilas.

Como se mostró anteriormente son el *orto*, *meta* y *para* xileno, los que más afectan el sistema en este período de tiempo (segunda a la cuarta semanas), debido a que presentan sus máximos picos de formación, igualmente al ser emitidos al ambiente se descomponen con dióxido de carbono, principal compuesto emitido durante la actividad microbiana debido a la respiración ejercida por los microorganismos, generando compuestos secundarios, los cuales llevan a la formación del ozono troposférico afectando el ambiente y la salud de los operarios, lo que convierte esta etapa en la de mayor riesgo dentro el proceso.

### 7.3.3. Cuantificación de VOC´s

Para cuantificar algunos de los VOC´s identificados, se partió de una mezcla de estándares VOC´s a 125 ppm, los cuales se sometieron al mismo tratamiento de la muestra y al proceder a realizar la desorción de la fibra se obtuvo el siguiente perfil cromatográfico (Figura 38)

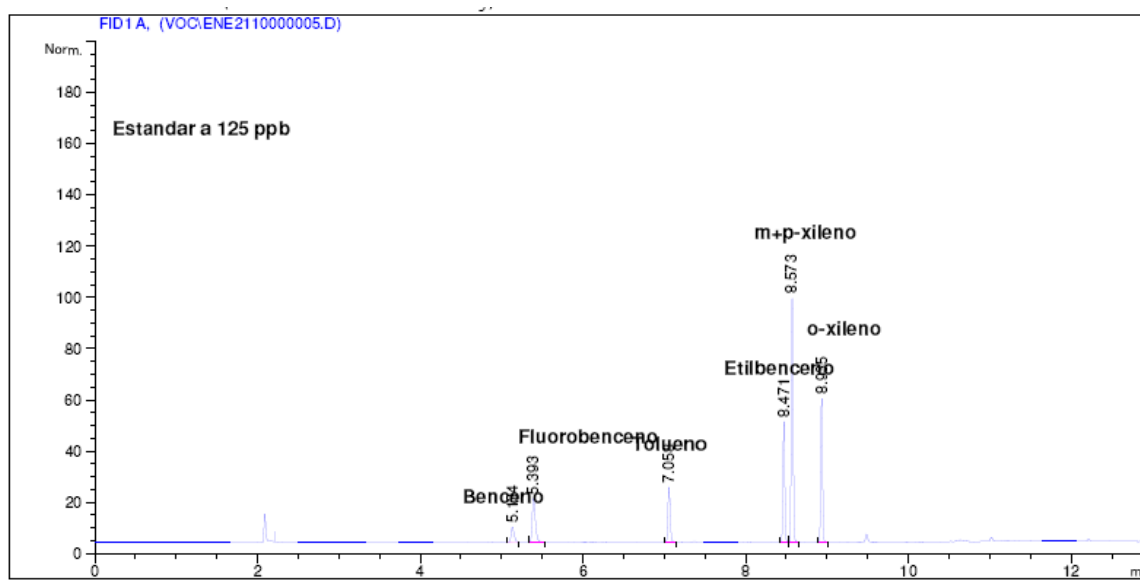


Figura 38 Perfil cromatográfico de estándares de VOC´s

Se procedió a cuantificar el xileno (o, m, p), empleando el método del estándar externo, obteniendo los siguientes resultados  $\text{mg}/\text{m}^3$

Tabla 8 Concentración de Xilenos durante todo el proceso

Semana	Area	Concentración Xilenos ppb	microgramos de Xilenos en la pila	$\text{mg}/\text{m}^3$
1	2,80	16,988	22746,97	82,49
2	2,24	13,590	18197,58	68,02
3	4,16	25,239	33795,51	117,63
4	4,34	26,331	35257,81	122,28
5	1,43	8,676	11617,20	47,09
6	0,65	16,988	22746,97	82,49
7	0,99	13,590	18197,58	68,02

De acuerdo a lo estimado por la norma lo máximo permisible es de  $435 \text{ mg} / \text{m}^3$ , vemos que hay un incremento por metro cúbico de este compuesto hasta la cuarta semana, a partir de la cual disminuye notablemente, pero en ningún momento supera el máximo permitido.

La cuantificación del etilbenceno se registra en la siguiente tabla

Tabla 9 Concentración de etilbenceno durante todo el proceso

Semana	Area	Concentración	mg en la pila	$\text{mg}/\text{m}^3$
--------	------	---------------	---------------	------------------------

		Etilbenceno ppm		
1	0,36	2,482	3323,20	20,71
2	0,45	3,102	4154,00	23,35
3	1,28	8,824	11815,82	47,72
4	0,55	3,792	5077,11	26,29
5	0,00	0,000	0,00	0,00

Se observa una máxima concentración 47,72 mg /m<sup>3</sup>, en la tercera semana el cual se encuentra por debajo del valor máximo permisible 435 mg/m<sup>3</sup>.

Es importante resaltar compuestos como el tolueno el cual estuvo de una manera puntual en la cuarta semana (día 22) con una concentración alta correspondiente a 353,62 mg/m<sup>3</sup>.

Tabla 10 Concentración de Tolueno durante todo el proceso

Semana	AN Tolueno	Concentración Tolueno (ppb)	mg en la pila	mg/m <sup>3</sup>
4	6,6	80,649	107989,61	353,62

#### 7.3.4. Estimación del riesgo a la salud

En diferentes investigaciones se ha encontrado que el benceno genera un riesgo de producción de cáncer y que puede causar anemia aplasia y policitemia, siendo clasificado por la US EPA como cancerígeno humano (Grupo A), no obstante el tolueno, etilbenceno y xilenos no han sido clasificados como agentes cancerígenos por la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC) y son clasificados por la US EPA como no carcinógenos en humanos (Grupo D) (Durmusoglua et al., 2010).

El riesgo de no carcinogenicidad es evaluado a partir de la relación de peligro (HR) (Durmusoglua et al., 2010 y Guo et al., 2004):

$$HR = \frac{I}{RfD}$$

Donde I es la ingesta diaria (mg/kg/día) y RfD es la dosis de referencia, la cual representa el nivel de ingesta diaria de una sustancia en particular que no debe producir un efecto nocivo para la salud; además la ingesta diaria es representada por:

$$I = \frac{C * CF * IR * EF * ED}{BW * AT}$$



C es la concentración del contaminante en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , CF es el factor de conversión ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ), IR es la velocidad de inhalación la cual según la EPA recomienda un estándar de  $20 \text{ m}^3/\text{día}$ , la EF es la frecuencia de exposición, la cual está dada en trabajadores como 74 días ( $=52*6/3-30$ ), la ED es el tiempo de exposición laboral, puede ser asumida como 20, la BW es el peso de un cuerpo en kg y según la EPA el valor estándar es de 70 kg, el AT es el promedio de tiempo en días y es asumido como 25.500 (Durmusoglua et al., 2010). El RfD para xilenos es de  $0.029 \text{ mg}/\text{kg}/\text{día}$ , tolueno de  $1.43 \text{ mg}/\text{kg}/\text{día}$  y etilbenceno de  $0.29 \text{ mg}/\text{kg}/\text{día}$  (US-EPA, 2006).

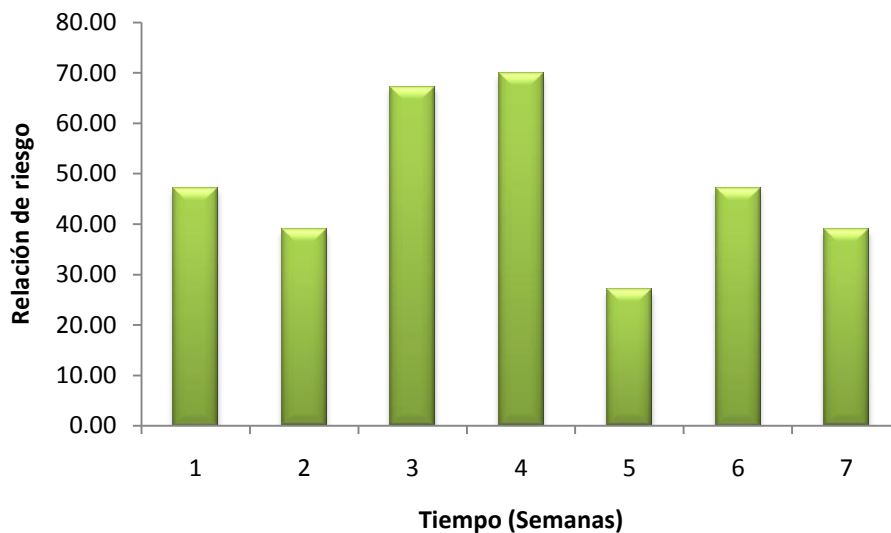
La relación de riesgo fue aplicada al tolueno, etilbenceno y xilenos (TEX), de éstos se destacan los xilenos por haber sido identificados durante todo el proceso y el tolueno por estar cerca al valor máximo permitido por la NIOSH REL: TWA de  $375 \text{ mg}/\text{m}^3$  con respecto al valor encontrado durante este proyecto correspondiente a  $353.62 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Es común considerar que el riesgo de éstos es insignificante si la relación HR es inferior o igual a 1.0 y si es mayor indica que el compuesto puede generar un efecto adverso a la salud (Durmusoglua et al., 2010), en la tabla 14 se presenta un resumen de la relación de riesgo de los TEX.

Los resultados sugieren que la producción de TEX durante todo el proceso puede ser considerado como un riesgo para los trabajadores, por lo cual es necesario tomar medidas pertinentes en materia de salud ocupacional al momento de ser operada este tipo de instalaciones (Durmusoglua et al., 2010).

Tabla 11 Relación de riesgo asociada a xilenos, etilbenceno y tolueno

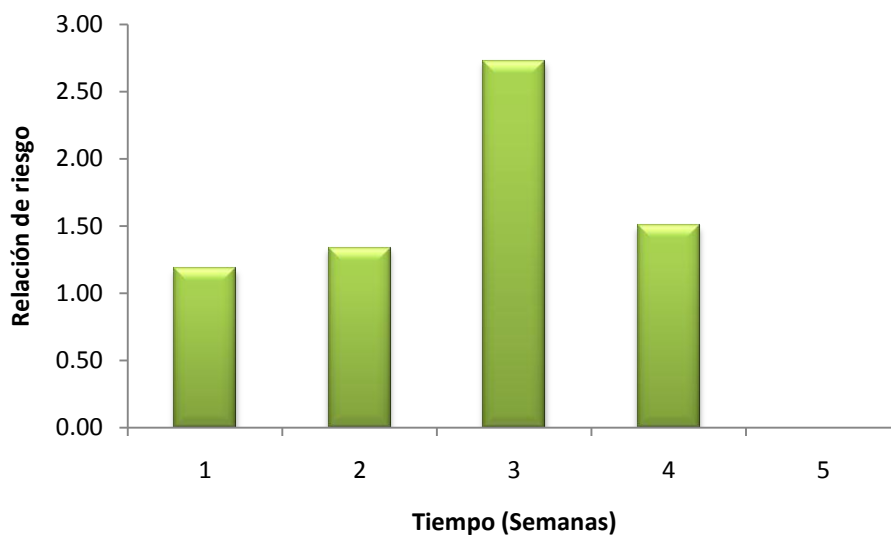
Semana	Xilenos		Etilbenceno		Tolueno	
	Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$	Relación de riesgo (HR)	Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$	Relación de riesgo (HR)	Concentración $\text{mg}/\text{m}^3$	Relación de riesgo (HR)
1	82.49	47.17	20.71	1.18	ND	
2	68.02	38.89	23.35	1.34	ND	
3	117.63	67.26	47.72	2.73	ND	
4	122.28	69.92	26.29	1.50	353.62	4.10
5	47.09	26.93	ND		ND	
6	82.49	47.17	ND		ND	
7	68.02	38.89	ND		ND	

Se muestra que son la tercera y cuarta semana las que se asocian a un mayor riesgo en la salud por la emisión de xilenos (figura 39), por lo que se deben tener en cuenta los impactos potenciales que éstos puedan ocasionar, debido a sus altas concentraciones y que la ruta de exposición predominante es generalmente la inhalación, los efectos se pueden presentar en menor tiempo y de manera más aguda



**Figura 39. Relación de riesgo asociada a los xilenos**

Con respecto al etilbenceno se observa que en las semanas donde se presenta el riesgo es mayor a 1 (tabla 14), indicando un efecto adverso a la salud de los operadores; siendo en la tercera semana su máximo pico de emisión y desaparecer a partir de la quinta semana (figura 40).



**Figura 40. Relación de riesgo asociada al etilbenceno**

El tolueno sólo tiene presencia en el proceso durante la cuarta semana, pero su riesgo el cual fue evaluado (tabla 16), muestra que este puede generar efectos adversos y sumado a esto la concentración hallada se acerca a los valores permitidos por la NIOSH REL: TWA

(valor medio de exposición durante un turno de 8 horas), permitiendo que dichas emisiones afecten la salud de operadores durante dicha semana.

En el caso de la exposición a dos o más sustancias que son potencialmente peligrosas para la salud como en este caso los TEX, es necesario tener en cuenta los efectos sinérgicos en vez de los efectos que pueda causar cada uno de ellos de manera independiente. Por lo que es necesario que en la tercera y cuarta semana se tengan más cuidados en los manejos, ya que como se evidenció es acá donde los trabajadores están más expuestos a efectos adversos a la salud como es el cáncer u otro tipo de enfermedades. Aunque cada uno de los compuestos puede afectar diferentes órganos, no se puede descartar que las secuelas sean acumulativas en el tiempo debido a la ausencia de información que demuestre lo contrario (Durmusoglua et al., 2010).

