

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
Y AGROPECUARIAS

DIVISIÓN DE CIENCIAS AGRONÓMICAS



MODALIDAD TITULACIÓN
TESIS E INFORMES, OPCIÓN TESIS

DETERMINACIÓN DE ALGUNAS PROPIEDADES
DE CALIDAD DE LA COMPOSTA PRODUCIDA A
PARTIR DE ESQUILMOS DE MAÍZ Y FRÍJOL

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO AGRÓNOMO
PRESENTA:

LUÍS ALBERTO PÉREZ LÓPEZ

LAS AGUJAS, ZAPOPAN JALISCO, NOVIEMBRE 2012

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

RESUMEN

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo general	4
1.2 Objetivos particulares	4
1.3 Hipótesis	4
2. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Importancia de la materia orgánica	5
2.2 El Compostaje	7
2.3 La composta	9
2.4 Propiedades de la composta	10
2.5 Efecto de la aplicación de la composta sobre las características físicas del suelo	11
2.6 Microorganismos presentes en la composta	12
2.7 Evaluación de la madurez y estabilidad de la composta	14
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
3.1 Características agroclimáticas de la región	17
3.1.1 localización del sitio experimental	17
3.1.2 clima	17
3.1.3 suelo	18
3.2 Materiales físicos utilizados	18
3.2.1 materiales utilizados en campo	18
3.2.2 materiales utilizados en el laboratorio	19
3.2.3 equipo utilizado	19

3.3	Métodos	20
3.3.1	metodología experimental	20
3.3.1.1	diseño experimental	20
3.3.1.2	variables estudiadas	21
3.3.1.2.1	variables biológicas	21
3.3.1.2.2	variables físicas	21
3.3.1.2.3	variables químicas	22
3.3.2	desarrollo del experimento	22
4.	RESULTADOS Y DISCUSION	28
5.	CONCLUSIONES	46
6.	LITERATURA CITADA	48
7.	APÉNDICE	52

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Indicadores de calidad considerados en la evaluación de las compostas adaptado de la normativa chilena y norteamericana	16
2. Relación y descripción de tratamientos utilizados en el estudio	20
3. Variables químicas cuantificadas en la composta	22
4. Variación en el desarrollo de plántulas de rábano en respuesta a los tratamientos con composta en la 2ª fase mesofílica (composta inmadura)	29
5. Respuesta en el desarrollo de las plántulas de rábano cuando la composta se encontraba en fase de madurez	31
6. Prueba de separación de medias para la variable porcentaje de germinación de semillas de rábano con composta en la 2ª fase termofílica (composta inmadura)	33
7. Bioensayo con <i>Eisenia Foetida andrei</i> donde se utilizó como sustrato la composta en forma granulada	35
8. Cuenta de microorganismos evaluados en la composta.	36
9. Capacidad de absorción de agua	38
10. Capilaridad	38
11. Densidad aparente de la composta	39
12. Velocidad de infiltración	39
13. Composición química de la composta	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Respuesta comparativa del largo de tallo de plántulas de rábano con la muestra recolectada el 28 de mayo de 2008	28
2. Efecto de la composta en fase de madurez sobre el desarrollo de plántulas de rábano	30
3. Porcentaje de germinación de las semillas de rábano con la muestra tomada el 28 de mayo, cuando la composta se encontraba en la fase mesofílica	32
4. Comparación del porcentaje de germinación de plántulas de rábano de los tratamientos con composta en fase de madurez	34
5. Producción en mg/día de CO ₂	37
6. Cambios en la absorbencia durante el proceso de compostaje	40
7. Variaciones de pH durante las diferentes etapas del proceso de compostaje	41
8. Fluctuaciones de la salinidad durante el compostaje	42
9. Variaciones semanales de temperatura en la pila de composta	43

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro	Página
14. Análisis de varianza de los porcentajes de germinación y largo de tallo de plántulas de rábano	52

RESUMEN

El presente trabajo se realizó durante 2008 en el campo experimental y Laboratorio de Agromicrobiología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. El objetivo general fue evaluar la calidad como abono orgánico, de la composta producida a partir de esquilmos de maíz y frijol, durante las fases mesofílica, termofílica y madurez. Se evaluaron cuatro variables biológicas, cuatro variables físicas y catorce variables químicas. Los resultados indican que la composta inmadura inhibió la germinación de las semillas de rábano, mientras que el extracto de composta presentó mayor porcentaje de germinación de semillas que la composta en forma granular, ambas en la fase de madurez. En la variable largo de tallo en plántulas de rábano, es mejor en fase de madurez que en la fase 2^a mesofílica. En el bioensayo con la lombriz de tierra es posible señalar que la composta completó su fase de madurez, ya que no es posible que el organismo la utilizara como alimento. En general se puede apreciar que la población hongos fué la población dominante, en tanto que los valores de CO₂ se consideran como estables para evaluar la madurez de la composta. En el caso de las características físicas, estas presentaron valores dentro de los rangos recomendados como sustrato para fines agrícolas. En el caso de las características químicas el pH final de la composta fue alcalino, la conductividad eléctrica final se ubicó dentro de norma, los valores de absorbencia disminuyen conforme la composta avanza en el proceso de maduración, si bien la cantidad de nutrientes encontrados en la composta no son tan altos, estos cumplen con los requerimientos mínimos de las normativas para ser utilizado como sustrato en aplicaciones hortícolas.

I. INTRODUCCIÓN

México ha tenido un gran incremento demográfico, el cual ha ocasionado, entre otros resultados, que los mexicanos dispongan en promedio de menos tierra cultivable. Estas circunstancias nos deben estimular a incrementar la eficiencia productiva y con ello aprovechar mejor los productos orgánicos que se derivan directa o indirectamente del sector agropecuario. De esta manera, lo que antes se consideraba desperdicio, ahora debe valorarse como materia prima para su aprovechamiento alimentario o industrial (Monroy y Viniegra, 1981). En México, se calcula una generación anual de residuos sólidos de 37 595 000 toneladas, de las cuales 19 707 300 corresponden a residuos de alimentos, residuos de jardinería y desechos orgánicos similares (INEGI, 2009).

El desarrollo de técnicas para la elaboración de composta data de tiempos inmemoriales; en China se conocen técnicas de hace más de 6000 años. Las primeras plantas de compostaje en México se construyeron a finales de la década de 1960 y principios de la década de 1970. Estas plantas generaron grandes expectativas; los objetivos de los promotores en esa época eran similares a los que se tienen hoy en día: recuperar materias primas para la industria de reciclaje, prolongar la vida útil de los sitios de disposición final, y mejorar la calidad de vida de los pepenadores. Cerca de una tercera parte de las plantas instaladas en México han ido cerrándose, pues por diversas razones (técnicas, económicas, administrativas, políticas y sociales) dejaron de ser viables para los municipios que las operaban (Rodríguez y Córdova, 2006).

Es el rechazo ciudadano la principal razón por la cual muchas plantas de composta han parado su operación, la generación de malos olores y el mal aspecto (impacto visual) que presentan sus instalaciones han provocado cierta polémica sobre los beneficios de la producción de composta (Anabel *et al.*, 2007).

El uso de materiales orgánicos como fertilizantes ha estado unido a la actividad agrícola desde sus orígenes, y su empleo está relacionado directamente, desde una perspectiva histórica, con el mantenimiento de la producción de los suelos de cultivo (Ansorena, 1994).

Stoffella y Kahn (2005) señalan que el compostaje es una técnica de tratamiento para materiales orgánicos, un proceso de fabricación para productos del suelo, un método de reciclaje de materias orgánicas y nutrientes, un medio para pasteurizar medios infectados de patógenos, y una estrategia de eliminación para materiales problemáticos. Es una operación de tratamientos, una empresa comercial y una práctica agrícola. El compostaje sirve para todos estos propósitos, y más puesto que es simple, flexible, y aplicable a un amplio rango de escalas.

La utilidad del compostaje es el resultado de dos funciones básicas: (1) cambia las cualidades de los materiales difíciles y a veces indeseables, produciendo un producto que es, como mínimo, más fácilmente utilizable y manejable; y (2) crea composta, un producto que tiene mejores usos y más valor que las materias primas a partir de las cuales se elabora. Debido a la primera función, el compostaje es un método para tratar subproductos orgánicos, o residuos, permitiéndoles ser reciclados de manera económica y segura. Debido a la segunda función, el compostaje es un proceso de producción para una industria que produce y vende productos basados en el compostaje para usos agrícolas y ambientales (por ejemplo, enmiendas de suelo, acolchado, sustratos, fertilizantes orgánicos y medios para controlar la erosión y remediar los suelos contaminados).

El éxito de la venta al público precisa que el compost esté maduro y bien descompuesto y que tenga color pardo a negro y un olor a tierra. El grado de madurez y la estabilidad biológica son factores muy importantes para la utilización de un compost como sustrato o mantillo de tiestos o macetas para empaquetado o envasado desde el punto de vista de eliminación de enfermedades.

En la práctica, para valorar la calidad de un sustrato no basta con conocer las propiedades generales de sus principales componentes, sino que es necesario determinarlas para cada ingrediente o mezcla particular, ya que las variaciones suelen ser muy importantes (Bures, 1997).

En este sentido, Cadahia (2005) menciona que la primera etapa de la aplicación de un sustrato en el cultivo es la caracterización del mismo, con objeto de conocer sus propiedades físicas, químicas y biológicas. Las propiedades de los materiales son factores limitantes, que determinan el manejo posterior del sustrato; es importante que la mezcla o sustrato reúna características tales como:

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son muy importantes. Una vez que la planta esté creciendo en él, no es posible modificar las características físicas básicas de dicho sustrato.

Las propiedades químicas caracterizan las transferencias de materia entre el sustrato y la solución del sustrato; reacciones de disolución e hidrólisis de los constituyentes minerales (química), reacciones de intercambio de iones (físico-química) y reacciones de biodegradación de la materia orgánica (bioquímica).

Un examen detallado de las propiedades de los sustratos de cultivo no debe finalizar sin el estudio de sus propiedades biológicas. Muchos de los efectos biológicos de los sustratos orgánicos son directamente atribuibles a los ácidos húmicos y fúlvicos, que son los productos finales de la degradación de la lignina y la hemicelulosa.

1.1 Objetivo general

Evaluar la calidad de la composta como abono orgánico, producido a partir de esquilmos de maíz y frijol, durante las fases mesofílica, termofílica y madurez.

1.2 Objetivos particulares

Determinar el efecto de la composta en las fases termofílica y madurez, tanto en forma de extracto como granular, sobre el porcentaje de germinación de semillas y largo de tallo de plántulas de rábano.

Determinar algunas propiedades químicas y biológicas de la composta producida a partir de esquilmos de maíz y frijol, durante las fases termofílica y madurez.

Determinar algunas propiedades físicas de la composta en la fase de madurez, producida a partir de esquilmos de maíz y frijol.

Congruente con los objetivos, se planteo la siguiente hipótesis:

1.3 Hipótesis

La composta madura aplicada en forma de extracto o granular incrementa la germinación y el desarrollo de plántulas de rábano.

La composta madura presenta propiedades físicas, químicas y biológicas que no afectan su utilización como sustrato.

La composta madura presenta un contenido de nutrientes aprovechables para las plantas para ser utilizada como complemento o sustituto de otras fuentes de nutrientes.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de la materia orgánica

El manejo del suelo debe mejorar la fertilidad del mismo de manera que puedan aumentarse después, las producciones de los cultivos. Un suelo fértil es capaz de resistir la erosión y satisfacer las necesidades del cultivo en términos de humedad, aire, nutrientes, acidez y temperatura. La fertilidad se consigue mediante un amplio rango de prácticas agrícolas, todas las cuales contribuyen a mantener o aumentar la cantidad de materia orgánica en el suelo (Dalzel, 1991).

