

**Evaluación del lixiviado agroecológico como  
acondicionador del suelo en el cultivo de lechuga  
(*lactuca sativa*) variedad crespa verde del municipio de  
Madrid Departamento de Cundinamarca**

**Yolvi Prada Millán**

Trabajo de investigación presentado como requisito para optar al título de:

**Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente**

**Director:**

**PhD. Carlos Arturo Granada Torres**

Línea de investigación:

**Biosistemas integrados**

Grupo de Investigación:

Centro de Investigación de Medio Ambiente y Desarrollo

Universidad de Manizales  
Facultad de Ciencias Contables Económicas y Administrativas  
Maestría en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente  
Manizales, Colombia

2016

## **Dedicatoria**

*A mi Padre (q.e.p.d) y a mi Madre María Luisa Millán, quienes me han enseñado el valor de la vida, el respeto, la constancia y el esfuerzo por conseguir lo que se desea.*

*A Danna Sofia Prieto y Hernando Prieto quienes me han apoyado y son los que me impulsan a continuar con el desarrollo de mi vida profesional y personal*

*Yolvi Prada Millán*

## **Agradecimientos**

A Dios y la Virgen por permitirme lograr un peldaño más en mi vida y porque siempre han puesto ángeles en mi camino.

Al Doctor Carlos Arturo Granada, Director de la Investigación, por sus valiosos comentarios, por el apoyo, los conocimientos compartidos, la paciencia y la dedicación aportada.

A mi familia, quienes con comprensión, apoyo incondicional y voz de aliento estuvieron presentes.

A mis sobrinos que me apoyan, me motivan a continuar y creen en mí.

A la Ingeniera Libia Esperanza Nieto Gómez por su gran apoyo con sugerencias y recomendaciones valiosas en todo el desarrollo del proyecto.

Al Ingeniero Diego Deaza Castillo por su apoyo y aportes valiosos para el desarrollo del proyecto.

A mis amigos por su enorme colaboración en todo lo requerido, el apoyo y voz de aliento.

Y a todas las personas que de una u otra manera contribuyeron para que lograra culminar mis estudios de maestría.

## Tabla de contenido

<b>I. CONTEXTO GENERAL Y METODOLÓGICO</b> .....	<b>9</b>
1.1. MATERIA ORGÁNICA .....	9
1.2. COMPOSTAJE .....	12
1.2.1. Fases del Proceso de Compostaje.....	13
1.2.2. Fase Mesófila .....	13
1.2.3. Fase Termófila .....	14
1.2.4. Fase termófila o de enfriamiento .....	14
1.2.5. Fase de Maduración o curado .....	14
1.3. VARIABLES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE .....	15
1.3.1. Tamaño de las partículas .....	15
1.3.2. Relación Carbono/Nitrógeno y Carbono/fosforo .....	16
1.3.3. Nutrientes.....	16
1.3.4. Aireación-Oxígeno .....	17
1.3.5. pH.....	17
1.3.6. Humedad.....	18
1.3.7. Temperatura .....	18
1.4. IMPORTANCIA DE LA INCORPORACIÓN DEL COMPOST.....	19
1.5. VENTAJAS DEL COMPOSTAJE .....	21
1.5.1. Ventajas ambientales.....	21
1.5.2. Ventajas agrícolas .....	21
1.5.3. Ventajas Sociales.....	22
1.5.4. Ventajas económicas.....	22
1.6. TÉCNICAS DE COMPOSTAJE .....	23
1.6.1. Sistemas abiertos: .....	23
1.6.2. Apilamiento Estático Con aireación por succión (Sistema Beltsville4) Sin volteos: .....	23
1.6.3. Sistemas cerrados: .....	23
1.6.3.1. Reactores verticales Continuos.....	23
1.6.3.2. Discontinuos: .....	23
1.6.3.3. Reactores horizontales Estáticos:.....	23
1.6.3.4. Dinámico: .....	24
1.7. COMPOSICIÓN Y CARACTERÍSTICAS PREVIAS AL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	24
1.7.1. Residuos de origen vegetal.....	25
1.7.2. Residuos de origen animal .....	25
1.7.3. Composición de la bovinaza .....	25
1.8. CARACTERÍSTICAS DEL COMPOST .....	26
1.8.1. Microbiológicas .....	27
2. LIXIVIADOS.....	28
2.1. Caracterización y composición de los lixiviados.....	28
2.2. METALES PESADOS.....	30
2.2.1. Efectos de los Metales Pesados: .....	31
2.2.2. Efecto sobre la Cadena Alimenticia:.....	32
2.2.3. Los elementos caracterizados en un lixiviado tienen las siguientes características: .....	32

3.	MICROORGANISMOS EFICACES, EM.....	33
3.1.	<i>Principales microorganismos en el EM</i> .....	34
3.1.1.	<i>Bacterias fototróficas (Rhodopseudomonas spp.)</i> .....	34
3.1.2.	<i>Bacterias ácido lácticas (Lactobacillus spp.)</i> .....	35
3.1.3.	<i>Levaduras (Saccharomycetes spp.)</i> .....	35
3.2.	<i>Compostaje con EM</i> .....	36
4.	IMPORTANCIA DE LA AGRICULTURA ORGÁNICA.....	36
4.1.	<i>Tendencias del mercado de productos orgánicos</i> .....	37
4.2.	<i>Normatividad</i> .....	38
4.3.	<i>Respuesta de los cultivos al uso de abonos orgánicos</i> .....	38
4.4.	PRODUCCIÓN HORTOFRUTÍCOLA.....	40
5.	ANTECEDENTES.....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
6.	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	41
7.	JUSTIFICACIÓN.....	42
8.	OBJETIVO GENERAL.....	42
8.1.	<i>Objetivos específicos</i> .....	43
9.	METODOLOGÍA.....	43
9.1.	<i>Ubicación geográfica</i> .....	43
9.2.	<i>Métodos</i> .....	44
9.3.	<i>Caracterización del lixiviado agroecológico y convencional</i> .....	47
9.4.	<i>Prueba de eficacia en campo</i> .....	48
9.5.	<i>Diseño estadístico</i> .....	49
9.6.	<i>Análisis de resultados</i> .....	50
<b>II.</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>51</b>
2.1.	ESTRUCTURA FÍSICA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS SÓLIDOS Y CAPTACIÓN DE LIXIVIADOS. ....	51
2.2.	CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL LIXIVIADO AGROECOLÓGICO EN CONTRASTE CON EL LIXIVIADO CONVENCIONAL .....	52
2.3.	CARACTERIZACIÓN DE METALES PESADOS DEL LIXIVIADO AGROECOLÓGICO EN CONTRASTE CON EL LIXIVIADO CONVENCIONAL .....	55
2.4.	CARACTERIZACIÓN MICROBIOLÓGICA DEL LIXIVIADO AGROECOLÓGICO EN CONTRASTE CON EL LIXIVIADO CONVENCIONAL	57
2.5.	ANÁLISIS DISMINUCIÓN DE LOS PROBLEMAS FITOSANITARIOS Y POS COSECHA.....	61
<b>III.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	<b>66</b>
<b>IV.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b> .....	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
<b>V.</b>	<b>ANEXOS</b> .....	<b>74</b>

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Evolución de la materia orgánica

Figura 2. Fases del compostaje por acción de la temperatura

Figura 3. Zona de estudio municipio de Madrid Cundinamarca

Figura 4. Ubicación Compostera agroecológica

Figura 5. Montaje de la estructura y distribución del material agroecológico

Figura 6. Canalización de lixiviados

Figura 7. Manejo compostera y lixiviado convencional

Figura 8. Conductividad eléctrica en los lixiviados agroecológico y convencional.

Figura 9. Contenido de macroelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

Figura 10. Contenido de microelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

Figura 11. Contenido de metales pesados en los lixiviados agroecológico y convencional.

Figura 12. Tendencia central en la variable peso de cabeza de lechuga.

Figura 13. Diámetro de cabeza de plantas de lechuga

## LISTA DE TABLAS

- Tabla 1. Condiciones ideales para el compostaje.
- Tabla 2. Principales características de algunos materiales orgánicos.
- Tabla 3. Contenido referenciales de C/N de algunos residuos orgánicos.
- Tabla 4. Características Fisicoquímicas de compost
- Tabla 5. Indicadores microbiológicos de calidad de compost.
- Tabla 6. Materiales utilizados en el compostaje agroecológico
- Tabla 7. Materiales utilizados en el compostaje convencional
- Tabla 8. Laboratorios y tipo de análisis utilizados en los lixiviados agroecológico y convencional
- Tabla 9. Tratamientos diseño experimental
- Tabla 10. Características de la compostera en pila
- Tabla 11. Análisis químico del lixiviado agroecológico y lixiviado convencional
- Tabla 12. Contenido de metales pesados de los lixiviados agroecológico y convencional
- Tabla 13. Composición microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional
- Tabla 14. Analisis de Varianza
- Tabla 15. Test de Normalidad
- Tabla 16. Test de Friedman
- Tabla 17. Medias de tendencia central
- Tabla 18. Resumen de medidas de tendencia central por tratamiento
- Tabla 19. Analisis de varianza
- Tabla 20. Test de Durbin watson
- Tabla 21. Test comparación de medias de Tuckey



# I. CONTEXTO GENERAL Y METODOLÓGICO

## 1.1. Materia Orgánica

Según Moreno, (2007), la materia orgánica que se aporte al suelo es de donde todos los microorganismos del suelo obtendrán sus fuentes energéticas, y dichos microorganismos organizarán toda la vida del suelo. La materia orgánica que se incorpora al suelo procederá de plantas, animales muertos o incluso restos de microorganismos, y su composición será muy variada: almidón, celulosa, hemicelulosa, lignina, quitina, pectina, exopolisacáridos, proteínas, péptidos, lípidos, etc. Otras fuentes de materia orgánica, frecuentemente obviadas, pero que pueden tener una importancia clave sobre las propiedades del suelo incluyen:

- Los compuestos orgánicos solubles en agua y los mucílago exudados o excretados por la raíz, que pueden llegar a ser del 18 al 25 % del peso total de la planta.
- Los compuestos orgánicos desprendidos de la raíz en forma volátil.
- Los microorganismos del suelo.

Por tanto, y teniendo en cuenta su diversa procedencia, se puede definir la materia orgánica del suelo como un complejo sistema de sustancias en un estado dinámico permanente, producido por la incorporación al mismo de residuos orgánicos, principalmente de origen vegetal, y en menor cuantía animal, en diferentes estados de descomposición y evolución (Moreno & *al.*, 2007).

La materia orgánica del suelo se suele dividir en dos grupos: la fracción no húmica y el humus (Allison, 1973). La fracción no húmica está constituida por residuos de plantas y animales más o menos alterados, la biomasa del suelo y sustancias orgánicas de composición definida tales como proteínas, glúcidos, aminoácidos, grasas, ceras y ácidos orgánicos de bajo peso molecular.

Urbano, (2001) define el humus como un conjunto de sustancias orgánicas de colores pardos y negruzco que resultan de la descomposición de materias de origen vegetal y animal y de la que resultan productos muy polimerizados, de estructura amorfa, estable a la degradación y propiedades coloidales e hidrofílicas, se compone de una mezcla de materiales orgánicos. De forma empírica, se han establecido tres fracciones predominantes: ácidos húmicos, ácidos fúlvicos y huminas, y otras en menor proporción, como son las sustancias mucilaginosas y gomosas, segregadas por los microorganismos, y hormonas y antibióticos, que ejercen un efecto esencial pero poco conocido sobre el crecimiento de las plantas y sobre su resistencia al parasitismo (Porta, 2003; Fuentes, J. L., 1999).

## Naturaleza de la materia orgánica del suelo

La materia orgánica del suelo tiene su origen en los restos de vegetales, animales y microorganismos que se acumulan en el suelo o se incorpora a él, y que están sometidos a un proceso constante de transformación, bajo la acción de factores edáficos, climáticos y biológicos. Sobre estos residuos actúan microorganismos que los descomponen y transforman en otras materias, según dos procesos distintos (Fuentes, J. L., 1999):

- Una parte de los componentes de los residuos orgánicos se descompone con rapidez en formas inorgánicas simples (agua, dióxido de carbono, nitratos, sulfatos, etc.). Este proceso se llama mineralización.
- La fracción que no se mineraliza en esta primera etapa experimenta un proceso de descomposición, degradación y síntesis de nuevos compuestos, que en sentido amplio reciben el nombre de humus. Este proceso se llama humificación.

Posteriormente el humus se mineraliza muy lentamente, descomponiéndose en productos inorgánicos simples.

A diferencia de Fuentes, J. L. (1999), Urbano (2001) dice que la materia orgánica, poco o nada descompuestos, sufre una primera evolución que la transforma en humus para, en una segunda etapa, continuar descomponiéndose hasta convertirse en elementos minerales.

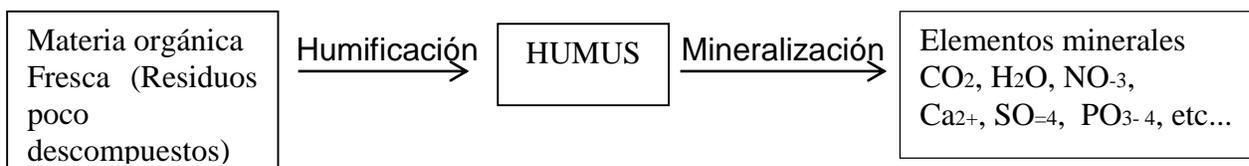


Figura 1. Evolución de la materia orgánica: esquema  
Fuente: Urbano, 2001.

En lo que sí coinciden todos los autores es que en todo momento, coexisten en el suelo los dos procesos, mineralización y humificación, y que la resultante de éstos determinará el equilibrio húmico del suelo.

La velocidad y el equilibrio entre los procesos de mineralización y humificación depende de la actividad de los microorganismos, que, a su vez, viene condicionado por factores climáticos (temperatura, humedad), edáficos (textura, estructura, acidez, contenido de nutrientes) y de cultivo (laboreo, riego, fertilización) (Fuentes, J. L., 1999). La humificación es responsable de la acumulación de la materia orgánica en el suelo mientras que la mineralización conduce a su destrucción.

Por tanto se puede decir que la materia orgánica juega un papel importante en el suelo y en el desarrollo del sistema productivo agrícola que esté acorde a las necesidades de una eficiente productividad y la preservación del medio ambiente. De acuerdo con un gran número de autores (Robert, 1996) se ha producido un descenso importante en el contenido de materia orgánica de los suelos que se agravará si las condiciones de temperatura previstas en los modelos de cambio climático por efecto invernadero tienen lugar. El descenso del contenido en materia orgánica de los suelos de las praderas de EE.UU., puestos en cultivo hace aproximadamente un siglo se estima en un 50%. En Europa la Agencia Europea de Medio Ambiente (1998) estima que unos 115 millones de has están sufriendo erosión por agua y otras 42 has por aire, siendo el problema especialmente grave en el área mediterránea donde procesos de degradación de suelos por desertificación y salinización ya son lamentablemente frecuentes. Se estima que en algunas zonas suelos cultivados con contenidos de carbono superiores al 4% han descendido significativamente entre un 30 a un 50% en los últimos 15 años (Macías y Calvo de Anta, 2000) señalando que además de la extracción de biomasa influyen en este cambio la elevación del pH por los aportes fertilizantes y enmiendas y el incremento de la disponibilidad de N, factores ambos que incrementan la actividad biológica y, por lo tanto los procesos de mineralización de la materia orgánica.

Existe una posible solución al problema o necesidad que se está presentando, el realizar aportes de materia orgánica a los suelos es cada vez más acertada ya que se observa notablemente el proceso erosivo que incrementa y lo que contrarresta este fenómeno es la adición de esta, así mismo el incremento y la subutilización de los residuos que se generan son un insumo vital para generar un proceso de transformación de la materia orgánica.

La generación de residuos ha existido desde siempre. Los desechos de animales y plantas contribuyeron al sostenimiento de la vida de los ecosistemas desde un principio y el hombre por su actividad, continuamente los está produciendo. Sin embargo, el constante incremento de las tasas de generación de los mismos ha originado en muchos casos la ruptura del equilibrio entre la biosfera y las actividades humanas (Costa et al., 1991).

Se debe tener en cuenta que se ha manejado durante muchos años monocultivos intensivos donde se ha generado una excesiva aplicación de químicos y fertilizantes para mejorar la producción, lo cual ha traído consecuencias y es lo a hoy en diferentes zonas cultivadas se está manifestando desertificación de los suelos, alteración y desequilibrio en los suelos destinados para la producción agrícola. También hay que mencionar que la materia orgánica permite que se regule y se observe una recuperación del suelo. En este aspecto, los residuos orgánicos desde el punto de vista de su aprovechamiento agrícola, pueden desempeñar un papel muy importante (García et al., 1992a).

Hasta ahora, el aporte de materia orgánica a los suelos sometidos a cultivo se venía realizando por medio de los estiércoles y las turbas. Pero tanto una como las otras,

cada vez son más escasas y costosas, lo que ha hecho necesaria la búsqueda de nuevas fuentes de materia orgánica para los suelos, a poder ser de bajo costo y fácil acceso (Banegas & *al.*, 2007).

En la actualidad el aprovechamiento agrícola de residuos orgánicos de distintos orígenes es una práctica importante y amigable con el medio ambiente. Es obvio que un uso racional de este tipo de materiales en agricultura no es la novedad (Saguer y Garrabou, 1996) y en principio no tendría por qué ser problemático; pero puede serlo si las condiciones técnicas de aplicación no son satisfactorias. Las aplicaciones han de ser establecidas según las necesidades de suelos y cultivos no por las de los generadores de los residuos. El objetivo prioritario de su uso debe ser el de mantener y mejorar la fertilidad del suelo, a la vez que conseguir una producción agrícola de calidad y con una rentabilidad aceptable. (Martínez, 1995, Boixadera, 2000).

La adición de materia orgánica puede influir positivamente en las propiedades físicas del suelo (Stevenson, 1982; Roldán *et al.*, 2003), mejorando su estructura, incrementando la formación y estabilidad de agregados, y la capacidad de retención hídrica del suelo. Este hecho disminuye la escorrentía, evitando el lavado de nutrientes, y mejora el desarrollo vegetal (Bastida & *al.*, 2007). La actividad microbiana se verá positivamente influenciada por el mayor contenido de fuentes de energía y nutrientes en el suelo, aumentando su desarrollo y actividad, lo que tendría efectos positivos sobre el crecimiento vegetal.

## **1.2. Compostaje**

Haug (1993) describe el compost como: Materia orgánica que ha sido estabilizada hasta transformarse en un producto parecido a las sustancias húmicas del suelo que está libre de patógenos y de semillas de malas hierbas, que no atrae insectos o vectores, que puede ser manejada y almacenada sin ocasionar molestias y que es beneficiosa para el suelo y el crecimiento de las plantas. Indudablemente lo que se pretende al realizar el compostaje es reducir los índices de contaminación a la atmosfera, suelo, agua y a la salud humana.

Una definición que enmarca un espacio único. El compost es el material orgánico que se obtiene como producto de la acción microbiana controlada sobre residuos orgánicos tales como hojarasca, rastrojos, subproductos maderables, estiércoles etc. (Trinidad, 2000).

Con estos residuos en forma separada o mezclada, se forman pilas que por acción de organismos del suelo forman un material de gran utilidad para los suelos agrícolas ya que mejoran la fertilidad y propiedades fisicoquímicas y biológicas (Trinidad, 2000).

En este momento se presenta la fermentación aeróbica de una mezcla de materiales orgánicos en condiciones específicas de aireación, humedad, temperatura y

nutrientes, y con la intervención de bacterias, hongos y numerosos insectos detritívoros (Labrador, 1996).

Por tanto la clave ideal para la obtención de un buen abono, es mantener una excelente descomposición aeróbica controlada y una mezcla inicial correcta de los materiales a emplear (Seifert, 1988).

Esta definición plantea de manera sencilla lo que es el compostaje, pero si revisamos el proceso, este parte de una alta actividad de microorganismos en los residuos orgánicos, que finalmente propician la transformación de la materia de una manera controlada y aeróbicamente, interviniendo diferentes factores que influyen en el éxito para la obtención del producto final.

