



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE INVESTIGACIÓN PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL UNIDAD OAXACA**

**Maestría en Ciencias en Conservación y
Aprovechamiento de Recursos Naturales.
Especialidad en Protección y Producción
Vegetal**

**Caracterización de compostas derivadas de
residuos orgánicos enfocadas a su uso
como sustratos**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

M A E S T R O E N C I E N C I A S

P R E S E N T A

**ING. AGRÓNOMO
XICOTÉNCATL ARTURO
LÓPEZ CLEMENTE**

Director de Tesis: Dr. Celerino Robles Pérez

SANTA CRUZ XOXOCOTLÁN, OAXACA, DICIEMBRE 2011



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL SECRETARIA DE INVESTIGACION Y POSGRADO

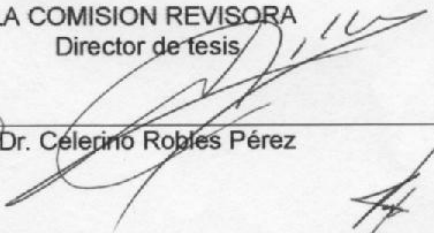
ACTA DE REVISION DE TESIS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez siendo las 13:00 horas del día 28 del mes de octubre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación del **Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca (CIIDIR-OAXACA)** para examinar la tesis de grado titulada: **“Caracterización de compostas derivadas de residuos orgánicos enfocadas a su uso con sustratos”**
Presentada por el alumno:


López Apellido paterno	Clemente materno	Xicoténcatl Arturo nombre(s)							
		Con registro: <table border="1" style="display: inline-table; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 20px; text-align: center;">A</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">0</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">1</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">9</td> <td style="width: 20px; text-align: center;">8</td> </tr> </table>	A	1	0	0	1	9	8
A	1	0	0	1	9	8			

aspirante al grado de: **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES**
Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **SU APROBACION DE LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.


LA COMISION REVISORA
Director de tesis



Dr. Celerino Robles Pérez



Dr. Vicente Arturo Velasco Velasco



Dr. Jaime Ruiz Vega

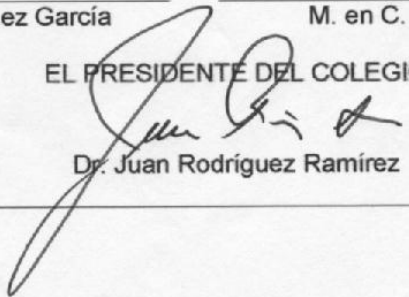


Dr. Jose Antonio Sánchez García



M. en C. Laura Martínez Martínez

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO



Dr. Juan Rodríguez Ramírez



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
(I.P.H.)



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de Oaxaca de Juárez el día **28** del mes de **octubre del año 2011**, el (la) que suscribe **López Clemente Xicotencatl Arturo** alumno (a) del Programa de **MAESTRÍA EN CIENCIAS EN CONSERVACIÓN Y APROVECHAMIENTO DE RECURSOS NATURALES** con número de registro **A100198**, adscrito al Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Oaxaca, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Celerino Robles Pérez y cede los derechos del trabajo titulado: **“Caracterización de compostas derivadas de residuos orgánicos enfocadas a su uso con sustratos”**, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección **Calle Hornos 1003, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca**, e-mail: posgradoax@ipn.mx ó xicolopez15@hotmail.com Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

López Clemente Xicotencatl Arturo



CENTRO INTERDISCIPLINARIO
DE INVESTIGACION PARA EL
DESARROLLO INTEGRAL REGIONAL
C.I.I.D.I.R.
UNIDAD OAXACA
I.P.N.

CARACTERIZACIÓN DE COMPOSTAS DERIVADAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS ENFOCADAS A SU USO COMO SUSTRATOS

Resumen

Con la finalidad de evaluar las características químicas, físicas y biológicas de residuos agrícolas compostados, se realizó el presente estudio durante 180 días. Se elaboraron compostas a partir de bagazo de caña, paja de trigo y cáscara de naranja. De estos materiales se determinó, la granulometría de las partículas, el índice granulométrico, la curva de retención de humedad, la densidad real y aparente, el pH, CE, MO, N, P, K, C/N e IG. Se utilizó el diseño completamente al azar. El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($\alpha \leq 0.05$) para cada una de las variables de estudio. Bagazo de caña y paja de trigo por sus características físicas, química y biológicas fueron los mejores materiales para usarlos como sustratos. Cáscara de naranja mostró la mayor acumulación de partículas gruesas y el porcentaje de agua fácilmente disponible, el mayor pH y el mayor índice de germinación por lo cual no se consideró apropiado para su uso como sustrato.

Palabra clave: desperdicio, residuos, materia orgánica

CHARACTERIZATION OF ORGANIC WASTE COMPOST FOCUSED FROM YOUR USE AS SUBSTRATES

Abstract

With the purpose of evaluate the chemical, physical and biological characteristics of composted agricultural residues; the present study was conducted for 180 days. Compost is produced from sugarcane bagasse, wheat straw and orange peel. Of these materials was determined, the particle size distribution, particle size index, the moisture retention curve, the real and apparent density, pH, EC, OM, N, P, K, C / N and IG. The design was completely random. Analysis of variance showed significant differences ($\alpha \leq 0.05$) for each of the variables studied. Bagasse and wheat straw for their physical, chemical and biological weapons were the best materials for use as substrates. Orange peel showed the highest accumulation of coarse particles and the percentage of water readily available, the higher pH and higher germination rate and therefore not considered appropriate for use as a substrate.

Keyword: organic matter, pollution, waste

Agradecimiento

Son muchas las personas a las que tengo que agradecer su trabajo, colaboración y dedicación sin las cuales no hubiera sido posible la elaboración de esta investigación.