Una forma de recuperar el potencial productivo del suelo, es a través de la aplicación de la materia orgánica, ya sea en forma de composta, vermiabono, etc., ya que proporciona y mejora las condiciones de fertilidad, estructura, pH, mayor capacidad de retención de agua y nutrientes (De Luna y Vázquez, 2009).

Rosas (2007) señala que los componentes de la materia orgánica se clasifican en dos grupos generales de sustancias: no húmicas y húmicas. Los residuos de las plantas tienen una constitución heterogénea, están constituidos por seis grupos de sustancias:

- 1.- Celulosa, varían del 15% al 60% del peso seco.
- 2.- Hemicelulosa, del 10% al 30%.
- 3.- Ligninas, del 5% al 30%.
- 4.- Sustancias solubles en agua, como azúcares simples, aminoácidos y ácidos alifáticos del 5% al 30%.
- 5.- Sustancias solubles en éter y alcohol, como grasas, aceites y ceras.
- 6.- Proteínas, en las cuales se halla gran parte del nitrógeno y azufre orgánicos.

Alcantar y Trejo (2007) mencionan algunas de las principales funciones de los macronutrientes y micronutrientes en las plantas:

Azufre: La planta absorbe la mayor parte del azufre (S) en forma de sulfatos a través de la raíz, pero simultáneamente esta capacitada para tomarlo en forma de gas (SO_2) a través de las hojas.

Boro: El boro (B) como el manganeso pertenece al grupo de nutrientes que son metales de transición o metaloides. Participa en el metabolismo y transporte de carbohidratos y en la síntesis de la pared celular.

Calcio: El calcio (Ca) puede presentarse en las plantas como ion libre o en forma adsorbida, aunque además se conocen varias sales de calcio, las cuales se encuentran en la vacuola o como incrustaciones en la pared celular. Es importante en la división celular y en la estabilidad de membrana y pared celular. Asociado con proteínas (calmodulinas) cumple funciones de mensajero secundario.

Carbono: Principal constituyente de la materia viva y consecuentemente de todas las biomoléculas; carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos.

Fósforo: El fósforo (P) forma parte de los ácidos nucleicos y participa en la síntesis de proteínas. Como constituyente del ATP y muchas coenzimas (NAD, FAD) intervienen en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía, favorece la maduración de los frutos y en el desarrollo de las hojas.

Magnesio: En general el magnesio (Mg) es absorbido y acumulado en las plantas en cantidades menores que el Ca o el K y similares al P y S. Participa como cofactor o activador en muchas reacciones enzimáticas. Se asocia al ATP en la transferencia de energía y es componente de la clorofila, estabilidad a los ribosomas.

Nitrógeno: Las plantas superiores, en general, tienen la capacidad de asimilar las diversas formas de nitrógeno (N) inorgánico, principalmente el NH_4^+ y NO_3^- . Es un importante componente de todas las proteínas y ácidos nucleicos. Esta presente en coenzimas, nucleótidos, amidas, ureidos y en la clorofila, en la respiración, multiplicación y diferenciación celular y en la herencia.

Potasio: Representa el cation que es mas absorbido en mayor cantidad por las plantas, por lo que en la mayoría de los vegetales el contenido de potasio (K) sobrepasa considerablemente a los otros cationes alcalinos y alcalinotérreos. Es activador y formador de más de 50 enzimas del metabolismo de carbohidratos y proteínas. Participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica. Es indispensable para la elaboración del almidón, de los azucares y en general, de los hidratos de carbono, y para la apertura y cierre de estomas.

2.2 El Compostaje

El compostaje intenta recrear las condiciones que existirían en un ecosistema sin perturbar donde la materia orgánica se acumula en la superficie del suelo y no se incorpora regularmente a el como ocurre en los ecosistemas agrícolas (Lampkin, 1998).

El compostaje es la descomposición o degradación de los materiales de desechos orgánicos por una población mixta de microorganismos en un ambiente calido, húmedo y aireado (Dalzel, 1991).

Nieto (2002) señala que el compostaje es la conversión y descomposición controlada de un material orgánico sólido una sustancia parecida al humus, cuyo uso primario se destina a la reducción del volumen de productos de desechos carbonaceos hasta convertirlo en material útil.

El compostaje es un proceso complejo en el que intervienen una amplia gama de microorganismos que atacan a los residuos orgánicos. Los principales microorganismos responsables del proceso de compostaje son hongos, actinomicetos y bacterias y posiblemente, protozoos y algas (Simpson, 1991).

De acuerdo con Labrador (2002) en líneas generales, el compostaje es un proceso biooxidativo y controlado, en el que intervienen una gran diversidad de microorganismos, que requieren una humedad adecuada y sustratos orgánicos heterogéneos en su composición y homogéneos en cuanto a su tamaño y básicamente en estado sólido, y que pasa por una fase termofílica, dando al final como producto de los diferentes procesos de transformación de dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada e higienizada, rica en poblaciones microbianas útiles, en sustancias humicas y en bioactivadores de la fisiología vegetal.

Lampkin (1998) menciona que el proceso de compostaje, puede dividirse en cuatro etapas conocidas como: mesofílica, termofílica, de enfriamiento y de maduración. Inicialmente, las variedades de microorganismos mesófilos (con una capacidad de crecimiento entre 15 a 45°C), presentes en los residuos orgánicos o en la atmósfera, empiezan a descomponer los materiales, se desprende calor y la temperatura aumenta. El pH desciende por la producción de ácidos orgánicos. Por encima de 40°C, predominan las variedades termofílicas (algunas son capaces de crecer por debajo de 40°C) y la temperatura asciende hasta los 60°C, donde se desactivan los hongos. Por encima de esta temperatura la reacción se mantiene por los actinomicetos y las bacterias formadoras de esporas. En esta fase de alta temperatura, se consumen rápidamente las sustancias más fácilmente degradables como azúcares, almidones, grasas y proteínas; el pH se hace alcalino a medida que se libera el amonio de las proteínas. La velocidad de reacción disminuye a medida que se atacan los materiales más resistentes; el montón entra entonces en una fase de enfriamiento. A medida que desciende la temperatura, los hongos termofílicos vuelven a invadir el montón desde los extremos y empiezan a atacar la celulosa. Luego vuelven a invadirlo las variedades mesofílicas de microorganismos. Este proceso se realiza de manera bastante rápida, durante unas pocas semanas. La etapa final, de maduración, necesita varios meses; las reacciones se producen en la materia orgánica residual para dar lugar al producto estable del humus a los ácidos humicos.

2.3 La composta

La composta es un producto negro, homogéneo y, por regla general, de forma granulada, sin restos gruesos. Al mismo tiempo, es un producto húmico y calcico; un fertilizante químico. Por su aportación de oligoelementos al suelo, su valor es muypreciado. Se obtiene a partir de la fermentación de basura orgánica; también se le conoce como humus (FAO, 1991).

Dalzel (1991) considera que la composta es esencialmente una reorganización biológica de la fracción del carbono de la materia orgánica. El material orgánico, bien de origen industrial, domestico o agrícola, es una mezcla de azucares, proteínas, hemicelulosas, celulosa, lignina y minerales en un amplio rango de concentraciones. Las fracciones contenidas en el material vegetal dependerán de la edad de la planta, su tipo y medio ambiente. La materia verde fresca contiene muchas sustancias solubles en agua, proteínas y minerales. A medida que las plantas envejecen, tienden a retornar los minerales del suelo y los compuestos de bajo peso molecular se convierten en compuestos poliméricos de alto peso molecular tales como las hemicelulosas, celulosa y lignina.

Los abonos orgánicos producen efectos benéficos a los cultivos, dependiendo de la naturaleza del abono, características del suelo, tipo de cultivo, periodicidad de la aplicación y cantidad del abono, entre otros. Por otra parte los fertilizantes químicos solo mejoran las propiedades químicas del suelo, que los coloca en desventaja sobre los orgánicos, desde el punto de vista del mantenimiento de las propiedades físicas del suelo. Para la recuperación de los suelos y la inocuidad de nuestros alimentos, la composta es el mejor abono que el hombre puede hacer y consiste en seguir el ejemplo de la naturaleza: a través de microorganismos (bacterias, virus, hongos, algas) y macroorganismos (hormigas, escarabajos, gusanos, lombrices, etc.), se lograra la revitalización de los residuos orgánicos para convertirlos en composta (Triano *et al.*, 2005).

Otra visión de la composta es la que da Bures (1997), que considera que en la práctica, casi nunca se utilizan como sustratos un único material. Generalmente, los sustratos comerciales consisten en mezclas de materiales distintos en diversas proporciones. La razón principal radica en la dificultad de encontrar materiales que tengan por si solos características adecuadas para el cultivo. Además, estos sustratos deben suministrarse al cultivador en condiciones adecuadas para el cultivo, implicando con ello que estos sustratos deberán ser estables, fáciles de utilizar, deberán corregirse sus deficiencias y aportar, en la mayoría de los casos en abonado de base que permita partir de un material ya apto para el cultivo.

En la agricultura, los abonos y los estiércoles se utilizan para suplementar los nutrientes que las plantas son capaces de obtener del suelo por si mismas. El resultado de su empleo suele ser un aumento en el rendimiento de las cosechas (Simpson, 1991).

Las compostas proporcionan la energía necesaria para el aumento de la actividad microbiana y ayudan también a proteger los cultivos de grandes excesos temporales de sales minerales y sustancias toxicas, así como de las rápidas fluctuaciones en las reacciones del suelo gracias a su alta capacidad de adsorción que ejerce una acción amortiguadora (Lampkin, 1998).

2.4 Propiedades de la composta

Alexander (1996) menciona puesto que la composta contiene fuentes relativamente estables de materia orgánica, estos nutrientes se suministran como fertilizantes de liberación lenta. La fertilidad de los suelos se encuentra a menudo condicionada por el contenido de materia orgánica.

La incorporación de enmiendas de composta al suelo permitirá también a los cultivos utilizar más eficazmente los nutrientes mientras se reduce su pérdida por lixiviación (Brady, 1974).

La adición de composta al suelo puede modificar el pH del suelo. Dependiendo del pH de la composta y del suelo original, la adición de composta puede aumentar o disminuir el pH de la mezcla suelo/composta. Por tanto la adición de una composta neutra o ligeramente alcalino a un suelo ácido incrementará el pH si se añade en cantidades apropiadas. La incorporación de composta como enmienda del suelo incrementa su Capacidad de Intercambio Cationico (CIC) proporcionando la capacidad para retener, de forma eficaz, más nutrientes (Lampkin, 1998).

2.5 Efecto de la aplicación de la composta sobre las características físicas del suelo

Los abonos orgánicos ayudan a modificar las condiciones físicas del suelo, al mejorar la capacidad de retención del agua, la aireación, el drenaje y la friabilidad; y el color más oscuro de la materia orgánica indica que los suelos se calientan más de prisa y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año (Lampkin, 1998).

Rodríguez y Córdova, 2006 refieren que la composta es un mejorador de suelo porque favorece el desarrollo de sus funciones:

Favorece la aireación y la retención de humedad. Junto con las arcillas fomenta la formación de agregados más estables. En suelos arenosos ayuda a la retención del agua.

Mejora la estructura del suelo. Por esta característica y porque permite la absorción del agua, es un agente preventivo de la erosión.

Provee un medio donde infinidad de microorganismos se desenvuelven; algunos procesan los residuos para convertirlos en humus para aprovecharlo o generar alimento para otros. Es la “casa” del sistema vivo del suelo.

Favorece el almacenamiento de nutrimentos y su disponibilidad para los vegetales.

2.6 Microorganismos presentes en la composta

El compostaje es un proceso microbiano constantemente cambiante producido por las actividades de una sucesión de varios grupos de microorganismos, cada uno de los cuales es apropiado para un medio de duración relativamente limitado (Dalzel, 1991).