Con el desarrollo de la microbiología y fundamentalmente a partir de los trabajos de Sergius Winogradsky (1856-1953) y Martinus Willem Beijerinck (1851-1931) fue posible establecer el papel fundamental que desempeñan los microorganismos como agentes geoquímicos, en los ciclos biológicamente importantes de transformación de la materia en la biosfera. En el proceso se define claramente la actividad microbial y el grado de biodegradación de los residuos orgánicos, entre los que se pueden distinguir cuatro etapas que están directamente relacionadas con la temperatura donde se da la sucesión de microorganismos.

Como dice (Arroyave, 1999) es un proceso natural y biooxidativo, en el que intervienen numerosos y variados microorganismos aerobios que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en estado sólido, implica el paso por una etapa termófila dando al final como producto de los procesos de degradación de dióxido de carbono, agua y minerales, como también una materia orgánica estable, libre de patógenos y disponible para ser utilizada en la agricultura como abono acondicionador de suelos sin que cause fenómenos adversos. Además del alto contenido de macro y micronutrientes, el compost contiene compuestos orgánicos importantes entre los que están: ácidos húmicos y fulvicos aminoácidos y alcoholes (Ecoalmanzora, 2001).

### **1.2.1. Fases del Proceso de Compostaje**

Jaramillo, enuncia cuatro (4) fases durante el proceso del compostaje, las cuales se describen a continuación no sin antes resaltar que el paso del material por distintas fases, fase de mineralización (fase mesófila y fase termófila) y la fase de maduración, consigue destruir las sustancias fitotóxicas y los microorganismos patógenos, garantizando su saneamiento, y originando, a su vez, una materia orgánica más estable y humificada útil para ser empleada como enmienda orgánica en los suelos (García & *al.*, 1992).

### **1.2.2. Fase Mesófila**

En esta fase la temperatura oscila entre 10° y 40°C, los microorganismos que se presentan en su gran mayoría son bacterias y hongos y en menos cantidad

actinomicetos, se alimentan de proteínas, lípidos y azúcares que son consumidos rápidamente, pese a que hay una limitada diversidad se presentan procesos de fermentación, nitrificación, oxidaciones aeróbicas y oxidación de compuestos reducidos de azufre, fósforo y otros elementos liberados, al presentarse una alta actividad metabólica la temperatura se aumenta y se producen ácidos orgánicos que conducen a que el pH disminuya. En esta etapa la relación C/N es de especial importancia ya que el carbono aportara la energía a los microorganismos y el nitrógeno es esencial para la síntesis de nuevas moléculas, por ello la relación debe estar entorno 30, si superamos esta proporción la actividad biológica disminuye, mientras que proporciones superiores de N provocan el agotamiento rápido del oxígeno, y la pérdida del exceso en forma de amoníaco, tóxico para la población bacteriana o por lixiviados. La duración de esta etapa puede estar alrededor de horas o días depende de diversos factores.

### **1.2.3. Fase Termófila**

En esta fase la temperatura esta alrededor de 40° a 70°C, los microorganismos que predominan son las bacterias y actinomicetos que desplazan por decirlo de cierta manera los hongos considerados patógenos, esporas y semillas de arvenses, se presenta una mayor producción de CO<sub>2</sub> que induce la muerte de larvas de insectos, la celulosa, hemicelulosa, proteínas y ceras son transformadas y el pH aumenta por el consumo de ácidos orgánicos y la transformación del nitrógeno en amonio, de igual manera se presenta la producción de iones de potasio, magnesio y calcio, en esta etapa se presenta el agotamiento de nutrientes y la desaparición de microorganismos termófilos hasta el descenso de la temperatura.

### **1.2.4. Fase termófila o de enfriamiento**

Una vez la temperatura disminuye y los nutrientes se agotan reaparecen los microorganismos mesófilos, predominando los actinomicetos y hongos (*Aspergillus* y *Mucor*), que se alimentaran de celulosa y lignina, por tanto se estima que continúan con su proceso de transformación del material orgánico.

### **1.2.5. Fase de Maduración o curado**

La temperatura continúa disminuyendo hasta estabilizarse a la del ambiente, disminuyen las poblaciones de microorganismos hasta la finalización del proceso que culmina con la ausencia de actividad metabólica, se estima que la biomasa puede permanecer constante por un cierto periodo aun cuando la gran mayoría de la población se haya hecho no viable, así mismo el pH desciende alrededor de 7 y 8, los actinomicetos adquieren especial importancia en la formación ácidos húmicos y son frecuentemente productores de antibióticos que inhiben el crecimiento de bacterias y patógenos, mientras que los macroorganismos tales como nematodos, rotíferos, escarabajos, lombrices etc., incrementan su actividad desempeñando la función de remover, excavar, moler, masticar y en general romper físicamente los

materiales incrementando el área superficial de estos para permitir el acceso de los microorganismos.

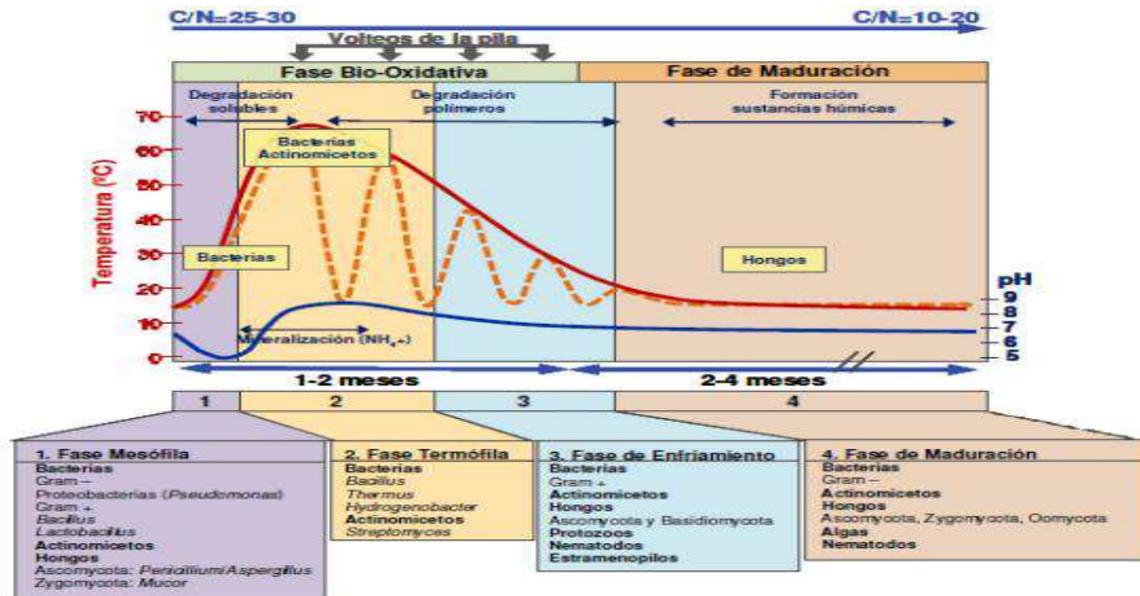


Figura 2.. Fases del compostaje por acción de la temperatura.

Fuente: <http://hdl.handle.net/10251/8685>

### 1.3. VARIABLES EN EL PROCESO DE COMPOSTAJE

En el proceso de compostaje se debe tener en cuenta diversos factores que influyen en la calidad y eficiencia del producto, durante este proceso se han de controlar los distintos factores que aseguren una correcta proliferación microbiana y, por consiguiente, una adecuada mineralización de la materia orgánica (Cronje y col, 2003), entre los que encontramos:

#### 1.3.1. Tamaño de las partículas

Se debe tener en cuenta el tamaño de las partículas, las cuales se sugiere estar fraccionadas a un tamaño mediano, ni muy grandes ni pequeñas, en primer lugar porque su proceso demoraría más y segundo porque podría compactarse, en este proceso intervienen los microorganismos encargados de transformar la materia y está directamente relacionada con el espacio entre partículas y la difusión de oxígeno.

Las dimensiones consideradas óptimas son distintas según los criterios de distintos autores, variando entre 1 y 5 cm (Haug, 1993), entre 2 y 5 cm (Kiehl, 1985) o entre 2,5 y 2,7 cm (Tchobanogolus y col., 1994).

### **1.3.2. Relación Carbono/Nitrógeno y Carbono/fosforo**

Lo ideal es tener una relación C/N de 20 – 35 la cual es adecuada al inicio del proceso; pero si ésta relación es muy elevada, se disminuye la actividad biológica porque la materia orgánica a compostar es poco biodegradable por lo que la lentitud del proceso no se deberá a la falta de nitrógeno sino a la cantidad de carbono.

Restrepo menciona que la información más importante sobre la riqueza de un compost, es la proporción en la que están los materiales carbonados y el nitrógeno. Poco nitrógeno frena la descomposición y da un abono pobre. Más nitrógeno que el necesario para la descomposición óptima, provocará probablemente su propia pérdida y habrá problemas por malos olores, debido a la liberación de N en forma amoniacal (NH<sub>4</sub>). Estas pérdidas, si bien no afectan negativamente al compostaje, suponen un derroche, porque el N es el nutriente fundamental para los cultivos, así como un problema medioambiental (Hedegaard y col, 1996) ya que el amoniaco es un gas con un considerable efecto invernadero.

El compost ideal para la fabricación del abono, teóricamente debe poseer una relación 25-30: 1 de C:N (Restrepo, 2002). Por tanto los microorganismos utilizan generalmente 30 partes de C por cada una de Nitrógeno.

De igual manera el fosforo es un nutriente importante en el proceso de proliferación y síntesis microbiana. Singh y Amberger (1990) encontraron que cuando compostaban paja de trigo en presencia de roca fosfática, la descomposición de la paja aumentaba al hacerlo la cantidad de fósforo añadido. La relación C/P para el compostaje es óptima entre 75 y 150, mientras que la relación N/P debe estar entre 5 y 20.

### **1.3.3. Nutrientes**

La característica química más importante de los sustratos es su composición elemental. La utilidad agronómica de los residuos con posibilidad de ser compostados está en función de la disponibilidad de los elementos nutritivos que posean (Kiehl, 1985). Los microorganismos sólo pueden aprovechar compuestos simples, por lo que las moléculas más complejas se rompen en otras más sencillas (por ejemplo las proteínas en aminoácidos y estos en amoníaco) para poder ser asimiladas (Castaldi y col, 2005).

Entre los elementos que componen el sustrato destacan el C, N, y P, que son macronutrientes fundamentales para el desarrollo microbiano. El carbono es necesario en la síntesis celular para la formación del protoplasma, así como la de los lípidos, grasas y carbohidratos; durante el metabolismo se oxida para producir energía y anhídrido carbónico; es el elemento que debe estar presente en mayor cantidad puesto que constituye el 50% de las células de los microorganismos y el 25% del anhídrido carbónico que se desprende en la respiración. El nitrógeno es

un elemento esencial para la reproducción celular debido a la naturaleza proteica del protoplasma; se ha demostrado que la calidad de un compost como fertilizante está directamente relacionada con su contenido de N. El fósforo desempeña un papel fundamental en la formación de compuestos celulares ricos en energía, siendo necesario para el metabolismo microbiano (Bueno, Díaz y Cabrera, 2008). Se comprueba que, en general, entre el inicio y el final de la incubación se produce un aumento de las concentraciones de los distintos nutrientes, debido a la pérdida de materia orgánica de la masa a compostar (Díaz y col, 2004, Michel y col., 2004). Además de C, N y P existen otros nutrientes presentes en menor cantidad (micronutrientes). Estos tienen un importante papel en la síntesis de las enzimas, en el metabolismo de los microorganismos y en los mecanismos de transporte intra y extracelular (Miyatake y col., 2006).

#### **1.3.4. Aireación-Oxígeno**

Importante ya que es un proceso aerobio y los microorganismos deben estar en presencia de oxígeno suficiente para que se dé el proceso y se desarrolle de manera rápida alcanzando una alta calidad. Las pilas de compostaje presentan porcentajes variables de oxígeno en el aire de sus espacios libres: la parte más externa contiene casi tanto oxígeno como el aire (18-20%); hacia el interior el contenido de oxígeno va disminuyendo, mientras que el de dióxido de carbono va aumentando, hasta el punto de que a una profundidad mayor de 60 cm el contenido de oxígeno puede estar entre 0,5 y 2% (Ekinci y col, 2004).

Una aireación insuficiente provoca una sustitución de los microorganismos aerobios por anaerobios, con el consiguiente retardo en la descomposición, la aparición de sulfuro de hidrógeno y la producción de malos olores (Bidlingmaier, 1996). El exceso de ventilación podría provocar el enfriamiento de la masa y una alta desecación con la consiguiente reducción de la actividad metabólica de los microorganismos (Zhu, 2006).

(Soto, 2003) afirma que el oxígeno es un factor determinante para obtener un producto de buena calidad a corto plazo, durante el proceso de compostaje, especialmente en las fases iniciales. Para favorecer una buena oxigenación se debe manejar un volteo frecuente, tamaño de partícula adecuada, utilizar materiales que permitan una buena oxigenación y manejo adecuado del agua. Adicional a ello se evita la generación de malos olores.

#### **1.3.5. pH**

El compostaje permite un amplio intervalo de pH (3.0 – 7.0), sin embargo los valores óptimos están entre 5.5 y 7.0, porque las bacterias prefieren un medio casi neutro, mientras los hongos se desarrollan mejor en un medio ligeramente ácido. Suler y col (1977) establecieron una relación entre los cambios de pH y la aireación de la mezcla, concluyendo que un compostaje con la aireación adecuada conduce a

productos finales con un pH entre 7 y 8; valores más bajos del pH son indicativos de fenómenos anaeróbicos y de que el material aún no está maduro. La NTC 5167 de 2004 (ICONTEC, 2006) dice que si el producto se disuelve en agua, su disolución no debe desarrollar pH alcalino es decir mayor de 7.

### 1.3.6. Humedad

Es imprescindible para el proceso de fisiológico de los microorganismos, ya que es el medio por donde se transportan las sustancias solubles que alimentan las células, Varios autores (Haug, 1993; Madejón y col, 2002; Jeris y col, 1973) consideran que la humedad de los materiales es la variable más importante en el compostaje y ha sido calificada como un importante criterio para la optimación del compostaje. Es importante evitar la humedad elevada ya que cuando está muy alta, el aire de los espacios entre partículas de residuos se desplaza y el proceso pasa a ser anaerobio. Por otro lado, si la humedad es muy baja, disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso se retarda. Se consideran niveles óptimos de humedades entre 40% - 60%, éstos dependen de los tipos de material a utilizar. Por lo tanto, la humedad óptima depende del tipo de residuo; así se ha encontrado que, para la paja de cereales está entre 75 y 85%, para astillas de madera entre 75 y 90% y para residuos sólidos urbano (RSU) entre 50 y 55% (Haug, 1993).

### 1.3.7. Temperatura

Es otro factor sumamente importante y tal vez limitante en el proceso de compostaje, las fases mesófila y termófila, alcanzan los niveles óptimos para el desarrollo y accionamiento de los microorganismos, cuando el compost alcanza la temperatura más alta está contribuyendo a la eliminación de patógenos que pueden ser limitantes de calidad, ayudados por los antibióticos que producen los microorganismos, permitiendo así la sanitización del producto, de igual manera en cada fase por sus condiciones de temperatura especialmente se genera la producción de microorganismos importantes en el proceso de transformación de la materia orgánica.

(Coyne, 2000) enuncia que para la mayor parte de los microorganismos las altas temperaturas pueden causar una desnaturalización de las proteínas y alteran la permeabilidad de las membranas celulares microbianas. El rango de temperatura del suelo en el que los microorganismos pueden crecer forma un espectro continuo.

**Tabla 1. Condiciones ideales para el compostaje.**

CONDICIÓN	RANGO ACEPTABLE	CONDICIÓN ÓPTIMA
Relación C:N	20:1 – 40:1	25:1 – 30:1
Humedad	40 % – 65 %	50% - 60%

Oxígeno	+5%	Aproximadamente 8
pH	5.5 – 9.0	6.5 – 8.0
Temperatura	55 °C - 75°C	65 °C - 70°C
Tamaño de partícula	0,5 – 1,0	Variable

FUENTE: RYNK, R. On - Farm composting handbook. Northeast Regional Agricultural Engineering service. Cooperative extension. New York, USA, 1992; p.186.

#### 1.4. Importancia de la incorporación del compost

Una vez terminado el proceso de compostaje, este toma un valor incalculable como herramienta para la producción agroecológica, constituyéndose como una enmienda y/o biofertilizante para la recuperación de suelos y un medio para mejorar el desarrollo vegetal de los cultivos.

De forma general, la adición de enmiendas orgánicas puede influir positivamente en las propiedades físicas del suelo (Stevenson, 1982; Roldán *et al.*, 2003), así como de manera química y microbiológica.

El primer efecto es sobre las propiedades físicas del suelo, una de las principales características es el aumento de la porosidad del suelo, interviene en la estructura del suelo, indudablemente en la retención de agua en el suelo, uno de los causales de pérdida de suelo, así mismo influye positivamente sobre la formación y estabilidad de los agregados en el suelo (Lax & *al.*, 1994).

El aumento detectado en suelos enmendados sobre los agregados estables es fundamental para que mejore la productividad y fertilidad de suelos, en particular cuando éstos se encuentran sometidos a climas semiáridos, y severos procesos degradativos (Roldán & *al.*, 2003). No se debe desconocer que el efecto disminuye al paso del tiempo, ya que la materia orgánica que se incorpora se mineraliza.

El efecto sobre las propiedades físico-químicas del suelo, se ve reflejado en el momento de incorporar el compost este ejerce un efecto tampón debido a la presencia de iones  $Ca^{+2}$  y de sales básicas (Hernando, 1988). La capacidad de cambio catiónica aumenta en suelos tratados con materiales orgánicos. Cualquier enmienda que potencie la formación de humus, producirá un aumento significativo de ésta ya que el humus posee una capacidad de cambio catiónica que es de 3 a 6 veces superior a la de las arcillas del suelo (Moreno & *al.*, 2008). Según Schnitzer (1978) del 20 al 70% de la capacidad de cambio catiónica de muchos suelos es causada por el humus. Se debe tener en cuenta que algunas enmiendas orgánicas pueden contener cantidades apreciables de sales lo cual repercute en la posible salinización del suelo.

En cuanto al efecto sobre las propiedades químicas al realizar la incorporación del compost se produce un incremento en el contenido de materia orgánica. Este

incremento dependerá de las características del suelo, de la dosis de material orgánico y de la forma y frecuencia de aplicación (Moreno *et al.*, 2007).

Adani & Tambone, (2005) indicaron que la incorporación de compost de residuos sólidos urbanos tiende a aumentar ligeramente el contenido de huminas y de ácidos húmicos de un suelo pardo, disminuyendo el contenido de ácidos fúlvicos. Hernando (1988) observó que estos materiales, incorporados en el suelo, incrementaban ligeramente los porcentajes de nitrógeno e hidrógeno de los ácidos húmicos, así como su relación E4/E6, lo que implicaría su menor tamaño de partícula y de peso molecular. Los residuos orgánicos urbanos aumentan los contenidos en macro y micronutrientes del suelo, debido a que éstos se presentan en cantidades importantes en los citados residuos (Ayuso *et al.*, 1996). Estos materiales aportan el nitrógeno y fósforo mayoritariamente en forma orgánica mientras que el resto de macronutrientes son aportados en forma inorgánica. La eficacia de estos residuos como fertilizantes depende de diversos factores tales como el tipo de suelo y tipo de cultivo, existiendo una gran controversia respecto a esto (Gallardo-Lara & Nogales, 1987). A pesar de ello, estos autores mantienen que las enmiendas orgánicas supone una ventaja de los residuos orgánicos frente a los fertilizantes inorgánicos es el ser una fuente gradual de nutrientes.

Teniendo en cuenta las propiedades físicas y químicas del suelo que se favorecen por la incorporación de materia orgánica (compost), de igual manera redundan incremento de la población microbiana, que se traduce en el incremento de las enzimas y metabolitos del suelo. La enmienda orgánica crea un micro hábitat muy adecuado para el desarrollo de diversas poblaciones microbianas, y de su actividad (Ros & *al.*, 2008).