Al Dr. Celerino Robles, por tener la disposición de ser el director de mi tesis y por ser mi primer contacto con el mundo de las compostas.

Al Dr. Vicente Velasco por permitirme colaborar con su equipo de trabajo y por su paciencia por ayudarme a analizar los datos de esta investigación.

A los Dres. Jaime Ruiz y José Antonio Sánchez y la M.C. Laura Martínez por revisar esta tesis y formar parte del jurado de examen.

A los Dres. Prometeo Sánchez, Ma. de la Nieves Rodríguez, Víctor Ordaz y Roberto Quintero del Colegio de Postgraduados por su amistad y la disponibilidad de sus laboratorios, así como las sugerencias para mejorar este trabajo.

A la M.C. Lourdes Robles (Lulú) por compartir experiencias de laboratorio.

No puedo terminar si agradecer muy especialmente al Instituto Politécnico Nacional, quien me permitió vincularme con proyectos de investigación y becas (PIFI y Estudió) para culminar esta investigación.

Justificación

Los desechos de origen agroindustrial se están incrementando de manera exponencial y millones de toneladas de materia orgánica, con el constante crecimiento de los volúmenes que hay que eliminar, se depositan en vertederos o se transforman en gases de efecto invernadero: metano, óxido de azufre, óxido nitrógeno.

Cada vez es más aceptado la clasificación, el reciclamiento, la reutilización y la reducción de materiales orgánicos, para el desarrollo sostenible de los ecosistemas.

Durante las últimas dos décadas, se ha prestado atención al reciclaje y recuperación de residuos orgánicos para la utilización en la agricultura y la horticultura. El compostaje es uno de los métodos de manejo de residuos orgánicos, que sirve para degradar material orgánico heterogéneo por medio de microorganismos en condiciones aerobias.

INDICE

Resumen

Abstrac

- I. Introducción
- II. Objetivo general
 - Objetivos particulares
- III. Hipótesis general
- IV. Revisión de literatura
 1. Composta
 - 1.1 microorganismos
 - 1.2 pH
 - 1.3 porosidad
 - 1.4 Aireación
 - 1.5 Humedad
 - 1.6 Temperatura
 2. Sustrato
 - 2.1 Función del sustrato
 - 2.2 Criterios para la elección de un sustrato
 - 2.3 Propiedades de los sustratos en el cultivo
 - 2.4 Propiedades físicas
 - 2.5 Propiedades químicas
 - 2.6 Propiedades biológicas
- V. Materiales y métodos
 1. Localización
 2. Elaboración de las compostas
 3. Determinación de las propiedades físicas
 - 3.1 Granulometría
 - 3.2 Índice granulométrico (IG)
 - 3.3 Densidad aparente
 - 3.4 Densidad real
 - 3.5 Curva de liberación de agua y espacio poroso total

4. Determinación de las propiedades químicas
 - 4.1 pH y CE
 - 4.2 Nitrógeno total
 - 4.3 Materia orgánica y carbono orgánica
 - 4.4 Relación C/N
 - 4.5 Fósforo
 - 4.6 Potasio

5. Determinación de las propiedades biológicas
 - 5.1 Índice de germinación

6. Diseño experimental

VI. Resultados y discusión

1. Propiedades físicas
 - 1.1 Temperatura
 - 1.2 Análisis granulométrico
 - 1.3 Índice granulométrico
 - 1.4 Densidad real y aparente
 - 1.5 Espacio poroso total y retención de agua

2. Propiedades químicas
 - 2.1 pH
 - 2.2 CE
 - 2.3 Materia orgánica
 - 2.4 Nitrógeno
 - 2.5 Relación C/N
 - 2.6 Fósforo y potasio

3. Propiedades biológicas
 - 3.1 Índice de germinación
 - 3.1.1 Especie
 - 3.1.2 Solución
 - 3.1.3 Extracto
 - 3.1.4 Interacción

VII. Conclusiones

VIII. Revisión de Literatura

CARACTERIZACIÓN DE COMPOSTAS DERIVADAS DE RESIDUOS ORGÁNICOS ENFOCADAS A SU USO COMO SUSTRATOS

I. Introducción

La disposición y manejo de los residuos orgánicos se ha incrementado y convertido en un problema; a pesar de que se están haciendo importantes esfuerzos mundiales por frenar las consecuencias que esto representa para el ambiente, no se ha logrado contrarrestar la tendencia de acumulación, consumo y desperdicio.

Los residuos están ligados al desarrollo de las sociedades. La mayoría de las actividades humanas producen residuos en forma de sólidos, líquidos o gases que, al carecer de algún valor intrínseco, se desechan hacia el ambiente, afectan la calidad del aire, suelo y agua, y con ello, la salud humana y la de los ecosistemas (Semarnat, 2005).

México, elimina y desperdicia gran cantidad de residuos orgánicos, tanto en la actividad agroindustrial, pecuaria como urbana; aproximadamente el 60 % de la basura generada en el país es de origen orgánica. En términos generales, ésta finaliza arrojada en terrenos baldíos, barrancos, vertederos incluso alojada en ríos sin que exista un aprovechamiento racional o un reciclamiento sistemático de ella (Semarnat, 2005).

Los materiales orgánicos generan rechazo, debido a que no se pueden almacenar, porque inician un proceso de descomposición rápido, que modifica su apariencia, hasta convertirse en sustancias mineralizadas que pueden ser absorbidas y aprovechadas por las plantas como el resto de los nutrimentos del suelo (Semarnat, 2005).

En cualquier parte donde una planta o un animal mueren, sus restos son desintegrados por microorganismos del suelo, y son convertidos en materia orgánica disponible para las plantas. Este

proceso, repetido universal y continuamente en cualquier parte donde las plantas crecen, es parte del ciclo natural que sostiene y soporta la vida del planeta (Ruiz, 2009).