Rosas (2007) señala que los microorganismos realizan procesos biológicos mediante la descomposición o procesamiento de la materia orgánica de origen vegetal o animal. Todos los compuestos orgánicos de origen natural son susceptibles de descomposición, sea por un solo microorganismo o por varias especies que actúan en combinación.

Durante el proceso de compostaje se produce una intensa competencia por el alimento entre los microorganismos: se generan antagonismos, se forman antibióticos y el montón es invadido por macrofauna (ácaros, hormigas, lombrices, etc.) que contribuyen a la descomposición mediante la maceración de las partículas finas (Lampkin, 1998).

Bures (1997) indica que cuando los materiales orgánicos se acumulan en pilas, empieza inmediatamente un proceso de descomposición, la velocidad del cual dependerá el tipo de material. La descomposición empieza con la autólisis de los tejidos vivos, paso tras el cual empieza a desarrollarse una población microbiana, siendo los hongos la población dominante. Las bacterias (*Thiobacillus*, *Myxococcus*, etc.), hongos filamentosos (*Aspergillus*, *Penicillium*, *Rhizopus*, *Trichoderma*, *Mucor*, etc.) y actinomicetos (*Micromonospora*, *Nocardia*, *Streptomyces*, etc.) actúan transformando los residuos orgánicos en formas más estables. Este proceso puede tener lugar de dos modos distintos según la presencia de oxígeno: aeróbica o anaerobicamente.

Los actinomicetos son un grupo que presenta enorme variabilidad; en general se definen como bacterias con hifas productoras de micelio, estando consideradas como un grupo de transición entre las bacterias y los hongos. El número de los mismos en el suelo varían ampliamente, según la profundidad, el contenido de agua, la reacción, el tipo de suelo, el contenido de materia orgánica y el tipo de vegetación que lo cubre (Alexander, 1996).

Las especies de hongos edáficos son notables por su diversidad y por su heterogeneidad. Han sido estudiados extensamente debido a su importancia en la descomposición de los tejidos vegetales y animales, por la formación de micorrizas, por su papel en la rizosfera y por su capacidad fitopatogena (Haug, 1993).

Labrador (200) menciona que dentro del grupo de las bacterias encontramos organismos localizados normalmente en colonias. El factor principal que limita el crecimiento bacteriano en el suelo es la escasez de alimento o la carencia de una fuente energética apropiada y disponible; la naturaleza de este material influye en la elevación de la actividad y en la especificidad de las bacterias que responden igualmente, el hecho de que sean escasos los nutrientes minerales restringe a menudo los procesos de descomposición en el suelo. En este sentido, algunas de las acciones beneficiosas de los microorganismos serían:

Estimulación de la germinación y del enrizamiento mediante la producción de fitoestimuladores, como hormonas, vitaminas y otros.

Incremento en el suministro/disponibilidad de nutrientes mediante su participación en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes.

Mejora de la estructura del suelo por su contribución en la formación de agregados estables y en la formación de humus.

Protección de la planta mediante fenómenos de antagonismo, actuando como biopesticidas, por eliminación de productos contaminantes o por incremento de la tolerancia a la salinidad, a la sequía, etc.

2.7 Evaluación de la madurez y estabilidad de la composta

La mayor parte de los factores cualitativos mas importantes de una composta depende de la planificación del compostaje y de su utilización. Para casi todas las aplicaciones, el indicador fundamental de la calidad de una composta es la respuesta observada en el desarrollo de las plantas (Stoffella y Kahn, 2005).

U.S. Composting Council (Consejo para el Compostaje de Estados Unidos, 2002) clasificación y requisitos de calidad de la composta producida a partir de residuos orgánicos:

La densidad aparente sobre base real proporciona principalmente el contenido de humedad por unidad de volumen para ser usado para estimaciones de requerimientos de transportación y los volúmenes de masa para ser aplicados por unidad de área.

La capacidad de retención de agua es la cantidad de agua contenida en los poros después de las pérdidas por gravedad durante determinado tiempo, el ensayo se utiliza para evaluar la utilización de la composta como medio de cultivo, los resultados de este procedimiento pueden utilizarse para el cálculo de la porosidad total y de la porosidad para el aire.

La Capacidad de Intercambio de Cationes (CIC) es una medida de la capacidad de una composta para retener cationes intercambiables como el potasio (K), el calcio (Ca), el manganeso (Mg) y el sodio (Na). La CIC aumenta a lo largo del compostaje puesto que se forman sustancias humicas con una CIC elevada; así pues, a medida que se estabiliza la materia orgánica, aumenta la CIC, siendo este un buen parámetro de evolución del compostaje.

La escala de valores del pH en la mayor parte de los compuestos acabados varía entre 6 y 8.5; el valor final del pH de una composta depende mucho de la materia prima, del proceso de fabricación y de la adición de cualquier enmienda.

El color de la composta tiende a oscurecer siendo su color propuesto para la madurez negro o pardo muy oscuro, siendo un valor subjetivo por ser dependiente de la materia prima.

La respirometría es la medida del CO₂ consumido o del CO₂ liberado por una muestra y se utiliza en la estimación de la actividad biológica de la misma. El coeficiente de respiración medido puede ser usado para estimar la cantidad de peso perdido en el tiempo y para valorar la madurez de una composta.

El método de germinación de semillas de rábano y elongación de tallos presenta una tendencia de aumento durante el compostaje, las compostas pueden contener una variedad de sustancias fitotóxicas que inhiben o previenen el crecimiento de la planta.

Los análisis con *Eisenia foetida* sirven también como indicadores de la estabilidad de la composta, si las lombrices no mueren en un periodo de exposición de 7 o 14 días la composta es considerada estable, si se presenta mortandad la composta es considerada toxica.

Determinar e interpretar con espectrofotómetro los principales materiales orgánicos absorbidos en la ultravioleta, visible y especialmente en la región infrarroja. Este ensayo provee de mecanismos reales en el proceso de descomposición de la materia orgánica de los materiales y los múltiples escenarios del proceso de compostaje.

El olor fétido anaerobio a olor desagradable puede ocurrir durante el compostaje como por ejemplo, compuestos sulfurosos, amoniacales, mercaptanos y/o de azufre reducido entre otros, como un valor propuesto para la madurez de la composta es un olor a tierra aunque este valor es subjetivo por no ser muy apreciable en las compostas durante la fase de curado.

Bures (1997) señala aunque la conductividad eléctrica (CE) no es un parámetro fundamental para el control del proceso del compostaje, es indicativo de posibles problemas que pueden presentarse en el uso posterior de los sustratos. Generalmente, la CE no varía durante el compostaje pero aumenta considerablemente durante la fase de maduración, pues en esta fase actúan las bacterias nitrificantes y aparecen iones nitrato, calcio y magnesio.

Dentro de los análisis químicos se puede utilizar la relación C/N como indicador final del compostaje. Este valor, cuando se estabiliza en general ha terminado el proceso de descomposición. Sin embargo, muchos materiales acaban su compostaje con relaciones C/N más altas, por ejemplo, si contienen celulosas o polisacáridos con carbono en formas no disponibles. Algunos ensayos biológicos pueden ser también válidos, el conteo de microorganismos y supresividad del compost.

Cuadro 1. Indicadores de calidad considerados en la evaluación de las compostas adaptado de la normativa chilena y norteamericana

Parámetro	Bajo	Intermedio	Alto
pH	5.0	6.0-7.5	>8.5
Sales solubles (dS/m)	1-2	3-6	>10
Nitrato-N (ppm)	<100	100-200	
Amonio-N (ppm)	<10		>40
Fósforo (ppm)	<10	10-30	>40
Potasio (ppm)	<100	200-400	>400
Calcio (ppm)	<100	200-300	>400
Sodio/Cloro (ppm)	<70	80-140	>150
Materia orgánica	20%	40-50%	60%
Evolución CO ₂ (mg/g)	<2	2-8	>8
C/N	<25	25-30	>30
Densidad aparente (Kg./m ³)	475		600
Humedad	<35%	45-55%	>65%
Tamaño partículas (mm)	<10	13	>25
Germinación de semillas	<80%	80-90%	>90%
Color		Pardo oscuro	Negro
Olor	Olor fétido		Olor a tierra, inodoro

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Características agroclimáticas de la región

El presente trabajo se realizó en el campo experimental, así como en el laboratorio de Agromicrobiología del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias (CUCBA) de la Universidad de Guadalajara.

3.1.1 localización del sitio experimental

El sitio experimental se ubica en el predio Las Agujas, municipio de Zapopan, Jalisco, localizado en la región centro del estado, en las coordenadas extremas de 20°25'30" a 20°57'00" de latitud norte y 103°19'30" a 103°39'20" de longitud oeste, a una altura de 1,548 metros sobre el nivel del mar (Los municipios de Jalisco, 2008).

3.1.2 clima

El clima en el sitio experimental es templado, semiseco con invierno y primavera secos, y semicálidos con invierno benigno. Al Norte y Sur, es semiseco con invierno y primavera secos y semicálidos.

La temperatura media anual es de 23.5°C, y tiene una precipitación media anual de 906.1 milímetros con régimen de lluvia en los meses de junio a octubre, los vientos dominantes son con dirección este, generalmente de intensidad moderada, la mayor incidencia de ellos corresponde a los meses de febrero y marzo, el promedio de días con heladas al año es de 5.12 (Los municipios de Jalisco, 2008).

3.1.3 suelo

En el área de estudio, el tipo de suelo presente es regosol eútrico y feozem háplico y, como suelo asociado, el luvisol crómico, geológicamente, formado de rocas ígneas extrusivas (Los municipios de Jalisco, 2008). Las rocas más comunes son tobas de grano grueso de carácter pomozo, conocidas como jal (Ortiz, citado por Nuño, 1983).

Su reacción de pH, es de 4.9 a 5.5; su porcentaje de materia orgánica, es de 1.05, son suelos pobres de Nitrógeno, Fósforo, Calcio, Magnesio, y ricos en Potasio (Nuño, 1983).

3.2 Materiales físicos utilizados

Para la determinación de las diferentes variables en el campo experimental, así como en el laboratorio de agromicrobiología se utilizaron los siguientes equipos y materiales:

3.2.1 materiales utilizados en campo

- Composta en proceso de descomposición
- Cuchara de jardín
- Lona de plástico
- Paja de frijol
- Paja de maíz
- Pala
- Rastrillo
- Termómetro

3.2.2 materiales utilizados en el laboratorio

- Agar Nutritivo, PDA, agar Czapek
- Agua destilada
- Alcohol de 96°
- Algodón
- Bolsas de plástico
- Cajas de petri
- Cernidor
- Embudos de plástico
- Marcador de aceite
- Matraz de 250 ml.
- Mechero de alcohol
- Palanganas
- Papel filtro
- Pipetas
- Probetas
- Tubos de ensayo

3.2.3 equipo utilizado

- Agitador rotatorio horizontal
- Agitador vortex
- Autoclave
- Balanza digital
- Campana de flujo laminar
- Centrifuga
- Contador de colonias
- Espectrofotómetro
- Horno de secado
- Incubadora
- Peachimetro Hanna

3.3 Métodos

3.3.1 metodología experimental

Se utilizaron en total siete tratamientos consistentes en la aplicación de una composta en forma de dilución de extracto, granular y un tratamiento testigo con solo agua destilada cuando la pila de composta se encontraba en la 2ª fase mesofílica y en fase de madurez. La lista de los siete tratamientos se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2. Relación y descripción de tratamientos utilizados en el estudio

NO. de tratamiento	Tratamiento
1	Sección alta granular
2	Sección alta extracto
3	Sección media granular
4	Sección media extracto
5	Sección baja granular
6	Sección baja extracto
7	Testigo

3.3.1.1 diseño experimental

El diseño experimental utilizado para ubicar y evaluar el efecto de los tratamientos sobre el porcentaje de germinación de semillas y largo de tallo de plántulas de rábano, fue el denominado bloque completo al azar, utilizando tres repeticiones. Los datos obtenidos en las diferentes variables, se sometieron al análisis de varianza y a la prueba de separación de medias denominada DMS $P > 0.05$ (Padrón, 2003; Reyes, 1999).