Una enmienda orgánica como el compost, aporta al suelo una enorme cantidad de sustratos, capaces de fomentar la síntesis de una gran diversidad de enzimas, fundamentalmente del tipo hidrolítico (Moreno & *al.*, 2007; Tejeda & *al.*, 2007). Las enzimas son responsables de la mayor parte de las reacciones que intervienen en los procesos de mineralización e inmovilización de los nutrientes en el suelo y por tanto están en relación con la disponibilidad de los mismos para la planta (Perucci, 1990).

Algunos de los metabolitos liberados por los microorganismos (tipo vitaminas y/o aminoácidos, etc.) o moléculas de bajo peso molecular procedentes de la mineralización de la materia orgánica pueden influir de forma positiva y directa sobre el crecimiento vegetal. También es importante indicar que parte de estas enzimas quedarán protegidas de la degradación e inactivación, al quedar inmovilizadas por la fracción húmica de la materia orgánica incorporada, mediante formación de complejos tipo enzima-humus (Dick & Tabatabai, 1992; Ceccanti & García, 1994).

Sin embargo, un aspecto a tener presente es que dichos aportes no deben suponer desde ningún punto de vista, ni por supuesto, a lo largo del tiempo post-aplicación, un riesgo para la biodiversidad microbiana del suelo (Klammer & *al.*, 2008; dicho riesgo podría venir motivado por las sustancias tóxicas que puedan incorporarse al

suelo y que afecten negativamente a una serie determinada de microorganismos, o que alienten un desequilibrio microbiano debido al hecho de introducir ciertos sustratos implicados exclusivamente en un determinado proceso (Bastida & *al.*, 2007, 2008).

Así mismo se debe resaltar que la utilización de materia orgánica como enmienda natural beneficia tanto a suelo como a la planta, reflejando de cierta manera un aspecto saludable y vigoroso en el crecimiento y desarrollo de estas. Algunos autores comentan, la capacidad que tienen las enmiendas orgánicas de aportar un cierto efecto biocontrol (o biopesticida), debido a que intervienen sobre algunos microorganismos patógenos del suelo (Bernal-Vicente & *al.*, 2008; Cayuela & *al.*, 2008).

## **1.5. Ventajas del compostaje**

El manejo de residuos orgánicos a través del compostaje es importante tanto a nivel ambiental, agrícola, social y económico desde la perspectiva que se le dé, bien sea a nivel doméstico o a nivel industrial.

### **1.5.1. Ventajas ambientales**

- Cierre del ciclo de la materia orgánica.
- Recuperación y reciclaje de recursos naturales.
- Reducción de la cantidad de residuos sólidos urbanos destinados a vertedero e incineración, evitando así problemas de contaminación de suelos por lixiviados orgánicos y emisiones provenientes de la descomposición en vertederos y la quema en incineradoras.
- El transporte de los residuos se agiliza y se optimiza el tiempo, por lo que se reduce el tiempo de trabajo de los camiones de la basura necesarios en cada municipio, y con ello las emisiones de dióxido de carbono.
- Lograr una interacción óptima entre la tierra, los animales y las plantas, conservar los nutrientes naturales y los flujos de energía y potenciar diversidad biológica, lo cual contribuye al objetivo global de la agricultura sostenible de preservar los recursos naturales y los ecosistemas para las generaciones futuras (FAO, 1995).

### **1.5.2. Ventajas agrícolas**

- El compost favorece la productividad de los suelos de una manera amigable con el medio ambiente ya que la no presencia de químico y la adición de materia orgánica facilita a los ecosistemas incorporarse a la cadena alimentaria, así mismo los elementos para el incremento de la población microbiana que activa y revitaliza

el suelo. Se trata de un fertilizante y/o enmienda natural, corrector de la estructura del suelo, protector contra la erosión y sustrato de cultivo.

- Al mejorar mínimamente la estructura del suelo, incorporar materia orgánica, reactivar la microbiota del suelo y disponibilidad de nutrientes permite que los cultivos generen resistencia a problemas fitosanitarios.
- También se puede utilizar en las zonas verdes destinadas para jardines y de recreo para proteger y corregir sus necesidades de mejora de la estructura del suelo y fertilización.
- El compost inmaduro también se puede utilizar como acolchado en plazas municipales, o zonas verdes, dotando al municipio de espacios amigables con el medio ambiente.

### **1.5.3. Ventajas Sociales**

- El compostaje doméstico es una gran herramienta de educación ambiental y participación ciudadana.
- Supone una vía interesante de educación y concienciación ambiental, ya que permite visualizar la responsabilidad individual sobre los residuos y permite participar en la solución de una problemática importante.
- Ofrece una puerta abierta a otras campañas y acciones en pro del medio ambiente, relativa a residuos y ampliable a otras temáticas ambientales.
- Se ha demostrado como una herramienta que fomenta la participación ciudadana, a través de experiencias comunitarias que favorecen las relaciones sociales, resaltando valores de responsabilidad, respeto y trabajo en equipo.

### **1.5.4. Ventajas económicas**

- Implementar el compostaje doméstico y comunitario en un Municipio, es una enorme ventaja frente al ahorro económico, tanto por manejo, aprovechamiento y transporte donde el primer beneficiario es el ciudadano y luego el municipio, redundando en un ahorro y beneficio mutuo.
- La producción de abono doméstico o con los residuos que genera la finca permite que el productor elabore un abono amigable con el medio ambiente a bajo costo, adicional a ello se reutiliza el material y se genera la conciencia ambiental, no requiere invertir en abonos orgánicos por que los produce en su finca.

## **1.6. Técnicas de Compostaje**

Según Labrador (2001) y Costa et al. (1991) los sistemas de compostaje pueden clasificarse como:

### **1.6.1. Sistemas abiertos**

Son los sistemas tradicionales, donde los sustratos a compostar se disponen en pilas que pueden estar al aire libre o cubiertas. Entre estos tenemos:

#### **1.6.2. Apilamiento Estático Con aireación por succión (Sistema Beltsville4) Sin volteos**

Es el que necesita mayor tiempo de fermentación. Suficiente para proveer de una concentración de oxígeno de 15% a un compost compuesto de lodo de depuradora y de virutas de madera.

- Con aire espirado en conjunción con el control de la temperatura
- (Sistema Rutgers5). Ventilación alterna y control de temperatura.

Apilamiento con volteo Volteos en función de la temperatura y la humedad el cual permite diseñar pilas de mayor altura. Apilamiento con ventilación forzada Sistema mecánico de ventilación por tuberías o canales.

### **1.6.3. Sistemas cerrados**

Sistemas utilizados generalmente para el tratamiento de desechos sólidos municipales de tamaño medio o grande, diseñados para reducir el área y tiempo de compostaje y hacer un mejor control de los parámetros del proceso. Sin embargo sus costos son elevados. Entre estos tenemos:

1.6.3.1. Reactores verticales Continuos: Con alturas de 4 a 10 m donde el material compostable se encuentra en masa única. En este sistema se controla temperatura, aireación y características de los gases. El tiempo de compostaje es corto (dos semanas).

1.6.3.2. Discontinuos: Reactores divididos en varios niveles, de 2 a 3 m de altura, donde la masa se voltea en la parte superior descendiendo al siguiente nivel según su madurez. El tiempo de fermentación es de una semana.

1.6.3.3. Reactores horizontales Estáticos: Tiempo de compostaje de 15 a 30 días. El producto requiere un compostaje posterior.

- 1.6.3.4. Dinámico: Cilindro de 2 a 3 m de diámetro y con giros de 2 a 3 rpm., donde los residuos permanecen en el reactor de 24 a 36 horas. El material es compostado posteriormente en pilas o reactores.

## 1.7. Composición y características previas al proceso de compostaje.

Todo proceso de compostaje depende en gran medida de los componentes que este tenga y las características que tengan los materiales utilizados para el proceso de transformación de la materia orgánica, por lo general se utilizan dos grandes insumos que se dividen en residuos de origen vegetal y residuos de origen mineral, de igual manera también se utilizan otros materiales que tienen la capacidad de descomponerse de manera rápida y le permite aportes importantes en los contenidos nutricionales del compost.

Desde el punto de vista de la transformación de los residuos orgánicos en abonos, el proceso de compostaje es la aceleración de este proceso favoreciendo las condiciones de humedad y oxigenación para proporcionar un medio óptimo para el desarrollo de los microorganismos. De manera específica el aprovechamiento de residuos orgánicos para la obtención de composta en agricultura orgánica está limitado a aquellos residuos orgánicos que garanticen su inocuidad siguiendo la normatividad de cada agencia certificadora según sea el caso (FAO, 1991; Nieto-Garibay, et al., 2002).

Tabla 2. Principales características de algunos materiales orgánicos.

	Material	%N	C:N	Humedad %
Residuos de origen animal	Estiércol Vacuno	1.5 – 4.2	11 – 30	67 – 87
	Contenido ruminal	9.6		85.8
Residuos Municipales	Plaza	1.9 – 2.9	14 – 16	69
	Cascarilla de arroz	1.9 – 6.2		
Residuos vegetales	Cortes de pasto	2.0 – 6.0	9 – 25	-
	Hojas	0.5 – 1.3	40 – 80	-
	Cortes de poda	1.5	25 - 30	20 – 30

Fuente: (Larco Reyes, 2004).

Tabla 3. Contenido referenciales de C/N de algunos residuos orgánicos.

MATERIALES- Base Seca	C%	N%	C/N
Aserrines 1	40	0.	400
Podas, tallos, maíz	45	0.3	150
Paja de Caña	40	0.5	80
Hojas de árboles	40	1	40

Estiércol de equino	15	0.5	30
Estiércol ovino	16	0.8	20
Estiércol bovino	7	0.5	15
Estiércol de gallina	15	1.5	10
Harina de sangre	35	15	2

Fuente: Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos. OPS/HEP/HES/URU

### 1.7.1. Residuos de origen vegetal

Este tipo de residuos se refieren principalmente a los residuos agrícolas de cosechas y se definen como la fracción o fracciones de un cultivo que no constituyen la cosecha propiamente dicha y a aquella parte de la cosecha que no cumple con los requisitos de calidad mínima para ser comercializada como tal. De forma similar, los restos de poda de los cultivos leñosos deben ser considerados asimismo residuos agrícolas estrictos (Martínez Farré, 2006). Estos residuos vegetales adquieren gran importancia ya que se caracterizan por su alto contenido de materia orgánica y la relación C/N, el considerable volumen que se produce en las parcelas y la utilización que se le puede dar como insumo que minimiza el impacto ambiental e ingresa al sistema agroecológico.

### 1.7.2. Residuos de origen animal

En virtud de que el estiércol animal es una importante fuente de nutrientes para la planta, las excretas del ganado es también demandado en este tipo de granjas (Mader et al., 2002; Wood et al., 2002; Pimentel et al., 2005). Lo anterior tiene su explicación en el hecho de que está bien documentado que el estiércol animal puede servir como una importante fuente de materia orgánica y mejorar los elementos nutritivos del suelo, tales como N, P y K (Van Faasen y Van Dijk, 1987, citado por Habteselassie et al., 2006; Schlegel, 1992; Cameron et al., 1997; Stratton and Rechcigl, 1998, citado por Habteselassie et al., 2006).

### 1.7.3. Composición de la bovinaza

La Tabla 3. Muestra la composición del estiércol, en su mayor parte materia orgánica, cantidades importantes de minerales y micronutrientes que le confieren buenas cualidades como mejorador de las propiedades químicas y físicas de los suelos, y portador de cantidades de nutrimentos importantes para las plantas.

Tabla 3. Composición química (%) del estiércol de vaca lechera

Componente	Porcentaje
Materia Orgánica	36.1
Nitrógeno (N)	1,5
Fósforo (P)	1,20
Potasio (K)	1,51
Calcio (Ca)	3,21
Magnesio (Mg)	0,53

Fuente: García L., Suárez E., Hernández R. y Betancourt A., Facultad de Medicina Veterinaria, UNAH Artículos técnicos 36 Rvta. ACPA 4/2009 ESTIÉRCOL BOVINO Mitos y realidades, Recuperado el 27 julio de 2015, <http://www.actaf.co.cu/revistas/Revista%20ACPA/2009/REVISTA%2004/17%20ESTIERCOL%20BOVINO.pdf>

### 1.8. Características del compost

Una vez se termina el proceso de compostaje el material obtenido adquiere unas características propias y definitivas para determinar la calidad del compost, entre las que encontramos las características fisicoquímicas y microbiológicas.

Tabla 4. Características Fisicoquímicas de compost

#### Características Fisicoquímicas

Color	Oscuro
Olor	A suelo
Carbono Orgánico	Entre el 15% - 25%
Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C.)	60 miliequivalentes (meq) por cada 100 gramos
pH	5.5
Capacidad de retención de agua (C.R.A.)	> 1
Escherichia Coli	Máximo 1.000 unidades formadoras de colonia (u.f.c)
Salmonella	Ausente
Densidad	0.4 gramos / cm <sup>3</sup>
Humedad	20 %
Macro contaminantes (residuos de origen urbano)	0.2 %
Contenido de Nitrógeno	1-1.5% en peso del total del material
Relación C/N	20 – 35

Fuente:<http://compostaje.es.tl/Tipos-y-metodos-para-elaboraci%F3n-de-compost.htm> (Recuperado el 26 de Julio de 2015).

### 1.8.1. Microbiológicas

Tal vez es una de las características, más determinantes para ubicar el producto en el parámetro de buena calidad y el estándar de uso, aquí se puede definir su utilización por los contenidos de organismos patógenos limitantes para la producción agroecológica.

La identificación de la microflora presente en el compost, permite realizar el estudio de las funciones específicas de cada grupo de microorganismos y determinar su acción potencial en el área de la nutrición vegetal, cuando el producto es agregado al suelo (Blandón *et al.*, 1998).

Mencionan que la destrucción de patógenos durante la fase termófila permite la obtención de un abono orgánico no contaminante. Adema los patógenos no solo se destruyen por la temperatura, sino también por la competencia de nutrientes y las interacciones antagonistas microbianas (Bonilla & Mosquera, 2007).

Pero aun así, es importante hacer una prueba de calidad al compost final pues todo fertilizante o acondicionador orgánico no pedogénico, deberá demostrar ausencia de *Salmonella spp.*, en el producto final y menos de 100UFC/g de enterobacterias totales. Además, si alguna de las materias primas es de origen vegetal, deberán estar excentos de fitopatógenos de los géneros *Fusarium spp*, *Botrytis spp.*, *Rhizoctonia spp.*, *Phytophthora spp.* y huevos de helmintos (Icontec 2004).

En relación con los análisis microbiológicos, el compost utilizado como fertilizante y acondicionador orgánico deberá demostrar que no supera los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: *Salmonella sp.*: Ausentes en 25 gramos de producto final, *Enterobacterias totales*: Menos de 100 UFC/g de producto final. Para evaluar si el producto presenta contenidos de microorganismos benéficos, debe relacionarse el recuento de microorganismos mesófilos aerobios, mohos y levaduras. También se puede determinar la presencia o ausencia de protozoos y nemátodos (Muñoz Trochez, 2005).

Tabla 5. Indicadores microbiológicos de calidad de compost.

PARAMETRO	ICONTEC	ICA	CHILE
Coliformes fecales	-	Ausencia	< 1000 NMP/g de compost Base Seca
Estreptococos fecales	-	-	-
Enterobacterias totales	< 100		
<i>Salmonella s.p</i>	Ausencia	Ausencia	Ausencia
Huevos de helminto viables	-	-	Ausencia
Virus MS-2	-	-	Densidad máxima < 1 UFP/4g de compost Base Seca
<i>Listeria monocytogenes</i>	-	-	Ausencia
<i>Clostridium perfringens</i>	-	-	10 <sup>4</sup> /g de compost

(Icontec NTC 5167 2004; Norma Chilena de Calidad de compost NCh 2880.2003)

Como consecuencia de los vacíos existentes en la normativa colombiana, la mayoría de las veces se hace necesario acudir a las normas extranjeras para garantizar altos estándares de calidad en el producto final.

## **2. Lixiviados**

Uno de los extractos de compost más utilizados en la actualidad, es el que se conoce con el nombre de lixiviado de compost, el cual es producto de la extracción de los compuestos orgánicos e inorgánicos presentes en el material sólido. Este producto al ser aplicado a las plantas de manera foliar, tiene un efecto más rápido y efectivo que el propio compost (Menderzycki, 2001).

Los lixiviados se producen directamente de las pilas de compost, los cuales son ricos en sustancias nutritivas y contienen altos porcentajes de microorganismos, que se diferencian en las diferentes etapas del proceso de compostaje, con el transcurrir del tiempo o la maduración del compost este va adquiriendo un color negrozco lo cual indica que ya está listo para su uso.

Los extractos o lixiviados han sido considerados tradicionalmente como un fertilizante líquido orgánico. Recientemente, estos materiales están siendo utilizados para el control de plagas y enfermedades. Por lo que se han realizado estudios para conocer los componentes responsables de su capacidad de combatir patógenos.

En este sentido, investigaciones realizadas en los Estados Unidos, Alemania y Japón, utilizando diferentes lixiviados de compost, han demostrado su potencial en la protección de cultivos para un amplio rango de enfermedades, como es el tizón de la papa o tomate, el mildiu polvoso y el *Fusarium* en manzano (Larco Reyes, 2004).

Los lixiviados se originan en los lugares de disposición final de los residuos orgánicos (Sawaittayothin & Polprasert, 2007) y la percolación de agua a través de los mismos (Renou et al, 2008). Los lixiviados están compuestos por un amplio rango de componentes inorgánicos, naturales y xenobióticos. Al considerar el tratamiento de los lixiviados, es importante resaltar las características que han sido identificadas como la alta biodegradabilidad, concentraciones altas de sustancias como nitrógeno amoniacal que resulta tóxico para muchos organismos, y altos contenidos de sólidos suspendidos. (Salem et al, 2007. Citado por Torres & Vásquez, 2010)

### **2.1. Caracterización y composición de los lixiviados**

Existen numerosas caracterizaciones de los lixiviados en donde se hace énfasis en su alto poder contaminante. Se concluye usualmente que los lixiviados contienen características contaminantes principales, es decir alto contenido de materia orgánica, alto contenido de nitrógeno y fósforo, presencia abundante de patógenos e igualmente de sustancias tóxicas como metales pesados, compuestos

recalcitrantes y xenobioticos.(Giraldo, 2001) La presencia de agua permite una combinación de procesos físicos, químicos y microbiológicos que transfiere contaminantes del residuos sólido al líquido, dando como resulta la formación de lixiviados (Lei et al., 2007, citado por Madera, 2010). Además, depende del tipo de desecho que se encuentra confinado, del nivel de degradación de los residuos y del volumen producido. En el proceso, no pueden verse separados los líquidos provenientes de procesos de reacción bioquímica y de lixiviación. Todo cambio en la estructura y composición del relleno tiene efecto sobre las corrientes y la acumulación, de tal modo que el agua y los procesos en un relleno son magnitudes que se influyen recíprocamente. (Méndez et al., 2004)

Los lixiviados, tienen una gran abundancia y diversidad de microorganismos benéficos, por lo que no son considerados pesticidas *per se*, cuyo objetivo, es el de competir con otros microorganismos por espacio, alimentación y su sitio de infección en caso de patógenos. Otros, contienen químicos antimicrobianos que producen la inhibición del crecimiento de hongos. Dada la gran variedad de lixiviados es muy difícil determinar el número de microorganismos benéficos presentes. Una vez aplicado el lixiviado a la superficie de la hoja, los microorganismos benéficos ocupan los nichos esenciales y consumen los exudados que los microorganismos patogénicos deberían consumir, interfiriendo directamente en su desarrollo (Larco Reyes, 2004).

En cuanto a la composición microbiana presente en los extractos, se han determinado bacterias, hongos y protozoarios, como componentes del compost que junto con sustancias químicas, como fenoles y aminoácidos inhiben la aparición de enfermedades a través de varios mecanismos, tales como: aumento en la resistencia de la planta a la infección, antagonismo y competición con el patógeno, entre otros.

Sin lugar a dudas los lixiviados por la cantidad de microorganismos que alberga permite y facilita a las plantas una interacción microbial que actúa como el sistema inmunológico que es capaz de contrarrestar la acción de patógenos.