## 8. CONSIDERACIONES FINALES

El sitio para la realización del montaje de las camas de compost, fue adecuado para la evaluación de los compuestos orgánicos volátiles, ya que era cerrado por medio de un anejo que permitía la buena aireación dentro de las instalaciones; además los resultados de cada uno de los parámetros fisicoquímicos (Contenido de humedad, densidad, CRA, cenizas, pH, nitrógeno total, COT, CIC y relación C/N) tomados a las muestras semanalmente, estuvieron dentro del rango óptimo, mostrando así que el proceso de compostaje presentó una degradación y mineralización de los residuos, evidenciando que el proceso se maneja adecuadamente.

La microextracción en fase sólida -SPME-, facilitó realizar una mejor extracción de los VOC's presentes en el proceso, comprobando así que esta herramienta fue más eficiente en la extracción de los analitos que las bolsas Tedlar.

Se encontró que la mayoría de los compuestos orgánicos volátiles identificados presentan serias afecciones a la salud como es el caso de xilenos y bencenos (compuestos aromáticos), que de acuerdo con la literatura, al ser emitidos al ambiente pueden llegar a reaccionar con agentes como el dióxido y monóxido de carbono y producir otro tipo de compuestos como son los oxidantes foto químicos (ozono troposférico), los cuales son conocidos por presentar afecciones en la salud, causar el daño de la capa de ozono y por ende principales precursores del calentamiento global (Ott, 2007).

De los compuestos presentes durante todo el proceso de compostaje, son los xilenos los que causan mayor impacto en el sistema, debido a que se caracterizan por ser dañinos a la salud humana. Se observó que es en la tercera y cuarta semana cuando presentan su máximo pico de emisión y es en éstas donde el proceso presenta mayores riesgos para la salud de los operarios.

Se observó que una gran cantidad de compuestos generados tienen una serie de afecciones a la salud tal es el caso de los naftalenos y el benzaldehído como compuestos que aparecen durante todo el proceso o aquellos que tienen una presencia puntual en el sistema entre los que se encuentran el estireno y el indol clasificados como Grupo 2B por la Agencia Internacional para la Investigación de Cáncer; para lo cual se debe tener cuidado en algunas semanas, principalmente en la tercera y cuarta cuando hay una mayor producción de VOC's debido al aumento en la actividad de la pila.

Sabiendo por tanto cuales son las semanas mayor actividad de la cama y su relación con los VOC's, se requiere continuar en la búsqueda de alternativas para bien sea el manejo de el proceso de compostaje o en su defecto el uso de filtros que absorban dichos compuestos, con el fin de reducir el riesgo a la exposición de los mismos, por ahora se

sugiere para los operarios de las composteras el uso de los implementos de seguridad ocupacional necesarios para la manipulación de las pilas.

## 9. CONCLUSIONES

El seguimiento cinético del compost con base a los parámetros fisicoquímicos (CIC, C/N.COT, conductividad eléctrica, entre otros) y microbiológicos siguieron unos comportamientos propios de un buen proceso de compostaje. Se correlacionó adicionalmente las relaciones entre ciertos parámetros los cuales también son indicativos del proceso (ej.: COT y cenizas) y al final se obtuvo un compost, el cual cumplió las especificaciones de la norma NTC-5167 y por tanto se puede sugerir su uso como enmienda orgánica.

Se logró la identificación de un grupo de compuestos orgánicos volátiles, durante el proceso de compostaje de residuos sólidos con separación en la fuente, por medio de la técnica de cromatografía gaseosa acoplada a masas utilizando el método de extracción SPME, presentándose algunos de ellos de manera puntual como es el caso del estireno, indol, Benzene, 1,2,4,5- tetramethyl- y eucaliptol.

Se identificaron 124 compuestos a saber: furanos (3), hidrocarburos aromáticos (35), terpenos (3), hidrocarburos alifáticos (28), hidrocarburos aromáticos policíclicos (18), hidrocarburos bicíclicos (23) y otros grupos funcionales (14), de los cuales solo 12 estuvieron presentes durante todo el proceso de compostaje. Encontrando un efecto marcado en el proceso de solo cinco de ellos Xilenos, benzaldehído, Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester, Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-y Pentadecane.

A partir de una revisión bibliográfica de los VOC's identificados, se pudo estudiar la afección de éstos, los cuales generan irritaciones a la piel, ojos y garganta como es el caso del pentadecano y otros como el benceno y el xileno pueden en llegar a causar cáncer y pérdida de memoria respectivamente.

Se encontró que las concentraciones de xilenos en todas las etapas se acercan al límite de exposición máximo permisible por la US EPA, al igual que el tolueno en la cuarta semana del proceso de compostaje.

Apoyados en la formula de relación de peligro se pudo evaluar el riesgo de los efectos adversos a la salud, de los tres compuestos cuantificados, evidenciando que exhiben una relación de peligro mayor que uno, lo cual se asocia a la aparición de cáncer u otras enfermedades las cuales están ligadas a efectos en diferentes órganos, cuya manifestación es generalmente de carácter acumulativo.

## 10. RECOMENDACIONES

El benzaldehído, los xilenos, estireno y derivados del benceno entre otros, son conocidos por ser cancerígeno y algunos de ellos causar la muerte a altas concentraciones o largas exposiciones, éstos presentan sus mayores picos de emisión entre la segunda y cuarta semana, llevando a que los operarios expuestos a los VOC's estén propensos a sufrir las afecciones producidas por éstos; por lo que es necesario que dentro del manejo de las pilas, las personas tengan la dotación adecuada, como son: guantes, tapabocas y la ropa apropiada con el fin de reducir al máximo la exposición a éstos.

Se deben buscar los recursos necesarios para evaluar la genotoxicidad de aquellos compuestos que aún no se tiene estudios, debido a que algunos de ellos pertenecen a compuestos aromáticos como es el benzaldehído o compuestos aromáticos policíclicos como el Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-(1S-cis)-, que pueden ser dañinos a la salud y que en estudios realizados en los seres humanos se muestra que las personas expuestas a través de la respiración o el contacto con la piel durante largos períodos de tiempo pueden contraer cáncer o afecciones a la piel, ojos y vías respiratorias.

Se debe hacer un seguimiento más estricto a los compuestos que presentaron un límite de exposición máxima en cuanto a los efectos adversos a la salud. Por tanto es necesario continuar con investigaciones enfocadas a valorar la emisión de VOC's en toda la instalación y varios procesos en simultáneo, apoyados de estudios de toxicidad, para determinar de esta manera los efectos que puedan generar, en especial los TEX, a la salud de los operarios.

## 11. BIBLIOGRAFÍA

Adegbidi, H. G., & Briggs, R. D. (2003). Nitrogen mineralization of sewage sludge and composted poultry manure applied to willow in a greenhouse experiment. *Biomass and Bioenergy* (25), 665 - 673.

Agnew, J., & Leonard, J. (2003). The Physical Properties of Compost. *Compost science and utilization* , 11 (3), 238-264.

Amir, S., Merlina, G., Pinelli, E., Winterton, P., Revel, J.-C., & Hafidi, M. (2008). Microbial community dynamics during composting of sewage sludge and straw studied through phospholipid and neutral lipid analysis. *Journal of Hazardous Materials* (159), 593-601.

Aslam, D. N., Horwath, W., & VanderGheynst, J. S. (2008). Comparison of several maturity indicators for estimating phytotoxicity in compost-amended soil. *Waste Management* (28), 2070-2076.

ATSDR, A. f. (08 de 2007). *Agency for Toxic Substances and Disease Registry*. Recuperado el 07 de 07 de 2009, de [http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es\\_tfacts71.html](http://www.atsdr.cdc.gov/es/toxfaqs/es_tfacts71.html)

Aulinas-Masó, M., & Bonmatí-Blasi, A. (2008). Evaluation of composting as a strategy for managing organic wastes from a municipal market in Nicaragua. *Bioresource Technology* (99), 5120-5124.

Barrena-Gómez, R. (2006). *Compostaje de residuos sólidos orgánicos. Aplicación de técnicas respirométricas en el seguimiento del proceso*. Barcelona: Universidad Autónoma de Barcelona.

Benito, M., Masaguer, A., Moliner, A., Arrigo, N., & Palma, R. M. (2003). Chemical and microbiological parameters for the characterisation of the stability and maturity of pruning waste compost. *Biol Fertil Soils* , 184-189.

Bernal, M. P., Paredes, C., Sánchez-Monedero, M. A., & Cegarra, J. (1998). Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. *Bioresource Technology* (63), 91-99.



- Bernal, M., Albuquerque, J., & Moral, R. (2008). Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* .
- Bhattacharyya, P., Pal, R., Chakraborty, A., & Chakrabarti, K. (2001). Microbial biomass and activity in laterite soil amended with municipal solid waste compost. *Journal Agronomy and Crop Science* , 207-211.
- Biiyuksonmez, F., & Evans, J. (2007). Biogenic Emissions from Green Waste and Comparison to the Emissions Resulting from Composting Part II: Volatile Organic Compounds (VOCs). *Compost Science & Utilization* , 15 (3), 191-199.
- Blount, B. C., Kobelski, R. J., McElprang, D. O., Ashley, D. L., Morrow, J. C., Chambers, D. M., y otros. (2006). Quantification of 31 volatile organic compounds in whole blood using solid-phase microextraction and gas chromatography-mass spectrometry. *Journal of Chromatography* , 292 - 301.
- Bodin Dresboll, D., & Magid, J. (2006). Structural changes of plant residues during decomposition in a compost environment. *Bioresource Technology* (97), 973-981.
- Boulter-Bitzer, J. I., Trevors, J. T., & Boland, G. J. (2006). A polyphasic approach for assessing maturity and stability in compost intended for suppression of plant pathogens. *Applied Soil Ecology* (34), 65-81.
- Bruno, P., Caselli, M., Gennaro, G. d., Solito, M., & Tutino, M. (2007). Monitoring of odor compounds produce by solid waste treatment plants with diffusive samplers. *Waste Management* , 539 - 544.
- Bueno, P., Tapias, R., López, F., & Díaz, M. (2008). Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. *Bioresource Technology* (99), 5069-5077.
- Bustamante, M., Paredes, C., Marhuenda-Egea, F., Pérez-Espinosa, A., Bernal, M., & Moral, R. (2008). Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. *Chemosphere* (72), 551-557.
- Bustamante, M., Paredes, C., Morales, J., Mayoral, A., & Moral, R. (2009). Study of the composting process of winery and distillery wastes using multivariate techniques. *Bioresource Technology* (100), 4766-4772.
- Campitelli, P., & Ceppi, S. (2008). Chemical, physical and biological compost and vermicompost characterization: A chemometric study. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems* (90), 64-71.

Canet, R., & Pomares, F. (1995). Changes in physical, chemical and physicochemical parameters during the composting of municipal solid wastes in two plants in Valencia. *Bioresource Technology* (51), 259-264.

Capó Martí, M. (2002). Principios de Ecotoxicología, Diagnóstico, tratamiento y gestión del medio ambiente. Madrid: McGraw-Hill.

Castaldi, P., Alberti, G., Merella, R., & Melis, P. (2005). Study of the organic matter evolution during municipal solid waste composting aimed at identifying suitable parameters for the evaluation of compost maturity. *Waste Management* (25), 209-213.

Changa, C.-T., & Chen, B.-Y. (2008). Toxicity assessment of volatile organic compounds and polycyclic aromatic hydrocarbons in motorcycle exhaust. *Journal of Hazardous Materials* (153), 1262-1269.

Cherubini, F., Bargigli, S., & Ulgiati, S. (2008). Life cycle assessment of urban waste management: Energy performances and environmental impacts. The case of Rome, Italy. *Waste Management* (28), 2552-2564.

Collazos Peñaloza, O. (2005). *Diseño y Operación de Rellenos Sanitarios*. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería.

Confesor Jr., R., Hamlett, J., Shannon, R., & Graves, R. (2008). Potential Pollutants from Farm, Food and Yard Waste Composts at Differing Ages: Part I. Physical and Chemical Properties. *Compost Science & Utilization* , 16 (4), 228-238.

Davis, M. L., & Masten, S. J. (2005). *Ingeniería y Ciencias Ambientales*. Mexico D.F.: McGraw-Hill.

Day, R. J., & Underwood, A. (1989). Química Analítica Cuantitativa. México: Prentice-Hall.

de Guardia, A., Petiot, C., Rogeau, D., & Druilhe, C. (2008). Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. *Waste Management* (28), 575-587.

Dimambro, M. E., Lillywhite, R. D., & Rahn, C. R. (2007). The Physical, Chemical and Microbial Characteristics of Biodegradable Municipal Waste Derived Composts. *Compost Science & Utilization* , 15 (4), 243-252.

D'Imporzano, G., Crivelli, F., & Adani, F. (2008). Biological compost stability influences odor molecules production measured by electronic nose during food-waste high-rate composting. *Science of the total environment* (402), 278-284.

Dresbøll, D. B., & Magid, J. (2006). Structural changes of plant residues during decomposition in a compost environment. *Bioresource Technology* (97), 973-981.