Los residuos orgánicos generados por las actividades agropecuarias, obliga a transformarlos para producir un producto final estable, maduro, libre de patógeno y semillas de malezas, apto para ser utilizado en la agricultura previa caracterización física, química y biológicamente para un mejor aprovechamiento. La caracterización de los materiales definirá la calidad de éstos y por ende la posibilidad de uso como materias primas en la elaboración de sustratos (Ruiz, 2009).

El uso creciente de estiércoles y residuos agroindustriales hacen necesario el estudio de sus características físicas, químicas y biológicas, tanto de manera específica como de sus mezclas, ya que pueden diferir en su transformación durante el proceso de compostaje y en su valor agrícola (Benito *et al.*, 2006). Las compostas preparadas a partir de residuos orgánicos tienen aplicaciones útiles en la horticultura como sustrato (Raviv *et al.*, 1998 y 2005).

La composta preparada a partir de diferentes residuos orgánicos difiere en su calidad y estabilidad, que además depende de la composición de la materia prima utilizada para la producción final de la composta (Ranalli *et al.*, 2001).

Varios parámetros se han utilizado para evaluar la calidad y madurez de las compostas que incluyen la relación C:N, capacidad de intercambio catiónico, contenido de sustancias húmicas, evolución del dióxido de carbono (Huang *et al.*, 2001 y Wu y Ma, 2002), fitotoxicidad de la composta (Zucconi *et al.*, 1981), contenido de humedad, densidad aparente, porosidad, las tasas de aireación, la estructura, el espacio aéreo libre y ciertas propiedades térmicas (Mohee y Mudhoo, 2005).

II. Objetivo general

Evaluar la dinámica del proceso y el producto final del compostaje de: bagazo de caña de azúcar, cáscara de naranja, paja de trigo, enfocados a su utilización como sustratos.

Objetivos particulares

Evaluar el comportamiento de las variables más determinantes, para la degradación controlada de los residuos de bagazo de caña, paja de trigo y cáscara de naranja.

Determinar las características físicas, químicas y biológicas de las compostas de los residuos agrícolas para su posible utilización como sustratos.

III. Hipótesis general

El compostaje de los residuos agrícolas permite obtener un producto maduro y estabilizado, cuyas características físicas, químicas y biológicas se ubican dentro de los niveles de referencia para sustratos de cultivo.

IV. Revisión de literatura

1. Composta

La composta es producto de un proceso biooxidativo que implica la mineralización y humificación parcial de la materia orgánica, conduciendo a un producto final estabilizado, libre de sustancias fitotóxicas, de patógenos y con ciertas características húmicas (Zucconi y de Bertoldi, 1987). Durante la primera fase del proceso los compuestos orgánicos simples del carbono son mineralizados y metabolizados fácilmente por los microorganismos, produciendo CO_2 , NH_4^+ , H_2O , ácidos orgánicos y calor (Bernal *et al.*, 2009). La acumulación de este calor incrementa la temperatura de la pila. El compostaje es un proceso biológico espontáneo de la descomposición de materiales orgánicos en un ambiente predominante aerobio, durante el proceso las bacterias, hongos y otros microorganismos incluyendo microartrópodos, desintegran los materiales orgánicos en sustancias más simples (Zucconi y de Bertoldi, 1987).

Los residuos orgánicos utilizados en el compostaje se derivan principalmente de material vegetal. Los principales componentes de la materia orgánica son los hidratos de carbono: celulosa, proteínas, lípidos y lignina. La capacidad de los microorganismos para asimilar la materia orgánica depende de su capacidad de producir las enzimas necesarias para la degradación del sustrato. Cuanto más complejo sea el sustrato, más extensa y completo es el sistema de enzimas requerido. A través de la acción sinérgica de los microorganismos los compuestos orgánicos complejos se degradan a moléculas más pequeñas (Golueke, 1991 y 1992).

Los microorganismos requieren una fuente de carbono, y ciertos oligoelementos para su crecimiento como el nitrógeno, fósforo y potasio. El carbono sirve principalmente como fuente de energía para los microorganismos, mientras que una pequeña fracción del carbono se incorpora. Parte de la energía que se forma se utiliza para el metabolismo microbiano, y el resto se libera en forma de calor. El nitrógeno es un elemento crítico para los microorganismos, ya que es un componente de las proteínas, ácidos nucleicos, aminoácidos, enzimas y coenzimas necesarios para el crecimiento y el funcionamiento celular. Si el nitrógeno es un factor limitante durante el compostaje el proceso de degradación será lento. Por el contrario, si hay exceso de nitrógeno, a menudo se pierde en el sistema como gas amoníaco y otros compuestos en forma nitrogenada. La

óptima relación C/N para la degradación de los materiales está en un intervalo de 25 a 40, pero el valor varía en función del sustrato (Golueke, 1991).

Los microorganismos son capaces de utilizar moléculas orgánicas que se disuelven en agua. Si el contenido de humedad desciende por debajo de un nivel crítico, la actividad microbiana disminuye y los microbios se vuelven inactivos. Por otro lado, demasiado contenido de humedad puede provocar una falta de aireación y la lixiviación de nutrientes. En las condiciones anaeróbicas posteriormente disminuye la velocidad de descomposición y los problemas de olores surgen (Golueke, 1991).