Así mismo otros estudios realizados demuestran que los extractos de compost poseen componentes activos de bacterias (*Bacillus*), fermentos (*Sporobolomyces* y *Cryptococcus*) y hongos, además de antagonistas químicos como fenoles y aminoácidos, los cuales tienen efectos positivos sobre el crecimiento y condiciones sanitarias de las plantas (Mendzvcki, 2001).

Finalmente, diferentes investigadores coinciden en que el éxito de estos productos radica principalmente en la forma de preparación, calidad del compost, clases de microorganismos presentes durante la fermentación, forma como se almacenen los biopreparados y método de aplicación (Larco Reyes, 2004).

El control de generación de lixiviado es un factor importante debido a los posibles contaminantes que generan durante el compostaje de residuos agrícolas como el

nitrógeno en forma de nitratos ( $\text{NO}_3^-$ ). Las pilas almacenadas y en proceso de maduración son fuentes potenciales de nitratos (Restrepo, J. 1998).

## 2. 2. Metales pesados

Las cantidades de metales pesados en los compost varían en función de los residuos que forman parte de él. El origen de algunos elementos tóxicos que aparecen tanto en residuos sólidos urbanos como en lodos de depuradora, hay que buscarlo en la utilización de ellos por parte de las industrias y que bien directamente a través de ellas o por medio del consumidor llegan a los residuos urbanos.

La existencia de esta contaminación por elementos metálicos, interesa tenerla en cuenta cuando se emplean dosis masivas de compost, puesto que existe una serie de cultivos, como la lechuga y el tomate, que tienen tendencia a acumular metales pesados. Parece ser que de los metales que poseen los residuos urbanos, solo el Zn, Mn y B están dotados de cierta movilidad, sin embargo, se debe advertir que en algunos compost con alto contenido en Cd, este elemento puede pasar a la parte vegetativa de la planta, como ocurre en el caso del maíz. Una mención especial debe hacerse al Hg, el cual tiene tendencia a concentrarse fuertemente en algunos cultivos, como el champiñón.

Factores que Regulan el Paso de Metales Pesados del Suelo a la Planta: Son muy numerosos e incluso no todos se conocen en la actualidad. Podemos dividirlo en dos apartados:

Factores Relativos al Compost: El conocimiento de las cantidades totales de metales pesados que contienen los compost, permite apreciar los riesgos de acumulación de ellos en el suelo y valorar sus posibles peligros potenciales; pero el verdadero problema estriba en la posibilidad de migración que tengan dichos metales en el suelo, así como su disponibilidad para las plantas. Generalmente, los metales se encuentran en concentraciones bajas si se considera la fracción hidrosoluble de los compost, lo que significa que el peligro ligado a esta fase es más bien pequeño. Si sólo fuese preocupante la concentración de los metales contenidos en dicha fracción, el aporte de compost supondría poco problema; pero existe otra fracción de metales ligados a la parte sólida que se puede poner a disposición de las plantas. La fijación de los metales pesados por la fracción sólida de los compost, podría deberse a su materia orgánica, por medio de formación de complejos o bien por la formación de complejos minerales insolubles, como los carbonatos, óxidos, etc. El pH de los compost también influye bastante; éstos tienen normalmente valores comprendidos entre 7 y 8, lo cual determinará una movilidad pequeña, a excepción de los anfóteros (Juste y Pommel., 1997).

Además de los contenidos totales de metales pesados, interesa conocer algunas otras fracciones de ellos. Son muy estudiados aquellos que se extraen con agentes quelantes (DTPA, EDTA, etc.) y que da una idea de la cantidad de metal que pueda estar en disposición de ser asimilados por las plantas con el tiempo (fracción potencialmente asimilable); así mismo es importante conocer las fracciones que se extraen con una sal neutra ( $\text{CaCl}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ , etc.) que indican la fracción de cambio,

y, por supuesto, también es interesante la fracción soluble en agua, que sería la que estaría en la solución del suelo. Estas dos últimas fracciones son las que pueden absorber las plantas de una forma más inmediata.

En base a trabajos realizados, se puede afirmar que, en general, el proceso de compostaje a que se someten los residuos, hace aumentar la concentración de metales pesados totales, debido sin duda a la pérdida de peso que experimenta la mezcla como consecuencia de la mineralización de la materia orgánica. Sin embargo, en vez del contenido total, se estudia la fracción extraíble con DTPA, para algunos metales pesados no se extrae conforme avanza el compostaje, sino que se produce cierta insolubilización. Este hecho se puede deber, por una parte, a fenómenos de oxidación puesto que definimos el compostaje como una biooxidación; pero, además, dicho proceso hace aumentar, en condiciones normales, el contenido en grupos funcionales de los productos, como consecuencia de su materia orgánica más evolucionada, lo que puede contribuir a la formación de complejos con los metales y su consiguiente insolubilización. En conclusión, el proceso de compostaje hace que metales pesados que inicialmente están en forma muy asequibles para ser absorbidos por las plantas se insolubilizan (Costa et al., 1991).

La fase sólida del propio suelo puede retener a los metales pesados aportados por los compost, en base a los siguientes mecanismos:

**Intercambio de Cationes entre la Fase Líquida y Sólida:** Cuanto mayor sea la capacidad catiónica del suelo, mayor será la inmovilización que se ejerza sobre los metales. Esta capacidad de cambio catiónica estará en función de la cantidad y tipos de materia orgánica y arcilla que posea dicho suelo.

**pH del Suelo:** Cuanto menor sea, mayor será el riesgo del paso de metales tóxicos a la solución. En 1979, Lindsay comprobó que una unidad de incremento en el pH hace descender 100 veces los niveles de Cd, Cu, Ni y Zn en la solución del suelo. Las condiciones redox y el pH intervienen directamente sobre la estabilidad química de los compuestos que fijan los metales pesados, y en consecuencia sobre su solubilidad. De todo ello resulta que la movilidad de los elementos metálicos es muy variable, dependen del estado de saturación, y aumentan con el carácter reductor del suelo.

**Efectos Sinérgicos:** Debido a éstos, dos elementos pueden producir acciones superiores a las que se obtendrían sumando separadamente las acciones de ambos. También se pueden dar efectos antagónicos que, orientados de manera adecuada, pueden resultar útiles para limitar los riesgos eliminados por la presencia de ciertos elementos en los compost. (Costa et al., 1991)

### **2.2.1. Efectos de los Metales Pesados**

**Efectos sobre las Plantas:** Los metales pesados contenidos en los compost pueden ser absorbidos por las plantas, y esto depende en gran medida de la naturaleza del vegetal y de su sensibilidad, pudiéndose establecer, según Spotswood y Raymer (1973) la siguiente secuencia: leguminosas>remolacha>manzano>cereales.

Además, la acumulación de los metales se puede dar en las raíces, hojas, tallos, frutos, etc., y los problemas que surgen son muy variados. La edad de las plantas también es un factor a tener en cuenta a la hora del estudio de la asimilación de metales pesados. Los metales pesados que pueden ser más problemáticos son el Cd y Ni, cuya concentración en lodos puede llegar a ser elevada, y el Cu y Zn, que tienden a acumularse en los tejidos vegetales cuando existen en gran proporción. (Costa et al., 1991).

### **2.2.2. Efecto sobre la Cadena Alimenticia**

Según Chaney, en la cadena alimentaria pueden entrar metales pesados procedentes de las plantas; los elementos representativos son Cd y Cu raramente el Zn. Los animales más sensibles sufren toxicidad de Zn si la dieta contiene entre 500 y 1000 ppm de este metal como sulfato. Pero las plantas que contengan 1000 ppm de Zn adquieren un tamaño tan reducido que, aparte de no ser rentables económicamente, su parte comestible para el animal no llegará a cantidades nocivas para ellos (Chaney, 1977).

Cuando se aplica compost con altos contenidos en Cd, la forma de evitar su toxicidad es elevar su contenido en Zn para que la relación Cd/Zn esté por debajo del 0,5%, y que la planta resulte dañada por el Zn antes de que las cantidades peligrosas de Cd lleguen al animal.

También el Cu daña normalmente los cultivos antes de que su contenido en la planta llegue a ser tóxico para los animales. El ganado ovino es muy sensible a este metal, por lo que no se deben emplear composts ricos en este elemento para cultivos que se vayan a destinar a pastos para este tipo de ganado.

Por todo lo expuesto anteriormente, pensamos que, respecto al problema que plantean los metales pesados incluidos en los residuos que se van a utilizar en los compost (residuos urbanos en especial), es muy difícil de generalizar, pues entran en juego factores del suelo donde se aplican (pH y capacidad de cambio catiónico principalmente), así como la sensibilidad y edad de la planta que se va a desarrollar o existe sobre ese suelo, unido todo esto a la tendencia que tenga el elemento en cuestión dentro del compost a unirse a la parte mineral o a la materia orgánica. El proceso de compostaje en sí puede hacer disminuir la cantidad de metales pesados a disposición de la planta, tanto por fenómenos de oxidación como por establecer uniones más fuertes con ellos al disponer al final del mismo de una materia orgánica más evolucionada, pero esto dependerá en gran medida de la química del propio elemento. (Costa et al., 1991)

### **2.2.3. Los elementos caracterizados en un lixiviado tienen las siguientes características**

Cromo Hexavalente (Cr+6). Es un elemento metálico de amplia distribución en la naturaleza, en forma de crocoita. Ocupa el cuarto lugar entre los 29 elementos biológicamente más importantes de la corteza terrestre. El cromo se encuentra en

varios estados de oxidación, siendo los más comunes el Cr+3 y el Cr+6 (Téllez et al, 2008). El Cr+6., es un elemento altamente tóxico para el ser humano y está clasificado por la IARC (International Agency for Research on Cancer) en el grupo I (cancerígeno comprobado en humanos).

Cadmio (Cd+2). Es un subproducto de la minería y la fundición de plomo y zinc. Es el séptimo metal pesado más tóxico según la Agencia de Sustancias Tóxicas y Registro de 9 enfermedades (CIS, 2003). El cadmio es biopersistente, dentro de los efectos negativos a la exposición de este metal se han identificado: obstrucción de pulmones (cáncer), afecta los huesos (osteoporosis), incrementa presión en la sangre (Lenntech, 2009).

Mercurio (Hg+2). Es un metal líquido, color plata brillante, es buen conductor de la electricidad y relativamente inerte ante el oxígeno y los ácidos; es soluble en líquidos polares y no polares. Es el tercer metal pesado más tóxico según la ATSDR's (CIS, 2003). Este metal es prácticamente inabsorbible por la piel o el tracto gastrointestinal. El mercurio inorgánico se oxida a Hg+2 en el organismo y circula en la sangre unido a membranas celulares, tiene el potencial de dañar el tracto gastrointestinal, afecta la formación de esperma, causa insuficiencia renal, afecta el sistema inmunológico, altera los sistemas genéticos, las enzimas, daña el sistema nervioso (como la coordinación y los sentidos del tacto, gusto y vista) (CIS, 2003).

Plomo (Pb+2). Es el segundo metal pesado más tóxico según la ATSDR's. Es un elemento que ha sido usado en gran medida por el ser humano, por ejemplo en tuberías, baterías, pesticidas, gasolina (en algunos países continúa siendo usado), entre otros usos (CIS, 2003). Se ha identificado que los niños son particularmente sensibles al plomo, pueden llegar a absorber más del 50% del total que ingieran (CIS, 2003). Altos niveles de exposición pueden resultar en efectos bioquímicos tóxicos, como la afección de la síntesis de hemoglobina, efectos en riñones, tracto gastrointestinal, sistema reproductor, sistema nervioso (Lenntech, 2009).

Esto indica el riesgo potencial a la salud humana y al ambiente frente a altas concentraciones de algunos de los metales pesados, en el caso concreto de la ciudad de Cali se comprobó la presencia de éstos contaminantes en agua sub-superficial, superficial y en el suelo del área de estudio (Distrito de Agua Blanca). Para el primer caso, se encontraron concentraciones superiores a lo permitido por la normatividad local de Hg y NO<sub>3</sub>; en agua superficial Hg, Ar, Pb, NO<sub>2</sub> y NO<sub>3</sub>, y en el suelo de Cd (Universidad del Valle, 2009).

### **3. Microorganismos eficaces, EM.**

EM significa microorganismos eficaces. El equipo científico de Fundases expone que el concepto y tecnología fue desarrollado por el Doctor Teruo Higa en la Universidad de Ryukyus, Okinawa, Japón, y el estudio se completó en 1982. El principio fundamental de esta tecnología fue la introducción de un grupo de microorganismos benéficos para mejorar las condiciones del suelo, suprimir putrefacción (incluyendo enfermedades) microbios y mejorar la eficacia del uso de la materia orgánica por las plantas.

Investigaciones muestran que la inoculación de cultivos de EM al ecosistema del suelo/planta mejora la calidad y salud del suelo, y el crecimiento, producción, calidad de los productos. También en el uso en animales ha demostrado beneficios similares.

El EM puede aumentar significativamente los efectos benéficos en suelos buenos y prácticas agrícolas como rotación de cultivos, uso de enmiendas orgánicas, labranza conservacionista, reciclado de residuos de cultivos y biocontrol de plagas.

El EM ayuda al proceso de descomposición de materiales orgánicos y durante la fermentación produce ácidos orgánicos que normalmente no está disponible como: Ácidos lácticos, ácidos acéticos, aminoácidos y ácidos málicos, sustancias bioactivas y vitaminas. Un ingrediente primordial en este proceso es la materia orgánica que es suministrada por el reciclado de residuos de los cultivos, materia verde y deshechos animales. Asimismo, este proceso lleva a un incremento de humus en el suelo: Las bacterias ácido lácticas, que es un importante microorganismo en el EM, suprimen microbios patogénicos directos indirectamente por la producción de actinomicetes. También se conoce que el efecto antioxidante del EM mejora el sistema inmunológico de plantas y animales.

### **3.1. Principales microorganismos en el EM**

#### **3.1.1. Bacterias fototróficas (*Rhodopseudomonas* spp.)**

Las bacterias fototróficas son un grupo de microbios independientes y autosuficientes. Estas bacterias sintetizan sustancias útiles de secreciones de raíces, materia orgánica y/o gases dañinos (ej: ácido sulfhídrico) con el uso de luz solar y calor del suelo como fuentes de energía. Estas sustancias útiles incluyen aminoácidos, ácidos nucleicos, sustancias bioactivas y azúcares, los cuales promueven el crecimiento y desarrollo de la planta.

Los metabolitos hechos por estos microorganismos son absorbidos directamente por las plantas y actúan como sustrato para el incremento poblacional de microorganismos benéficos. Por ejemplo, en la rizósfera las micorrizas vesicular, arbuscular (VA) se incrementan gracias a la disponibilidad de compuestos nitrogenados (aminoácidos) que son secretados por las bacterias fototróficas. Las micorrizas VA en respuesta incrementa la solubilidad de fosfatos en el suelo y por ello otorgan fósforo que no era disponible a las plantas. Las micorrizas VA también pueden coexistir con azobacter y rizobiums, incrementando la capacidad de las plantas para fijar nitrógeno de la atmósfera. (Fundases)

### **3.1.2. Bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* spp.)**

Las bacteria ácido lácticas producen ácido láctico de azúcares y otros carbohidratos, producidos por las bacterias fototrópicas y levaduras. Por eso, algunas comidas y bebidas como el yogur y encurtidos son hechas con bacterias ácido lácticas desde tiempos remotos. Sin embargo, el ácido láctico es un compuesto esterilizante fuerte que suprime microorganismos dañinos y ayuda a la descomposición de materiales como la lignina y la celulosa fermentándolos, removiendo efectos no deseables de la materia orgánica no descompuesta.

Las bacterias ácido lácticas tienen la habilidad de suprimir enfermedades incluyendo microorganismos como fusarium, que aparecen en programas de cultivos continuos. En circunstancias normales, especies como fusarium debilitan las plantas, exponiéndolos a enfermedades y poblaciones grandes de plagas como los nemátodos. El uso de bacterias ácido lácticas reducen las poblaciones de nemátodos y controla la propagación y dispersión de fusarium, y gracias a ello induce un mejor ambiente para el crecimiento de los cultivos.

### **3.1.3. Levaduras (*Saccharomycetes* spp.)**

Las levaduras sintetizan sustancias antimicrobiales y otras útiles, requeridas por las plantas para su crecimiento a partir de aminoácidos y azúcares secretados por las bacterias fototrópicas, materia orgánica y raíces de plantas.

Las sustancias bioactivas como las hormonas y las enzimas producidas por las levaduras promueven la división activa celular y radical. Estas secreciones también son sustratos útiles para el EM como las bacterias ácido lácticas y actinomicetes.

Las diferentes especies de los microorganismos eficaces (Bacterias fototrópicas, ácido lácticas y levaduras) tienen sus respectivas funciones. Sin embargo, las bacterias fototrópicas se pueden considerar como el núcleo de la actividad del EM. Las bacterias fototrópicas refuerzan las actividades de otros microorganismos. A este fenómeno se lo denomina “coexistencia y coprosperidad”.

Según estudios realizados por Fundases el aumento de poblaciones de EM en los suelos promueve el desarrollo de microorganismos benéficos existentes en el suelo. Ya que la microflora del suelo se torna abundante, y por ello el suelo desarrolla un sistema microbial bien balanceado. En este proceso microbios específicos (especialmente los dañinos) son suprimidos, a su vez reduciendo especies microbiales del suelo que causan enfermedades. En contraste, en estos suelos desarrollados, el EM mantiene un proceso simbiótico con las raíces de las plantas junto a la rizosfera.

Las raíces de las plantas también secretan sustancias como carbohidratos, aminoácidos, ácidos orgánicos y enzimas activas. El EM utiliza estas secreciones

para su crecimiento. En el transcurso de este proceso el EM también secreta y provee aminoácidos, ácidos nucleicos, una gran variedad de vitaminas y hormonas a las plantas. Esto significa que el EM en la rizosfera coexiste con las plantas. Por ello, en suelos dominados por el EM las plantas crecen excepcionalmente bien. (Fundases).

### **3.2. Compostaje con EM**

Los objetivos principales del uso de EM para compost son:

- Inocular y activar a los microorganismos benéficos al suelo a través de materia orgánica compostada
- Reduciendo el tiempo de compostaje
- Reducción de la generación de olores ofensivos e insectos nocivos
- Incrementar la solubilización de nutrientes
- Generación de sustancias bioactivas como enzimas, hormonas, aminoácidos

### **4. Importancia de la Agricultura Orgánica**

El concepto del manejo de productos naturales y materia orgánica en la agricultura, es tan viejo como la agricultura misma y como consecuencia, hace casi 100 años apareció la horticultura orgánica, que a medida que se fue desarrollando, se estableció como un sistema con prácticas bien definidas (Castaños, 1993).

Cuando no existía el avance tecnológico, se preparaban los suelos de manera rudimentaria artesanal, las enfermedades y plagas que se encontraban aprendían a convivir unas con otras existía un equilibrio, adicional a ello se encontraba un juego de plantas en cada lote, que permitía que entre estas establecieran niveles de competencia y aporte nutricional de una u otra manera, se conservaba un ambiente armónico entre las especies.

Lampkin (1990) indica que los cultivos orgánicos tuvieron una nueva perspectiva durante los 80s, no sólo en Inglaterra sino alrededor del mundo. Los problemas de sobre-producción en los países industrializados, y una baja producción en países en vías de desarrollo, además del impacto de la agricultura al medio ambiente, ha concentrado las mentalidades y ha traído una nueva forma de ver los logros obtenidos a partir de 1945. Hay varios problemas que se generan cuando se da una explicación o definición de cultivos orgánicos. Primeramente, hay varios conceptos erróneos acerca de este tópico que tiende a una visión llena de prejuicios y desvía la atención de los temas principales. En segundo lugar, la nomenclatura varía en diferentes partes del mundo, causando una confusión al observador sin conocimiento previo. En tercer lugar, existen muchos practicantes que creen que la agricultura orgánica exitosa involucra comprensión conceptual tanto como el empleo de técnicas prácticas específicas (Lampkin, 1990).