Durmusoglu, E., Taspinar, F., & Karademir, A. (2010). Health risk assessment of BTEX emissions in the landfill environment. *Journal of Hazardous Materials* , 176, 870-877.

Eitzer, B. D. (1995). Emissions of volatile organic chemicals from municipal solid waste composting facilities. *Environmental Science Technology* (29), 896 - 902.

Fischer, G., Albrecht, A., Jäckel, U., & Kämpfer, P. (2008). Analysis of airborne microorganisms, MVOC and odour in the surrounding of composting facilities and implications for future investigations. *International Journal of Hygiene and Environmental Health* (211), 132-142.

Fowles, I. A. (1995). *Gas Chromatography*. Chichester: JOHN WILEY & SONS.

Gamze Turan, N., Çoruh, S., Akdemir, A., & Nuri Ergun, O. (2009). Municipal solid waste management strategies in Turkey. *Waste Management* (29), 465-469.

Garcia-Gomez, A., Bernal, M., & Roig, A. (2005). Organic Matter Fractions Involved in Degradation and Humification Processes During Composting. *Compost Science & Utilization* , 13 (2), 127-135.

Gea Leiva, M., Barrera Gómez, R., Aguilera Riba, F., Artola Casacuberta, A., & Sánchez Ferrer, A. (2005). El compostaje como vía de tratamiento de R.S.U.: aplicaciones y limitaciones de la tecnología. *Ingeniería Química (Madrid)* , 37 (420), 234-242.

GIEM, G. I. (2000). *Producción de Compost en la Industria Avícola*. Medellín: Papel House Group.

Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., & Domínguez, J. (2008). The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere* (70), 436-444.

Goyal, S., Dhull, S., & Kapoor, K. (2005). Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology* , 1584-1591.

Guo, H., Lee, S., Chan, L., & Li, W. (2004). Risk assessment of exposure to volatile organic compounds in different indoor environments. *Environmental Research*, 94, 57-66.

Hargreaves, J., Adl, M., & Warman, P. (2008). A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* (123), 1-14.

Harrison, R. M. (2003). *El Medio Ambiente, Introducción a la química ambiental y a la contaminación*. Zaragoza: Acribia.

Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N., Cherif, A., Cherif, M., & Boudabous, A. (2001). Microbial Characterization During Composting of Municipal Solid Waste. *Bioresource Technology* (80), 217-225.

Hernández, T., Masciandaro, G., Moreno, J., & García, C. (2006). Changes in organic matter composition during composting of two digested sewage sludges. *Waste Management* (26), 1370-1376.

Himanen, M., & Hänninen, K. (2009). Effect of commercial mineral-based additives on composting and compost quality. *Waste Management* (29), 2265-2273.

Huang, G., Han, L., Yang, Z., & Wang, X. (2008). Evaluation of the nutrient metal content in Chinese animal manure compost using near infrared spectroscopy (NIRS). *Bioresource Technology* (99), 8164-8169.

Iannotti, D. A., Grebus, M. E., Toth, B. L., Madden, L. V., & Hoitink, H. A. (1994). Oxygen Respirometry to Assess Stability and Maturity of Composted Municipal Solid Waste. *Journal Environmental Quality* (23), 1177-1183.

Jacobs, R. (1998). *Basic Concepts for Composting Poultry Mortalities*. University of Florida. Cooperative Extension Service, Institute of Food and Agricultural Sciences.

Jianping, W., Yu, C., Xiaoqiang, J., & Dongyan, C. (2005). Simultaneous removal of ethyl acetate and ethanol in air streams using a gas-liquid-solid three-phase flow airlift loop bioreactor. *Chemical Engineering Journal* (106), 171-175.

Kalamdhad, A. S., Pasha, M., & Kazmi, A. (2008). Stability evaluation of compost by respiration techniques in a rotary drum composter. *Resources, Conservation and Recycling* (52), 829-834.

Kiely, G. (1999). *Ingeniería Ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión* (Vol. III). Madrid, España: McGraw-Hill.

Ko, H. J., Kim, K. Y., Kim, H. T., Kim, C. N., & M., U. (2008). Evaluation of maturity parameters and heavy metal contents in composts made from animal manure. *Waste Management* (28), 813-820.

Komilis, D. P., Ham, R. K., & Park, J. K. (2004). Emission of volatile organic compounds during composting of municipal solid waste. *Water Research* , 1707-1714.

Kreja, L., & Seidel, H.-J. (2002). Evaluation of the genotoxic potential of some microbial volatile organic compounds (MVOC) with the comet assay, the micronucleus assay and the HPRT gene mutation assay. *Mutation Research* (513), 143-150.

Levanon, D., & Pluda, D. (2002). Chemical, Physical and Biological Criteria for Maturity in Composts for organic Farming. *Compost Science and Utilization* , 10 (4), 339-346.

Li'ao, W., Ting'quan, P., Chuan, H., & Hui, Y. (2009). Management of municipal solid waste in the Three Gorges region. *Waste Management* (29), 2203-2208.

Liang, H.-M., & Liao, C.-M. (2007). Modeling VOC-odor exposure risk in livestock buildings. *Chemosphere* (68), 781-789.

Liao, W., McNutt, M. A., & Zhu, W.-G. (2009). The comet assay: A sensitive method for detecting DNA damage in individual cells. *Methods* (48), 46-53.

Lu, Y., Wua, X., & Guo, J. (2009). Characteristics of municipal solid waste and sewage sludge co-composting. *Waste Management* (29), 1152-1157.

Maguin, K., Lataye, R., Campo, P., Cossec, B., Burgart, M., & Waniusiow, D. (2006). Ototoxicity of the three xylene isomers in the rat. *Neurotoxicology and Teratology* (28), 648-656.

Mao, I.-F., Tsai, C.-J., Shen, S.-H., Lin, T.-F., Chen, W.-K., & Chen, M.-L. (2006). Critical components of doors in evaluating the performance of food waste composting plants. *Science of the Total Environment* (370), 323-329.

Martín-Gil, J., Navas-Gracia, L. M., Gómez-Sobrino, E., Correa-Guimaraes, A., Hernández-Navarro, S., Sánchez-Báscones, M., y otros. (2008). Composting and vermicomposting experiences in the treatment and bioconversion of asphaltens from the Prestige oil spill. *Bioresource Technology* (99), 1821-1829.

MINAMBIENTE, M. d. (2002). *Guía para la selección de tecnologías de manejo integral de residuos sólidos*. Bogotá: minambiente.

Miyatake, F., & Iwabuchi, K. (2005). Effect of high compost temperature on enzymatic activity and species diversity of culturable bacteria in cattle manure compost. *Bioresource Technology*, 1821-1825.

Mohee, R., & Mudhoo, A. (2005). Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology* (155), 92 - 99.

Nadal, M., Inza, I., Schuhmacher, M., Figueras, M. J., & Domingo, J. L. (2009). Health risks of the occupational exposure to microbiological and chemical pollutants in a municipal waste organic fraction treatment plant. *Int. J. Hyg. Environ. Health*, 212, 661-669.

Nøjgaard, J. K., Christensen, K. B., & Wolkoff, P. (2005). The effect on human eye blink frequency of exposure to limonene oxidation products and methacrolein. *Toxicology Letters* (156), 241-251.

Nollet, L. M. (2006). *Chromatographic Analysis of the environment*. Unites States of America: Taylor & Francis.

Orozco Barrenetxea, C., Pérez Serrano, A., González Delgado, M. N., Rodríguez Vidal, F. J., & Alfayate Blanco, J. M. (2005). *Contaminación Ambiental, una mirada desde la química*. Madrid: Thomson.

Osman Saeed, M., Nasir Hassan, M., & Abdul Mujeebu, M. (2009). Assessment of municipal solid waste generation and recyclable materials potential in Kuala Lumpur, Malaysia. *Waste Management* (29), 2209-2213.

Ott, W. R. (2007). *Exposure Analysis*. Estados Unidos de América: Taylor & Francis.

Ozkaya, B. (2005). Chlorophenols in leachates originating from different landfills and aerobic composting plants. *Journal of Hazardous Materials*, 107-112.

Pagans, E., Font, X., & Sánchez, A. (2006). Emission of volatile organic compounds from composting of different solid wastes: Abatement by biofiltration. *Journal of Hazardous Materials*, 179-186.

Pariselli, F., Sacco, M., Ponti, J., & Rembges, D. (2009). Effects of toluene and benzene air mixtures on human lung cells (A549). *Experimental and Toxicologic Pathology* (61), 381-386.

Peñalver-Hernando, A. M. (2002). *Aplicación de la microextracción en fase sólida al análisis medioambiental*. Tarragona: Universitat Rovira I Virgili.

Peñalver-Hernando, A. M. (2000). Evaluation of different parameters in the solid-phase microextraction process. *Chromatographia* (50), 685-688.

Peñalver-Hernando, A. M. (1999). Solid-phase microextraction of the antifouling irgarol 1051 and the fungicides dichlofluanid and 4-chloro-3-methylphenol in water samples. *Journal of Chromatography A* (839), 253-260.

Peñalver-Hernando, A. M. (1999). Trends in solid-phase microextraction for determining organic pollutants in environmental samples. *Trends in Analytical Chemistry* (18), 557-568.

Pichard, A., Bisson, M., Diderich, R., Hulot, C., Lacroix, G., Lefevre, J., y otros. (2005). Benzaldéhyde, Fiche de données toxicologiques et envi ronnementales des substances chimiques. *INERIS-DRC-01-25590-01DR026* , 1-34.

Pineda, S. I. (1998). *Manejo y Disposición de Residuos Sólidos Urbanos*. Colombia: ACODAL.

Ponsá, S., Gea, T., Alerm, L., Cerezo, J., & Sánchez, A. (2008). Comparison of aerobic and anaerobic stability indices through a MSW biological treatment process. *Waste Management* (28), 2735-2742.

Ramos, C. X., Estévez, S., & Giraldo, E. (2001). Emisión de compuestos orgánicos volátiles (VOC) durante el compostaje de biosólidos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista de Ingenierías, Universidad de Los Andes* , 1-8.

Restrepo Sánchez, N. E., Acevedo Betancourth, M. L., & Peláez Jaramillo, C. A. (2010). *Ventajas del uso de residuos sólidos urbanos generados en los corregimientos de Medellín en la producción de abonos y riesgos asociados al contenido de metales pesados y su posible tranferencia trófica*. Medellín: Universidad de Antioquia y Corantioquia.

Ruggieri, L., Gea, T., Artola, A., & Sánchez, A. (2009). Air filled porosity measurements by air pycnometry in the composting process: A review and a correlation analysis. *Bioresource Technology* (100), 2655-2666.

Said-Pullicino, D., & Gigliotti, G. (2007). Oxidative biodegradation of dissolved organic matter during composting. *Chemosphere* (68), 1030-1040.

Schlegelmilch, M., Streese, J., Biedermann, W., Herold, T., & Stegmann, R. (2005). Odour control at biowaste composting facilities. *Waste Management* , 25, 917-927.

Sellami, F., Hachicha, S., Chtourou, M., Medhioub, K., & Ammar, E. (2008). Maturity assessment of composted olive mill wastes using UV spectra and humification parameters. *Bioresource Technology* (99), 6900-6907.

Sharma, V. K., Caudatelli, M., Fortuna, F., & Cornacchia, G. (1997). Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: review. *Energy Conversion and Management* , 38 (5), 453-478.

Shiraishi, M., Wakimoto, N., Takimoto, E., Kobayashi, H., & Osada, T. (2006). Measurement and regulation of environmentally hazardous gas emissions from beef cattle manure composting. *International Congress Series* , 303 - 306.

Skoog, D. A., Holler, F. J., & Nieman, T. A. (2001). Principios de Análisis Instrumental. España: McGraw-Hill.

Smet, E., Langenhove, H. V., & Bo, I. D. (1999). The emission of volatile compounds during the aerobic and the combined anaerobic/aerobic composting of biowaste. *Atmospheric Environment* , 1295-1303.

Smith, D. C., & Hughes, J. C. (2004). Changes in maturity indicators during the degradation of organic wastes subjected to simple composting procedures. *Biol Fertil Soils* (39), 280-286.

Sole-Mauri, F., Illa, J., Magrı, A., Prenafeta-Boldú, F. X., & Flotats, X. (2007). An integrated biochemical and physical model for the composting process. *Bioresource Technology* (98), 3278-3293.

Som, M.-P., Lemée, L., & Amblès, A. (2009). Stability and maturity of a green waste and biowaste compost assessed on the basis of a molecular study using spectroscopy, thermal analysis, thermodesorption and thermochemolysis. *Bioresource Technology* (100), 4404-4416.

Sundberg, C., & Jönsson, H. (2008). Higher pH and faster decomposition in biowaste composting by increased aeration. *Waste Management* (28), 518-526.