En condiciones óptimas, el compostaje procede a través de tres fases: (1) la fase mesófila, (2) la fase termófila, que puede durar desde unos pocos días a varios meses, y (3) la fase de enfriamiento y maduración que dura varios meses. La duración de las fases de compostaje depende de la naturaleza de la materia orgánica de la composta y la eficiencia del proceso, que se determina por el grado de aireación y agitación. Al inicio del compostaje la masa del material es igual a la temperatura del ambiente y por lo general ligeramente ácido. Las fuentes de carbono son solubles y fácilmente degradable, como monosacáridos, almidón y lípidos, son utilizados por los microorganismos en las primeras etapas del compostaje. Las fuentes de carbono fácilmente degradables se han consumido, los compuestos más resistentes, como la celulosa, hemicelulosa y lignina se degradan, para transformarse en precursores de las sustancias húmicas (Crawford, 1983; Paatero *et al.*, 1984).

El humus es el producto final del proceso de humificación, en el que los compuestos de origen natural están parcialmente transformadas en sustancias húmicas relativamente inertes. Las sustancias húmicas pueden ser consideradas como un importante reservorio de carbono orgánico en los suelos y ambientes acuáticos (Aiken *et al.*, 1985). La materia orgánica presente en la composta es generalmente químicamente compleja y difícil de fraccionar.

La composta inmadura contiene altos niveles de ácidos fúlvicos y bajos niveles de ácidos húmicos. A medida que avanza la descomposición, la fracción de ácidos fúlvicos disminuye o permanece sin cambios mientras que los ácidos húmicos se producen. El grado de humificación y madurez de una composta se puede evaluar por medio del índice de humificación (Chen *et al.*, 1996).

Las sustancias húmicas derivan, principalmente, de la degradación parcial y transformación de lignina, polisacáridos y compuestos nitrogenados (Varadachari y Ghosh, 1984; Fuentes *et al.*, 1989 y Inbar *et al.*, 1989). La ruta química de la transformación de los componentes de la materia

orgánica en humus es muy compleja e implica una serie de reacciones de degradación y condensación. De acuerdo con (Varadachari y Ghosh,1984) la lignina es el primer compuesto degradado por enzimas extracelulares a unidades más pequeñas, que luego son absorbidos por las células microbianas en las que se convierte en parte en fenoles y quinonas. Las sustancias que se descargan junto con sustancias oxidantes en el medio ambiente, donde se polimeriza por un mecanismo de radicales libres.

El compostaje es un proceso dinámico que se lleva a cabo mediante una rápida sucesión de las poblaciones microbianas mixtas. Los principales grupos de microorganismos implicados son las bacterias, incluyendo actinomicetos y hongos (Golueke, 1991). Aunque el número total de microorganismos no cambia significativamente durante el compostaje, la diversidad microbiana puede variar durante las diferentes fases del compostaje (Atkinson *et al.*, 1996a). La naturaleza precisa de la sucesión y el número de microorganismos en cada fase del compostaje depende del sustrato y de los microorganismos anteriores en la sucesión (Crawford, 1983).

1.1 Microorganismos

a) Bacterias

Las bacterias son generalmente unicelulares con un tamaño que va desde 0.5 hasta 3.0 micras. Debido a su tamaño pequeño las bacterias tienen una alta relación superficie / volumen, lo que permite una rápida transferencia de sustratos solubles en la célula. Como resultado, las bacterias suelen ser mucho más dominantes que los grandes microorganismos como los hongos (Haug, 1993). Las bacterias mesófilas predominan en las primeras etapas del compostaje, pero después de que la temperatura aumenta a más de 40 °C, las bacterias termófilas se hacen cargo de la composta.

b) Hongos

Los hongos están presentes durante todo el proceso de compostaje pero predomina en niveles del agua por debajo del 35% de y no son activos en temperaturas superiores a 60 °C. Los actinomicetos predominan durante la estabilización y madurez.

La temperatura es uno de los factores más importantes que afectan el crecimiento de hongos. Otros factores importantes son las fuentes de carbono, nitrógeno y el pH. Un nivel moderado de

nitrógeno es necesario para el crecimiento de hongos, principalmente los desintegradores de madera. De hecho, un bajo nivel de nitrógeno es a menudo un requisito previo para la degradación de la lignina (Eriksson *et al.*, 1990 y Dix y Webster, 1995). Sin embargo, un nivel bajo de nitrógeno es un factor limitante en la velocidad de la degradación de la celulosa.

La mayoría de los hongos son mesófilos que crecen entre 5°C y 37°C, con una temperatura óptima de 25-30 °C (Dix y Webster, 1995). Sin embargo, en el entorno del compostaje una temperatura alta significa que el pequeño grupo de hongos termófilos son agentes importantes de biodegradación. (Sharma, 1989 y Dix y Webster, 1995). Los hongos termófilos son responsables de la degradación de la lignocelulosa en las compostas (Sharma, 1989). La temperatura máxima de crecimiento de los hongos termófilos es a 50°C o superior, menor a 20°C disminuye su velocidad de crecimiento, sin embargo la temperatura óptima son los 40 °C (Coonye y Emerson, 1964).

La capacidad de los microorganismos para asimilar la materia orgánica depende de su capacidad de producir enzimas para la degradación del sustrato. Cuanto más complejo sea el sustrato, más extenso y complejo es el sistema de enzima requerido. A través de la acción sinérgica de los microorganismos son degradados los compuestos orgánicos a moléculas más pequeñas que pueden ser utilizados por las células microbianas (Golueke, 1991; Golueke, 1992).

La celulasas, hemicelulasas, proteasas, lipasas, fosfatas y sulfatasas, son enzimas que interviene en la degradación de materiales organicos (Goyal *et al.*, 2005).