Recientemente, en las dos últimas décadas, con la relevancia que a nivel mundial han adquirido los conceptos ecologistas de preservación del medio ambiente y protección de la salud humana, esta práctica agronómica está adquiriendo aún más importancia, creándose a su abrigo, toda una cultura de consumo de alimentos y una productiva industria de comercialización de agro-insumos orgánicos. En México ya existen compañías que se responsabilizan de verificar y certificar la producción de alimentos cosechados bajo tal procedimiento (Castaños, 1993).

La creciente preocupación por el impacto negativo de la agricultura moderna sobre el medio ambiente y sobre la salud del consumidor, aunado al contundente rechazo del consumidor a los alimentos transgénicos, está conduciendo a un número creciente de agricultores y consumidores hacia la denominada agricultura orgánica o sustentable, por ser esta más saludable y más benigna, tanto para con los seres humanos como para con el medio ambiente (Ruiz, 2004).

El desarrollo rural sustentable se funda en la llamada agricultura orgánica, entendida esta como: “la producción agrícola basada en la optimización de los procesos biológicos y la aplicación de tecnologías compatibles con el medio ambiente. Se reduce en ella considerablemente el empleo de productos de síntesis química, lo mismo que se prescinde de la utilización de organismos genéticamente modificados”. Este tipo de producción se logra sólo mediante el uso racional de los recursos naturales, el incremento y/o mantenimiento tanto de la fertilidad del suelo así como de la biodiversidad (Córdova, et al., 2002).

#### 4.1. Tendencias del mercado de productos orgánicos

La agricultura orgánica en Colombia ha tomado fuerza en la última década convirtiéndose en una alternativa para los consumidores que les interesa productos inocuos libres de agroquímicos que contribuyan al bienestar y la salud, adicional a ello, grupos, asociaciones y personas que desean disminuir el deterioro de los recursos y presentar una alternativa de producción limpia que se perdió con el paso de los años y la entrada de insumos y tecnologías para el control fitosanitario.

En la actualidad, la agricultura orgánica certificada ocupa cerca del 1% de las tierras cultivadas con 37.2 millones de hectáreas, de las cuales un 23% se encuentran en América Latina (Willer, 2011) y cuenta con una participación en las ventas de alimentos que oscila entre el 1% y 2%, siendo el sector alimenticio de mayor crecimiento con tasas que han variado entre el 20% y 25% anual. Una muestra de esto es que entre los años 1995 y 2000 la superficie total de tierras en producción bajo este modelo se incrementaron un 300% en Europa y Estados Unidos (FAO, 2003).

La demanda de productos orgánicos se ha convertido en un mercado promisorio, donde el valor de las ventas mundiales pasó de 11 billones de dólares, a finales de la década de los 90, a 55 billones para el año 2009 (Willer, 2011).

Los países que tienen mayor demanda de productos orgánicos son los países de Europa y Estados Unidos, encontrando que en Asia África, Oceanía, latino América y el Caribe se consume y también se produce pero a baja escala acertando un déficit y un mercado promisorio para los países que se han inclinado por optar por este tipo d alternativas de producción agroecológica.

## **4.2. Normatividad**

En cuanto a la normatividad en Colombia esta se basa en las emitidas por el Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural (MADR) y el Instituto Colombiano agropecuario (ICA), las cuales han sido formuladas bajo la premisa de fomentar la producción y comercialización de los alimentos orgánicos y proteger la integridad de los consumidores, dentro de lo que se ha denominado el Plan Nacional de Agricultura Ecológica.

A continuación se mencionan las resoluciones más relevantes:

- Resolución 0150 de 2003 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), por la cual se establecen normas sobre fertilizantes y acondicionadores de suelos.
- Resolución 0375 de 2004 del ICA, con el cual se expide el Reglamento Técnico de Registro y Control de Bioinsumos y Extractos Vegetales.
- Resolución 0148 de 2004 del MADR, por la cual se establecen los requerimientos para obtener el Sello Único Nacional de Alimento Ecológico, otorgado por el MADR a aquellos productores que se encuentren certificados con entidades debidamente acreditadas ante la Superintendencia de Industria y Comercio (SIC) y autorizadas por el MADR.
- Resolución 0187 de 2006 del MADR, que deroga la Resolución 074 del 2002 y establece la normatividad para la producción primaria, procesamiento, empaquetado, etiquetado, almacenamiento, certificación, importación y comercialización y el sistema de control de productos agropecuarios ecológicos.
- Resolución 036 de 2007 del MADR, mediante la cual se modifica l administración y uso de la resolución 0148 de 2004 creada para otorgar el Sello Único Nacional de Alimento Orgánico.

## **4.3. Respuesta de los cultivos al uso de abonos orgánicos**

Los abonos o enmiendas orgánicas han tomado gran importancia por los efectos que genera tanto en los suelos como en los cultivos, la mayoría muestra una clara respuesta a la aplicación de abonos orgánicos, manera más evidente bajo condiciones temporales y en suelos sometidos a sistemas tradicionales. Los bioabonos o abonos orgánicos están considerados universales por el hecho que aportan casi todos los nutrientes que las plantas necesitan para su adecuado crecimiento y desarrollo; sin embargo, la disponibilidad de dichos elementos es más constante durante el desarrollo del cultivo por la mineralización gradual a que están sometidos (Trinidad, 2000).

Por lo general los productores utilizan abonos o compostas para el suelo, previo a la siembra. Sin embargo, en la actualidad se aprovecha también como biofertilizante foliar, en forma de téis o lixiviados que permiten el manejo de plagas y de enfermedades, dada su acción biocontroladora (Hoitink et al. 1997b)

El compost es bien conocido por impartir supresión directamente al suelo (Kloepper, 1980). Según estudios realizados por Dittmer (1991), cuando se realizan adiciones al suelo de material vegetal verde y estiércol fresco sin compostar no presentan u ofrecen una reducción de patógenos durante el periodo de aplicación.

Caso contrario cuando en los ensayos tradicionales de la aplicación de abonos orgánicos, siempre se han reportado respuestas superiores a estos, que con la aplicación de fertilizantes químicos que aporten cantidades equivalentes de Nitrógeno y Fósforo. Los bioabonos deben considerarse como la mejor opción para la sostenibilidad del recurso suelo; su uso ha permitido aumentar la producción y la obtención de productos agrícolas más sanos, es decir se ha contribuido con el desarrollo de una agricultura limpia que se considera como un sistema de producción agrícola orientado a la obtención de alimentos de alta calidad nutritiva sin el uso de insumos de síntesis química. Los productos obtenidos bajo este sistema de agricultura consideran un sobreprecio por su mejor calidad e inexistencia.

Como se ha dicho en el apartado anterior, la aplicación de muchos de los residuos orgánicos no es posible de una forma directa. Según el documento de trabajo "Biological treatment of biodregadable waste" ("Tratamiento biológico de los residuos biodegradables"; DGE; 2000) establece como objetivos promover el tratamiento de residuos biodegradables con el fin de evitar o reducir cualquier impacto ambiental, así como proteger los suelos y mejorar su calidad. Los procesos de tratamiento contemplados, en el documento anterior, son el compostaje, la digestión anaerobia y la combinación de los dos (Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J. y Bonmatí, A.; 2001). No existe un tratamiento estandarizable, aplicable de forma universal a cualquier tipo de residuo orgánico. La adopción de un sistema determinado depende de multitud de factores (Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J. y Bonmatí, A.; 2001):

Altieri, menciona que una vez las semillas y el compost y/o abono avícola se colocan en los surcos y se cubren con tierra. A medida que el cultivo crece, se mantiene desmalezado para evitar una competencia excesiva, con la biomasa de malezas dejada dentro de la hilera de cultivo en forma de mulch de cobertura o como insumo de materia orgánica. Sin fertilizantes químicos, se pueden obtener excelentes rendimientos, y más importante aún, sin experimentar importantes pérdidas de suelo (Altieri 1991).

#### 4.4. Producción hortofrutícola

Las hortalizas se han constituido en un renglón importante en la economía de la sabana de Bogotá y en otras zonas hortícolas del país, con el precedente que día tras día se han convertido en cultivos que demanda un alto porcentaje de agroquímicos que incrementan los costos de producción, pero aun así el sector hortícola ha incrementado el área sembrada en el país constituyéndose en una opción de cultivo con retorno rápido.

Como sector el Hortofrutícola tiene en la gran industria el 75.4% de los activos y el 71.8% de las ventas de frutas a nivel nacional y las microempresas sólo con el 2% de las ventas y el 1.7% del valor de los activos, que guarda perfecta relación con el comportamiento económico y social de la tierra en general en Colombia y de los problemas que lo aquejan.

Los principales cultivos hortícolas en Colombia son la papa, el tomate, cebolla cabezona y junca, zanahoria y repollo que en conjunto equivalen al 93% de la oferta. Sin embargo, los que presentan mayores tasas de crecimiento son en su orden: palmito, calabacín, espinaca, rábano, lechuga y col los cuales registraron tasas superiores al 15% anual. El comportamiento del consumo aparente de frutas y hortalizas frescas revela un mercado interno relativamente dinámico, con un crecimiento promedio anual de 1.5%, jalonado tanto por la producción como por las importaciones. El consumo de frutas y hortalizas del país es sólo de (200 gr por persona día) frente a los 400 gramos día que recomienda la OMS. Teniendo en cuenta este dato podemos presumir que día tras día las cifras se irán incrementando y la proyección tanto en siembra, producción y consumo tiende a ubicarse en un mercado selectivo que busca el bienestar y la salud.

Otro punto a destacar en el sector es que después del café y caña panelera, la hortofrutícola es el renglón que más aporta a la generación de empleo por ser altamente intensivo en el uso de la mano de obra. En el 2011 el subsector generó 532 mil empleos directos y 1.303 mil empleos indirectos. Estas cifras permiten deducir que el alta demanda de mano de obra no solo refleja un sector productivo que está creciendo pero que no cuenta con implementación tecnológica a nivel de herramientas, tecnología y técnicas de producción amigables con el medio ambiente.

Un estudio adelantado por la Universidad de Antioquia en el año 2007 determinó que las hortalizas de mayor demanda son tomate, lechuga, cebolla junca, cebolla cabezona, zanahoria, entre otras, en contraste, las frutas varían según la región, sin embargo predominan naranja, banano, piña, guayaba, tomate de árbol, entre otras.

La caracterización del consumo en las regiones, en términos de cifras, deja un buen balance para las frutas, ya que el porcentaje de personas que las consumen está entre 60 y 74 por ciento, mientras que las hortalizas apenas son consumidas entre 24 y 33 por ciento de las personas, según datos arrojados por la encuesta nacional de la situación nutricional en Colombia (ENSIN) 2005.

## 5. Planteamiento del problema

Partiendo que el compostaje es una práctica del sector agrícola que se implementa en todas las zonas del país, podríamos hablar que es un problema que afecta a toda la sociedad ya que está contribuyendo al deterioro y contaminación de suelos, aguas libres, aguas subterráneas y desprendimiento de CO<sub>2</sub> a la atmosfera acelerando el efecto invernadero.

Si tomamos a la población que está en contacto directo y son los principales afectados por el inadecuado manejo y uso que le dan a los procesos de transformación de residuos orgánicos, vegetales y/o animales y el subproducto líquido que genera (lixiviado), son inicialmente los pequeños y medianos agricultores que contaminan las fuentes de agua y suelos de su finca, pero con el tiempo el problema se traslada de diferentes maneras a la región. Gran parte de esta población no cuentan con una formación propicia y oportuna para el desarrollo productivo de sus tierras lo cual lo lleva a adoptar una cultura del voz a voz, lo que hace el uno el otro lo pone en práctica y así sucesivamente, un alto porcentaje de esta población viven de sus tierras y por las limitantes económicas y la subvaloración de su trabajo, los campos están habitados por personas mayores que en su ánimo de trabajar y persistir en su labor continúan en la ardua tarea de producir a todo costo, de allí el uso indiscriminado en la preparación de los suelo, los cultivos intensivos, el incremento del número de las cosechas, el uso desmedido de los fertilizantes minerales, fuentes químicas y el manejo inadecuado de los residuos y lixiviados, que están provocando un considerable desequilibrio entre los componentes de los suelos agrícolas. Como se observa son personas con un bajo nivel de educación, con ingresos generados por el trabajo de la tierra o agricultores que se emplean en los cultivos de la zona y van descuidando sus labores en las fincas.

Otro tipo de población afectada puede ser los habitantes de zonas urbanas, que producen residuos sólidos urbanos de origen doméstico, procedentes de mataderos, mercados o centros de acopio.

De igual manera los grandes productores de hortalizas de la sabana de Bogotá compran compostas a bajos precios muchas veces sin conocer su procedencia, por lo general estas son distribuidas por los cultivos de flores que en su mayoría no tienen un manejo adecuado de los residuos orgánicos incluyendo los lixiviados que no son canalizados ni reciclados, por tanto producen una alta contaminación ambiental y filtración a suelos y cuerpos de agua.

Por último la población que se ve afectada indirectamente pero que tiene contacto directo con los productos agrícolas son los consumidores, personas que desean consumir sus productos agrícolas y que desconocen el proceso de producción.

### **Pregunta de investigación:**

¿Cuál es el resultado de la evaluación de los lixiviados provenientes del proceso de manejo de residuos agroecológicos aplicados en un cultivo específico en campo, existe una diferencia significativa en su composición y la respuesta?

## **6. JUSTIFICACIÓN**

En nuestro país como en otros países del mundo se evidencia un fenómeno de alto consumo de materiales que no se reutilizan y que finalmente incrementan el porcentaje de contaminación en los rellenos sanitarios y en muchos sitios tanto de la ciudad como del sector rural, gran parte de los residuos sólidos urbanos están constituidos por algo más del 50% de residuos orgánicos que por su inadecuado manejo se convierten en un factor altamente contaminante para la salud del ser humano, tanto a nivel ambiental como a nivel de suelo y fuentes hídricas por la alta segregación de lixiviados; si reinvirtiéramos el efecto negativo que tienen estos residuos orgánicos hacia un manejo adecuado se podría obtener productos benéficos que contribuirían al mejoramiento de los suelos por aporte de nutrientes, minimización de agroquímicos, disminución de residuos en los rellenos sanitarios que finalmente generarían una disminución significativa a la contaminación ambiental.

Si los lixiviados se manejaran adecuadamente, conociéramos las propiedades, los elementos que la constituyen y se evidenciara el efecto positivo que tiene la utilización de este en el sector agrícola se lograría minimizar la problemática ambiental y se brindaría una alternativa ecológica, práctica y económica al pequeño agricultor. En la actualidad la práctica del compostaje se realiza en varias fincas de una manera rudimentaria y casi siempre es una actividad que no se le presta la atención requerida, adicional a ello se trabaja con residuos provenientes de aplicaciones químicas y no se tiene presente la composición de la compostera. Con este estudio se pretende estandarizar el proceso en la composición, la utilización de residuos de origen vegetal provenientes de producción agroecológica, residuos de origen animal proveniente de buenas prácticas ganaderas, la diferencia entre el lixiviado convencional vs el agroecológico y evidenciar a través de parcelas demostrativas su manejo y potencial en el sector agrícola. Finalmente se contribuiría para que sea asequible a los productores que son los que realizan gran parte del proceso, disminuyendo los costos de producción final en la cadena agrícola.

## **7. Objetivo general**

Evaluar el lixiviado agroecológico como acondicionador del suelo en el cultivo de lechuga del municipio de Madrid Cundinamarca.

## 7.1. Objetivos específicos

- Caracterizar la estructura física que se realiza para el manejo de residuos sólidos y captación de residuos líquidos, a nivel local.
- Determinar la composición del lixiviado de origen agroecológico.
- Establecer la diferencia entre el lixiviado extraído del compost convencional y el lixiviado de materiales agroecológicos
- Identificar la respuesta fitosanitaria y el rendimiento del cultivo con el manejo del lixiviado agroecológico.

## Hipótesis de investigación

H= Existen diferencias significativas en el cultivo de lechuga con el uso del lixiviado agroecológico.

## 8. Metodología

La ejecución del estudio se realizó en tres fases, propuesta estructura para el manejo de la compostera y recolección de lixiviados agroecológicos, caracterización del lixiviado agroecológico obtenido del proceso, caracterización del lixiviado de un compost convencional manejado en la zona y prueba de eficacia en campo.

### 8.1. Ubicación geográfica

El proceso de compostaje y la obtención del lixiviado agroecológico se realizó en el municipio de Anolaima Cundinamarca ubicado a 4° 45'40" Latitud Norte y 74° 27'54" Longitud W. Greenwich, tiene una altitud de 1.657 msnm, con temperatura promedio anual de 19 °C, presenta variaciones que van de 12 °C a 24 °C, dependiendo de las diferentes áreas agrológicas que se encuentran en el municipio. La precipitación promedio anual es de 1500 mm y la humedad relativa en invierno es del 80% y en verano del 70%. (Fuente: EOT Anolaima 2002).

Las pruebas en campo del lixiviado agroecológico se realizaron en el municipio de Madrid Cundinamarca ubicado a Latitud Norte 04 Grados 44 Minutos y 10.667 segundos; Longitud al oeste de Grenwich 74 Grados 15 Minutos y 47.060 Segundos; Altitud sobre el nivel del Mar 2.550,090 metros con temperatura promedio anual de 14 °C, La precipitación promedio anual es de 900 mm y la humedad relativa es del 88%. (Fuente: Orozco 2002).



Figura 3. Zona de estudio municipio de Madrid Cundinamarca

## 8.2. Métodos

Propuesta estructura para el manejo de la compostera y recolección de lixiviados agroecológicos

Se realizó el montaje de la estructura (compostera) para determinar el manejo adecuado de los residuos orgánicos, la canalización para la conducción y recolección de los lixiviados tomando como referencia una compostera en cubo con dimensiones iguales aprovechando las estibas y materiales que son de fácil consecución en la finca y sus alrededores para los cual se utilizaron los siguiente materiales: 8 estibas de madera de 1m por 1,10 m madera semicepillada, plástico negro y amarillo de 1,20 m de largo por 1,10 m de ancho, alambre número 10, 3 m, recipiente plástico capacidad 4 l, guadua de 1,20 m de largo y diámetro de 18cm, 6 estacas de madera de 0,70 m de largo. Se realiza la infraestructura tanto del techo como la compostera y se depositan los diferentes materiales a compostar, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 6. Materiales utilizados en el compostaje agroecológico

Material orgánico	Cantidad
Tierra del lote (cultivo de café)	Se disponen capas entre 15 y 20 cm de cada material, previamente
Residuos de cultivo de hortalizas	
Roca fosfórica (espolvoreo 200 g)	
Pasto elefante	
Cubetas de huevo	
Equinaza	

Tierra del lote (cultivo de café)	fraccionado, para acelerar el proceso de transformación.  Se trabaja con un volumen de 1m <sup>3</sup>
Microorganismos eficaces + Melaza	
Residuos de cultivo de Plátano (vástago y hojas)	
Roca fosfórica	
Cubetas de huevo	
Bore	
Bovinaza (espolvoreo 200 g)	
Tierra del lote (cultivo de café)	
Microorganismos eficaces + Melaza	
Cubetas de huevo	



Figura 4. Ubicación Compostera agroecológica



Figura 5. Montaje de la estructura y distribución del material agroecológico

Inicialmente se utilizaron 2 l de E.M y 1 kg de melaza en 20 l de agua y 200 g de roca fosfórica dispuestas en las capas correspondientes, los volteos se realizaron cada 15 días incorporando los lixiviados que se obtenían semanalmente por 25 días y con adiciones de agua y E.M. según requerimiento de humedad, registro tomado en campo semanalmente, así mismo la temperatura se midió observándose el pico valor más alto de 70°C y mínimas de 15°C.



Figura 6. Canalización de lixiviados

Para esta investigación no se realizó el montaje de la compostera convencional, puesto que la gran mayoría de los residuos orgánicos de las fincas productoras de flores no venden este tipo de material porque lo reutilizan para la producción de compost, el cual es ofertado en el mercado a los medianos y grandes productores de hortalizas de la sabana. Se contó con el apoyo de una estudiante que se desempeña en uno de estos cultivos y es la persona encargada de organizar el material a compostar, facilito el lixiviado de un compost que se montó en fechas similares a las que se trabajó el compost agroecológico.