- Sztern, D., & Pravia, M. A. (1999). *Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos*. Organización Panamericana de la Salud (OPS).
- Tchobanoglous, G., Theisen, H., & Vigil, S. (1994). *Gestión Integral de Residuos Sólidos* (Vol. I y II). Madrid: McGraw-Hill.
- Thornton, M. R., & Neilson, B. R. (1998). *Química Organica*. México: Pearson Education.
- TMECC, U. C. (27 de Agosto de 2001). Field Sampling of Compost Materials. *Test Methods for the Examination of Composting and Compost* .
- Tolvanen, O., Nykänen, J., Nivukoski, U., Himanen, M. V., & Hänninen, K. (2005). Occupational hygiene in a Finnish drum composting plant. *Waste Management* , 427-433.
- Tosun, I., Gönüllü, M., Arslankaya, E., & Günay, A. (2008). Co-composting kinetics of rose processing waste with OFMSW. *Bioresource Technology* (99), 6143-6149.
- Tuomela, M., Vikman, M., Hatakka, A., & Itävaara, M. (2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology* (72), 169-183.
- US-EPA. (27 de 02 de 2006). U.S. Environmental Protection Agency. Recuperado el 01 de 02 de 2010, de EPA: <http://www.epa.gov/iris/>
- Vallejo Rosero, M. d., & Baena López, C. A. (2007). *Toxicología Ambiental*. Colombia: Grupo Empresarial Wills Ltda.
- Valverde, M., & Rojas, E. (2009). Environmental and occupational biomonitoring using the Comet assay. *Mutation Research* (681), 93-109.
- Vargas Agudelo, C. J. (2001). *Desarrollo de un Método de Análisis de Aniones y Cationes en Compost por electroforesis capilar en zona (CZE)*. Medellín: UdeA facultad de ciencias exactas y naturales.
- Vázquez-Piñeiro, E., Josa-García, J. M., & Alcalá-Del Olmo, J. (1996). *Actuaciones en infraestructuras para la gestión de residuos sólidos*. España: Ministerio de Medio Ambiente España.
- Wade, L. J. (1993). *Química Organica*. México: Prentice-Hall.
- Wady, L., Bunte, A., Pehrson, C., & Larsson, L. (2003). Use of gas chromatography-mass spectrometry/solid phase microextraction for the identification of MVOCs from moldy building materials. *Journal of Microbiological Methods* (52), 325- 332.

Wang, P., Changa, C., Watson, M., Dick, W., Chen, Y., & Hoitink, H. (2004). Maturity indices for composted dairy and pig manures. *Soil Biology and Biochemistry* , 767-776.

Wilkins, K., & Larsen, K. (1996). Volatile organic compounds from garden waste. *Chemosphere* , 2049 - 2055.

Xiao, Y., Zeng, G.-M., Yang, Z.-H., Shi, W.-J., Huang, C., Fan, C.-Z., y otros. (2009). Continuous thermophilic composting (CTC) for rapid biodegradation and maturation of organic municipal solid waste. *Bioresource Technology* .

Zmora-Nahum, S., Markovitch, O., Tarchitzky, J., & Chen, Y. (2005). Dissolved organic carbon (DOC) as a parameter of compost maturity. *Soil Biology & Biochemistry* (37), 2109-2116.

## 12. ANEXOS

Tabla 1. Registro de las Variables Físicoquímicas Evaluadas Durante el Proceso de Compostaje

PARAMETRO		DÍA 2	DÍA 8	DÍA 16	DÍA 22	DÍA 29	DÍA 33	DÍA 36	DÍA 43	DÍA 47
Densidad (g/cm <sup>3</sup> )	Promedio	0.12	0.07	0.12	0.15	0.10	0.14	0.15	0.15	0.10
	Des-Estándar	0.01	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00
	Coefic-Variación	10.07	5.62	1.26	3.81	1.06	2.62	0.20	10.42	4.04
Contenido de Humedad (%)	Promedio	32.24	60.13	70.52	52.17	62.08	57.50	38.60	34.70	40.21
	Des-Estándar	6.06	3.71	1.11	5.10	1.12	0.33	1.52	1.38	0.06
	Coefic-Variación	18.81	6.17	1.58	9.77	1.80	0.57	3.95	3.99	0.15
CRA (%)	Promedio	104.81	89.58	60.45	104.12	88.20	100.73	119.98	151.83	140.19
	Des-Estándar	4.60	2.90	3.51	9.13	8.11	1.37	4.28	9.14	14.68
	Coefic-Variación	4.39	3.24	5.81	8.77	9.20	1.36	3.57	6.02	10.47
Contenido de Cenizas (%)	Promedio	4.75	8.87	15.12	16.29	18.94	21.84	27.82	31.71	42.78
	Des-Estándar	0.24	0.74	0.77	0.02	0.27	0.20	0.52	0.53	0.00
	Coefic-Variación	4.97	8.33	5.08	0.11	1.41	0.90	1.86	1.67	0.00
Conductividad Eléctrica (mS/cm)	Promedio	2.76	2.11	3.33	3.01	3.95	4.11	4.32	4.33	5.28
	Des-Estándar	0.03	0.17	0.36	0.01	0.47	0.48	0.25	0.29	0.29
	Coefic-Variación	1.02	7.97	10.85	0.24	11.81	11.70	5.74	6.70	5.50
pH	Promedio	8.42	8.84	10.10	10.01	10.22	9.96	9.88	9.87	9.95
	Des-Estándar	0.02	0.10	0.01	0.01	0.01	0.01	0.04	0.21	0.04

	Coefic-Variación	0.25	1.12	0.07	0.14	0.14	0.14	0.36	2.08	0.36
Nitrógeno Total (%)	Promedio	0.87	0.40	1.00	0.95	1.03	1.23	1.35	1.07	1.52
	Des-Estándar	0.04	0.00	0.02	0.01	0.12	0.12	0.12	0.02	0.03
	Coefic-Variación	4.85	0.21	2.38	1.09	11.97	9.85	9.08	2.27	1.68
COT (%)	Promedio	45.63	36.78	31.45	29.92	27.04	24.52	18.20	13.94	6.17
	Des-Estándar	0.06	0.53	0.07	1.22	0.21	0.34	0.26	0.57	0.24
	Coefic-Variación	0.13	1.45	0.21	4.07	0.78	1.37	1.41	4.11	3.96
CIC (cmol <sub>(+)</sub> kg <sup>-1</sup> )	Promedio	31.12	24.96	16.96	29.44	21.39	26.40	35.82	50.10	44.24
	Des-Estándar	1.64	1.37	0.28	1.86	0.63	1.59	2.18	3.00	1.74
	Coefic-Variación	5.27	5.48	1.63	6.31	2.95	6.01	6.09	5.99	3.93
Fósforo (%)	Promedio	0.19	0.25	0.42	0.40	0.50	0.46	0.42	0.46	0.53
	Des-Estándar	0.01	0.00	0.04	0.01	0.01	0.04	0.04	0.03	0.01
	Coefic-Variación	5.15	1.11	9.73	1.37	2.92	8.84	9.86	7.49	1.67
Relación C/N	Promedio	52.39	92.45	31.55	31.43	26.19	19.88	13.52	13.07	4.06
Temperatura (°C)	Dato	60.00	80.00	73.00	57.00	61.00	44.00	59.00	58.00	40.00
Respirometría (mg/CO <sub>2</sub> )	Promedio	0.30	0.49	0.50	0.39	0.21	0.07	0.05	0.30	0.49
Metales (%)	Na	1.31	1.45	1.64	1.87	2.18	2.62	3.27	Na	1.31
	K	0.51	0.44	0.38	0.34	0.30	0.26	0.23	K	0.51
	Ca	0.45	0.87	1.27	1.64	1.99	2.32	2.64	Ca	0.45
	Mg	0.09	0.10	0.11	0.13	0.16	0.20	0.28	Mg	0.09
	Zn	0.04	0.05	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	Zn	0.04

	Al	0.04	0.05	0.06	0.07	0.10	0.15	0.32	Al	0.04
--	----	------	------	------	------	------	------	------	----	------

Tabla 2. Análisis de regresión de las variables fisicoquímica

PARÁMETRO	MODELO	ANÁLISIS DE REGRESIÓN					ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
		Parámetro	Estimación	Error estándar	Estadístico T	Valor P	Fuente	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor P
Humedad	Modelo Inverso-Y: $Y = 1/(a + b \cdot X)$	Ordenada	0,00822009	0,00352239	2,33367	0,0799	Modelo	0,000127144	1	0,000127144	13,57	0,0211
		pendiente	0,00269543	0,000731822	3,68318	0,0211	Residuo	0,0000374894	4	0,00000937235		
Temperatura	Modelo Inverso-X: $Y = a + b/X$	Ordenada	47.0612	3.86273	12.1834	0.0003	Modelo	391.109	1	391.109	25.14	0.0074
		Pendiente	66.3165	13.2258	5.01419	0.0074	Residuo	62.2239	4	15.556		
Densidad	Modelo Inverso-X: $Y = a + b/X$	Ordenada	0,192536	0,0109432	17,5941	0,0001	Modelo	0,00458765	1	0,00458765	36,74	0,0037
		pendiente	-0,227126	0,037469	-6,06171	0,0037	Residuo	0,000499413	4	0,000124853		
CRA	Modelo Exponencial: $Y = \exp(a + b \cdot X)$	Ordenada	4.45518	0.0948781	46.9568	0.0000	Modelo	0.151374	1	0.151374	12.97	0.0227
		pendiente	0.0672207	0.0186671	3.60103	0.0227	Residuo	0.0466935	4	0.0116734		
Cenizas	Modelo Multiplicativo: $Y = a \cdot X^b$	Ordenada	3.51176	0.135243	25.9662	0.0000	Modelo	2.45381	1	2.45381	52.55	0.0008
		Pendiente	-2.10957	0.291017	-7.24896	0.0008	Residuo	0.233485	5	0.046697		
Conductividad	Modelo Logaritmico-X: $Y = a + b \cdot \ln(X)$	Ordenada	2.22594	0.427223	5.21025	0.0065	Modelo	3.14362	1	3.14362	11.64	0.0270
		Pendiente	1.06325	0.311658	3.41158	0.0270	Residuo	1.08039	4	0.270097		
pH	Modelo Logaritmico-X: $Y = a + b \cdot \ln(X)$	Ordenada	6.01227	0.152188	39.5055	0.0000	Modelo	5.08835	1	5.08835	147.19	0.0001
		Pendiente	1.34474	0.110841	12.1322	0.0001	Residuo	0.172851	5	0.0345702		
Nitrógeno	Modelo Multiplicativo: $Y = a \cdot X^b$	Ordenada	-0.138569	0.0304774	-4.54662	0.0199	Modelo	0.0216509	1	0.0216509	20.06	0.0207
		pendiente	0.0990083	0.0221041	4.47918	0.0207	Residuo	0.00323743	3	0.00107914		
COT	Modelo Inverso-Y: $Y = 1/(a + b \cdot X)$	Ordenada	0.00969203	0.00531047	1.82508	0.1276	Modelo	0.00163474	1	0.00163474	41.41	0.0013
		Pendiente	0.00764092	0.00118746	6.43469	0.0013	Residuo	0.000197408	5	0.0000394816		
CIC	Modelo Inverso-Y: $Y = 1/(a + b \cdot X)$	Ordenada	8.29013	10.7775	0.769204	0.4765	Modelo	216.161	1	216.161	3.77	0.1099
		Pendiente	13.9305	7.17665	1.94109	0.1099	Residuo	286.851	5	57.3702		
Relación C/N	Modelo Inverso-X: $Y = a + b/X$	Ordenada	12.3369	4.22571	2.91949	0.0330	Modelo	989.392	1	989.392	18.71	0.0075
		Pendiente	42.3838	9.7989	4.32536	0.0075	Residuo	264.42	5	52.884		
Fósforo	Modelo Multiplicativo: $Y = a \cdot X^b$	Ordenada	-1.69487	0.0666993	-25.4105	0.0000	Modelo	0.771012	1	0.771012	123.80	0.0004
		pendiente	0.525007	0.0471841	11.1268	0.0004	Residuo	0.0249106	4	0.00622764		
Respirometría	Modelo Polinomial	CONSTANTE	0.187032	0.0818348	2.28549	0.0843	Modelo	0.231008	3	0.0770028	19.08	0.0078

	de Tercer grado	Dias	0.0622621	0.0156793	3.97096	0.0165	Residuo	0.016141	4	0.00403525		
		Dias <sup>2</sup>	-0.00334171	0.000765655	-4.36451	0.0120						
		Dias <sup>3</sup>	0.0000423049	0.0000103046	4.10545	0.0148						
Metales (Na)	Modelo Inverso-Y: $Y = 1/(a + b^*X)$	Ordenada	0.840007	0.0432577	19.4186	0.0000	Modelo	0.210893	1	0.210893	73.98	0.0001
		Pendiente	0.0763034	0.00887112	-8.60133	0.0001	Residuo	0.019954	7	0.00285057		
Metales (K)	Modelo Raiz Cuadrada-X: $Y = a + b*\sqrt{x}$	Ordenada	0.68072	0.0557678	12.2063	0.0000	Modelo	0.0753187	1	0.0753187	42.24	0.0003
		Pendiente	-0.171927	0.026453	-6.49935	0.0003	Residuo	0.0124813	7	0.00178305		
Metales (Ca)	Modelo Doble Inverso: $Y = 1/(a + b/X)$	Ordenada	0.0730049	0.144952	0.503649	0.6325	Modelo	2.65315	1	2.65315	42.47	0.0006
		Pendiente	2.14473	0.329118	6.51658	0.0006	Residuo	0.374864	6	0.0624773		
Metales (Mg)	Modelo Inverso-Y: $Y = 1/(a + b^*X)$	Ordenada	12.5757	1.01737	12.361	0.0000	Modelo	59.1266	1	59.1266	37.50	0.0005
		Pendiente	-1.27763	0.208638	-6.12366	0.0005	Residuo	11.0372	7	1.57674		
Metales (Zn)	Modelo Doble Inverso: $Y = 1/(a + b/X)$	Ordenada	13.914	1.71161	8.12919	0.0002	Modelo	51.6783	1	51.6783	5.47	0.0579
		Pendiente	9.21884	3.94008	2.33976	0.0579	Residuo	56.6391	6	9.43985		
Metales (Al)	Modelo Inverso-Y: $Y = 1/(a + b^*X)$	Ordenada	27.1029	3.1568	8.58556	0.0001	Modelo	425.005	1	425.005	28.00	0.0011
		Pendiente	-3.42539	0.647384	-5.29112	0.0011	Residuo	106.267	7	15.181		