En las variables físicas y químicas no hubo repeticiones, por lo que los resultados se presentan en forma de graficas y cuadros.

3.3.1.2 variables estudiadas

Para determinar la calidad como abono orgánico de la composta, se plantearon las variables biológicas, físicas y químicas. Las variables de la composta se registraron con tres muestras recolectadas cada semana durante todo el proceso de compostaje, dividiendo la pila de la composta en tres secciones: parte alta (A), parte media (M) y baja de la pila (B).

3.3.1.2.1 variables biológicas

La determinación de las variables biológicas en la composta se realizó para observar:

- a) El efecto de la composta, en forma sólida y como extracto, sobre el porcentaje de germinación de semillas y plántulas de rábano (*Raphanus sativus*).
- b) La fitotoxicidad de la composta registrando la sobrevivencia y desarrollo de la lombriz de tierra roja californiana (*Eisenia Foetida andrei*).
- c) El número de microorganismos como Unidades Formadoras de Colonias (UFC) presentes en la composta.
- d) La actividad microbiana, a través de la evolución de CO₂.

3.3.1.2.2 variables físicas

En las variables físicas se determinaron las siguientes mediciones según el manual de Fisher *et al.* (2003):

- a) Densidad aparente (gr. cm⁻³).
- b) Capacidad de absorción de agua (gr. cm⁻³).
- c) Capilaridad (gr. cm⁻³).
- d) Infiltración (min.).

3.3.1.2.3 variables químicas

Las variables registradas de la composta, se detallan en el cuadro 3.

Cuadro 3. Variables químicas cuantificadas en la composta

Variable	Método
Materia seca	AOAC 930.36
Humedad y mat. volátil	Por diferencia
Nitrógeno	AOAC 954.04
Carbono orgánico	Por calculo
Cenizas	TMECC 03.02
Materia orgánica	Por diferencia
Potasio	TMECC 04.04K/4.13
K ₂ O	Por calculo
Fósforo total	AOAC 965.09
P ₂ O ₅	Por calculo
Sodio	AOAC 986.15
pH	Peachimetro Hanna
Conductividad eléctrica	Peachimetro Hanna
Absorbencia	Espectrofotómetro

3.3.2 desarrollo del experimento

Las determinaciones biológicas y físicas, así como el pH, conductividad eléctrica y absorbencia fueron efectuadas en el Laboratorio de Agromicrobiología, en tanto que las determinaciones químicas se efectuaron en el Laboratorio de Producción Animal, ambos ubicados en el CUCBA, de la Universidad de Guadalajara.

3.3.2.1 pruebas biológicas

3.3.2.1.1 formación de pila. La composta para el presente trabajo se produjo con el método de pila con volteo periódico. El material a compostear fue la paja de maíz y frijol y como activador se utilizó composta avanzada (en fase mesofílica). La pila no se movió durante los primeros días del proceso conocida como fase mesofílica, se utilizó un termómetro con varilla de 60 cm. de largo para medir la temperatura, durante este periodo no hubo adición de agua para controlar la humedad. En la segunda etapa de compostaje conocida como fase termofílica la pila de composta se volteo periódicamente para facilitar la aireación y aplicar el riego con agua de la llave para mantener la humedad de la pila a 60% determinándola mediante la prueba de puño.

3.3.2.1.2 bioensayos con semillas. Se realizó una prueba de germinación de semillas de rábano (*Raphanus sativus*) para conocer el grado de madurez de la composta. Se utilizaron 30 semillas de rábano, las que se colocaron en cajas de petri (diámetro de 10 cm.) con papel filtro (Whatman No.1) en el fondo. Se tomaron muestras de la pila de composta de la parte alta (A), media (M) y base (B). A partir de cada muestra se produjo extracto de composta. La composta se utilizó como sustrato (20 gr.) para la germinación de las semillas, en tanto que el extracto (10 mL) se utilizó para regar la semilla. Lo anterior generó seis tratamientos a los que se añadió un séptimo tratamiento testigo, en el que utilizó solo agua destilada para regar las semillas. El bioensayo consistió en tres repeticiones del esquema básico de tratamientos. Las semillas se dejaron germinar a temperatura de laboratorio, el porcentaje de germinación se realizó hasta el sexto día. Después de ese día ya no se observó germinación alguna de semillas.

3.3.2.1.3 bioensayos con *Eisenia Foetida andrej*. Para evaluar el grado de madurez de la composta después del periodo de enfriamiento de la pila, y determinar su fitotóxicidad, se utilizó la lombriz de tierra roja californiana. La finalidad de este bioensayo es registrar la sobrevivencia y desarrollo de la lombriz. Para esto se tomaron muestras de la pila de composta en la parte alta, media y base. Se colocaron 20g de la composta en cajas de petri conservando el 80% de humedad. A cada caja de petri se le añadieron tres lombrices con un peso de entre 300 a 500 mg. Se registró el peso inicial de la suma de las tres lombrices. El bioensayo se desarrolló a temperatura ambiente de laboratorio (a 23°C). Después de siete días se removieron y pesaron las lombrices, regresándolas luego a sus respectivas muestras por otro periodo de siete días. A los catorce días se volvieron a remover y pesar las lombrices.

3.3.2.1.4 conteo de microorganismos. Se cuantificaron las poblaciones de hongos, bacterias y actinomicetos. Los medios de cultivo utilizados fueron PDA, agar nutritivo y agar Czapek, respectivamente. El método utilizado fue el de diluciones decimales y vaciado en placa, según el manual de Valdés (1980). Se utilizaron 10 gr. de muestra tamizada de composta y se depositaron en un frasco de dilución el cual contenía 90 mL de agua destilada. El frasco se agitó por cinco minutos y posteriormente se tomo 1 mL de la suspensión para realizar diluciones decimales hasta 10^{-8} . Se tomaron 0.5 ml. de cada una de las diluciones correspondientes y se depositaron en cajas de petri con los medios de cultivo correspondiente para cada tipo de microorganismo. Una vez depositada la muestra se extendió sobre la superficie. Las cajas de petri se pusieron en incubadora (TERLAB D80) a 28°C y el conteo de microorganismos se realizo a los tres y seis días de realizada la siembra.

3.3.2.1.5 evolución de CO₂. Se tomaron muestras de la pila de composta de la parte alta (A), de la parte media (M) y de la base (B). Según el manual de Valdés (1980) se utilizaron 10 gr. de cada muestra y se depositaron en cajas de petri (diámetro 10 cm.). Se colocó un recipiente pequeño en el centro de la caja de petri, al que se agregó 10 mL de NaOH 0.2 N. El recipiente fue colocado de tal manera que quedara rodeado por el sustrato y no encima de la muestra. La caja de petri se selló con parafilm y se dejó reposar durante 24 horas. Después de reposar la muestra el tiempo indicado, el NaOH contenido en el recipiente pequeño se vació a un matraz de 250 mL de capacidad al que se le agregan 50 mL de agua destilada. El matraz se agitó ligeramente y se añaden 1 mL de BaCl al 20%. A continuación se agregaron 2 gotas de fenoftaleína con lo que la suspensión tomó un color rosado. Se procedió a titular la suspensión con HCL 0.2 N. Se midió el gasto de HCL 0.2 N.

3.3.2.2. pruebas físicas

3.3.2.2.1 capacidad de absorción de agua. La determinación de la capacidad de absorción de agua se realizó en una maceta con capacidad de 300 mL y se colocó sobre una palangana. La maceta se relleno del sustrato hasta la marca (250 mL) dejándola caer varias veces para comprimir y rellenando nuevamente hasta la marca, una vez nivelado el sustrato se pesó (peso seco), se agregó agua a la palangana hasta una altura poco menor a la altura de la maceta, se retiró la maceta una vez que la superficie del sustrato se observaba ligeramente cubierta de agua, se dejó escurrir toda el agua de la maceta y posteriormente se pesó (peso húmedo). Al final para determinar la capacidad de absorción de agua se aplicó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Abs} = \text{mL agua} / \text{Volumen de la maceta} * 100$$

Donde: mL de agua= (peso húmedo) – (peso seco)

3.3.2.2.2 capilaridad. Para determinar la capilaridad se utilizó una maceta de 300 ml. y se relleno la maceta con composta hasta la marca (250 ml.), se dejó caer varias veces y se volvió a relleno hasta la marca, se registro su peso (peso seco), se agrego agua a la palangana (3 cm.) y se depositó la maceta dentro, se retiró después de 15 min.; se dejó escurrir por 10 min. y se pesó (peso húmedo). Para determinar la capilaridad se empleo la siguiente ecuación:

$$\text{Abs. \% Vol.} = \text{ml. de agua} * 100 / \text{Volumen de la maceta}$$

$$\text{Donde: mL de agua} = (\text{peso húmedo}) - (\text{peso seco})$$

3.3.2.2.3 densidad aparente. Para la determinación de la densidad (peso/volumen) se utilizó una probeta de 500 mL de capacidad, a la que se le registró el peso. El sustrato se depositó en la probeta hasta los 400 mL y se pesó. Se agitó para disminuir el espacio vacío y nivelar la superficie y leer el volumen compactado. La densidad se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Densidad} = (\text{peso probeta llena} - \text{peso probeta vacía}) (1000) / \text{vol. compactado}$$

3.3.2.2.4 infiltración. Para la prueba de infiltración se utilizó una maceta de plástico de 300 mL de capacidad. El sustrato se colocó en la maceta hasta los 250 mL. En una probeta se midieron 100 mL de agua, la que se agrego a la maceta haciendo movimientos circulares. Se activó el cronometro al momento de la caída del agua y se detuvo hasta que ésta se filtro completamente en el sustrato. Los resultados se registraron como el tiempo de infiltración de los 100 mL.

3.3.2.3 pruebas químicas

3.3.2.3.1 absorbencia. Se utilizaron 20g de composta tamizada la que se depositó en un matraz de 500 mL de capacidad; se agregaron 100 mL de agua destilada. El matraz se agitó durante 15 minutos (en el agitador AROS 160). Transcurrido el tiempo de agitación se procedió a realizar el filtrado de las muestras depositando la suspensión en embudos con papel filtro, el filtrado se depósito en tubos de ensayo del que se tomaron 7 mL. Se procedió a centrifugar el filtrado durante 30 minutos a 3000 rpm (centrifuga Ultra 8-V). Transcurrido el tiempo de centrifugado las muestras se pasaron al espectrofotómetro y se tomo la lectura a 640 nm. Una vez realizada la lectura se tomaron 1 ml. de cada una de las muestras y se vació dentro de una caja de petri con papel filtro para registrar el corrimiento de la mancha. La toma de muestras se realizó semanalmente.

3.3.2.3.2 medición de pH y conductividad eléctrica (CE). Para la determinación de pH y CE se peso un frasco vacío y sin tapadera, se pesaron 20 gr. de sustrato y se depositaron en el frasco, se midieron 40 mL de agua destilada en una probeta, se vació al recipiente y se cerro el frasco, se agito durante 10 minutos en el agitador (AROS 160). En la suspensión se determinó el pH y la CE con un equipo Hanna (H1-9810).

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1 Pruebas biológicas

4.1.1 bioensayo de germinación de semilla y largo de tallo

Los resultados para evaluar el bioensayo en el desarrollo de las plántulas de rábano en el sustrato muestreado, cuando la pila de composta se encontraba en la 2ª fase mesofílica, se presentan en la figura 1. El análisis de la varianza muestra diferencia significativa para el efecto de tratamientos, en tanto que la prueba de separación de medias (DMS $P > 0.05$), se muestra en el cuadro 4.

Los tratamientos de composta granulada de la base de la pila y el testigo, mostraron un desarrollo con igualdad estadística e inferioridad al resto de los tratamientos (3.8 y 1.9 cm, respectivamente).