El montaje lo realizan en pilas entre 1.20 a 2.20 mts de altura, se realizan volteos cada 20 a 30 días, se encuentra dispuesto al aire libre y no tienen canalización de lixiviados, como se puede observar en la figura 7. Los lixiviados se filtran al suelo y cuando hay saturación quedando expuestos, ocasionando graves problemas ambientales para la zona y el medio ambiente en sí.



Figura 7. Manejo compostera y lixiviado convencional

Materiales utilizados para el compost convencional en cultivos de flores.

Tabla 7. Materiales utilizados en el compostaje convencional

Material cultivo de flores	Cantidad
Residuos de poscosecha de follajes	Se disponen en mezcla heterogénea con todos los residuos del cultivo de flores, previamente fraccionado, para acelerar el proceso de transformación.  No se tiene en cuenta el volumen de residuos, se realiza en pila, volteos entre 20 a 30 días No hay canalización de lixiviados No están cubiertas las pilas
Residuos de cultivo de rosas	
Residuos de cultivo de Alstromeria	
Microorganismos eficaces	

### 8.3. Caracterización del lixiviado agroecológico y convencional

Se tomó la muestra del lixiviado agroecológico hacia los 32 días de iniciado el proceso de compostaje, observando las características organolépticas del residuo líquido de color oscuro (café) e inodoro. Estas muestras fueron enviadas a 4 laboratorios para el respectivo análisis específico, como se detalla en la Tabla 2.

Tabla 8. Laboratorios y tipo de análisis utilizados en los lixiviados agroecológico y convencional

LABORATORIO	TIPO DE ANALISIS
Laboratorio ANGEL BIOINDUSTRIAL	Análisis Microbiológico
Laboratorio FUNDASES	Recuento microbiológico completo de lixiviados
Laboratorio AGRILAB	Caracterización y composición de material orgánico líquido
Laboratorio IGAC	Análisis metales pesados Cr, Pb y Cd

Para la caracterización de los lixiviados convencional y agroecológico se tuvieron en cuenta los parámetros obtenidos de los análisis microbiológicos, químicos y de metales pesados. Dentro de los microbiológicos se analizaron especialmente salmonella y coliformes fecales, Pseudomona Aeruginosa, Actinomicetos, fijadores de nitrógeno, solubilizadores de fosforo, Penicillium sp, Aspergillus sp, Rhizopus sp, en el análisis químico se contrasta la información de Carbono orgánico oxidable total, Conductividad eléctrica, NOrg, P2O5, K2O, CaO, MgO, S-SO4, Hierro soluble, Manganeseo soluble, cobre soluble, zinc soluble, boro soluble, sodio soluble; en metales pesados se midieron Plomo, Cromo y Cadmio. A partir de estos resultados se desarrollaron graficas descriptivas comparando los niveles de microorganismos y niveles de elementos químicos encontrados en cada uno de los dos tipos de lixiviado.

#### **8.4. Prueba de eficacia en campo**

Para el desarrollo del proyecto de investigación se realizó el montaje de un diseño de bloques completos al azar (D.B.C.A) donde se tuvo un testigo absoluto, tres (3) tratamientos y tres (3) bloques, así mismo el diseño permitió analizar bloque a bloque y tomar en cuenta todos los factores posibles que puedan afectar de manera significativa al ensayo, se efectuó una aleatorización de los tratamientos en el bloque y se trabajó con un análisis de varianza (ANAVA), desarrollando adicionalmente las pruebas de comparación de medias.

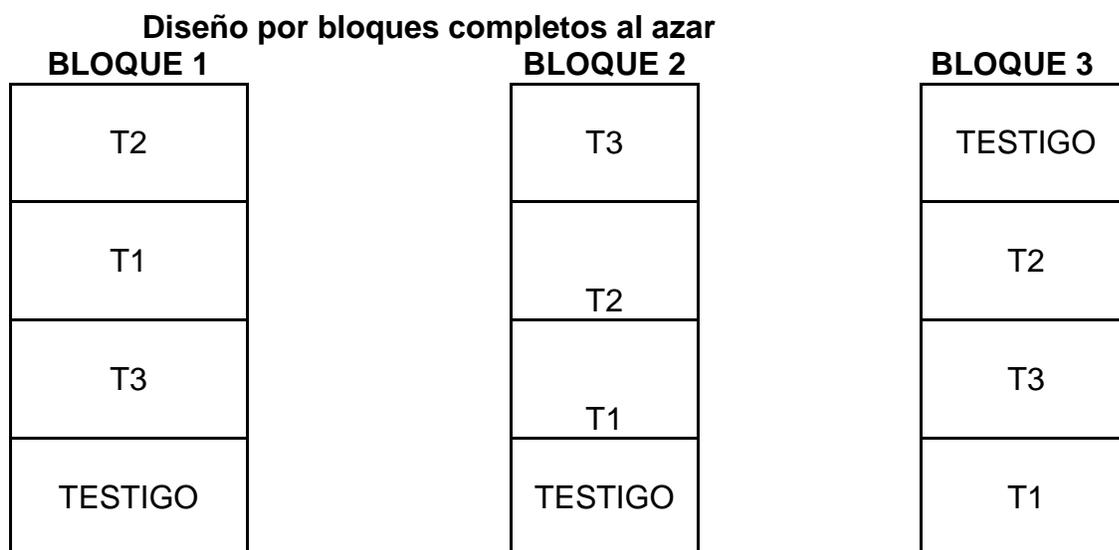
Se contó con una unidad experimental de 1 m<sup>2</sup> de cama, que equivale a la siembra de 24 plantas.

Cada bloque está compuesto de 1 cama de 0,80 mts de ancho \* 5,40 mts de largo, para un área total de 4.32 m<sup>2</sup>, sembrada con lechuga crepa verde variedad Vera

Se trabajó en la finca Huertos Verdes del municipio de Madrid, predio dedicado a la producción de hortalizas agroecológicas comúnmente llamados productos orgánicos con una trayectoria de alrededor 5 años y un predio que no se sembraba desde 1997 con productos agroquímicos, en el predio cultivan hortalizas (lechuga, acelga, brócoli, espinaca), en un área promedio de 2000 m<sup>2</sup>, la especie a trabajada es la lechuga cresa verde variedad Vera. Se realizó un muestreo semanal para determinar la incidencia de plagas y enfermedades en los tratamientos y en el testigo.

Se realizó la evaluación únicamente del lixiviado agroecológico en campo puesto que es un predio que está en proceso de certificación y no se puede realizar aplicaciones de agentes externos al cultivo, más aún conocedores de la procedencia del lixiviado convencional y el objetivo final era evaluar una posible alternativa o herramienta para los productores orgánicos.

## 8.5. Diseño estadístico



Unidad Experimental: 1 m<sup>2</sup> de cama  
 Unidad observacional: Planta de lechuga  
 Variables de Respuesta 1. Peso de cabeza planta de lechuga

2. Diámetro de cabeza planta de lechuga

Tabla 9. Tratamientos diseño experimental

TESTIGO	Sin Lixiviado ni E.M.
T1	LIXIVIADO 5cc
T2	LIXIVIADO 10cc
T3	LIXIVIADO 5cc + E.M 5cc

## MODELO

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} + \eta_{ijk}$$

Tabla ANAVA para un diseño DBCA				
FUENTE	GI	SC	CM	F Calculado
Bloques	b-1	SC Bloque	CM Bloque	
Tratamientos	t-1	SC Tratamientos	CM Tratamientos	CM Tratamiento
Error		SC Error	CM Error	CM Error
Experimental	(b-1) (t-1)	experimental	Experimental	experimental
Error de Muestreo	tb (n-1)	SC Error de Muestreo	CM Error de Muestreo	
Total	tbn-1			

Con los datos obtenidos se verificó el supuesto de normalidad mediante los test **Kolmogorov -Smirnov, Durbin-Watson, Breusch-Pagan**.

Una vez procesados los datos y obtenidos los resultados de los test de normalidad se determinó si se era pertinente un ANAVA paramétrico o era adecuado el desarrollo por la vía alterna a efectuar un ANAVA no paramétrica.

### 8.6. Análisis de resultados

Los datos obtenidos de la fase de campo fueron sistematizados mediante el programa estadístico R-project en el cual se calcularon parámetros estadísticos básicos como media, sumas de cuadrados y cuadrados medios del análisis de varianza para las variables estudiadas que en este caso fueron peso y diámetro de cabeza. Adicional a lo anterior se realizó la comparación de medias entre los tratamientos en concordancia con lo anterior en el análisis de varianza ANAVA. Se probó la hipótesis

Ho: T1 = T2 = T3=Testigo (Hipótesis nula)

H1: Uno o más pares de medias son diferentes (Hipótesis alterna)

**Prueba de hipótesis para la diferencia entre medias:** En los casos donde se presentaron diferencias significativas entre alguna de las medias de los tratamientos, se realizó una comparación de medias mediante la prueba de Tukey con nivel de significancia 5%, para la evaluación de tres dosis de lixiviado sobre el desarrollo vegetativo y productivo de la lechuga (*Lactuca sativum*).

## II. Resultados y Discusión

### **Estructura física para el manejo de residuos sólidos y captación de lixiviados.**

Al observar las diferentes técnicas que utilizan los productores de compost y los agricultores que manejan el aprovechamiento de los residuos sólidos para abonos orgánicos, se determinó una estructura de fácil acceso económico, consecución y manejo del proceso, pero que a la vez proporcionara las condiciones de temperatura y de humedad adecuadas para el proceso de compostaje: en cuanto a la canalización y conducción de los lixiviados se elaboró una canal en el suelo a 5 cm de la compuerta y con un desnivel contra la pendiente en la cual se coloca una guadua, revestida de plástico donde se conducen los lixiviados que van a un recipiente insertado en el suelo, esto con el fin de almacenar los líquidos que serán utilizados para recircular en el mismo sistema, minimizando el impacto ambiental.

Esta estructura maneja dimensiones de 1 m<sup>3</sup>, lo cual permite que la temperatura se concentre y alcance los 65°C, de igual manera por la ubicación de los listones de las estibas hay una regulación de la aireación adecuada de la compostera. El manejo de los residuos se facilita por la disposición de los materiales y los volteos constantes requeridos, es una estructura propicia para el manejo inocuo de los residuos, y estéticamente visibiliza el orden y el manejo responsable de los residuos orgánicos.

Con la estructura se facilita la conducción y recolección de los lixiviados que se recirculan en el proceso de compostaje permitiendo la obtención de un líquido concentrado con características propicias para el manejo agronómico, estos lixiviados se aprovechan por 23 días y alrededor de los 30 días se toman 4 muestras para el análisis en laboratorio de acuerdo a lo mostrado en la Tabla 2.

Con respecto a la estructura física para el manejo de residuos sólidos y captación de lixiviados se puede tener en cuenta que el compost debe contar con un manejo apropiado de humedad y oxígeno para mantener la actividad microbiana (Bonilla & Mosquera, 2007). La disposición del material de origen vegetal y animal para compostar es fundamental para alcanzar los niveles óptimos y máximos de temperatura y humedad, así como la oxigenación de los residuos y la inocuidad del material, si se garantiza una estructura que permita concentrar estos factores se logra obtener compost en la octava semana con recirculación de lixiviados y obtención de un líquido concentrado, hacia la semana 5 disminuye en un 80% la lixiviación, y hacia la 6 y 7 semana la compostera deja de producir líquidos residuales, los cuales han sido canalizados y reutilizados en el mantenimiento de la compostera.

Tabla 10. Características de la compostera en pila

Efecto apreciado compostera en pila
La temperatura de la pila no supera los 45°C
La pila está muy humedad o muy seca, no hay distribución de la humedad
No hay oxigenación por tanto comienza a oler fuerte
Permite albergar plagas
No es inocuo y su manejo es deficiente

Fuente:(Gerard kiely. 1999. Mc Graw Hill)

### Caracterización y composición química del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional

Al relacionar los parámetros químicos del lixiviado agroecológico con el convencional se observan los índices más altos en el convencional en contraposición con el agroecológico que presenta menor contribución como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 11. Análisis químico del lixiviado agroecológico y lixiviado convencional

Parámetro	Lixiviado Agroecológico	Lixiviado Convencional	Unidades
Carbono Orgánico oxidable	2,66	8,99	g/L
pH	7,67	7,71	
Conductividad eléctrica	0,04	0,17	dS/m
Nitrógeno orgánico (NOrg)	0,53	1,93	g/L
Fósforo soluble (P2O5)	0,17	0,27	g/L
Potasio soluble (K2O)	3,29	33,7	g/L
Calcio soluble (CaO)	0,42	0,62	g/L
Magnesio soluble (MgO)	0,22	0,47	g/L
Azufre soluble (S-SO4)	0,02	0,17	g/L
Hierro soluble	0,06	0,14	g/L
Manganeso soluble	0,9	4,8	p.p.m

Cobre soluble	3,8	0,9	p.p.m
Zinc soluble	1,9	2,8	p.p.m
Boro soluble	1,1	2,7	p.p.m
Sodio Soluble	0,16	0,243	g/L

De igual manera para analizar el comportamiento de los parámetros químicos se realiza una gráfica, donde permite realizar una comparación de los niveles de cada parámetro medido, la concentración de sales es alta en el lixiviado convencional. La Figura 2 muestra la comparación de los niveles de la conductividad eléctrica por tipo de lixiviado.

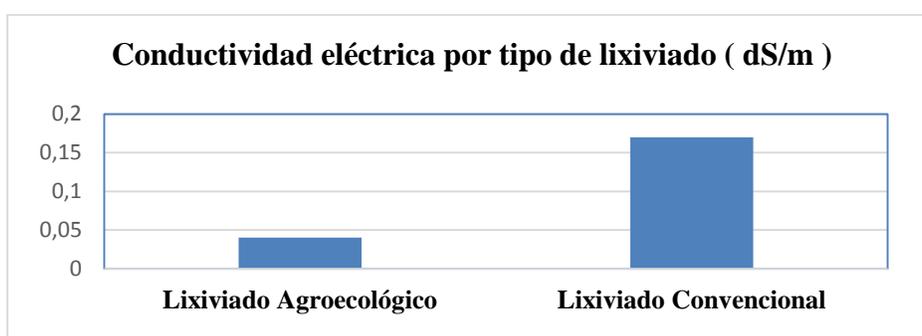


Figura 8. Conductividad eléctrica en los lixiviados agroecológico y convencional.

En lo que respecta a la conductividad eléctrica, el lixiviado convencional presenta valores muy superiores a los que reporta el lixiviado agroecológico, analizando los niveles de del lixiviado convencional, si se parte de la situación práctica de una eventual dilución, y sabiendo que un valor de 0,17 dS/m no representa un problema, su dilución y aplicación con cierta precaución no representa un potencial salinizador del suelo al cual se le aplica, pero aplicaciones frecuentes pueden llevar a una considerable adición de sales al suelo, lo cual puede generar problemas en la disponibilidad de agua para las plantas, debido al efecto de retención de agua por los complejos salinos que se agregan al suelo, con la aplicación de lixiviados.

En el caso de los macroelementos, es marcada la diferencia de los contenidos de potasio en el lixiviado convencional que supera por amplio margen a los contenidos en el lixiviado agroecológico. Así mismo comparando los restantes macroelementos: fósforo, calcio, magnesio, azufre y el hierro, expresado en las mismas unidades de los macro elementos g/l puede observarse que el lixiviado convencional supera el contenido de los niveles de estos elementos en el lixiviado agroecológico como se observa en la Figura 3.

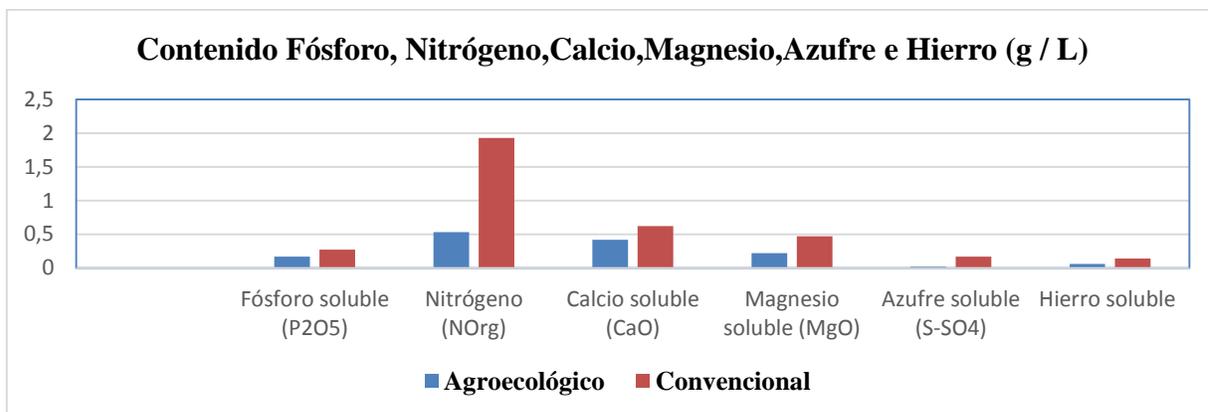


Figura 9. Contenido de macroelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

En el caso de los contenidos de microelementos se observó que hay una marcada diferencia en los contenidos de cobre donde el lixiviado agroecológico supera por amplio margen al lixiviado convencional, contrario a esta situación los contenidos de manganeso, zinc y boro del lixiviado convencional superan a los contenidos de estos elementos en el lixiviado agroecológico. La Figura 4 muestra la comparación de los niveles del microelementos en los lixiviados.

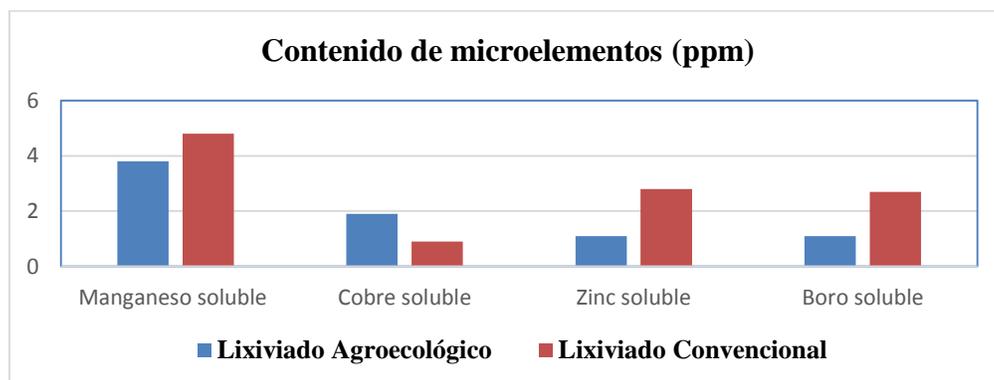


Figura 10. Contenido de microelementos en los lixiviados agroecológico y convencional.

Respecto a la Caracterización y composición química del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que el lixiviado convencional presenta niveles más altos en los parámetros químicos analizados, con respecto al lixiviado agroecológico, se estima que posiblemente es por las múltiples aplicaciones de residuos vegetales del compost convencional ya que su procedencia es de cultivos de rosas donde los elementos más utilizados para su desarrollo y crecimiento vegetal son el potasio y el calcio, entre otros. Healy y Wilkins (1985), manifiestan que por el alto requerimiento de nitrógeno, fósforo, potasio y calcio (NPK-Ca) en el cultivo de alstroemeria, rosa y otras especies, los suelos quedan empobrecidos, es por eso que se realiza constante aplicación de

fertilizantes químicos, con el consiguiente incremento de los costos de producción y serios problemas de impacto ambiental.

Esta concentración puede ser favorable para las plantas, pero por lo general los lixiviados no son utilizados de manera adecuada, lo cual puede constituirse en determinado momento en un problema ambiental si estos líquidos llegan a fuentes hídricas o saturan los suelos y finalmente por filtración llegan a las aguas subterráneas y/o cuerpos de aguas. La conductividad eléctrica en los niveles que se encuentra en los dos lixiviados no representa en el momento una limitante, pero si se consideran aplicaciones frecuentes de estos residuos puede convertirse en un problema para los suelos, por la concentración de sales ya que a medida que el suelo está seco la CE del suelo aumenta. Es de anotar que para el fin investigativo futuro estos lixiviados se utilizaran en dilución según los datos que se recojan de la evaluación en campo, por tanto si estos lixiviados no son conducidos para su posterior reutilización llegarían al suelo de manera directa y en mayor concentración dando paso al desequilibrio planta-suelo. No obstante cualquier elemento puede convertirse en tóxico para la planta si su concentración en la solución del suelo es alta, o si se encuentra en desequilibrio con otros elementos. Gat fertilizantes, 2006.