Tabla 3. Análisis de regresión de los volátiles presentes durante todo el proceso de compostaje

COMPUESTO	MODELO	ANÁLISIS DE REGRESIÓN					ANÁLISIS DE LA VARIANZA					
		Parámetro	Valor estimado	Error estándar	Estadístico T	Valor P	Origen	Suma de cuadrados	GL	Cuadrado Medio	Coefficiente F	Valor P
Xilenos		CONSTANTE	5.17834	0.916308	5.65131	0.0299	Modelo	16.392	5	3.2784	19.33	0.0499
		Semanas	-1.61093	0.418085	-3.85311	0.0612	Residuo	0.339209	2	0.169604		
		Semanas <sup>2</sup>	0.239999	0.0533829	4.4958	0.0461						
		Semanas <sup>3</sup>	-0.0128565	0.00276565	-4.64865	0.0433						
		Semanas <sup>4</sup>	0.000283115	0.0000623037	4.54411	0.0452						
		Semanas <sup>5</sup>	-0.0000220639	5.07101E-7	-4.351	0.0490						
benzaldehído		CONSTANTE	-1.08419	0.0838152	-12.9354	0.0491	Modelo	1.99884	4	0.49971	239.14	0.0478
		Semanas	0.663474	0.029156	22.756	0.0280	Residuo	0.00208957	1	0.00208957		
		Semanas <sup>2</sup>	-0.0658469	0.00264428	-24.9016	0.0256						
		Semanas <sup>3</sup>	0.00226966	0.0000885321	25.63660.0248							
		Semanas <sup>4</sup>	-0.0000248963	9.78041E-7	-25.4553	0.0250						
Limoneno		CONSTANTE	28.662	1.02509	27.9606	0.0013	Modelo	276.659	4	69.1647	202.05	0.0049
		Semanas	-4.5365	0.332291	-13.6522	0.0053	Residuo	0.684636	2	0.342318		
		Semanas <sup>2</sup>	0.25398	0.0272956	9.30481	0.0114						
		Semanas <sup>3</sup>	-0.00571144	0.00082682	-6.90772	0.0203						
		Semanas <sup>4</sup>	0.0000447884	0.0000083154	5.3862	0.0328						
Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester		CONSTANTE	3.30861	0.72321	4.57489	0.0446	Modelo	18.2979	3	6.09931	21.31	0.0452
		Semanas	-0.265806	0.150554	-1.76552	0.2195	Residuo	0.572447	2	0.286224		
		Semanas <sup>2</sup>	0.0272154	0.00762356	3.56991	0.0703						
		Semanas <sup>3</sup>	-0.000480541	0.000104218	-4.61093	0.0440						
Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester		CONSTANTE	1.69442	0.35232	4.80933	0.0406	Modelo	2.07112	3	0.690373	10.16	0.0909
		Semanas	-0.114644	0.0733443	-1.56309	0.2585	Residuo	0.135857	2	0.0679286		
		Semanas <sup>2</sup>	0.0105906	0.00371391	2.8516	0.1041						
		Semanas <sup>3</sup>	-0.000178816	0.0000507711	-3.52201	0.0720						
Copaeno		CONSTANTE	0.818137	0.106888	7.65415	0.0827	Modelo	3.68639	4	0.921598	233.04	0.0484



		Semanas	0.205809	0.035082	5.86653	0.1075	Residuo	0.00395466	1	0.00395466		
		Semanas^2	-0.0256176	0.00315983	-8.10726	0.0781						
		Semanas^3	0.00113336	0.000102058	11.1051	0.0572						
		Semanas^4	-0.000014451	0.00000106784	-13.5328	0.0470						
Caryophyllene		CONSTANTE	-4.06104	0.532974	-7.61957	0.0230	Modelo	31.6163	5	6.32325	110.20	0.0090
		Semanas	2.94262	0.243181	12.1005	0.0149	Residuo	0.114762	2	0.0573808		
		Semanas^2	-0.373157	0.0310504	-12.0178	0.0152						
		Semanas^3	0.0189244	0.00160865	11.7642	0.0153						
		Semanas^4	-0.000422433	0.0000362392	-11.6568	0.0151						
		Semanas^5	0.00000345819	2.94957E-7	11.7244	0.0147						
Pentadecane		CONSTANTE	11.809	1.4181	8.32734	0.0011	Modelo	51.0616	3	17.0205	14.05	0.0137
		Semanas	-1.3957	0.271704	-5.13685	0.0068	Residuo	4.84692	4	1.21173		
		Semanas^2	0.054514	0.0132679	4.10872	0.0147						
		Semanas^3	-0.000624152	0.000178565	-3.49537	0.0250						
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-		CONSTANTE	0.987176	0.0183734	53.7285	0.0118	Modelo	0.0172652	3	0.00575508	225.13	0.0483
		Semana	-0.499366	0.0212407	-23.5098	0.0271	Residuo	0.000025563	1	0.000025563		
		Semanas^2	0.158025	0.0069965	22.5863	0.0282						
		Semanas^3	-0.0148529	0.000677839	-21.9122	0.0290						
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-		CONSTANTE	-2.01748	0.200477	-10.0634	0.0631	Modelo	2.01262	6	0.335436	107.57	0.0727
		Semanas	2.1746	0.126914	17.1344	0.0371	Residuo	0.00311823	1	0.00311823		
		Semanas^2	-0.396842	0.0226269	-17.5385	0.0363						
		Semanas^3	0.0303451	0.00171192	17.7258	0.0359						
		Semanas^4	-0.00110963	0.0000625629	-17.7362	0.0359						
		Semanas^5	0.0000192466	0.00000109252	17.6167	0.0361						
		Semanas^6	-1.27405E-7	7.31293E-9	-17.4218	0.0365						
Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (5S)-		CONSTANTE	2.36746	0.0360351	65.6987	0.0002	Modelo	0.881214	3	0.293738	501.52	0.0020
		Semanas	-0.247972	0.00915422	-27.0883	0.0014	Residuo	0.0011714	2	0.000585701		
		Semanas^2	0.0124118	0.000573792	21.6312	0.0021						

		Semanas^3	-0.000187138	0.00000989063	-18.9207	0.0028						
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-		CONSTANTE	-1.94107	0.0678031	-28.6281	0.0222	Modelo	6.18661	5	1.23732	1741.35	0.0179
		Semanas	1.89525	0.0349182	54.2769	0.0117	Residuo	0.000710553	1	0.000710553		
		Semanas^2	-0.227194	0.00500277	-45.4137	0.0140						
		Semanas^3	0.0105888	0.000288959	36.6445	0.0174						
		Semanas^4	-0.000212856	0.00000720976	-29.5234	0.0216						
		Semanas^5	0.00000153977	6.46183E-8	23.8287	0.0267						

**Tabla 4.** Compuestos orgánicos volátiles presentes en todo el proceso de compostaje

PARÁMETRO	DIAS							
	2	8	16	22	29	36	43	47
Xilenos	2,8	2,241	4,158	4,338	1,431	0,646	0,992	0,314
Benzaldehido	0	1,062	0	0	0,492	1,56	1,562	0,494
Limoneno	20,646	5,675	5,163	1,888	2,773	3,009	2,714	1,831
Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester	2,836	2,897	3,688	2,124	7,136	4,323	3,562	1,301
Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester	1,434	1,491	1,833	0,494	2,772	2,325	2,388	0,971
Copaeno	1,125	1,38	1,21	0,982	2,688	1,713	2,985	1,067
Caryophyllene	0,495	3,59	1,154	0,208	1,244	0,799	1,251	6,528
Pentadecane	9,731	2,576	1,974	0,319	2,727	2,15	3,293	1,84
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0,63	0,505	0,507	0,357	0,586	0,471	0,841	0,415
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0,971	1,565	0,822	1,642	1,592	0,417	0,848	0,265
Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-	1,922	1,073	0,832	0,904	1,061	0,793	1,454	
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-	1,023	3,276	1,271	0,596	1,246	1,456	0	15,434

**Tabla 5.** Presencia y ausencia de Compuestos orgánicos volátiles presentes en el proceso de compostaje

VOLÁTILES	DIAS							
	2	8	16	22	29	36	43	47
2,5-Hexanediol	0	0	33.39%	0	0	0	0	0
1-Phenoxypropan-2-ol	0	0	0	0.16%	0	0	0	0
Hexane	0	0	0	23.99%	0	0	0	0
2(3H)-Furanone, dihydro-5-methyl-	10.67%	0	0	5.81%	0	18.00%	0	0
Furan, tetrahydro-2,5-dimethyl-	0	2.04%	0	0	0	0	0	0
.alpha.-Isopropylideneaminoionic acidoxyprop	0	0	0	9.43%	0	0	0	0
Octane, 4-ethyl-	0	0	0.08%	0	0	0	0	0
Cyclopentanol, 1-methyl-	0	0	0	0	4%	0	0	0
3-Octanone	0	0	0	0	0	0.83%	0	1.45%
Acetophenone	0	0	0	0	0	0.51%	0	0
3-Methoxy-2-methyl-1-butene	0	0	0	0	0	0.39%	0	0
Toluene	0	0	0	6.60%	0	0	0	0
1-Hexene, 5-methyl-	0	5.01%	0	0	0	0	0	0
Furan, 2-butyltetrahydro-	0	5.63%	0	0	0	8.96%	4.56%	1.92%
2-Undecene, 6-methyl-, (Z)-	0	0	0	0.21%	0	0	0	
Hexane, 3,4-dimethyl-	0	0	0	0.13%	0	0	0	0
Cyclotrisiloxane, hexamethyl-	0	0	0	0.28%	0	0	0	0
Ethylbenzene	0.36%	0.45%	1.28%	0.55%	0	0	0	0
p-Xylene	0	1.02%	0	0.00%	1.431%	0	0.44%	0
Benzene, 1,3-dimethyl-	2.80%	0	2.10%	4.34%	0	0	0.56%	0.31%
Cyclopentene, 1-ethenyl-3-methylene-	0	0	0	0	0	0.37%	0	0
o-Xylene	0	1.23%	0.43%	0	0	0.65%	0	0

Phosphine, acetyldimethyl-	0	0.21%	0	2.02%	0	0	0	0
2-Propanol, 1-(1,3-dimethylbutoxy)	0	0	0	0	0	0	0.47%	0
Styrene	1.22%	0	0	0	0	0	0	0
1,3-Propanediamine, N,N'-diethyl-	0	0	0	0	0	0	0.23%	0
1-Propanol, 2,2-dimethyl-	0	0	0	0.56%	0	0	0	0
Hexane, 3-ethyl-4-methyl-	0	0	0	0.15%	0	0	0	0
Heptane, 3,4-dimethyl-	0.86%	0	0	0.12%	0	0	0	0
Camphene	0	0.16%	0	0	0	0	0	0
.alpha.-Pinene	0.68%	0.26%	0	0.93%	0	0	0	0.34%
1-Octanol, 2-butyl-	0	0	0	0.23%	0	0	0	0
Octane, 2,2-dimethyl-	0	0	0	1.38%	0	0	0	0
2,7-Dioxabicyclo[4.1.0]heptan-3-one, 5,5-dimethyl-	0	0.21%	0	0	0	0	0	0
Benzaldehyde	0	1.06%	0	0	0.49%	1.56%	1.56%	0.49%
Benzene, propyl-	0	0	0.61%	0	0	0	0	0
Benzene, 1,2,4-trimethyl-	0.57%	0	0.69%	0.19%	0	0	0.53%	0
Bicyclo[3.1.1]heptane, 6,6-dimethyl-2-methylene-, (1S)-	0	0	0	0	0	0	0	0.71%
O,O,O-Trimethyl thiophosphate	0	0	0	0	0.78%	no %	0	0
5-Hepten-2-one, 6-methyl-	0	0	0	0	0	0	0.48%	0
2-Propanol, 1-(2-methoxypropoxy)-	0	0	0	0	0.58%	0	0	0
Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene- 1-(1-methylethyl)-	1.21%	0	0	0.68%	0	0	0	0
2-Propanol, 1-(2-methoxypropoxy)-	0	0	0.11%	0	0	0	0	0
Ethanone, 1-(2-methyl-1-cyclopenten-1-yl)-	0	0	0	0	0	0.50%	0.24%	0
Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	0.38%	0.22%	0.29%	0.27%	0.36%	0	0	0
Benzene, 1-ethyl-2-methyl-	0	1.58%	2.37%	0	0	0	0.66%	0
2-Propanol, 1-(2-methoxy-1-methylethoxy)-	0	0	0	0	0	0.19%	0	0