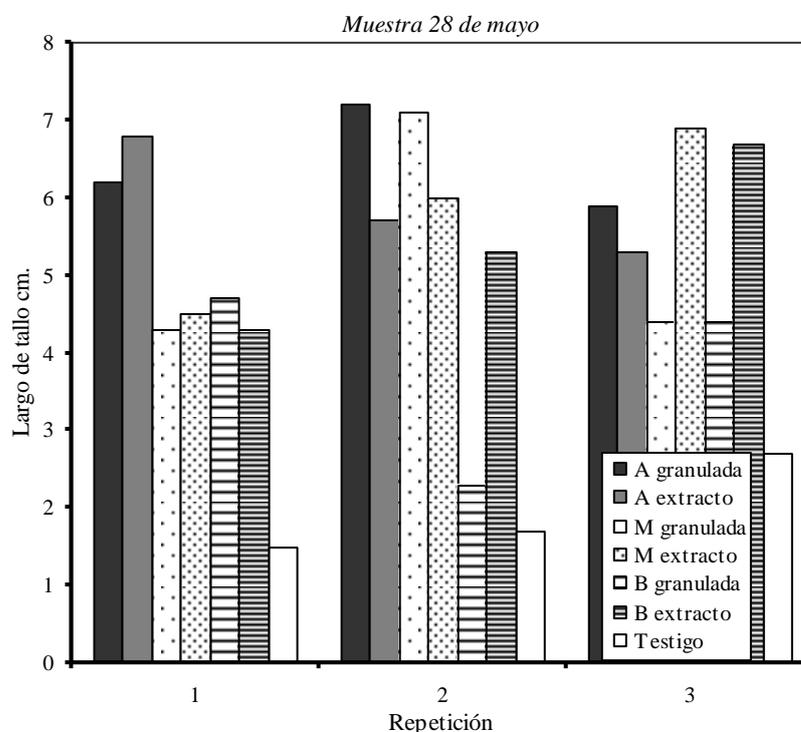


Figura 1. Respuesta comparativa del largo de tallo de plántulas de rábano con la muestra recolectada el 28 de mayo de 2008. *A, M, B = Sección alta, media y base de la pila.

En general los tratamientos muestran igualdad estadística entre los sustratos granulados y como extracto. Un comportamiento similar se observa en el desarrollo de los rábanos al comparar las diferentes secciones (alto, medio y bajo) de la pila de composta. El mayor desarrollo (6.4 y 5.9 cm.) se presentó con el sustrato de la sección superior, aplicado en forma granular y en forma de extracto, respectivamente.

Cuadro 4. Variación en el desarrollo de plántulas de rábano en respuesta a los tratamientos con composta en la 2ª fase mesofílica (composta inmadura)

Tratamiento	Desarrollo Promedio (cm.)	DMS 2.051
A granulada	6.4	a
A extracto	5.9	a
M extracto	5.8	a
B extracto	5.4	a
M granular	5.2	a
B granular	3.8	b
Testigo	1.9	b

A, M, B = Sección alta, media y base de la pila

*Promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes (DMS $P > 0.05$)

Los resultados para evaluar el bioensayo para el desarrollo de las plántulas de rábano en el sustrato muestreado, cuando la pila de composta se encontraba en la fase de madurez, se presentan en la figura 2. El análisis de varianza muestra diferencia significativa para el efecto de tratamientos (Cuadro 5). La prueba de separación de medias (DMS $P>0.05$) otorga igualdad y superioridad estadística de los tratamientos estudiados sobre el tratamiento testigo.

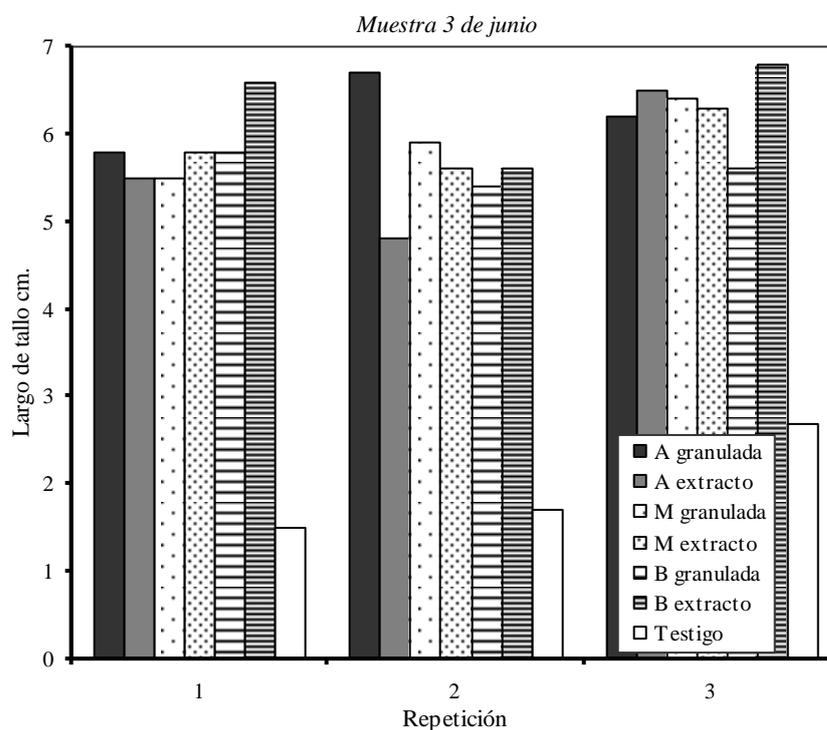


Figura 2. Efecto de la composta en fase de madurez sobre el desarrollo de plántulas de rábano. *A, M, B = Sección alta, media y base de la pila.

De acuerdo a lo mencionado por Polprasert (1989), en la fase de maduración se lleva a cabo una segunda fermentación que favorece la humificación, a partir de la transformación de varios complejos orgánicos a coloides húmicos estrechamente relacionados con minerales como el Fe, Ca, N, etc., y finalmente a humus. Otro evento importante que se registra en esta fase son las reacciones de nitrificación, donde el amonio (NH_4^+) es biológicamente oxidado a nitrito (NO_2^-) y finalmente a nitrato (NO_3^-).

Cuadro 5. Respuesta en el desarrollo de las plántulas de rábano cuando la composta se encontraba en fase de maduración

Tratamiento	Desarrollo Promedio (cm.)	DMS 0.7916
B extracto	6.3	a
A granular	6.2	a
M granular	5.9	a
M extracto	5.9	a
A extracto	5.6	a
B granular	5.6	a
Testigo	1.9	b

A, M, B = Sección alta, media y base de la pila

*Promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes (DMS $P > 0.05$)

Esta prueba se realizó con una muestra obtenida el 28 de mayo de 2008, justamente cuando la pila se encontraba en la fase mesofílica o también denominada “composta estabilizada” o inmadura. En este caso se utilizó como sustrato de germinación a la composta en forma granulada y al extracto de composta, este último sustrato y la composta en forma granular de la parte alta, cumplieron ampliamente con el requerimiento de la normativa, no así la composta en forma granular que provino de la parte media y baja de la pila (56.6 y 50% respectivamente). El tratamiento testigo (riego con agua destilada), presentó un promedio de 86.66% de germinación (figura 3).

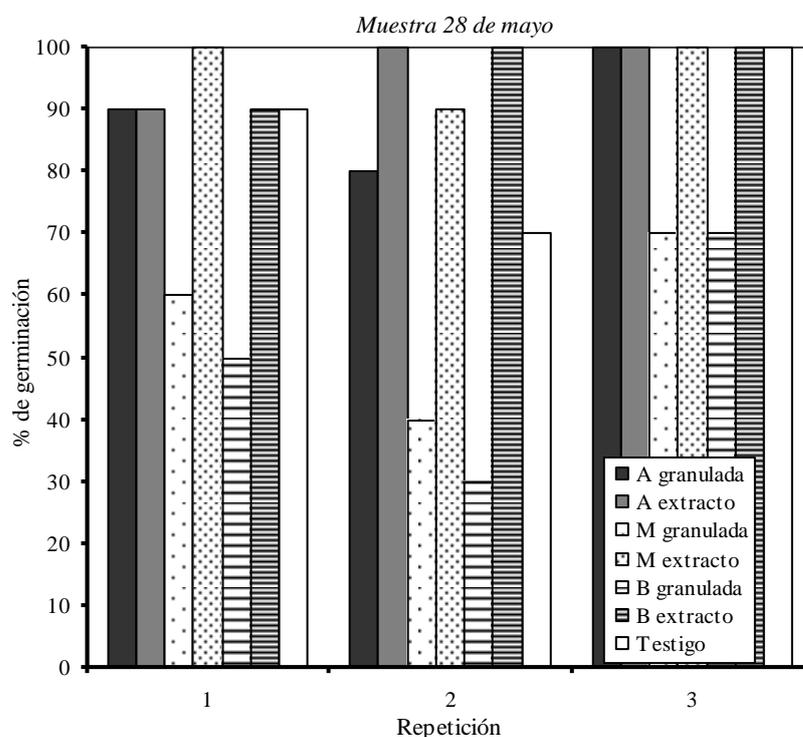


Figura 3. Porcentaje de germinación de las semillas de rábano con la muestra tomada el 28 de mayo, cuando la composta se encontraba en la fase mesofílica.

*A, M, B = Sección alta, media y base de la pila.

La prueba de separación de medias (cuadro 6) otorgo igualdad estadística para los tratamientos que germinaron con la semilla en extracto de composta, de las tres secciones de la pila, y la composta granulada de la sección alta, cabe mencionar, que los estándares de comparación (Compost Council y la norma Chilena oficial NCh-2880.Of2004) indican que una composta madura debe presentar un promedio de germinación superior al 80%.

Cuadro 6. Prueba de separación de medias para la variable porcentaje de germinación de semillas de rábano con composta en la 2ª fase termofílica (composta inmadura)

Tratamiento	Germinación Promedio (%)	DMS
		15.60
A extracto	96.6	a
M extracto	96.6	a
B extracto	96.6	a
A granular	90	a
Testigo	86.6	a
M granular	56.6	b
B granular	50	b

A, M, B = Sección alta, media y base de la pila

*Promedios con distinta letra son estadísticamente diferentes (DMS $P > 0.05$)

El experimento de germinación de la semilla de rábano se repitió, pero ahora tomando una muestra de la pila de composta en la fase de madurez. El análisis de la varianza para esta variable, no presentó diferencias significativas para el efecto de tratamientos. El tratamiento testigo presento el 86.6 % de germinación, cifra superior a la germinación lograda por los tratamientos con composta granulada de la parte alta y media de la pila (80% en ambos casos). Los tratamientos que lograron mayor porcentaje de germinación fueron el extracto de la parte media y baja de la pila, así como la composta granular de la porción baja de la composta (figura 4).