1.2 pH

Un valor de pH de 6.7 a 9.0 durante la actividad microbiana ayuda a un mejor compostaje. Los valores óptimos están entre 5.5 y 8.0 (de Bertoldi *et al.*, 1983; Molinero, 1992). El pH no es generalmente un factor determinante para el compostaje, la mayoría de los materiales están dentro de esta gama de valores. Sin embargo, este factor es relevante para las pérdidas de N que se volatiliza en forma de amonio, el cual puede ser particularmente alto a pH mayores a 7.5. El sulfuro se ha utilizado como enmienda para evitar valores excesivamente altos de pH durante el compostaje (Mari *et al.*, 2005).

El pH disminuye debido a la formación de ácidos orgánicos que se acumulan durante degradación de los residuos. En la última fase los microorganismos comienzan a degradar las proteínas, lo que resulta una liberación de amonio y un aumento en el pH (Crawford, 1983 y Paatero *et al.*, 1984).

1.3 Porosidad

La porosidad de los residuos ejerce influencia en el funcionamiento del compostaje puesto que las condiciones apropiadas del ambiente físico para la distribución del aire se deben mantener durante el proceso. La porosidad mayor a 50% provoca que la pila disminuya la temperatura por la energía perdida. Poca porosidad conduce a condiciones anaerobias y a la generación de olor.

El tamaño y la distribución de partícula son críticos para balancear el área superficial para el crecimiento de microorganismos y el mantenimiento de la porosidad adecuada para la aireación. Cuanto más grande es el tamaño de partícula, más baja es el área superficial para formar poros. Las partículas grandes no se descomponen adecuadamente porque en el interior tiene difícil acceso para los microorganismos e intercambio gaseoso, durante la descomposición del material se cubre la superficie con una capa impenetrable de humus (Bernal *et al.*, 2009). Sin embargo, partículas que son demasiado pequeñas con respecto a la masa, reducen la porosidad.

1.4 Aireación

La aireación es un factor dominante para el compostaje. La aireación apropiada controla la temperatura, quita exceso de humedad y de CO₂ y proporciona O₂ para los procesos biológicos. La concentración óptima de O₂ está entre 15 y 20% (Molinero, 1992). La aireación controlada debe mantener temperaturas debajo de 60 – 65 °C, asegurando una buena concentración de O₂ (Finstein y Molinero, 1985).

1.5 Humedad

El contenido en agua para la composta varía con respecto a los desechos orgánicos, pero generalmente la mezcla debe estar entre 50 – 60%. Cuando se incrementa el contenido de agua el movimiento del O₂ disminuye y el proceso tiende a ser anaerobio. Durante el compostaje de grandes volúmenes de residuos el agua se evapora, se incrementa la temperatura, y el contenido en agua disminuye, la degradación también debe mantener el contenido de agua óptimo para la actividad microbiana. (Gajalakshmi y Abbasi, 2008).

1.6 Temperatura:

La temperatura demuestra la actividad microbiana y durante el proceso del compostaje. El rango de temperatura óptimo para el compostaje es 40 – 65 °C (de Bertoldi *et al.*, 1983), las temperaturas sobre 55 °C se requiere para matar a microorganismos patógenos. Con temperaturas sobre 63 °C, la actividad microbiana declina rápidamente; entre 52 – 60 °C es la más favorable para la descomposición (Molinero, 1992). La regulación de la temperatura se requiere para controlar el compostaje. El exceso de calor se puede controlar con el tamaño, la forma de la masa y ventilando la composta, que significa el retiro del calor con la refrigeración por evaporación (Molinero, 1992).

El desarrollo del perfil de la temperatura indica las diversas fases del proceso. En general, el proceso del compostaje se puede dividir en dos fases principales: la fase biooxidativa y la fase de maduración (Bernal *et al.*, 1996; Chen e Inbar, 1993). A su vez la fase biooxidativa se desarrolla en tres etapas:

- a) mesofílica inicial que tiene una duración de 1 – 3 días, donde las bacterias y los hongos mesofílicos degradan compuestos simples como azúcares, aminoácidos, proteínas, etc., aumentando rápidamente la temperatura.
- b) termofílica, donde los microorganismos degradan las grasas, la celulosa, la hemicelulosa y lignina, durante esta fase la degradación de la materia orgánica es máxima al igual que la destrucción de patógenos.
- c) de enfriamiento, se caracteriza por una disminución de la temperatura debido a la reducción de la actividad microbiana asociada al agotamiento de sustratos orgánicos, la masa del residuo es recolonizada por los microorganismos mesofílicos que pueden degradar los azúcares, la celulosa y la hemicelulosa restantes. Durante los diversos pasos de la fase de la biodegradación, los compuestos orgánicos se degradan a CO₂ y a NH₃, con el consumo de O₂.

Durante la fase de la maduración, estabilización y humificación de la composta esta termina con características húmicas, que pueden definir al producto como estabilizado y esterilizado (Gajalakshmi y Abbasi, 2008; Haug, 1993; Zucconi y de Bertoldi, 1987).

Las ventajas de utilizar compostas comparado con el uso directo de desechos orgánicos se pueden resumir en:

- eliminación de patógenos y de malas hierbas.
- estabilización microbiana.

- reducción del volumen y de la humedad.
- retiro y control de olores.
- facilidad del almacenaje, del transporte y del uso.
- producción del fertilizante o del sustrato de buena calidad.

Sin embargo las desventajas se derivan de:

- costo de la instalación.
- muy baja relación peso/volumen.
- grandes áreas para el almacenaje y operación.

Entonces el compostaje de los residuos orgánicos se debe considerar como una tecnología que agrega valor produciendo un producto de la alta calidad para las actividades agrícolas.

2. Sustrato

El término sustrato se aplica en horticultura a todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radical, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Abad, 1993; Abad y Noguera, 1998). El sustrato puede intervenir (material químicamente activo) o no (material inerte) en el complejo proceso de la nutrición mineral de la planta.