4-Hexen-3-one, 4,5-dimethyl	0	0	0	0	0	0	0	0.14%
1-Hepten-6-one, 2-methyl-	0	0.28%	0	0	0	0	0	0
tert-Butyl-[2-[2-[2-[2-[2-[2-[2-(2-methoxyethoxy)ethoxy]ethoxy]ethoxy]ethoxy]ethoxy]ethoxy]ethoxy]dimethylsilane	0	0	0	0	0.27%	0.65%	0	0
Acetaldehyde, methyl(2-propenyl)hydrazone	0	0	0	0.19%	0	0	0	0
3-Hexanol	0	0	0	0	0	0	0.42%	0
.beta.-Myrcene	0.28%	0.19%	0	0	0	0	0	0
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	0	0.88%	0	0.74%	0	0	0.40%	0
Benzene, 1-ethyl-4-methyl-	0	0	0	0	0	0	0.35%	0
Dipropylene glycol monomethyl ethe	0	0	0	0	0.44%	0.24%	0	0
1,4-Cyclohexadiene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	0	0	0	0	0	0	0	0.21%
Undecane	0.51%	0	0	0.15%	0	0	0	0
Decane, 3,7-dimethyl-	0.41%	0	0.23%	0	0	0	0	0
Limoneno	0	0	0	0	0	0	2.71%	0
Benzene, 1-methyl-3-(1-methylethyl)-	0	0	0	0	0.45%	0	0.77%	0
2,11-Dimethyl-2,11-dodecanediol	0	0	0	0	0	0	0	0.14%
Benzene, 1-ethyl-2,3-dimethyl-	0	0	0	0	0	0	0.53%	0
Octanal	0	0	0	0.18%	0	0	0	0
Tridecane, 3-methyl-	0.38%	0	0	0	0	0.65%	0	0
Octane, 2-methyl-	0	0	0	0	0	0	0.59%	0
(2,3,3-Trimethyloxiranyl)methanol	0.29%	0	0	0	0	0	0	0
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	1.56%	0	0	0	0	0	0.57%	0
Octane, 3-ethyl-	0.52%	0	0	0	0	0	0	0
Heptane, 2,2-dimethyl-	0	0	0	0	0	0	0.45%	0
Benzene, 1,2,3-trimethyl-	0	0.30%	0.74%	0.26%	0	0	0	0



Hexadecane, 1-chloro-	0	0.00%	0	0	0	0.13%	0	0.11%
Cyclopentane, 2-n-octyl-	0	0	0	0	0.92%	0	0	0
Benzene, 4-ethyl-1,2-dimethyl-	0	0.17%	0.24%	0.17%	0	0	0	0
Undecane, 2,9-dimethyl-	0	0	0	0	0	0	0.58%	0
3-Methyl-2-(2-oxopropyl)furan	0	0	0	0	0	0.17%	0	0
1-Azabicyclo[2.2.2]octan-3-one	0	0	0	0	0	0	1.18%	0
Hexane, 3,3-dimethyl-	0	0.24%	0	0	0	0	0	0
Sulfurous acid, 2-ethylhexyl nonylester	0	0	0	0	0	0.12%	0.42%	0.08%
Cyclohexane, 2-butyl-1,1,3-trimethyl-	0	0	0	0	0	0	0	0.08%
Benzene, 2-ethyl-1,3-dimethyl-	0	0	0	0.18%	0	0	0	0
1,3,6,10-Dodecatetraene, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	0	0	0.00%	0	0.89%	0	0	0
Benzene, 1,2,3,5-tetramethyl-	0	0	0.24%	0	0	0	0	0
Benzene, 1,4-dimethyl-2-(1-methylethyl)-	0	0	0	0	0	0	0.59%	0
Cyclohexene, 1,6,6-trimethyl-	0	0	0	0	0	0.54%	0	0
2-Nonanone	0	0.25%	0	0	0	0.17%	0	0.14%
1-Octene, 3,7-dimethyl-	0.21%	0	0	0	0	0	0	0
Pyrazine, 2-methoxy-3-(1-methylethyl)-	0.42%	0.17%	0.97%	0.28%	0.71%	0.23%	2.89%	0.18%
Octane, 2,5,6-trimethyl-	0.31%	0	0	0	0	0	0	0
Acetaldehyde, (3,3-dimethylcyclohexylidene)-, (E)-	0	0	0	0	0	0	0.33%	0
2,4-Dimethylstyrene	0	0	0.47%	0	0	0	0	0
Benzene, 1-methoxy-4-methyl-2-(1-methylethyl)-	0	0	0	0	0	0	0.30%	0
2-Hydroxy-3-methylbenzaldehyde	0	0	0	0	0	0.14%	0	0
Phenol, 4-(1,1-dimethylethyl)-2-methyl-	0	0	0	0	0.82%	0	0	0
Tridecane, 2-methyl-	0	0	0	0	0	0	0	0.57%
Heneicosane	0	0	0	0.41%	0	0	0	0





Hexatriacontane	0	0	0	0	0	0	0.47%	0
Pentadecane, 2,6,10-trimethyl-	0	0	0	0	0	0	0.90%	0
Cyclopropanecarboxamide, N-methyl-	0	0	0.08%	0	0	0.09%	0	0
Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	0	0	0	0	0	0	0.46%	0
Benzene, 1-ethyl-4-(1-methylethyl)	0	0	0.23%	0	0	0	0	0
Propanoic acid, 2-methyl-,3-hydroxy-2,4,4-trimethylpentyl ester	0	0	0	0	0	0	2.39%	0.97%
2(10)-Pinen-3-one, (+/-)-	0	0.10%	0	0	0	0	0	0
2-Tropylpropanal tosylhydrazone	0	0.34%	0	0	0	0	0	0
Sulfurous acid, 2-ethylhexyl tetradecyl ester	0	0	0	0	0	0.31%	0	0
Benzene, 2-methoxy-4-methyl-1-(1-methylethyl)-	0	0	0.08%	0	0	0	0	0
Cyclopentasiloxane, decamethyl-	1.17%	0.18%	0.85%	0.39%	0.94%	0.59%	0.40%	0.10%
Benzene, 1-methyl-4-(2-propenyl)-	0	0	0	0.08%	0	0	0	0
Dotriacontyl pentafluoropropionate	0	0	0	0	0	0	0.53%	0
2,2,6,7-Tetramethyl-10-oxatricyclo[4.3.0.1(1,7)]decan-5-one	0	0	0	0	0	no %	0	0
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one,1,7,7-trimethyl-, (1R)-	0	0	0	0.33%	0	0	0	0
.beta.-Humulene	0	0	0	0	0	0	0	0.32%
6-Octenal, 3,7-dimethyl-, (R)-	0.18%	0	0	0.35%	0	0	0	0
Dodecane, 2-methyl-	0	0	0	0	0	0	0	0.28%
Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl-	0.25%	0	0	0	0	0	0	0
.gamma.-Elemene	0	0	0	0	0	0	0	1.36%
Benzenamine, N,N-dimethyl-	0	0	0	0.17%	0	0	0	0
Propanoic acid, 2-methyl-, 2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester	0	0	0	0	0	4.32%	0	0
Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.beta.,5.alpha.)-(+/-)-	0.13%	0	0	0	0	0	0	0
Dodecane, 2,6,11-trimethyl-	0	0	0	0	0	no %	0.48%	0

6-Butyl-1,4-cycloheptadiene	0.73%	4.44%	0.38%	0.31%	0	0	0	0
Propanoic acid, 3-[bis[(trimethylsilyl)oxy]phosphinyl]-, trimethylsilyl ester	0	0	0	0	0	0	0	6.38%
1,2-Dipentylcyclopropene	0	0	0	0.07%	0	0	0	0
Undecane, 2-methyl-	0	0	0	0	0	0.24%	0	0
(2,2,6-Trimethyl-bicyclo[4.1.0]hept-1-yl)-methanol	0	0	0	0	0	0	0.85%	0
Cyclohexanol, 3,3,5-trimethyl-, acetate, cis-	0.13%	0	0	0	0	0	0	0
Octadecane, 1-chloro-	0	0	0	0	0.87%	0.20%	0.45%	0
Cyclohexanol, 5-methyl-2-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,2.alpha.,5.alpha.)-	0	0	0	0.25%	0	0	0	0
Benzenamine, N,N,4-trimethyl-	0	0	0	0.15%	0	0	0	0
Cyclohexane, 2,4-diisopropyl-1,1-dimethyl-	0	0	0	0	0	0	1.56%	0
Propanoic acid, 2-methyl-,2-ethyl-3-hydroxyhexyl ester	0	0	0	0	2.772%	0	0	0
Nonadecane	0	0	0	0	0	0.86%	1.70%	0.42%
3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,4-dimethyl-.alpha.-(4-methyl-3-pentenyl)-, [R-(R*,R*)]-	0	0	0	0	0	0	0.63%	0
Naphthalene	0	0	0	0.14%	0	0	0	0
17-Pentatriacontene	0	0	0	0	0	0.29%	0	0
Cyclohexene, 1-methyl-4-(1-methylethylidene)-	0.14%	0	0	0	0	0	0	0
Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7.beta.)]-	0	0	0	0	0	0.53%	0	0
3-Cyclohexene-1-methanol, .alpha.,.alpha.,4-trimethyl-, (S)-	0	0	0	0.34%	0	0	0	0
1R,3Z,9S-2,6,10,10-Tetramethylbicyclo[7.2.0]undeca-2,6-diene	0	0	0	0	0.688%	0	0	0
Dodecane	0.17%	0	0	0	0	0	0	0
Decanal	0	0	0	0.13%	0	0	0	0
2-Undecene, 2,5-dimethyl-	0	0	0	0.04%	0	0	0	0
6-Octen-1-ol, 3,7-dimethyl-, (R)-	0	0	0	0.07%	0	0	0	0

Sulfurous acid, butyl tridecyl ester	0	0	0	0	0	0	0.62%	0
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1, 6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0	0	0	0	1.756%	0	0	0
trans-2-Undecen-1-ol	0.10%	0	0	0	0	0	0	0
.beta.-Myrcene	0.08%	0	0	0	0	0	0	0
1,6-Octadien-3-ol, 3,7-dimethyl-,2-aminobenzoate	0	0	0	0.24%	0	0	0	0
Benzene, 1-ethyl-2,4,5-trimethyl-	0	0.08%	0	0	0	0	0.44%	0
Ethanone, 1-(2,5-dimethoxyphenyl)-	0	0	0	0	0	0.68%	0	0
Sulfurous acid, 2-ethylhexyl octadecyl ester	0	0.04%	0	0	0	0	0	0
5-Hepten-1-ol, 2-ethenyl-6-methyl-	0	0	0	0.10%	0	0	0	0
Caryophyllene-(I1)	0	0	0	0	0.372%	0	0	0
Cyclohexasiloxane, dodecamethyl-	9.72%	0	8.98%	2.78%	0	7.85%	5.92%	1.34%
2-Trifluoromethylbenzoic acid, 4-tridecyl ester	0	0	0	0	0	0	0.50%	0.11%
2,6,10,10-Tetramethyl-1-oxa-spiro[4.5]dec-6-ene	0	0	0.22%	0	0.44%	0.48%	0.89%	0
7-Hexadecyne	0	0	0	0	0	0	0.42%	0
3-Isopropyl-5-methyl-hex-4-en-2-on	0	0	0	0.03%	0	0	0	0
Indole	0	0.51%	0	0	0	0	0	0
Benzenamine, N-ethyl-N-methyl-4-nitro-	0	0	0	0	0.72%	0	0	0
Oxalic acid, cyclohexylmethyl tetradecyl ester	0	0	0	0	0	0	0.62%	0
Longifolene-(V4)	0	0	0	0	0	0.34%	0	0
3-Heptanone, 2,4-dimethyl-	0	4.62%	0	0	10.946%	0	0	0
Sulfurous acid, pentyl tridecyl ester	0	0.09%	0	0	0	0	0	0
3-Isopropoxy-1,1,1,7,7,7-hexamethyl-3,5,5-tris(trimethylsiloxy)tetrasiloxane	0	0	0	0	0	0	1.08%	0
Sulfurous acid, 2-ethylhexyl undecyl ester	0	0.13%	0	0	0	0	0	0
Hexahydro-pentalene-1,6-dione	0.13%	0	0	0	0	0	0	0.27%