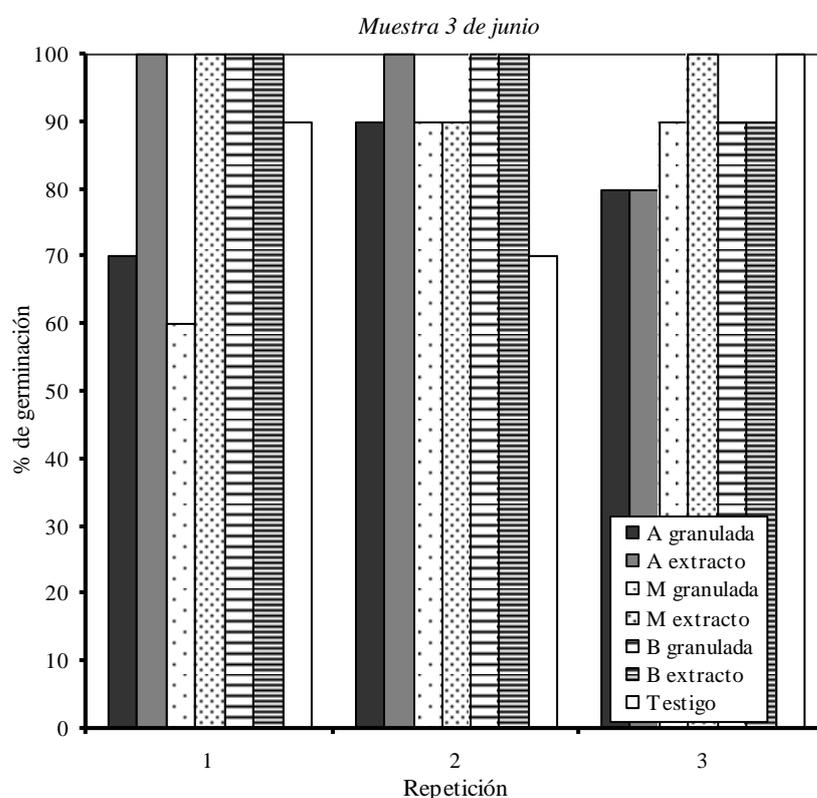


Figura 4. Comparación del porcentaje de germinación de plántulas de rábano de los tratamientos con composta en fase de madurez. *A, M, B = Sección alta, media y base de la pila.

Es importante señalar que estos resultados no presentan diferencia estadística significativa, por lo que los resultados solo se presentan en forma de grafica.

4.1.2 bioensayo con *Eisenia foetida andrei*

Para el bioensayo con la lombriz de tierra, se utilizó a la especie *Eisenia foetida andrei*, por su gran susceptibilidad a condiciones ambientales adversas como el pH, temperatura, sales, nutrientes y tóxicos en general (Reinés *et al.*, 2001). Se alimentó a las lombrices con composta en estado de madurez, para comprobar dicho estado libre de elementos que afecten a los organismos. Los resultados se presentan en el cuadro 7, en el cual se advierte que durante la primera semana, la lombriz se alimentó de la composta madura, proveniente de la sección alta y media de la pila, lo que incrementó su peso: esto no sucedió cuando la lombriz se alimentó de la composta proveniente de la sección de la base de la pila. Durante la segunda semana las lombrices no incrementaron su peso.

Cuadro 7. Bioensayo con *Eisenia Foetida andrei* donde se utilizó como sustrato la composta en forma granulada

Tratamiento.	Peso <i>inicial</i> de las lombrices.	Peso de las lombrices a los 7 días.	Peso de las Lombrices a los 14 días.
Alta	0.4 gr.	0.7 gr.	0.7 gr.
Media	0.3 gr.	0.6 gr.	0.6 gr.
Base	0.5 gr.	0.5 gr.	0.5 gr.

4.1.3 conteo de microorganismos

La cuantificación en placa de hongos, bacterias y actinomicetos se determinaron durante la fase de maduración de la pila, la cuenta de hongos, actinomicetos y bacterias permaneció relativamente constante: 37×10^{-2} , 10×10^{-3} y 12×10^{-6} UFC respectivamente, en el mismo periodo (cuadro 8).

Durante la fase de madurez se desarrollan importantes procesos tales como la estabilización de la materia orgánica, que implica la atenuación de núcleos tóxicos generados durante la fermentación, la humificación y la nitrificación, entre otras. Este cambio es conducido principalmente por microorganismos, por lo que la actividad microbiana detectada en esta fase, puede estar relacionada a dichos cambios.

Cuadro 8. Cuenta de microorganismos evaluados en la composta

Muestra	Hongos	Actinomicetos	Bacterias
	UFC 10^{-2}	UFC 10^{-3}	UFC 10^{-6}
Composta	37	7	6
	36	10	12

4.1.4 evolución de CO₂

La estabilidad valorada por respirometría, sirve para valorar la estabilidad relativa de los compuestos orgánicos de C presentes en una composta. La medición de O₂ y CO₂ de muestras de aire tomadas directamente de un montón en compostaje activo puede proporcionar datos para conocer las necesidades de aireación del montón (Haug, 1993). Los valores de CO₂ (mg CO₂) se determinaron durante la fase mesofílica y de maduración de la pila. La producción de CO₂ permaneció constante entre los 4 y 5 mg/día (figura 5) con algunas variantes.

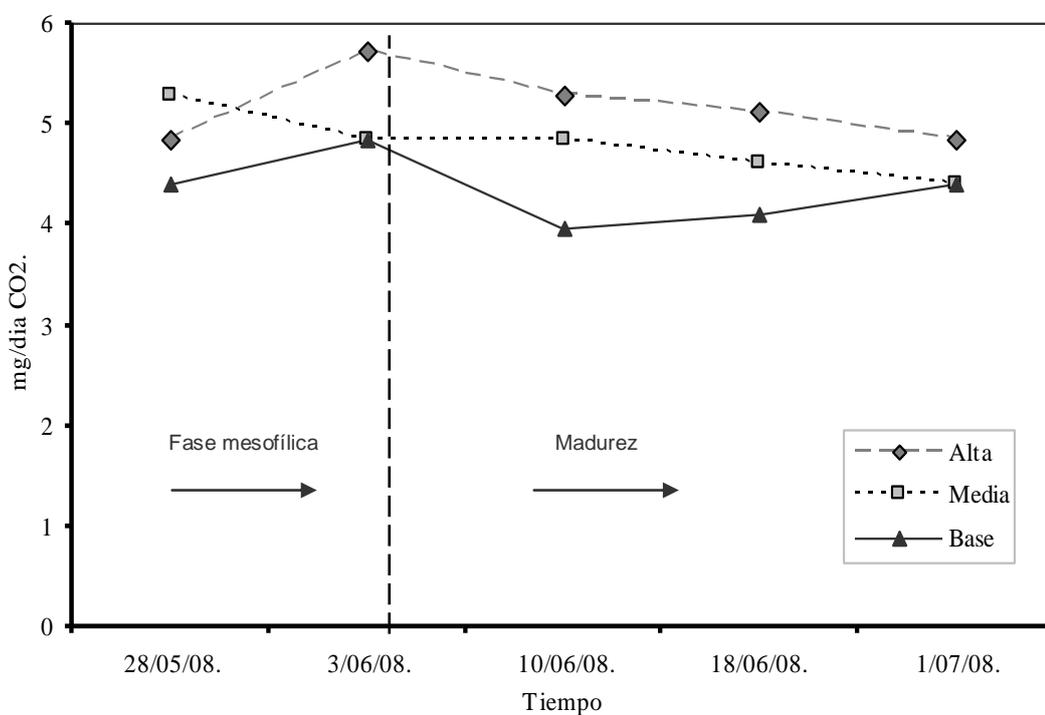


Figura 5. Producción en mg/día de CO₂

4.2 Pruebas físicas

4.2.1 capacidad de absorción de agua

El ensayo para evaluar la utilización de la composta como medio de cultivo al aumentar la cantidad de agua neta disponible para las plantas y reducir la frecuencia del riego. El cuadro 9 muestra una capacidad de absorción de agua con un valor de 41.6% en la composta en fase de maduración, siendo este un porcentaje superior al óptimo que oscila entre el 20% y el 30% (Ansorena, 1994; Cadahia, 2005).

Cuadro 9. Capacidad de absorción de agua

Muestra	Peso seco gr.	Peso húmedo gr.	Capacidad de absorción de agua en g = ml.	Capacidad de absorción de agua % vol.
Composta	137.7 gr.	241.7 gr.	104 gr.	41.6 %

4.2.2 capilaridad

Esta propiedad consiste en que el sustrato tenga la capacidad de absorber agua a través de los microporos y de transportarla en todas las direcciones. Cuando el sustrato no tiene capilaridad, el agua se mueve verticalmente a través del perfil del mismo, llegando rápidamente al drenaje y dejando zonas secas en las cuales no se pueden desarrollar las raíces (Cadahia, 2005). En el cuadro 10 se presenta el porcentaje de absorción de agua capilar.

Cuadro 10. Capilaridad

Muestra	Peso seco gr.	Peso húmedo gr.	Absorción de agua capilar g = ml.	Absorción de agua capilar % vol.
Composta	146.2 gr.	169.6 gr.	23.4 gr.	9.36 %

4.2.3 densidad

La densidad aparente representa el peso seco del medio con relación al volumen total que ocupa. Conforme aumenta la densidad aparente, las condiciones del drenaje y la porosidad para el aire disminuyen. Es necesario que el compost este formado por partículas de tamaño adecuado a su utilización, como sustratos para macetas sin suelo y otras importantes aplicaciones. El cuadro 11, muestra la densidad aparente de la composta la cual según los parámetros presenta un valor aceptable para ser utilizado como sustrato de crecimiento.

Cuadro 11. Densidad aparente de la composta

Muestra	Peso probeta vacía gr.	Peso probeta llena gr.	Volumen compactado.	Densidad sustrato g/l
Composta	354.7 gr.	532.8 gr.	320	556.56

4.2.4 infiltración

La Infiltración al ser la penetración de agua en el suelo determina la cantidad de agua de escurrimiento superficial y con ello, el peligro de erosión, determinando los tiempos de riego y los volúmenes de agua a utilizar. En el cuadro 12, se presenta la velocidad de infiltración de la composta la cual se expresa como el tiempo (en minutos) necesario para que se absorba, a través de la superficie de una muestra de sustrato seco. El nivel optimo es igual o inferior a 5 minutos (Cadahia, 2005).

Cuadro 12. Velocidad de infiltración

Muestra	Tiempo infiltración de agua
Composta	36 seg.

4.3 Pruebas químicas

4.3.1 absorbencia

Esta medición se determinó durante todo el proceso de compostaje en las porciones alta, media y base de la pila, el resultado de estas condiciones se ilustra en la figura 6. Aquí se puede observar como los valores de absorbencia disminuye conforme avanza el proceso de compostaje; esta tendencia se presentó con una mínima variación en las tres porciones de la pila. Esta tendencia se menciona en la literatura como la adquisición de una coloración marrón oscura, asociada a la presencia de compuestos húmicos. Este principio se hace evidente en la medida que los valores de absorbencia descienden drásticamente de 0.354 a 0.117 nm en un periodo de 10 días. El decaimiento en los valores de absorbencia fue más lento en los siguientes 120 días, hasta un nivel de 0.029nm. Esto indica la lenta acumulación se sustancias húmicas a partir del inicio de la fase termofílica del proceso de compostaje.