2.1 Función de un sustrato:

El sustrato de cultivo está constituido por un material poroso, en el que se desarrolla el sistema radical de la planta, y del que ésta toma el agua y los nutrientes que necesita para su desarrollo y el oxígeno necesario para el funcionamiento correcto del sistema radical. Para Michelot (1999), el soporte del cultivo (suelo o sustrato) cumple cuatro funciones:

- a) Asegura el anclaje mecánico de la planta
- b) Constituye la reserva hídrica de donde las raíces de la planta absorben el agua.
- c) El sustrato debe proporcionar el oxígeno necesario para su correcto funcionamiento.
- d) Finalmente, debe asegurar la nutrición mineral de la planta.

Las características que debe reunir el sustrato a emplear varían en función de las necesidades del material vegetal a utilizar (especie, variedad, si se trata de varias especies o de una sola, etc.), del objetivo del cultivo (multiplicación, producción de planta, producción de fruto, producción de flor, etc.), de los medios de control disponibles en la explotación (estructuras de protección del cultivo,

sistemas de control de la solución nutritiva, sistemas de control de riego, etc.), de la incidencia de factores no controlados por el agricultor (factores climáticos, fallas en los sistemas de control, etc.).

2.2 Criterios para la elección de un sustrato

Las funciones de un sustrato de cultivo son: proporcionar al sistema radical de la planta el agua, los nutrientes necesarios, y el oxígeno requerido para su respiración, así como el medio físico para el anclaje de la planta.

Hay una gran diversidad de materiales que se pueden emplear para cumplir estas funciones, en forma pura o en mezcla, en la preparación de los sustratos de cultivo para las plantas. La elección de un material particular viene determinada generalmente por: (Bunt, 1988; Handreck y Black, 1991; Abad, 1995; Abad y Noguera, 1998)

Su suministro y homogeneidad.

Cada sustrato requiere su propio plan de riego y fertilización. Un cambio en la calidad (características) del sustrato puede llegar a alterar el sistema completo.

La finalidad de la producción.

Los objetivos del cultivo sin suelo, como técnica de producción comercial, pueden ser muchos y diversos: rápido crecimiento de las plantas; plantas de elevada calidad, con tamaño óptimo y aspecto excelente y uniforme; plantas que presenten pocos problemas cuando se trasplanten y reciban pocos cuidados posteriores.

Costo.

En la horticultura competitiva, el costo de los materiales utilizados es importante. El costo del transporte constituye una parte importante de la producción final. La utilización de materiales locales reduce este componente, por lo que, la utilización de recursos locales (residuos orgánicos) tiene como consecuencia la reducción del costo de producción.

Su impacto ambiental.

El impacto ambiental de un sustrato puede ser debido a su obtención (caso de la turba) o a la generación de un residuo de difícil reutilización (caso de la lana de roca). La utilización como

sustratos de residuos agrarios, forestales, ganaderos, urbanos, etc, tiene un impacto ambiental positivo, por la neutralización de un residuo generado por otras actividades económicas.

2.3 Propiedades de los sustratos en el cultivo

El primer paso para la utilización de un material como sustrato de cultivo es la caracterización y el estudio crítico de sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

2.4 Propiedades físicas

Las propiedades físicas de los sustratos de cultivo son de gran importancia (Raviv *et al.*, 1986; Abad, 1995; Abad y Noguera, 1998). Esto es debido al hecho de que una vez que el sustrato está en el contenedor y la planta creciendo en él, la capacidad del usuario para intervenir en la modificación de las propiedades físicas es prácticamente nula. Esto contrasta con las propiedades químicas, que pueden ser modificadas mediante técnicas de cultivo apropiadas, realizadas por el propio agricultor.

El manejo del agua de riego está estrechamente relacionado con las características del espacio poroso. El transporte y el manejo del sustrato están condicionados por la relación peso-volumen, y por lo tanto por su densidad aparente y la cantidad de agua absorbida. Otras características a tener en cuenta son la mojabilidad y la contracción de volumen.

a. Densidad aparente y densidad real

La densidad aparente se define como la masa seca del material sólido por unidad de volumen aparente del sustrato húmedo, es decir, incluyendo el espacio poroso entre las partículas (Martínez, 1993). Este parámetro juega un papel importante, ya que los sustratos se transportan durante su manejo y manipulación, y, consecuentemente, su peso se debe considerar. Por otro lado, el anclaje de la planta también debe ser considerado como un factor de importancia, ya que cuando más alta sea la planta, más fuerte deberá ser el sustrato.

Cuando el cultivo está protegido del viento (caso de los invernaderos) y éste no supone un peligro para la estabilidad de la planta, la densidad aparente del sustrato puede ser tan baja como 0.15

g/cm³ (Abad, 1995). Las plantas que crecen al aire libre deberían ser cultivadas en sustratos más fuertes, con densidades aparentes comprendidas entre 0.50 g/cm³ y 0.75 g/cm³ (Raviv *et al.*, 1986).

La densidad real es el cociente entre la masa de las partículas del medio de cultivo y el volumen que ocupan, sin considerar los poros y los espacios (Ansorena, 1994).

b. Granulometría.

Las propiedades físicas de los sustratos dependen de la distribución del tamaño de las partículas, por lo que la granulometría se refiere a la dimensión de las partículas que constituyen un material e indican la proporción en que las partículas se mezclan. Por ejemplo una mezcla de tamaño fino y poco grueso propicia aumento en la capacidad de retención de agua, debido a que las partículas pequeñas ocupan los sitios vacíos que quedan entre las partículas grandes, favoreciendo la capacidad de retención de agua (Ansorena, 1994) Por su parte Noguera *et al.*, (2003) señalan que las partículas con un diámetro de 0.5 mm ocasiona cambios en las propiedades físicas del sustrato. Debido a que la mayoría de los sustratos están constituidos por una mezcla de partículas disgregadas de diferentes tamaños.