### 2.3. Caracterización de metales pesados del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional

Al relacionar las concentraciones de metales pesados del lixiviado agroecológico y el convencional se observa que el lixiviado convencional presenta mayor concentración en cromo, plomo y cadmio, elementos que se analizaron en las dos muestras de laboratorio como se relaciona en la Tabla 4.

Tabla 12. Contenido de metales pesados de los lixiviados agroecológico y convencional

Parámetros	Lixiviado Agroecológico	Lixiviado Convencional	Unidades
Cromo	2,4	13,8	mg/kg
Plomo	1	15	mg/kg
Cadmio	0,26	0,47	mg/kg

Al analizar el comportamiento de los contenidos de metales pesados de los lixiviados se establece que el cromo y el plomo presentan mayor concentración en el lixiviado convencional, de igual manera en el lixiviado agroecológico el cromo presenta un índice alto, como lo muestra la Figura 5.

Estos datos se deben tener en cuenta si se utilizan estos residuos líquidos frecuentemente en aplicaciones al suelo y al cultivo, puesto que por acumulación residual puede convertirse en una problemática ambiental y sanitaria para los seres humanos.



Figura 11. Contenido de metales pesados en los lixiviados agroecológico y convencional.

Respecto a la caracterización de metales pesados del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que la acumulación de metales pesados es una de las más alarmantes consecuencias que trae el no conducir, tratar y aprovechar los lixiviados correctamente, de ahí la importancia de conocer la procedencia y las características físico químicas y microbiológicas que tienen esos residuos líquidos. Los componentes de los lixiviados pueden ser movilizados hacia el suelo, estar en posición de ser absorbidos por las plantas o perfusionar hacia los mantos acuíferos y afectar los suministros de agua potable (Álvarez et al. 2002). Los metales pesados pueden ingresar a las redes tróficas y ocasionar, en primera instancia, bioacumulación y una posterior biomagnificación a través de los niveles tróficos superiores (González et al. 2009). Se observa que la mayor concentración de metales pesados se evidencia en el lixiviado convencional en los tres elementos evaluados: cromo 13,8 mg/kg, plomo 15 mg/kg y cadmio 0,47 mg/kg, posiblemente estos niveles son altos por el programa de mirfe y mipe que manejan los cultivos origen del material, lo cual ocasiona un problema ambiental ya que estos lixiviados no son canalizados y tratados de forma adecuada. Teniendo en cuenta lo anterior se observa que los niveles de metales pesados en el lixiviado agroecológico están presentes a menor concentración pero persisten y esto puede deberse a los tipos de materia orgánica que están presentes en el proceso de compostaje y los cuales tienen influencia en la toxicidad de los metales pesados.

Los lixiviados contienen concentraciones elevadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo ácidos húmicos, sustancias orgánicas, nutrientes y metales pesados así como, sales inorgánicas que elevan la conductividad eléctrica y agentes infecciosos (Wiszniewski et al. 2006). En la investigación “determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación” de María del Consuelo Hernández Berriel, se menciona que la recirculación de los líquidos residuales en la compostera es clave para la disminución del contenido de metales pesados tanto en el producto sólido y en el líquido del compost, se apoyan en lo que menciona (Kabata Pendias y Pendias, 1984, Cala y Rodríguez 1989), que el alto contenido de MO puede favorecer la reducción del Pb y también su movilidad, atribuida a la lixiviación del metal como un complejo quelatado soluble con la MO, así mismo otros elementos presentan estas

características al recircular los lixiviados en el compost proporcionando una humedad constante.

Conociendo la problemática ambiental, sanitaria y fitosanitaria del manejo de residuos orgánicos se observa que lo existente en cuanto a normas solo aplica para fertilizantes líquidos de origen del proceso de compostaje el cual es muy básico y específico para para productos de mezcla con residuos de plantas de tratamiento de aguas residuales o residuos sólidos urbanos (separados en la fuente). La norma técnica colombiana 5167 (primera actualización de mayo 31 de 2004) establece los requisitos específicos de calidad para productos utilizados como fertilizantes o abonos orgánicos-minerales líquidos, los límites máximos de metales pesados no aplica para uso y se basa en la concentración permisible de Cadmio (Cd) 39, Cromo (Cr) 1200, 420 Plomo (Pb) 300 Se indicará la materia prima de la cual procede el producto. Con base en ello es necesario remitirse al Decreto 1594 de 1984 que tiene en cuenta el uso del agua con los criterios admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola expresado como Valor Cadmio Cd 0.01 Cromo Cr + 6 0.1 y Plomo Pb 5.0, retomando estos valores, se observa que los límites admisibles de mayor concentración se encuentran en el lixiviado agroecológico.

### **Caracterización microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional**

Al relacionar la densidad poblacional de bacterias, microorganismos solubilizadores de Fosforo, fijadores de Nitrógeno y los hongos Penicillium sp, Aspergillus sp en el líquido agroecológico y el convencional se observa que se presenta mayor densidad de estos en el lixiviado agroecológico, adicionalmente en este líquido se presenta Rhizopus sp importante para el proceso de reciclaje de materia orgánica, en cuanto los microorganismos patógenos se evaluó Salmonella, Coliformes Fecales y Pseudomona Aeruginosa, encontrando que en los dos lixiviados no hay presencia de salmonella, que en el lixiviado convencional no hay presencia de Pseudomona Aeruginosa, pero si hay niveles de Coliformes Fecales y en el agroecológico no hay presencia de Pseudomona Aeruginosa ni hay presencia de Coliformes fecales, datos que se deben tener en cuenta para la utilización en campo de estos líquidos residuales. En la Tabla 5 se presenta la relación microbial de los dos lixiviados.

Tabla 13. Composición microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional

Parámetros	Lixiviado Agroecológico	Lixiviado Convencional	Unidades
Solubilizadores de Fosforo	21x 10 <sup>5</sup>	21x 10 <sup>4</sup>	UFC/g
Fijadores de Nitrógeno	31x 10 <sup>4</sup>	61x 10 <sup>3</sup>	UFC/g

Penicillium sp	72x 10 <sup>2</sup>	50x 10 <sup>2</sup>	UFC/g
Aspergillus sp	10x 10 <sup>1</sup>	40x 10 <sup>2</sup>	UFC/g
Rhizopus sp	10x 10 <sup>2</sup>	ND.	UFC/g
Salmonella	AUSENCIA	AUSENCIA	A / P
Coliformes fecales		2000	UFC/g
Pseudomona Aeruginosa	AUSENCIA	AUSENCIA	A / P

Respecto a la caracterización microbiológica del lixiviado agroecológico en contraste con el lixiviado convencional se puede observar que la norma técnica colombiana 5167, no es específica frente a la caracterización microbiológica de los abonos líquidos, solamente tiene en cuenta los niveles máximos de patógenos. Los fertilizantes y acondicionadores orgánicos de origen no pedogenético deberán demostrar que no superan los siguientes niveles máximos de microorganismos patógenos: (1) Salmonella sp.: Ausentes en 25 gramos de producto final; (2) Enterobacterias totales: Menos de 1000 UFC/g de producto final.

Con respecto al Decreto 1594 de 1984, sobre el uso del agua y los límites admisibles para la destinación del recurso para uso agrícola, solamente el NMP de coliformes totales no deberá exceder de 5.000 cuando se use el recurso para riego de frutas que se consuman sin quitar la cáscara y para hortalizas de tallo corto; así mismo el NMP de coliformes fecales no deberá exceder 1.000, retomando la norma y el decreto observamos que el lixiviado convencional presenta un exceso de coliformes fecales y coliformes totales. Se podría atribuir este fenómeno a las aguas de riego que se utilizan en el cultivo del cual proviene el material vegetal, puesto que está ubicado cerca a los límites del río Bogotá (Facatativá) y las aguas provienen de pozo profundo.

Pseudomona aeruginosa, en los límites admisibles para la utilización de lixiviados o aguas para uso de riego no menciona este patógeno, pero revisando la recopilación normas microbiológicas y parámetros físico-químicos relacionados de Bilbao se encuentra que los límites o la restricción de estos está direccionada para aguas embotelladas: minerales naturales, de manantial y preparadas en el interior de los envases y aguas de consumo público embotelladas en el interior de los envases. (De Pablo y Moragas, 2008 p. 5).

En cuanto a los microorganismos Solubilizadores de Fosforo y Fijadores de Nitrógeno se observa que los niveles más altos se encuentran en el lixiviado agroecológico con  $21 \times 10^5$  y  $31 \times 10^4$  con respecto al convencional que se caracterizó por tener un valor menor. Fernández y Rodríguez. (2006) mencionan que la presencia de estas bacterias en el suelo aumentan la cantidad de diferentes iones, uno de éstos es el fósforo que al ser hidrolizado con enzimas como las fitasas,

facilitan la movilidad de este elemento en el suelo y lo transforman en un compuesto accesible para la planta.

En el 2006 Oliwia Makarewicz, Sarah Dubrac, *et al*, realizaron una investigación dirigida a la fitasa, en este estudio encontraron que varias cepas de *Bacillus* spp secretaban dicha sustancia; una enzima que cataliza la desfosforilación de myoinositol (fitato), siendo esta la forma de almacenamiento del fosfato en las plantas, además se evidenció que dicha enzima tiene capacidad para hacer de este fitato fósforo disponible, permitiendo que esta actividad sea llevada a cabo por las bacterias que se encuentran en la rizósfera tales como; *Pseudomonas*, *Klebsiella* y *Bacillus* spp. Con base en estas y en las investigaciones existentes de microorganismos que crecen en estos medios se puede afirmar que son parte fundamental e indispensable en la interacción química, física y biológica del suelo, los microorganismos intervienen en el proceso de transformación de fosforo y asimilación del nitrógeno permitiendo su disponibilidad en el suelo y por ende en las plantas, estos se constituyen en una alternativa para reducir la contaminación ambiental y mejorar la nutrición y crecimiento de plantas lo cual redundara en la productividad de los cultivos. En cuanto a *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp y *Rhizopus* sp indican que hay presencia de microorganismos que pueden beneficiar el desarrollo del cultivo, por tanto Blandón menciona que la identificación de la microflora presente en el compostaje, permite realizar el estudio de las funciones específicas de cada grupo de microorganismos y determinar su acción potencial en el área de la nutrición vegetal, cuando el producto es agregado al suelo (Blandón *et al.*, 1998). En el caso de *Rhizopus* desempeña un papel importante en el reciclaje de materia orgánica y la transformación de esta, *aspergillus* y *penicillium* permiten la transformación, asimilación y disponibilidad de nitrógeno, fósforo, Estos microorganismos descomponen minerales de aluminosilicatos y liberan parte del potasio contenido en ellos, de igual manera intervienen en la degradación de aminoácidos hasta obtener sulfatos.

### **Prueba de Eficacia en campo**

Una vez culminada la prueba en campo se procesaron los datos de las variables evaluadas como lo son peso de la lechuga por cada tratamiento y bloque y diámetro de la cabeza de la lechuga por tratamiento y bloque.

### **Análisis Estadístico**

#### **Variable peso**

Se recolectaron veinticuatro (24) datos por tratamiento, en tres (3) tratamientos y el testigo, en tres (3) bloques, para una total de doscientos ochenta y ocho (288) datos procesados.

## Analisis de varianza

Se desarrolló el análisis de varianza en el programa R project versión de software libre el cual arroja los siguientes resultados.

Tabla 14. Analisis de Varianza

---

```
Error: Muestra
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Residuals  1   3238     3238

Error: Within
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Bloque    2  17889     8944   5.125 0.00651 **
Tratamiento  3 561373  187124 107.225 < 2e-16 ***
Residuals 281 490389     1745
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
```

---

$R^2=0,54$

Se encontraron diferencias significativas en la variable peso de cabeza de la lechuga, se desarrollarán pruebas de verificación de los supuestos de normalidad, mediante los test de Durbin Watson autocorrelación de errores, Breusch Pagan varianza constante y Kolmogorov Smirnov como prueba confirmatoria de normalidad, obteniendose los siguientes resultados:

Tabla 15. Test de Normalidad

---

```
Durbin-Watson test

data:  lmw
DW = 1.7607, p-value = 0.02115
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater

> bptest(lmw)

studentized Breusch-Pagan test

data:  lmw
BP = 8.2026e-31, df = 0, p-value < 2.2e-16

> lillie.test(fit2$Within$residuals)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data:  fit2$Within$residuals
D = 0.029991, p-value = 0.7679
```

---

---

Se aplicó la transformación de Box-Cox, obteniendo similares resultado para los Supuestos de Normalidad, en este orden de ideas se procedió a desarrollar el test no paramétrico de Friedman.

Usando como criterio el p valor, para un nivel de significancia del 5% (0,05), no se acepta los supuestos de normalidad, por tanto se procedió a desarrollar un test de Friedman como ANAVA no paramétrica aplicado al diseño de bloques completos al azar

Tabla 16. Test de Friedman

---

```
Friedman rank sum test
data: cbind(Peso, Tratamiento, Bloque)
Friedman chi-squared = 470.4, df = 2, p-value < 2.2e-16
```

---

En el procesamiento por el test de Friedman se constata con el criterio del p valor, que las medianas de los tratamientos presentan una diferencia altamente significativa.

Como método de comparación de medianas, de los tratamientos se utilizó comparaciones por pares usando la suma de rangos con signo de wilcoxon, con la aplicación de este método se obtuvo.

Tabla 17. Comparaciones suma de rangos con signo de Wilcoxon

---

```
Pairwise comparisons using Wilcoxon signed rank test
data:  Peso and Tratamiento
      T1      T2      T3
T2    1.7e-09 -      -
T3    1.1e-08 1.5e-12 -
Testigo 7.1e-05 3.8e-05 4.2e-12
P value adjustment method: holm
```

---

Analizando la matriz de comparación de medianas, con el criterio de p valor y una significancia de 5% (0,05) Se determina que las medianas de los tratamientos entre si y de los tratamientos con el testigo presenta diferencia en su comportamiento.

Tabla 18. Resumen de medidas de tendencia central por tratamiento

	T1	T2	T3	Testigo
Min.	:136.0	: 80.0	:200.0	Min. :145.0
1st Qu.:	195.8	1st Qu.:134.8	1st Qu.:276.0	1st Qu.:183.8
Median	:237.5	Median :162.5	Median :290.0	Median :200.0
Mean	:237.4	Mean :168.8	Mean :288.6	Mean :203.9
3rd Qu.:	278.0	3rd Qu.:200.0	3rd Qu.:302.2	3rd Qu.:220.2
Max.	:390.0	Max. :305.0	Max. :390.0	Max. :288.0

Se desarrolló la obtención de la medias, medianas y cuartiles, por cada uno de los tratamiento en el programa R Project y la representación gráfica que es el box plot de los pesos de cabeza de lechuga, esto nos indica que el tratamiento tres (3) T3 que corresponde a la aplicación de 5 cc/lt de Lixiviado agroecológico y la adición de 5 cc/lt de E.M. presenta una alta diferencia con respecto a los otros tratamientos evaluados. En términos de medianas el mejor tratamiento es el T3, pero se resalta que el tratamiento T2 que corresponde a la aplicación de 10 cc/lt de Lixiviado agroecológico estuvo por debajo del testigo al cual no se le realizo aplicaciones de lixiviado, dado que los tratamientos T1 y T3 tuvieron una dosis de aplicación de lixiviado de 5 cc/lt mostrando rendimiento superior en comparación al testigo y al tratamiento T2 que tuvo una dosis de 10 cc/lt de lixiviado, este incremento en la concentración de lixiviado en el caso del tratamiento T2 puede estar generando reacciones adversas de la planta, en la raíz y en las hojas, posiblemente por un bloqueo de adsorción de nutrientes, contraria a esta situación en el caso de los tratamientos T1 y T3 la dilución de 5cc/lt hace que la asimilación del lixiviado por vía edáfica y foliar se ha optima, y en el caso concreto del tratamiento T3 se observa un efecto sinérgico con adición de E.M., este producto es una multi cepa a base de bacterias foto tróficas, acido lácticas y levaduras, estos microorganismos aceleran la tasa de asimilación de los nutrientes del lixiviado y en el caso concreto de las baterías acido lácticas garantiza la sanitización de la aplicación.

Teniendo en cuenta las propiedades físicas y químicas del suelo que se favorecen por la incorporación de materia orgánica (compost), de igual manera redundo incremento de la población microbiana, que se traduce en el incremento de las enzimas y metabolitos del suelo. La enmienda orgánica crea un micro hábitat muy adecuado para el desarrollo de diversas poblaciones microbianas, y de su actividad (Ros & al., 2008). Una vez se ocasione el incremento de microorganismos hay una relación directa con el incremento de nutrientes, la asimilación y disponibilidad de estos para las plantas.

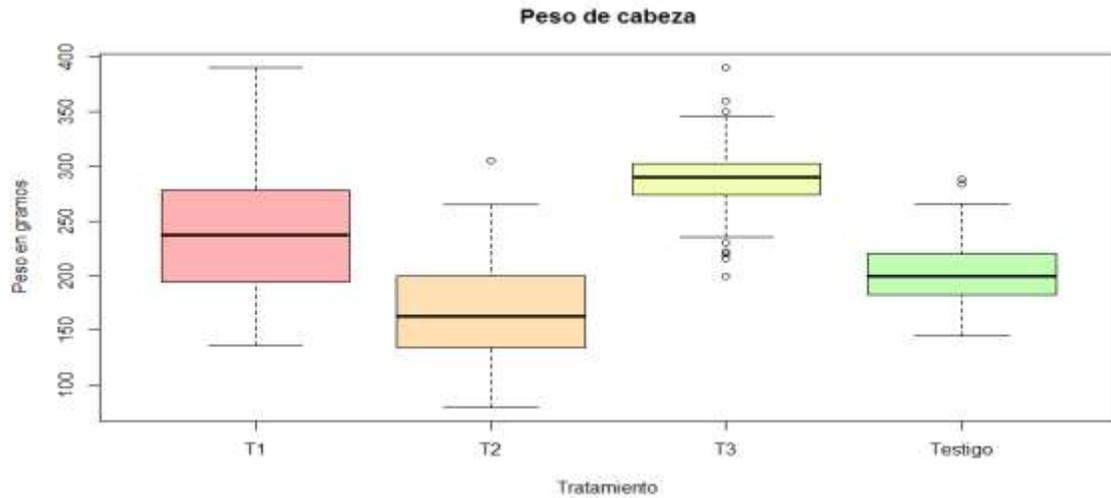


Figura 12. Comportamiento de la variable peso de cabeza de lechuga.

### Variable diámetro de cabeza de lechuga

Se realizó un muestreo por tratamiento recolectando cinco (5) datos por tratamiento, en tres (3) tratamientos y el testigo, en tres (3) bloques para una total 60 datos procesados.

Análisis de varianza

Se desarrolló el análisis de varianza en el programa R project versión de software libre el cual arrojó los siguientes resultados

Tabla 19. Análisis de varianza

---

```

Error: Muestra
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Residuals 1  11.59   11.59

Error: Within
      Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
Bloque  2    5.0    2.50  0.378  0.687
Tratamiento 3  573.9  191.31 28.933 3.23e-11 ***
Residuals 53  350.4    6.61
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

```

---

Se constata con el criterio de p valor y una significancia de 5% (0.05) que existe una diferencia significativa en el comportamiento de los tratamientos aplicados y cuantificados en la variable diámetro de cabeza.