(-)-Aristolene	0	0.14%	0	0	0	0	0	0
Dodecane, 2,5-dimethyl-	0	0	0.15%	0	0	0	0	0
3',5'-Dimethoxyacetophenone	0	0	0.42%	0	0	0	0	0
Aceclidine	0	0	0	0	0	0.22%	0	0
1,4-Methano-1H-indene, octahydro-4-methyl-8-methylene-7-(1-methylethyl)-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,7.alpha.,7a.beta.)]-	0	1.80%	0	0	0	0	0	0
Tetratetracontane	0	0	0	0	0	0.43%	0	0
Cyclohexene, 4-ethenyl-4-methyl-3-(1-methylethenyl)-1-(1-methylethyl)-, (3R-trans)-	0.12%	0.22%	0.41%	0.06%	0	0	0	7.21%
Heptadecane, 2-methyl-	0	0.19%	0	0.08%	0	0	0	0
Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl)propyl ester	2.84%	2.90%	3.69%	2.12%	7.136%	0	3.56%	1.30%
Methylamine, N-(1-methylhexylidene)-	0	0	0	0	0	1.62%	0	0.52%
Cyclopentanol, 3-methyl-	0	0	0	0.06%	0	0	0	0
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,-, (1S-cis)-	0	0	0	0	0.59%	0	0	0
Tricosane, 2-methyl-	0.17%	0	0	0.06%	0	0	0	0
Disulfide, didodecyl	0	0	0	0.05%	0	0	0	0
1H-Cyclopropa[a]naphthalene, 1a,2,3,3a,4,5,6,7b-octahydro-1,1,3a,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,3a.alpha.,7b.alpha.)]-	0	0	0	0.00%	8.281%	0	0	0
Butanoic acid, butyl ester	1.43%	1.49%	1.83%	0.49%	0	2.33%	0	0
3-Trifluoromethylbenzoic acid, 3-pentadecyl ester	0	0	0	0	0	0.26%	0	0
Copaene	1.13%	1.38%	1.21%	0.98%	2.688%	1.71%	2.99%	1.07%
1H-Cyclopropa[a]naphthalene, 1a,2,3,5,6,7,7a,7b-octahydro-1,1,7,7a-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,7.alpha.,7a.alpha.,7b.alpha.)]-	0.31%	0	0	0	0	0	2.76%	0
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,2.beta.,4.beta.)]-	0	0	0.34%	0.17%	0	0	0	4.29%
8-Heptadecene	0	0	0	0	0	0.45%	0.78%	0.17%
Tetradecane	1.99%	0	0.42%	0.16%	0	0	0.33%	0

8-Isopropenyl-1,5-dimethyl-cyclodeca-1,5-diene	0	0.72%	0	0	0	0	0	0
2,6-Difluoro-3-methylbenzoic acid,tetradecyl ester	0	0	0	0	0.791%	0	0	0
Oxalic acid, cyclohexylmethyl tridecyl ester	0	0	0	0	0	0.18%	0	0
trans-2-Caren-4-ol	0	0.20%	0	0	0	0	0	0
4-n-Hexylthiane, S,S-dioxide	0	0	0	0	0	no %	0	0
trans-2-Dodecen-1-ol	0	0	0	0.12%	0	0	0	0
1H-Cycloprop[e]azulene, 1a,2,3,4,4a,5,6,7b-octahydro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,4.alpha.,4a.beta.,7b.alpha.)]-	0.20%	0.65%	0.36%	0.12%	0	1.22%	1.44%	0
1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]	0	0.51%	0	0	0	0	0	0
1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S-(1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]	0	0	0	0.11%	0	0	0	0
n-Pentadecanol	0.73%	0	0	0	0	0	0	0
trans-1,10-Dimethyl-trans-9-decalinol	0.22%	0	0	0	0	0	0	0
Caryophyllene	0.50%	3.59%	1.15%	0.21%	1.244%	0.80%	1.25%	6.53%
1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro- 1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1aR-(1a.alpha.,4a.beta.,7.alpha.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	0.18%	0	0	0	0	0	0	0
3-Heptadecene, (Z)-	0	0	0	0	0.36%	0	0	0
1H-Cyclopropa[a]naphthalene, decahydro-1,1,3a-trimethyl-7-methylene-, [1a5-(1a.alpha.,3a.alpha.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	0	0.22%						0.79%
1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene-, [1aR-(1a.alpha.,4a.beta.,7.alpha.,7a.beta.,7b.alpha.)]-	0	0.24%	0.45%	0	0	0	0	0
Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl-6-(4-methyl-3-pentenyl)-	1.02%	3.28%	1.27%	0.60%	1.246%	1.46%	0.76%	15.43%
Tricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-ene,2,6,6,9-tetramethyl-	0	0	0	0.09%	0	0	0	0
6H-Furo[2',3':4,5]oxazolo[3,2-a]pyrimidin-6-one, 3-(acetyloxy)-2,3,3a,9a-tetrahydro-2-[[[(trimethylsilyl)oxy]methyl]-, [2R-(2.alpha.,3.beta.,3a.beta.,9a.beta.)]-	0	0	0	0	0.74%	0	0	0
3-tert-Butyl-4-hydroxyanisole	0.21%	0.49%	0	0	0	0	0	0
Phenol, 3-(1,1-dimethylethyl)-4-methoxy-	0	0	0	0.14%	0	0	0	0
Thujopsene-(I2)	0	0.15%	0	0	0	0	0	0

Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-	0	1.07%	0.83%	0.90%	2.83%	0.79%	1.45%	0
Spiro[5.5]undec-2-ene, 3,7,7-trimethyl-11-methylene-, (-)-	0	2.45%	0	0	0	0	0	1.74%
2',6'-Dihydroxyacetophenone, bis(trimethylsilyl) ether	0	12.35%	0	0	0	0	0	0
Hexasiloxane, 1,1,3,3,5,5,7,7,9,9,11,11-dodecamethyl-	12.01%	0	11.35%	0	17.455%	17.01%	14.27%	6.21%
N-Benzyl-N-ethyl-p-isopropylbenzamide	0	0	0	6.44%	0	0	0	0
Naphthalene, 1,2,3,4,4a,5,6,8a-octahydro-7-methyl-4-methylene-1-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,8a.alpha.)-	0	0.49%	0.29%	0.21%	0	0.37%	0.65%	0
Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-	0.65%	0.27%	0.30%	0.13%	0.59%	0.80%	0	0
Indazole, 4,6-dinitro-1-(1,3-oxazinan-3-yl)-	0	0	0.17%	0	0	0	0	0
Bicyclo[4.4.0]dec-1-ene, 2-isopropyl-5-methyl-9-methylene-	0.19%	0	0.19%	0	0.422%	0	0	0
Bacchotricuneatin c	9.73%	0	1.97%	0	0	0	0	0
Pentadecane	0	2.58%	0	0.32%	2.73%	2.15%	3.29%	1.84%
Disulfide, bis(4-methylphenyl)	0	0	0.13%	0	0	0	0	0
.alpha.-Muurolene	0	0	0	0.28%	0	0	0	0
Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)	1.92%	0	0	0	0	0	0	0
Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	0	0.46%	0	0.15%	1.267%	0	0	0
Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0.97%	1.57%	0.82%	1.64%	1.592%	0.42%	0.85%	0.27%
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	0.63%	0.51%	0.51%	0.36%	0	0.47%	0.84%	0.42%
1,2,4,8-Tetramethylbicyclo[6.3.0]undeca-2,4-diene	0.00%	2.65%	0	0	0	0	0	22.68%
1H-Cycloprop[e]azulene, 1a,2,3,4,4a,5,6,7b-octahydro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1aR-(1a.alpha.,4.alpha.,4a.beta.,7b.alpha.)]-	0	0	0	0.11%	0	0	0	0.20%
1H-Cycloprop[e]azulene, decahydro-1,1,7-trimethyl-4-methylene	0	0.24%	0	0	0	0	0	0
Thiophene, 2,5-bis(3-methylbutyl)-	0	0.21%	0	0	0	0	0	0
Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1.alpha.,4a.alpha.,8a.alpha.)-	0	0.81%	0	0.08%	0.580%	0	0	0
.alpha.-Calacorene	0	0.10%	0	0.10%	0	0	0	0

Octadecane, 1-bromo-	0	0	0	0.05%	0	0	0	0
Methoxyacetic acid, 2-tridecyl ester	0.11%	0	0	0	0	0	0	0
Propanoic acid, 2-methyl-,1-(1,1-dimethylethyl)-2-methyl-1,3-propanediyl ester	0	1.48%	0	0	0.48%	0	1.50%	0
Cyclohexane, 1,2-dimethyl-3,5-bis(1-methylethenyl)-	0	0.14%	0	0	0	0	0	0
n-Nonadecanoic acid, pentamethyldisilyl ester	0	9.40%	2.82%	0	0	0	0	0
N-Phenylmaleimide	0	0.36%	0	0	0	0	0	0
3-Cyclohexylthiolane,S,S-dioxide	0	0.16%	0	0	0	0	0	0
Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)]	0	0.24%	0	0	0	0	0	0
1,1,1,5,7,7,7-Heptamethyl-3,3-bis(trimethylsiloxy)tetrasiloxane	0.16%	0	0.21%	0	0	0.70%	0	0.72%
Pentanoic acid, 2,2,4-trimethyl-3-carboxyisopropyl, isobutylester	0	0	0	0.33%	0	0	0	0
2,2,4-Trimethyl-1,3-pentanediol diisobutyrate	0.80%	0	1.07%	0	1.808%	0	0	0
Hexadecane	0.14%	0	0	0.08%	0	no %	0	0.12%
1,3,5,7-Tetraethyl-1-ethylbutoxysiloxycyclotetrasiloxane	2.02%	0	0	0	0	8.54%	0	0
Phenol, 2-(1,1-dimethylethyl)-4-(1-methylpropyl)-	0	0	0	0.04%	0	0	0	0
Silane, [[4-[1,2-bis[(trimethylsilyl)oxy]ethyl]-1,2-phenylene]bis(oxy)]bis(trimethyl-	0	0	0	3.01%	8.523%	0	8.73%	0
Ethanone, 1-(1,2,3,4,7,7a-hexahydro-1,4,4,5-tetramethyl-1,3a-ethano-3aH-inden-6-yl)-	0.26%	0	0	0	0	0	0	0
2-Trifluoromethylbenzoic acid, 4-methylpentyl ester	0	0	0.28%	1.19%	0	0	0	0
Ethyl 2,3-dimethyl-1,3-oxazolidine -2-acetate	0	0.24%	0	0	0	0	0	0
Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethenyl)-, [4aR-(4a.alpha.,7.alpha.,8a.beta.)]	0	0.10%	0	0	0	0	0	0
2-Trifluoromethylbenzoic acid, 2-octyl ester	0.54%	0	0	0	0.46%	0	0	0
2-Butanamine, N-(1-methylpropyl)-	0.35%	0	0	0	0	0	0	0
Hexahydro-5.lambda.(6)-thieno[3,4-b]pyrrol-2-one, 1-(2-morpholin-4-ylethyl)-5,5-dioxo-	0	0	0	1.23%	0	0	0	0
Benzene, 4-chloro-2-fluoro-1-methoxy-	0	0	0	0.07%	0	0	0	0



3-Pyridinemethanol, .alpha.-[3-[bis(1-methylethyl)amino]-1-propynyl]-.alpha.-methyl-	0	0	0	0.10%	0	0	0	0
Hexasiloxane, tetradecamethyl-	0	0.96%	0	0.27%	0	0	0	0
Benzene, 1,2,4,5-tetrakis(1-methylethyl)-	0	0	0	0.19%	0	0	0	0
9H-Cycloisolongifolene, 8-oxo-	0	0	0	0.05%	0	0	0	0
Morpholine, 4-octadecyl-	0	0	0	0.19%	0	0	0	0

**Tabla 6.** Afecciones en la salud de algunos compuestos presentes en el proceso de compostaje

COMPUESTO	AFECCIONES	LIMITE DE EXPOSICIÓN
Xilenos	Dolores de cabeza, falta de coordinación muscular, mareo, confusión y alteraciones del equilibrio; irritación de la piel, ojos, nariz y garganta; dificultad para respirar, problemas pulmonares; retardo del tiempo de reacción a estímulos; alteraciones de la memoria; malestar estomacal y posiblemente alteraciones del hígado y los riñones. Además la exposición a niveles muy altos de xileno puede causar pérdida del conocimiento y la muerte.	La dosis toxica se encuentra tanto para la OSHA PEL como para la NIOSH REL en 435 mg/m <sup>3</sup> .
Benzaldehído	Irritación cutánea, de los ojos y las vías aéreas superiores, posee propiedades narcóticas, inactiva la enzima antioxidante glutatión peroxidasa.	El límite máximo de exposición según la AIHA para 8 horas es una concentración de 2 ppm. Su dosis letal (DL50 en ratas) es de 1300 mg/Kg.
Toluene	La inhalación puede causar irritación del tracto respiratorio superior. Los síntomas de sobreexposición incluyen fatiga, confusión, dolor de cabeza, mareos y somnolencia. Sensaciones de la piel característica (por ejemplo, alfileres y agujas) o el entumecimiento pueden ser producidos. Concentraciones muy altas puede causar la inconsciencia y la muerte.	OSHA PEL: TWA 200 ppm C 300 ppm 500 ppm (10-minutos máximo pico) NIOSH REL: TWA 100 ppm (375 mg/m <sup>3</sup> ) ST 150 ppm (560 mg/m <sup>3</sup> ) NIOSH IDLH: 500 ppm
Limoneno	Irritación de los ojos y las vías respiratorias	
Propanoic acid, 2-methyl-,2,2-dimethyl-1-(2-hydroxy-1-methylethyl) propyl ester	A la fecha no hay reportes de estudios acerca del efecto en la salud humana	
Propanoic acid, 2-methyl-,hexyl ester		Dosis letal oral (LD50) para ratas mayor a 5000 mg/Kg, además de la dosis dérmica (LD50) para conejos mayor a 5000 mg/Kg
Copaeno	Causa irritación de las membranas mucosas y el tracto respiratorio, irritación de la piel y los ojos, además puede ser dañino si es ingerido	
Caryophyllene	Causa irritación de piel	
Pentadecane	Causa irritación del tracto digestivo, vías respiratorias, ojos y piel; daño del hígado, depresión del sistema nervioso central, dolor de cabeza, vértigos, somnolencia y nauseas, además la aspiración de este compuesto causa en los pulmones la neumonitis química, que puede ser fatal	
Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,6-dimethyl-4-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	A la fecha no hay reportes de estudios acerca del efecto en la salud humana	