La granulometría de un sustrato es importante porque determina el espacio del poro, densidad aparente, el aire y capacidad de retención de agua. (Raviv *et al.*, 1984; Bunt, 1988; Bures, 1997).

c. Relación agua/aire

La relación agua/aire requiere de una especial atención debido a la disponibilidad de agua para las plantas, sirve de soporte para la solución nutritiva y su conocimiento desde el punto de vista energético e hidráulico permite de un modo práctico para establecer las frecuencias de riego (Ansonera, 1994).

Prácticamente todos los métodos utilizados para caracterizar la relación aire/agua en un sustrato parten de una muestra previamente saturada de agua la cual se somete a una tensión determinada.

La metodología más ampliamente difundida para la determinación de las relaciones hídricas de los sustratos fue desarrollada por De Boodt y Verdonck (1972). Mediante esta metodología y a partir de la curva de liberación de agua por cada tensión aplicada, se define una serie de parámetros, como son:

Agua difícilmente disponible (ADD): es el porcentaje de agua en volumen, que queda retenida en el sustrato tras aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua.

Agua de reserva (AR): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 50 y 100 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato.

Agua fácilmente disponible (AFD): es el porcentaje en volumen de agua que se libera entre 10 y 50 cm de columna de agua de tensión sobre el sustrato.

Capacidad de aireación (CA): es el porcentaje en volumen de agua que se libera al aplicar una tensión de 10 cm de columna de agua.

Material sólido (MS): es el porcentaje en volumen ocupado por la matriz sólida del sustrato.

Espacio poroso total (EPT) es el espacio del aire y agua, formado por la suma de ADD, AR, AFD, y CA que se determinan a partir de la densidad real y aparente.

2.5 Propiedades químicas

pH

Las plantas pueden sobrevivir en un amplio intervalo de pH del sustrato sin sufrir desórdenes fisiológicos aparentes, siempre y cuando todos los nutrientes se suministren en forma "asimilable". No obstante, el crecimiento y desarrollo de la planta se ven reducidos de modo marcado en condiciones de acidez o alcalinidad extremas.

El pH ejerce sus efectos principales sobre la asimilabilidad de los nutrientes, la capacidad de intercambio catiónico y la actividad biológica (Raviv et al., 1986; Bunt, 1988; Handreck y Black, 1991); bajo condiciones de cultivo intensivo, se recomienda mantener el pH del sustrato dentro de un intervalo reducido. Así, en el cultivo de las plantas ornamentales en contenedor, el nivel de referencia del pH (pasta saturada) oscila entre 5.2 y 6.3 (Abad *et al.*, 1993), y en el caso del cultivo hidropónico de hortalizas, el valor óptimo del pH (solución del sustrato) se sitúa entre 5.5 y 6.8 (Escudero, 1993).

La asimilabilidad de los elementos nutritivos se ve afectada de modo importante por el pH. Con pHs de 5.0 a 6.5, la mayoría de los nutrientes mantienen su máximo nivel de asimilabilidad. Por debajo de pHs de 5.0 pueden presentarse deficiencias de N, K, Ca, Mg, B, etc, mientras que por encima de pH 6.5 puede disminuir la asimilabilidad de P, Fe, Mn, B, Zn y Cu (Baca *et al*, 1990). Los óxidos metálicos (Fe, Mn, Cu, Zn, etc) se hacen más solubles al bajar el pH (por debajo de 5,0), pudiendo llegar a resultar fitotóxicos.

Por otro lado, el pH óptimo de los sustratos orgánicos (5.2-6.3) es también el más favorable para la actividad de los microorganismos beneficiosos para las plantas (bacterias nitrificantes, hongos micorrízicos, etc) (Handreck y Black, 1991).

Materia orgánica

La determinación de la materia orgánica total se realiza en los sustratos orgánicos o con un componente orgánico apreciable. Su análisis tiene poco sentido en los sustratos inorgánicos y, en determinados casos, puede ocasionar errores por pérdida de materia a la temperatura de calcinación (Martínez, 1993). Además de informar sobre el contenido orgánico de un material, se utiliza para estimar la densidad real de los sustratos con elevado componente orgánico

Relación Carbono: Nitrógeno (C/N)

La relación C/N se usa tradicionalmente como un índice del origen de la materia orgánica, de su madurez y estabilidad (Stevenson, 1982; Bernal *et al.*, 1996). Los daños que aparecen sobre las plantas cultivadas en materiales orgánicos inmaduros, son debidos tanto a una inmovilización de nitrógeno como a una baja disponibilidad de oxígeno en la rizosfera. Esta situación está provocada por la actividad de los microorganismos, que descomponen los materiales orgánicos frescos y utilizan el nitrógeno para la síntesis de sus proteínas celulares; el oxígeno es consumido también por la población microbiana (Raviv *et al.*, 1986). Una relación C/N inferior a 20 es considerada como óptima para el cultivo en sustrato, y es índice de un material orgánico maduro y estable (Abad *et al.*, 1993).

2.6 Propiedades biológicas

Un examen detallado de las propiedades de los sustratos de cultivo debe incluir el estudio de sus propiedades biológicas. Estas propiedades evalúan la estabilidad biológica del material, así como la presencia de componentes que pueden actuar como estimuladores o inhibidores del crecimiento vegetal.

Velocidad de descomposición

Todos los sustratos orgánicos son susceptibles de degradación biológica, la cual se ve favorecida por las condiciones ambientales que existen en los invernaderos. La población microbiana es la responsable de dicho proceso, pudiendo provocar deficiencias de oxígeno y de nitrógeno, liberación de sustancias fitotóxicas, contracción del sustrato, etc. (Raviv *et al.*, 1986).