Posterior al desarrollo del análisis de varianza se validaron los supuestos normalidad del modelo , mediante los test de Durbin Watson autocorrelación de errores, Breusch Pagan varianza constante y Kolmogorov Smirnov como prueba confirmatoria de normalidad, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 20. Test de Normalidad

---

```
Durbin-Watson test

data:  lmw
DW = 1.8163, p-value = 0.2406
alternative hypothesis: true autocorrelation is greater than 0

> bptest(lmw)

studentized Breusch-Pagan test

data:  lmw
BP = 3.2957e-31, df = 0, p-value < 2.2e-16

> lillie.test(fit3$Within$residuals)

Lilliefors (Kolmogorov-Smirnov) normality test

data:  fit3$Within$residuals
D = 0.063769, p-value = 0.8069
```

---

En esta caso se confirma con criterio p valor y una significancia del 5%(0,05) que el modelo cumple con los supuestos para normalidad de los test de Durbin Watson y Kolmogorov Smirnov, en el caso del test Breusch Pagan no se cumple con el principio de normalidad, dado que se cumple con dos de los tres test aplicados, en especial con el test confirmatorio de Kolmogorov Smirnov se concluye que los datos obtenidos se ajustan a una distribución normal, en concordancia con lo anterior se procede a desarrollar el test de comparación de medias de Tuckey

Tabla 21. Test comparación de medias de Tuckey

```

$means
      Diametro      std      r      Min      Max
T1      29.12000  2.625752  15  25.0  33.5
T2      22.31333  2.778969  15  19.0  27.5
T3      29.04000  2.079079  15  25.0  32.5
TESTIGO 23.61333  2.697583  15  19.5  30.0

$comparison
NULL

$groups
      trt      means M
1  T1      29.12000 a
2  T3      29.04000 a
3  TESTIGO 23.61333 b
4  T2      22.31333 b
    
```

Se determina que hay una diferencia estadística entre los tratamiento T1 que corresponde a la aplicación de 5 cc por lt de lixiviado y T3 que corresponde a una dilución de 5 cc/lt de lixiviado con la adición de 5 cc/lt de E.M. con relación al testigo, y estos tratamiento con relación al tratamiento T2 que corresponde a la dilución de 10 cc/lt, el tratamiento de menor diámetro fue el tratamiento T2 que estuvo por debajo del testigo, esto se puede evidenciar en el gráfico box plot desarrollado para la variable diámetro de cabeza, se presenta el mismo efecto que la variable peso de cabeza de la lechuga, con una dosis de 10 cc/lt de lixiviado donde se observa que afecta total a la planta y esto se expresa en una disminución de peso y tamaño de la cabeza cosechada, aquí se confirma también este efecto deletéreo cuando se compara con el testigo que no tuvo aplicación alguna y supero al tratamiento 2.

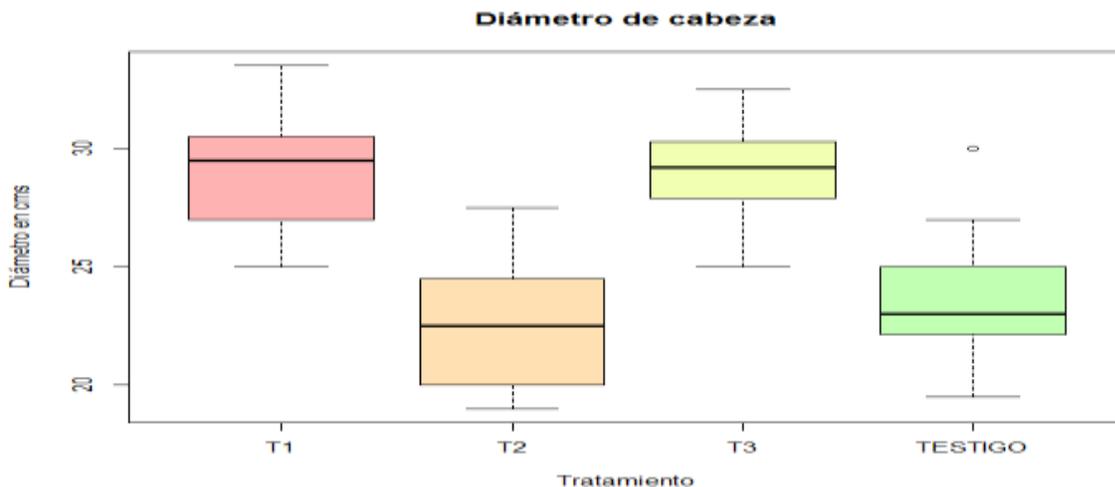


Figura 13. Diámetro de cabeza de plantas de lechuga

Análisis disminución de los problemas fitosanitarios y pos cosecha

Este análisis se realiza de acuerdo a la observación en campo y los registros de los monitores que se realizaron cada ocho días.

Se evidencia en campo en las camas asistidas con los tratamientos la disminución y presión de algunos insectos plaga que constantemente ejercen en el cultivo, asimismo se observó que las plantas tratadas tomaron una tonalidad más intensa que su color normal, lo cual es llamativo para el consumidor.

Por lo general en poscosecha en fresco se pueden conservar en iguales condiciones sumergida la raíz en un poco de agua alrededor de 8 días, se observó que hacia el día 9 aún se mantiene y en la nevera se pudo conservar cerca de 12 días sin presentar deterioramiento.

Generalmente se deja descansar el terreno 8 días después de la cosecha por un periodo de 1 año, cumpliendo se este tiempo, se deja descansar por 1 mes y vuelve su ciclo de producción normal, así mismo se rota la especie cada vez que se cosecha, por tanto se pudo observar que en la próxima siembra en las camas que fueron tratadas se sembró espinaca que por lo general la presión sanitaria la ejerce algunos insectos plaga, el cual disminuyó el ataque y se observa a comparación de las otras camas que se hay una leve homogenización del tamaño de estas en el momento de la cosecha. Estos son algunos juicios que se deben entrar a evaluar ya que no hay record de ello y como se mencionó anteriormente es observacional, por tanto se debe revisar cautelosamente.

### **III. Conclusiones y recomendaciones**

Se han desarrollados diversos estudios con respecto al uso de abonos orgánicos, teniendo en cuenta el aprovechamiento de los residuos en campo y la relación directa en el mejoramiento de las propiedades de físico químicas de los suelos, el notorio desarrollo vegetativo y la disminución de los problemas fitosanitarios. En el presente estudio se trabaja específicamente los lixiviados que por lo general son desechados constituyéndose una problemática ambiental tanto por la canalización como el aprovechamiento que se puede obtener y más aún si se presenta como una alternativa o herramienta para la producción agroecológica. Con base a lo expuesto se pudo concluir que:

1. La disposición de los residuos orgánicos y el manejo adecuado de estos permitió evidenciar en la presente investigación que se alcanzan los niveles óptimos de temperatura y humedad para acelerar el proceso de

transformación de la materia y la obtención de un producto inocuo para futuras aplicaciones agrícolas.

2. La utilización de material vegetal de cultivos agroecológicos en el compostaje, asegura que los niveles de metales pesados en el lixiviado sean más bajos que los de procedencia convencional.
3. El material vegetal de origen agroecológico permite que la comunidad microbiana sea más alta logrando aprovechar así las interacciones de elementos mayores y menores y el potencial de los microorganismos para transformar movilizar y permitir la disponibilidad de estos a la planta.
4. La recirculación de los lixiviados es clave para la disminución de las concentraciones de metales pesados en los productos finales del compostaje.
5. La canalización y aprovechamiento de los lixiviados del proceso de compostaje permite minimizar el impacto ambiental tanto a nivel atmosférico, suelos y fuentes hídricas.
6. Conocer la caracterización de los lixiviados proporciona al agricultor una herramienta para potencializar, mejorar la productividad de los cultivos y disminuir los problemas fitosanitarios, evitando la contaminación de los suelos y/o espejos de agua.
7. El comportamiento en la producción de lechuga en los tratamientos T3 y T1 muestra una diferencia significativa en el peso y el diámetro de la cabeza de lechuga, con respecto al testigo.
8. La aplicación del lixiviado agroecológico y la adición de microorganismos presentó valores superiores tanto en el peso como el diámetro de cabeza. Este efecto se potencializa en la mezcla, generando mayor disponibilidad de los nutrientes, tanto en suelo como en la absorción de las hojas.
9. Al realizar aplicaciones del lixiviado agroecológico con la dosis comercial de los productos utilizados para cultivos agroecológicos se puede apreciar un incremento en el peso de la lechuga, caso contrario si sobre dosificamos el efecto es negativo puesto que disminuye el peso por debajo del promedio sin aplicaciones del lixiviado, se evidencia que el incremento de la dosis puede afectar la asimilación de algunos nutrientes por la aplicación tanto edáfica como foliar. (Brun y Chazelle, 1996), menciona que las plantas son selectivas para absorber nutrimentos, lo cual significa que al suministrar una SN con una relación arbitraria entre iones, las plantas no absorben los iones en esa misma proporción. Las plantas absorben una mayor cantidad de agua

que de nutrimentos, por lo cual los nutrientes tienden a incrementar su concentración, además los iones disueltos en la SN cambian su relación mutua debido a su absorción diferencial, lo que pudiera provocar un desbalance en la SN, pudiendo ocasionar antagonismo.

10. Se presenta una sinergia entre el lixiviado agroecológico y la adición de microorganismos que permite una mejor asimilación de los nutrientes, como respuesta se evidencia en el peso y la vigorosidad que presentan las cabezas de lechuga.
11. Se observó que la aplicación del lixiviado agroecológico intensificó la tonalidad de las plantas, podría ser uno de los efectos por los cuales los insectos plaga disminuyen.
12. Se observó una disminución en el ataque de plagas y enfermedades al cultivo con respecto a las otras camas, se podría atribuir a que hay un efecto residual con el lixiviado.

#### IV. Referencias Bibliográficas

- 1) Álvarez E., Mochon M., Sánchez. J. y Rodríguez M. (2002). Heavy metals extractable form in sludge from wastewater treatment plants. *Chemosphere* 47, 765-775.
- 2) Atreya N. (2006). Chemophobia—pesticide residues in food. *Outlooks on Pest Management* 17, 242.
- 3) Ayuso, L.M. (1995). Utilización de residuos urbanos como enmiendas orgánicas sólidas y líquidas: Valoración agronómica y efectividad frente a enmiendas tradicionales. Tesis Doctoral. CEBAS-CSIC. Murcia.
- 4) Bastida, F., JL. Moreno, T. Hernandez & C. Garcia (2007). Microbial activity in non-agricultural degraded soil exposed to semiarid climate. *Sci. Total Environ.* 378: 183-186.
- 5) Bernal-Vicente, A., M. Ros, F. Titarelli, F. Intrigliolo & JA. Pascual (2008). citrus compost and its water extract for cultivation of melon plants in greenhouse nurseries. evaluation of nutriactive and biocontrol effects. *Bioresource Technology* doi:10.1016/j.biortech.2008.04.019.
- 6) BID, POS/OMS (1997). Diagnóstico de la situación del manejo de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y El Caribe.
- 7) Bonilla, M. d., & Mosquera, M. (2007). Seguimiento de la presencia de rotavirus en un proceso de compostaje realizado a partir de residuos orgánicos domiciliarios y contenido ruminal. (Tesis de pregrado) Bogotá. Pontificia Universidad Javeriana.
- 8) Blandón Castaño, G., Rodríguez Valencia, N., & Dávila Arias, M. T. (1998). Caracterización Microbiológica y Físico-Química de los Subproductos del Beneficio del Café en Proceso de Compostaje. *Cenicafé*
- 9) Brun, R. and L. Chazelle. (1996). Water and nitrate absorption kinetics in the nycthemeral cycle of rose grown in the greenhouse using a recirculating solution. *J. Plant Nut.* 19:839-866.
- 10) Cala V. & Rodríguez J. (1989). —Estudio de la contaminación por metales pesados en suelos de la Vega de Aranjuez. I y III. *Anal. Edaf. Agrobiol.* Vol. 49(9-10). 1989. pp.189-193.

- 11) Cayuela, M.L., PD. Millner, SLF. Meyer & A. Roig (2008). A. potential of olive mill waste and compost as biobased pesticides against weeds, fungi, and nematodes. *Sci. Total Environ.* 399(1-3): 11-18.
- 12) Cooper J. y Dobson H. (2007). The benefits of pesticides to mankind and the environment. *Crop Prot.* 26, 13371348.
- 13) Corporación Colombia Internacional-CCI. (2006). Plan Hortícola Nacional. Bogotá: CCI. Recuperado de: [http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca\\_28\\_PHN.pdf](http://www.asohofrucol.com.co/archivos/biblioteca/biblioteca_28_PHN.pdf)
- 14) Corporación Colombiana Internacional. (2010). Análisis internacional del sector Hortofrutícola para Colombia. 1ª ed. Bogotá, 389p
- 15) Cortés J., Sánchez R., Díaz-Plaza E., Villen, J. y Vázquez, A. (2006). Large volume GC Injection for the analysis of organophosphorus pesticides in vegetables using the through oven transfer adsorption desorption (TOTAD) Interface. *J. Agric. Food Chem.* 54, 1997-2002.
- 16) Chavez, C.J.J. (2008). Alternativas de fertilización para el cultivo de tomate en invernadero. Tesis Maestría en Ciencias en Suelos. Instituto Tecnológico de Torreón.
- 17) Decreto 1594 de 1984. Recuperado de <http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=18617>
- 18) De Pablo, M.B. & Moragas M. (2008), Recopilación normas microbiológicas y parámetros físico-químicos relacionados. Bilbao.
- 19) EOT Anolaima (2002). Plan integral único municipio de Anolaima. Tomado del periodo 2008-2011.
- 20) Fernández MT, & Rodríguez H. (2006). Aplicaciones biológicas de las fitasas: papel en los fertilizantes microbianos. ICIDCA [En línea] Recuperado de: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223120664004>
- 21) Fundases, (2007). Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces elaborado por el Programa de Apoyo a la Formación Profesional para la Inserción Laboral en el Perú, investigadores científicos de Fundases.
- 22) García. I.C. (2011). Fertilización orgánica con compost y té de compost: su aplicación al suelo. Experiencias de fertilización orgánica en platanera. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA.21 de Octubre de

2011. Proyecto BIOMUSA. 1, recuperado de:  
<http://ecopalmer.es/resources/Fertilizacion+org%C3%A1nica+con+composts+y+t%C3%A9+de+compost..pdf>.

- 23) García E., (2013). Estrategias para la recuperación de suelos degradados en ambientes semiáridos: adición de dosis elevadas de residuos orgánicos de origen urbano y su implicación en la fijación de carbono. Tesis Doctoral del Departamento de química agrícola, geología y edafología de la Universidad de Murcia, España.
- 24) Gat fertiliquidos. (2015). Recuperado de:  
[http://www.gatfertiliquidos.com/salinidad\\_cultivos.pdf](http://www.gatfertiliquidos.com/salinidad_cultivos.pdf)
- 25) González E., Tornero A., Cruz A. & Bonilla N. (2009). Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 25, 15-22.
- 26) Granatstein, D. (1999). The Compost Connection For Western Agriculture. No. 8 Cooperative Extensión Washington State University. Center for Sustaining Agriculture and Natural Resources.
- 27) Healy, W.E. & Wilkins, H.F. (1985). Arlstromería culture. *Minnesota State Florists Bulletin*, Vol. 33, No. 3.
- 28) Hernández B. M. (2012). Determinación de metales pesados en residuos sólidos y lixiviados en biorreactores a diferentes tasas de recirculación.
- 29) Ingham, R. E. (2005). The Compost Tea Brewing Manual. 5th Edition. Soil Foodweb Inc, Corvallis, Oregon. USA. 79 p.
- 30) Instituto Colombiano de Norma Técnicas y certificación. (2004) Norma Técnica Colombiana – NTC 5167, Bogotá, ICONTEC.
- 31) Kabata-Pendias A. & Pendias H. (1984). Trace elements in soils and plants. CRC Press., Florida, 150 pp.
- 32) KIELY, Gerard, (1999). Ingeniería Ambiental: Fundamentos en tornos, tecnologías y sistemas de gestión: Mc Graw Hill, Vol. II: 1ra Edición: Madrid – España
- 33) Larco, E., (2004). Desarrollo y evaluación de lixiviados de compost y lombricompost para el manejo de sigatoka negra (*Mycosphaerella fijiensis* Morelet), en plátano Tesis de Maestría de Escuela de Posgraduados,

Programa de Educación para el Desarrollo y la Conservación del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza para optar por el título de Magíster Scientiae. Turrialba, Costa Rica.

- 34) Lax A., S. Rubistein & H. Breisbart (1994). Epidermal growth factor induces acrosomal exocytosis in bovine sperm. *FEBS Letters* 339: 234–238
- 35) Lombricol.com (2012). Disponible en: <http://lombricol.blogspot.com.co/2009/09/fo liar-fertilizante-liquido-de-lombriz.html>
- 36) Makarewicz, O., Dubrac S. *et al.* (2006). Dual Role of the PhoP-P Response Regulator: *Bacillus amyloliquefaciens* FZB45 Phytase Gene Transcription Is Directed by Positive and Negative Interactions with the phyC Promoter, [En línea] Recuperado de: <http://jb.asm.org/content/188/19/6953.abstract>
- 37) Moreno, J.L., F. Bastida, C. Garcia & T. Hernandez (2008). Relationship between the agricultural management of a brócoli crop and the microbial activity of a semiarid soil. *Com Soil Plant Anal.* 39: 421-439.
- 38) Moreno M. J. A. y López L. M. G. (2005). Desarrollo agrícola y uso de agroquímicos en el Valle de Mexicali. *Estudios Fronterizos* 6, 119-153.
- 39) Ochoa, M.E; Figueroa. V. U; Cano. R. P; Preciado. R. P; Moreno. R, A; Rodríguez. D.N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*lycopersicon esculentum* mill.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(3): 245-250.
- 40) Pablo R., Francisca S., Vicente A., Jesús F., Manuel F., José G., Edgar R. y Cándido M. (2011). Soluciones nutritivas preparadas con fuentes orgánicas de fertilización. *Interciencia*, 689-693 p.
- 41) Roldan, A., f. Caravaca, T. Hernandez, C. Garcia, A. Sanchez-Brito, C Velazquez & M.Tiscareño (2003). No-Tillage, Crop Residue Additions, and Legume Cover Cropping Effects on Soil Quality Characteristics Under Maize in Patzcuaro Watershed (Mexico). *Soil Tillage Res.* 1786: 1-9.
- 42) Ros, M., Goberna, M., Pascual, J. A., Klammer, S., Insam, H., (2008). 16S rDNA analysis reveals low microbial diversity in community level physiological profile assays. *Journal of Microbiological Methods*, 72:221–226.
- 43) Ruiz, F. J. F. (2004). Por qué los organismos Genéticamente Modificados (transgénicos) no se utilizan en Agricultura Orgánica. Universidad Autonoma de Chapingo. Consejo Nacional regulador de Agricultura Orgánica. A. C.

- 44) Salter, C. (2004). Compost Tea – Rebuilding soil & plant Biological health. New México Recycling Coalition conference.
- 45) Soliva, M., López, M., (2004). Calidad del compost: Influencia del tipo de materiales tratados y de las condiciones del proceso. Formación de técnicos para el tratamiento y gestión de lodos de depuradora. Valsaín CENEAM/MIMAM
- 46)
- 47) Scheurell, S.; Mahaffee, W.F. (2004). Compost tea as a container media drench for suppressing seedling damping-off caused by *pythium ultimum*. *Phytopathology*. 94: 1156-1163
- 48) Schnitzer, M. (1978). Humic substances and reactions. En: *Soil Organic matter*. M. Schnitzer, S.U. Khan (Ed). New York.
- 49) Stevenson, F. J., (1982). *Humus chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Wiley Interscience Publications. John Wiley and Sons, New York. Chapter 2, p. 26-54
- 50) Willer H. (2011). The world of organic agriculture 2012: Summary. In: *The world of organic agriculture. Statistics and emerging trends 2011*. IFOAM, Bonn and FiBL, Frick. 288p.
- 51) Wiszniowski J., Robert D., Gorska J., Miksch K. & Weber J. —Landfill leachate treatment methods: A review. *Environ Chem Lett*. (2006).
- 52) Zhu, N.W., Deng, C.Y., Xiong, Y.Z. (2004). Performance characteristics of three aeration systems in the swine manure composting. *Biores. Technol.*, 95 (3): 319-326.

## V. Anexos