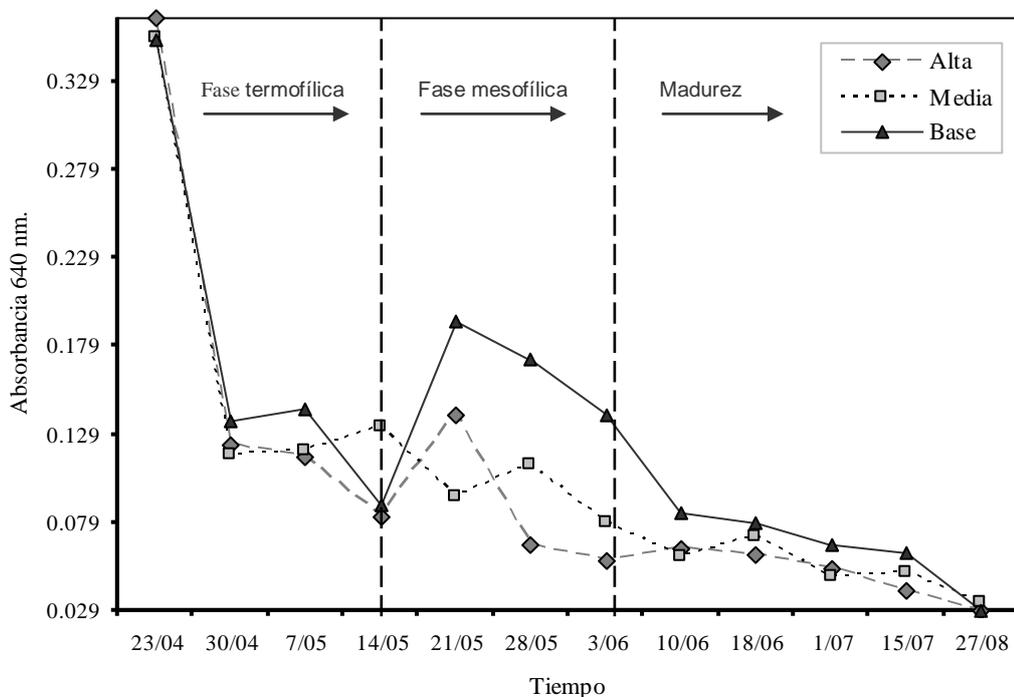


Figura 6. Cambios en la absorbencia durante el proceso de compostaje

4.3.2 medición de pH

La figura 7 muestra la dinámica del pH que se presentó en la pila durante el proceso de compostaje. Se observa durante todo el proceso un aumento de pH con un valor máximo alcanzado en la 2ª fase mesofílica de 9.89 en la parte baja de la pila. En esta fase de alta temperatura, se consumen rápidamente las sustancias más fácilmente degradables como azúcares, almidones, grasas y proteínas; el pH se hace alcalino a medida que se libera el amonio de las proteínas (Lampkin, 1998). El pH en la fase de madurez se estabilizó en 8.5 el cual según la norma chilena (NCh-2880.Of2004) se encuentra dentro de los parámetros aceptados (pH 5.0-8.5).

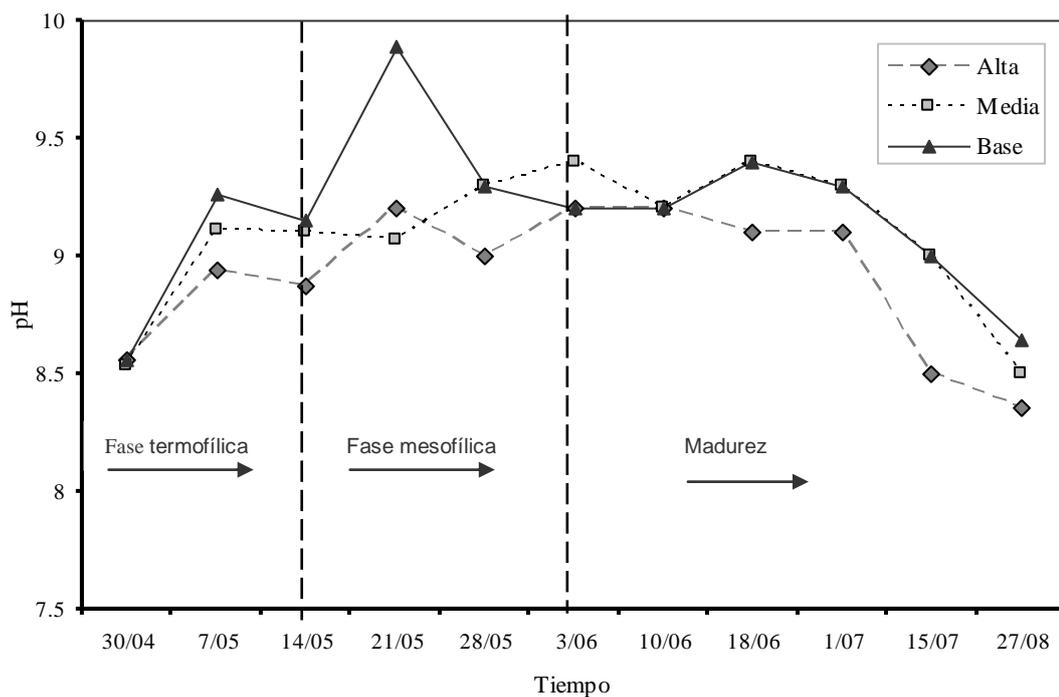


Figura 7. Variaciones de pH durante las diferentes etapas del proceso de compostaje

4.3.3 medición de conductividad eléctrica (CE)

Las mediciones para la CE se tomaron de la parte alta, media y la base de la pila de composta a partir de la 2ª fase mesofílica. En la figura 8 se observa la dinámica de la CE durante el proceso de compostaje, en la fase de madurez se puede observar como los valores de CE aumentan a 1.3 dS/m. en la parte media de la pila, siendo este el valor máximo de CE no presenta limitante alguna para su utilización como sustrato dado que el máximo permitido por el Compost Council y la norma chilena (NCh-2880.Of2004) es de 3 dS/m.

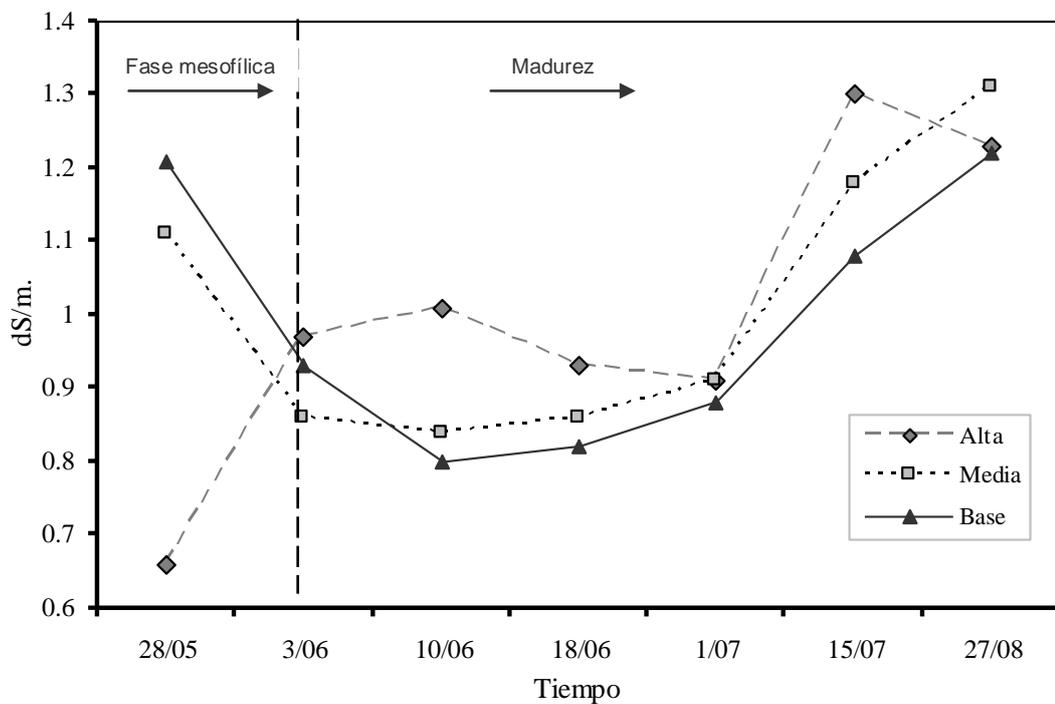


Figura 8. Fluctuaciones de la salinidad durante el compostaje

4.3.4 cambios de temperatura

Dado que la temperatura es un indicador de madurez de la composta, se tomaron estas mediciones desde el inicio del proceso de compostaje. La Figura 9 muestra la dinámica térmica que se presentó en la pila durante el proceso de compostaje. Se observa que la fase termofílica termina el 14 de mayo, lo que marca el inicio de la 2ª fase mesofílica que concluye el 3 de junio. A partir de este momento se inicia la fase de maduración. La temperatura más elevada que se registro fue de 74°C y la temperatura de madurez fue de 22°C. No obstante que la tendencia fue similar en las tres porciones, se pudo observar en la parte media, que la temperatura fue superior 10°C en promedio en relación a la parte alta y baja de la pila, la fase termofílica se presentó a los 15 días con temperatura de 60°C en la porción alta, mientras que en la porción media se registraron 63°C. La fase de estabilización se logro a los 42 días, con una medición de 35°C en la parte alta de la pila y 50°C en la porción media. La tendencia en la disminución de la temperatura fue uniforme, igualándose la medición, en las diferentes porciones de la pila a los 22°C, lo que se logro a los 127 días de inicio del proceso de compostaje, con lo anterior concluyeron las mediciones, considerando el final de la fase de madurez a los 127 días.

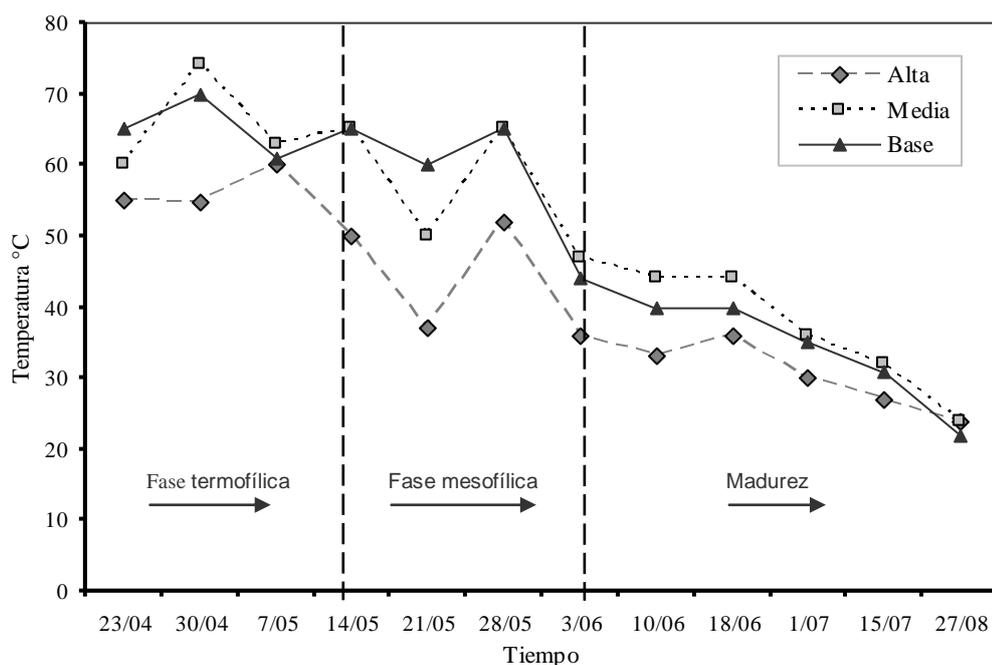


Figura 9. Variaciones semanales de temperatura en la pila de composta

4.3.5 parámetros químicos de la composta

Los sustratos orgánicos difieren marcadamente entre sí en el contenido en nutrientes asimilables. Así, algunos (turba, mantillo de bosque, etc.) poseen un nivel reducido de nutrientes asimilables, mientras que otros (compost por ejemplo) presentan niveles elevados, dependiendo dicho nivel del origen del compost y del proceso de compostaje (Acadhia, 2005).

El contenido de nitrógeno total es la suma de sus formas orgánicas e inorgánicas, por lo tanto, la cantidad del N presente puede ser un buen indicador de la madurez de la composta (Stoffella y Kahn, 2005). El contenido de nitrógeno (N), es lo más importante para el cultivo cuando el compost es aplicado como complemento o sustituto de otras fuentes de nutrientes, el contenido de nitrógeno presente en la composta (cuadro 13) indica un porcentaje de nitrógeno mayor al valor mínimo requerido según la norma chilena (NCh-2880.Of2004).

Un contenido de humedad presente en las compostas menor del 35% es un indicador de no haber quedado totalmente estabilizado, en el cuadro 13 se presenta el porcentaje de humedad de la composta el cual se encuentra dentro del rango recomendado para su utilización como sustrato según el Compost Council (cuadro 1).