COMPUESTO	AFECCIONES	LIMITE DE EXPOSICIÓN
<b>Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-</b>	Irritante para las membranas mucosas y las vías respiratorias cuando es inhalado, puede mostrarse peligroso cuando es bebido y causa irritación de piel y ojos	
<b>Cyclohexene, 1-methyl-4-(5-methyl-1-methylene-4-hexenyl)-, (S)-</b>	Dosis letal 50 oral para este compuesto se ha examinado en ratas y ratones encontrándose para los primeros una dosis mayor a 5000 mg/Kg y para los segundos una dosis mayor a 13360 mg/Kg	
<b>Bicyclo[3.1.1]hept-2-ene, 2,6-dimethyl -6-(4-methyl-3-pentenyl)-</b>	A la fecha no hay reportes de estudios acerca del efecto en la salud humana	
<b>Styrene</b>	La exposición debido a la inhalación de este compuesto ocasiona afecciones en las vías respiratorias, tales como tos, asfixia e irritaciones, en casos de un prolongado contacto con éste puede causar edema pulmonar, que se considera una urgencia clínica.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• OSHA PEL: TWA 100 ppm C 200 ppm 600 ppm (5-minute maximum peak in any 3 hours) NIOSH REL: TWA 50 ppm (215 mg/m<sup>3</sup>) ST 100 ppm (425 mg/m<sup>3</sup>) NIOSH IDLH: 700 ppm OSHA PEL: TWA 100 ppm C 200 ppm 600 ppm (5-minute maximum peak in any 3 hours) NIOSH REL: TWA 50 ppm (215 mg/m<sup>3</sup>) ST 100 ppm (425 mg/m<sup>3</sup>) NIOSH IDLH: 700 ppm.</li> <li>• Clase de veneno: 3; Cancerígeno: I-2B</li> </ul>
<b>Pyrazine, 2-methoxy-3-(1-methylethyl)-</b>	Tan bien llamado IPMP, las propiedades toxicológicas de este compuesto no se han sometido a estudios reportados.	
<b>Tetradecane</b>	La inhalación de altas concentraciones puede causar efectos narcóticos sobre el operario y edema pulmonar, que es considerado un cuadro clínico de urgencias médicas, también en menores tiempos de exposición puede ocasionar irritaciones en las vías respiratorias.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades tóxicas.</li> </ul>
<b>Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-</b>	La exposición por inhalación de este compuesto genera irritación de las membranas mucosas y vías respiratorias, además ocasiona irritación en piel y ojos.	
<b>Indol</b>	Estudios en animales expuestos al compuesto muestran el desarrollo de tumores en éstos, la inhalación causa irritación de las membranas mucosas al igual que del tracto respiratorio superior, es posible que dentro del cuadro clínico se manifieste náuseas, vómito y dolor de cabeza. El Indol causa además dermatitis e irritación de ojos con posibles complicaciones.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase de veneno: 4</li> </ul>
<b>Benzene, 1,2,4,5-tetramethyl-</b>	Los vapores pueden causar vértigo y asfixia, además de irritación en piel y ojos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase de veneno: 3</li> </ul>

COMPUESTO	AFECCIONES	LIMITE DE EXPOSICIÓN
Eucalyptol	También llamado cineole. La inhalación causa irritación de las vías respiratorias, la exposición a vapores que contengan este compuesto puede causar vértigo, asfixia, irritación en piel y ojos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clase de veneno: 3</li> </ul>
Benzene, 1,3,5-trimethyl-	La inhalación ocasiona irritaciones en las vías respiratorias, somnolencia, inconsciencia y depresión del sistema nervioso central, los síntomas que pueden evidenciar intoxicación por éste compuesto son el asma y la somnolencia.  En la piel causa excesiva resequedad e irritación, en ojos ocasiona irritación.	<ul style="list-style-type: none"> <li>TLV: 25 ppm; 125 mg/m<sup>3</sup> (ACGIH 1993-1994). NIOSH REL: TWA 25 ppm (125 mg/m<sup>3</sup>)</li> <li>Clase de veneno: 4</li> </ul>
Benzene, 1,2,3,4-tetramethyl-	Es probable que la exposición a vapores de este compuesto pueda causar irritación en las vías respiratorias, sofocación o vértigo, además puede ocasionar irritación en ojos y piel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
Benzene, 1-(1,5-dimethyl-4-hexenyl)-4-methyl-	Llamado también curcumene, puede causar quemaduras en piel	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
.alpha.-Pinene	La inhalación de este compuesto puede llevar a neumonitis o edema pulmonar, irritación en las vías respiratorias, asfixia o vértigo, también los vapores ocasionan irritaciones en piel y ojos.	
2,4-Dimethylstyrene	El 2,4-Dimethylstyrene puede ocasionar cianosis de las extremidades, irritaciones dérmicas y oculares, daños en la cornea.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
Ethylbenzene	La inhalación a altas concentraciones de este compuesto causa desplome del sistema nervioso central, caracterizado por una excitación inicial, seguido de dolor de cabeza, vértigo, náuseas y vomito, además ocasiona irritación de las vías respiratorias, así como vértigo y sofoco.	<ul style="list-style-type: none"> <li>OSHA PEL: TWA 100 ppm (435 mg/m<sup>3</sup>) NIOSH REL: TWA 100 ppm (435 mg/m<sup>3</sup>) ST 125 ppm (545 mg/m<sup>3</sup>) NIOSH IDLH: 800 ppm LEL</li> <li>Clase de veneno: 4 ; Cancerígeno: G-A3, I-2B</li> </ul>
Bicyclo[3.1.0]hexane, 4-methylene- 1-(1-methylethyl)-	Puede causar quemaduras en piel y ojos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
Cyclopentasiloxane, decamethyl-	La exposición a vapores puede causar irritación y quemaduras en las vías respiratorias, vértigo, asfixia, irritación en piel y ojos, además puede ocasionar irritación en las membranas mucosas.	
Bicyclo[2.2.1]heptan-2-one, 1,7,7-trimethyl-	También llamado Alcanfor; 2-Camphanone. Ocasiona severa irritación	<ul style="list-style-type: none"> <li>Clase de veneno: 3 (Fuerte toxina)</li> </ul>

COMPUESTO	AFECCIONES	LIMITE DE EXPOSICIÓN
, (1R)-	en ojos, largas exposiciones a este compuesto ocasiona dermatitis.	
6-Octenal, 3,7-dimethyl-, (R)-	También conocido como Citronellal, éste puede ocasionar irritaciones en es tracto respiratorio, irritación en ojos y piel.	
Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethyl)-	También llamado p-Cymene, 4-Isopropyltoluene, Camphogen. La inhalación de altas concentraciones este compuesto puede ocasionar efectos narcóticos, depresión del sistema nervioso central y somnolencia, además causar irritación de las vías respiratorias, ojos y piel	
Benzene, 2-ethyl-1,4-dimethyl	Conocido también como p-Xylene, la exposición a vapores de este compuesto puede causar irritación y quemaduras en las vías respiratorias, vértigo y sofocación, ocasiona además irritación y quemaduras en ojos y piel.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
Cyclohexane, 1-ethenyl-1-methyl-2,4-bis(1-methylethenyl)-, [1S-(1.alpha.,2.beta.,4.beta.a.)]-	Otro nombres para este compuesto son Cyclohexane, 2,4-diisopropenyl-1-methyl-1-vinyl-, (1S,2R,4R)- (-); B- Elemene, (-). La exposición a vapores del compuesto puede ocasionar irritación y quemaduras en las vías respiratorias, vértigo y sofocación, así como irritaciones oculares y dérmicas.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
1,4-Methanoazulene, decahydro-4,8,8-trimethyl-9-methylene-, [1S (1.alpha.,3a.beta.,4.alpha.,8a.beta.)]	La inhalación de este compuesto puede causar irritación en las mucosas y tracto del sistema respiratorio superior, puede también ocasionar irritación de piel y ojos.	
2-Methylisoborneol	Puede ser fatal por inhalación, ocasiona irritación en las vías respiratorias, la exposición a vapores de este compuesto puede causar vértigo y sofocación en la persona.	
Hexadecane, 2,6,10,14-tetramethyl-	Otros nombre con los que es llamado este compuesto son: Phytan; Phytane; 2,6,10,14-Tetramethylhexadecane. Puede causar quemaduras en piel y ojos.	<ul style="list-style-type: none"> <li>No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades toxicas.</li> </ul>
Benzene, 1-methyl-2-(1-methylethyl)-	También conocido como o-Cymol , o, Methylisopropylbenzene. La inhalación de este compuesto causa la perdida de la coordinación motriz y dolor de cabeza, además puede ocasionar quemaduras oculares.	
Naphthalene	La exposición crónica por inhalación puede estropear los pulmones del operario, así como dermatitis y problemas ópticos (visión borrosa, cataratas, lesión de cornea y neuritis óptica), se ha encontrado que este compuesto puede causar anomalías	<ul style="list-style-type: none"> <li>NIOSH REL: TWA 10 ppm (50 mg/m3) ST 15 ppm (75 mg/m3) OSHA PEL: TWA 10 ppm (50 mg/m3) IDLH 250 ppm.</li> <li>Clase de veneno: 3</li> </ul>

COMPUESTO	AFECCIONES	LIMITE DE EXPOSICIÓN
	<p>fetales y en los glóbulos rojos, daños en hígado y riñón, experimentos de laboratorio demuestran que es causante de efectos muta génicos.</p> <p>La inhalación puede ocasionar también desorientación en casos crónicos producir coma.</p>	
<b>Cyclohexene</b>	<p>Puede ocasionar fallas en el sistema nervioso central, caracterizada por una excitación inicial, seguida de dolor de cabeza, náuseas y vómito, la intoxicación más frecuente compromete las vías respiratorias, llevando a la muerte.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• TLV: 300 ppm; 1010 mg/m<sup>3</sup> (as TWA) (ACGIH 1992-1993). OSHA PEL: TWA 300 ppm (1015 mg/m<sup>3</sup>) NIOSH REL: TWA 300 ppm (1015 mg/m<sup>3</sup>) NIOSH IDLH: 2000 ppm</li> <li>• Clase de veneno: 4</li> </ul>
<b>Cyclohexene, methyl</b>	<p>Los vapores pueden causar asfixia, vértigo, irritación y quemaduras</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades tóxicas.</li> </ul>
<b>(-)-2-Pinene</b>	<p>Puede causar irritación en piel y ojos.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• No se ha estudiado completamente los límites de exposición de este compuesto, al igual que sus demás propiedades tóxicas.</li> </ul>
<b>Propionic acid</b>	<p>La inhalación puede causar tos y estornudos, así como fallas respiratorias debido a una continua exposición. Ocasiona severas irritaciones y quemaduras en piel.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Clase de veneno: 3</li> <li>• ACGIH Threshold Limit Value (TLV): 10 ppm (TWA)</li> </ul>
<b>9-Octadecenoic acid (Z)-, methyl ester</b>	<p>La constante exposición por inhalación puede causar irritación en las vías respiratorias y daños irreparables en pulmón, el contacto cutáneo genera irritación en la piel y ojos, la ingestión de este compuesto causa complicaciones en el tracto digestivo, tales como quemaduras o laceraciones en el esófago</p>	
<b>Hexadecanoic acid, methyl ester</b>	<p>La exposición cutánea a este compuesto genera irritación en ojos, piel, los efectos nocivos por inhalación son generalmente la irritación en las vías respiratorias, en casos severos de irritación de vías respiratoria se puede presentar daño de pulmón, los perjuicios por ingestión son frecuentemente laceraciones en el tracto digestivo, especialmente en el esófago.</p>	
<b>2(3H)-Furanone, dihydro-5-methyl</b>	<p>La inhalación del compuesto puede ocasionar irritación en las vías respiratorias, el contacto cutáneo puede causar dermatitis e irritaciones oculares, la ingestión de gamma valerolactona puede causar irritaciones en el tracto digestivo.</p>	

COMPUESTO	AFECCIONES	LIMITE DE EXPOSICIÓN
Butanoic acid, butyl ester	La exposición a los vapores de butil butirato pueden causar desmayos o sofocación, así como irritación de las vías respiratorias, el contacto cutáneo genera irritación en la piel y ojos, la ingestión de este compuesto causa daños en el tracto digestivo, frecuentemente irritaciones.	

Tomada de: The Chemical Database the Department of Chemistry at the University of Akron, Pichard et al., 2005, ATSDR, 2007; Liang & Liao, 2007; Maguin et al., 2006, Nøjgaard et al., 2005.

La clase se refiere a la dosis letal (Tabla 8).

**Tabla 7. Clase de veneno**

CLASE	DOSIS LETAL (MG/KG)
1	0 a 5
1S	0 a 5; también teratogénico o carcinogénico
2	5 a 50
3	50 a 500
4	500 a 2000
5	2000 a 5000
5S	2000 a 5000; producto sin restricción

Tomado de: Clase de Veneno Suiza (MSDS -fichas de datos de seguridad-).