La cantidad de material volátil, así como el de cenizas, se presentan en el cuadro 13, estos porcentajes tienden a disminuir durante el proceso de compostaje y presentar valores de 45 a 60% en la fase de madurez, por lo tanto, el porcentaje de material volátil se encuentra dentro de los parámetros aceptados (Hoitink y Keener, 1993)

En lo que respecta al contenido de materia orgánica esta debe ser mayor o igual al 20% según la norma chilena (NCh-2880.Of2004), el cuadro 13 muestra el contenido de materia orgánica de la composta cercano al 60% siendo este considerado un valor alto (cuadro 1).

Al incrementar la estabilidad de la composta, el carbono orgánico total disminuye. Al presentarse una disminución de compuestos estables de carbono esto se refleja en una cantidad menor de carbono orgánico y en una disminución en la relación de la actividad microbiana (Stoffella y Kahn, 2005). El porcentaje de carbono orgánico se presenta en el cuadro 13, según Hoitink y Keener (1993) presenta un porcentaje mayor al límite máximo (27 %).

Solamente una parte del fósforo (P) de una muestra de composta será utilizable por las plantas. Esencialmente, la totalidad del potasio (K) es utilizable por las plantas. Cantidades elevadas de sodio (Na) intercambiable pueden indicar problemas de infiltración de agua (Stoffella y Kahn, 2005). Los valores expresados en porcentajes presentes en la composta se observan en el cuadro 13, según Hoitink y Keener (1993) presenta un porcentaje mínimo de fósforo y potasio (0.37 y 0.36 % respectivamente). Bures (1997) señala que el contenido de sodio es superior al máximo permitido (<10%).

Cuadro 13. Composición química de la composta

Determinación	Resultado
Materia seca (%)	55.07
Humedad y mat. Volátil (%)	44.93
Nitrógeno (%)	0.51
Carbono orgánico (%)	34.17
Cenizas (%)	41.08
Materia orgánica (%)	58.92
Potasio (%)	0.36
K ₂ O (%)	0.44
Fósforo total (%)	0.37
P ₂ O ₅ (%)	0.85
Sodio (%)	0.23

5. CONCLUSIONES

En base a los resultados presentados anteriormente se puede concluir lo siguiente:

1.- La composta inmadura (2ª fase mesofílica) inhibió la germinación de las semillas de rábano, particularmente la composta procedente de las secciones media y baja de la pila.

2.- La composta en la fase de madurez no inhibió la germinación de las semillas de rábano (germinación >80%).

3.- El extracto de composta presentó mayor porcentaje de germinación de semillas de rábano que la composta en forma granular, ambas en la fase de madurez.

4.- En la variable largo de tallo en plántulas de rábano la calidad de la composta como sustrato, es mejor en fase de madurez que en la fase 2ª mesofílica. Además la calidad en la fase de madurez, se hace uniforme en cuanto a la sección de la pila y en cuanto a la forma de aplicarse, ya sea en forma granular o en extracto.

5.- En el bioensayo con la lombriz de tierra es posible señalar que la composta completó su fase de madurez, ya que la composta en estas condiciones no afectó el desarrollo de la lombriz y por su contenido húmico y características propias de madurez, no es posible que el organismo la utilizara como alimento.

6.- En general se puede apreciar que la población de microorganismos presentes en la composta en la fase de maduración, los hongos fué la población dominante, en tanto que los valores de CO₂ (mg CO₂) se consideran como estables para evaluar la madurez de la composta. Dado que un decaimiento en la cantidad CO₂ indicara la disminución de la actividad microbiana y con ello un retardo en el proceso de la descomposición de la materia orgánica.

7. La capacidad de absorción de agua, presento un porcentaje superior al rango recomendado como medio de sustrato. En este mismo sentido, la capilaridad, la velocidad de infiltración, a si como la densidad aparente, presentaron valores dentro de los rangos recomendados de las propiedades físicas de la composta para fines agrícolas

8.- El valor de la absorbencia es una variable útil en la determinación de la madurez de la composta. Los valores disminuyen conforme la composta avanza en el proceso de maduración.

9.- El pH final de la composta fue alcalina (8.36 en la parte alta de la pila, 8.50 en la parte media y 8.64 en la parte baja).

10.- La conductividad eléctrica final se ubicó dentro de norma.

11.- La disminución de la temperatura se presento de manera uniforme y en los tiempos que la literatura indica que la pila inicio la fase de madurez. Esta deducción se asocio con la observación de varios elementos complementarios, como son la ausencia de porciones de tejido vegetal y de insectos, lo que indica que el proceso de descomposición de la materia orgánica está muy avanzado, lo anterior fue acompañado de un olor muy característico a “tierra mojada”, provocado principalmente por la actividad de los actinomicetos.

12.- Si bien la cantidad de nutrientes encontrados en la composta no son tan altos, estos cumplen con los requerimientos mínimos de las normativas para ser utilizado como sustrato en aplicaciones hortícolas.

13.- Los objetivos planteados en este trabajo se cumplieron en su totalidad.

14.- Los resultados obtenidos en este trabajo indican que las hipótesis planteadas se cumplieron en su totalidad y estadísticamente, no se rechazan.

6. LITERATURA CITADA

Alcántar, G.G., y T.L. Trejo. 2007. Nutrición de cultivos, Cuarta Edición, Sistes S.A., Barcelona España, pp. 24-35.

Alexander, M. 1996. Introduction to soil microbiology. John Wiley and sons. USA. p.p.455.

Anabel, C.F., S.L., Domínguez y M.F. Robles. 2007. Optimización y control de la planta de producción de composta del Instituto Politecnico Nacional, Revista Sistemas Ambientales, Vol. 1, año 1, pp.34-45.

Ansorena, M.J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización, Ediciones Mundi-Prensa, España, pp. 172.

Cadahia, C. 2005. Fertirrigación. Cultivos hortícolas, frutales y ornamentales, Tercera edición, Ediciones Mundi-Prensa, España, pp. 301-322.

Bures, S. 1997. Sustratos, Ediciones Agrotécnicas F.L., Madrid España, pp. 342.

U.S. Composting Council. 2001. Test methods for the examination of composting and compost, USDA-Compost Council.

Fischer, P. 2003. Manual de practicas del curso: Uso y manejo de compostas para sustratos de hortalizas y ornamentales, Universidad de Guadalajara, Guadalajara Jalisco, México, pp. 69.

Haug, T.R. 1993. The practical handbook of compost engineering, Publishers Lewis, Florida E.U.A., pp. 399.

Hoitink, H.A. y H.M. Keener. 1993. Science and Engineering of composting, Design environmental, microbiological and utilization aspect, The Ohio State University, USA, pp. 728.

Dalzel, H.W. 1991. Manejo del suelo. Producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales, Boletín de Suelos de la FAO, No. 56, Roma Italia, pp. 18-20.

Ibarra, D.R. 2006. Generación de indicadores de sustentabilidad para el agroecosistema de maíz (*Zea mays L.*), en el municipio de Zapopan, Jalisco, Tesis de doctorado en: Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Guadalajara, Las Agujas, Zapopan Jalisco.

Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. 2009. Generación de residuos sólidos urbanos. (Consultado en agosto del 2009) Disponible en: <http://www.INEGI.gob.mx>

Instituto Nacional de Normalización. 2005. Norma chilena oficial para el control de la calidad de compostas (NCh-2880.Of2004), Decreto exento no. 89, Chile.

Iñiguez G., R. Rodríguez y G. Virgen. 2006. Compostaje de material de descarte y aguas residuales de la industria de curtiduría, Revista Internacional de Contaminación Ambiental, año/vol. 22, numero 003, pp. 113-123, México D.F.

Labrador, M.J. 2002. La materia orgánica en los agroecosistemas, Segunda Edición, Ediciones Mundi-Prensa, Madrid España, pp. 174.

Lampkin, N. 1998. Agricultura ecológica, Gestión de los estiércoles y residuos orgánicos, Ediciones Mundi Prensa, México D.F., pp. 85-104.

Los Municipios de Jalisco. 2008. Colección: Enciclopedia de los municipios de México, Secretaria de Gobernación y Gobierno del Estado de Jalisco. (Consultado en octubre del 2008)

Disponible en: <http://www.municipios de mexico.gob.mx>

De Luna, V.A. y E.A. Vázquez. 2009. Elaboración de abonos orgánicos, Segunda edición, Universidad de Guadalajara, México, pp. 86.

Monroy, H.O. y G. Viniegra. 1981. Biotecnología para el aprovechamiento de los desperdicios orgánicos, AGT editores S.A., México, pp. 260.

Nieto, G.A. 2002. La composta. Importancia, elaboración y uso agrícola, Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, La Paz B.C.S., México, pp. 86.

Ocegueda, R.M.D. 2007. Efecto de la aplicación de composta sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo en el cultivo de frijol, Tesis de maestría en: Ciencias Agrícolas y Forestales, Universidad de Guadalajara, Las Agujas, Zapopan Jalisco.

Padrón, C.E. 2003. Diseños experimentales con aplicación a la agricultura y la ganadería, Primera reimpresión, Editorial Trillas, pp. 55-59.

Reinés, A.M.A., C.C. Loza y S. Contreras. 2001. Lombricultura. Una biotecnología para la sustentabilidad, Universidad de Guadalajara, Fundación Produce Jalisco, AC, México, pp.

Reyes, C.P. 1999. Diseño de experimentos aplicados, Editorial Trillas, Tercera edición, pp. 122-128.

Rodríguez, S.M. y V.A. Córdova. 2006. Manual de compostaje municipal, tratamiento de residuos sólidos urbanos, Talleres S y G editores, Ciudad de México, pp. 102.

Rosas, R.A. 2007. Agricultura orgánica practica, Quinta Edición, Grupo Agrovereda, Bogota Colombia, pp. 193-196.

Simpson, K. 1991. Abonos y estiércoles, Acribia S.A., Zaragoza España, pp. 273.

Stoffella, J.P. y A.B. Kahn. 2005. La utilización de compost en los sistemas de cultivo hortícola, Mundi-Prensa, Madrid España, pp. 397.

Triano, S.A., L.D.J. Palma y N.E. Hernández. 2005. Uso de sustratos orgánicos y reciclaje de nutrientes en la producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el municipio de Cunduacan, Tabasco. Colegio de Posgraduados de Ciencias Agrícolas, Fundación Produce Tabasco A.C., Cárdenas Tabasco.

Valdés, R. 1980. Manual de Microbiología Agrícola, Instituto Politecnico Nacional, Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, Departamento de Microbiología, Laboratorio de Microbiología Agrícola, pp. 69.

Zañudo, H.J., E.B. Pimienta y H.B. Ramírez. 2003. Manual de prácticas de fisiología vegetal, Academia de ecofisiología vegetal, Universidad de Guadalajara, Zapopan Jalisco, México, pp. 86.

7. APÉNDICE

Cuadro 14. Análisis de varianza de los porcentajes de germinación y largo de tallo de plántulas de rábano

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	FC	P>F	Val. crítico para F
% de germinación de semillas 28/05/08.	Tratamiento	7190.47619	6	1198.412698	15.5670103	4.9667E-05	2.996120378
	Repetición	1209.52381	2	604.7619048	7.8556701	0.0065939	3.885293835
	Error	923.8095238	12	76.98412698			
	Total	9323.809524	20				

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	F	P>F	Val. crítico para F
Largo de tallo de plántulas 28/05/08.	Tratamiento	43.33904762	6	7.223174603	5.40547603	0.006429	2.996120378
	Repetición	1.238095238	2	0.619047619	0.46326543	0.640023	3.885293835
	Error	16.0352381	12	1.336269841			
	Total	60.61238095	20				

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	F	P>F	Val. crítico para F
Largo de tallo de plántulas 3/06/08.	Tratamiento	41.88	6	6.98	35.23557692	6.1188E-05	
	Repetición	1.88952381	2	0.944761905	4.769230769	0.02990882	
	Error	2.377142957	12	0.198095238			
	Total	46.14666667	20				