La descomposición de la materia orgánica de los sustratos de cultivos es desfavorable desde el punto de vista hortícola, debiéndose tomar precauciones con objeto de minimizar sus efectos negativos sobre la planta. La disponibilidad de compuestos biodegradables (carbohidratos, ácidos grasos y proteínas) determina la velocidad de descomposición. Por otra parte, las condiciones de cultivo deberían ser también consideradas: si el cultivo se prolonga durante largos períodos de tiempo, resulta recomendable el uso de materiales estables (turba negra o cortezas de árboles), mientras que si las plantas son de crecimiento rápido, pueden prosperar en materiales menos resistentes a la degradación (turba *Sphagnum rubia*) (Raviv *et al.*, 1986).

Algunos residuos orgánicos contienen compuestos fitotóxicos, que afectan el crecimiento y desarrollo vegetal, una alternativa para evaluarlos es a través de bioensayos de germinación (Zuconi *et al.*, 1981; Moreno *et al.*; 1981).

Uno de los problemas asociados con el uso de compostas es que a menudo contiene altas concentraciones de metales pesados (Cu y Zn) (Hsu y Lo, 2001), sales (Yao *et al.*, 2007), y un exceso de amonio. Otros efectos negativos es la acumulación excesiva de ácidos orgánicos, sustancias fenólicas, etileno y amoníaco, (Tiquia *et al.*, 2010; Gómez-Brandon *et al.*, 2008). Por lo tanto, la madurez es uno de los aspectos más importantes de la calidad de la composta, especialmente si los residuos se van a utilizar en la horticultura. Un proceso como la composta puede contribuir a la madurez y la reducción definitiva de estos compuestos fitotóxicos.

V. Materiales y métodos

1. Localización

El trabajo de campo de la presente investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR) unidad Oaxaca del Instituto Politécnico Nacional (IPN), localizado en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlan. Las determinaciones físicas, químicas y biológicas se realizaron en el laboratorio de Suelos del mismo centro de investigación.

2. Elaboración de las compostas

El bagazo de caña (*Saccharum officinarum*.) se colectó en octubre en el municipio de Reyes Mantecon; la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*.) se acopió en un expendio de jugo de naranja en el municipio de Santa Cruz Xoxocotlán y la paja de trigo (*Triticum* sp) se obtuvo en el municipio de Nochixtlán.

Los primeros dos materiales iniciaron el proceso de compostaje al inicio del mes de octubre de 2008 y lo finalizaron a mitad del mes de abril de 2009, el último material inicio el compostaje a principio de diciembre de 2009 y finalizó a mitad de junio de 2010.

Los materiales, se trituraron en un molino de martillos, para homogenizar el tamaño de partículas entre 2 a 4 cm.

La biodegradación de los materiales se realizó en un sistema abierto, en camas de mampostería con dimensiones 3.0 m de largo x 1.0 m de ancho x 0.4 m de altura y una pendiente del 5%; cada cama se cubrió con una película plástica para evitar la evaporación de agua, la volatilización de nitrógeno y la pérdida de calor. Las tres camas se cubrieron con una malla sombra al 50%.

Al inicio del proceso de compostaje, los materiales bagazo de caña y paja de trigo se hidrataron hasta el punto de saturación. El proceso de compostaje para cada uno de los materiales se inició cuando se depositó en cada una de las camas.

En cada composta se obtuvieron muestras al azar en cinco puntos cada 14 días, realizando el primer muestreo el día uno. Lo anterior, para determinar las características químicas; para las determinaciones físicas y biológicas sólo se obtuvo una muestra, hasta el final del compostaje de cada pila.

Cada día se determinó la temperatura ambiental y la temperatura de cada sustrato a 5 y 10 cm de profundidad. La biodegradación se realizó en el área de compostaje del CIIDIR - Oaxaca por 180 días.

Temperatura

Durante el tiempo que duró el proceso, diariamente se midió la temperatura en cada pila, colocando en ocho distintos lugares el termómetro (de carátula con una varilla de 30 cm de largo), para graficar posteriormente el promedio de los cambios de temperatura registrados en relación con el tiempo transcurrido. También se registró la temperatura ambiental.

Humedad y aireación

La masa en proceso fue removida cada 14 días para facilitar la aireación, la homogenización de microorganismos, el fraccionamiento de los materiales y para agregar agua y para mantener la humedad de las pilas entre 40 y 65%.

3. Determinación de propiedades Físicas

3.1 Granulometría

Se colocaron 100 g de muestra en una serie de tamices (6.36, 4.76, 3.36, 2.0, 1.0, 0.5, 0.25 mm), en un agitador electromagnético (modelo Ro-Tap) a la mayor intensidad (1750 rpm) durante 10 minutos (Martínez, 1993).

3.2 Índice granulométrico (IG)

Se expresó como el porcentaje acumulado en peso de todas las partículas con diámetro mayor de 1 mm (Abad et al., 1993).

3.3 Densidad aparente

La densidad aparente de los materiales se determinó por el peso sólido (masa) que ocupó en una probeta de 0.5 L (por unidad de volumen), es decir incluido el espacio poroso de las partículas. La determinación de la densidad aparente de los materiales se basó en la obtención del peso seco del sustrato contenido en un volumen previamente conocido (Ansorena, 1994).

3.4 Densidad real

Se calculó conociendo la masa del material y el volumen real excluyendo el espacio poroso. Se saturó con agua el sustrato por 48 horas y se colocó en un volumen conocido, posteriormente se drenó el material y se llevó a peso constante, con estas dos magnitudes se determinó la densidad real (Ansorena, 1994).

3.5 Curva de liberación de agua y espacio poroso total

La caracterización hidrofísica de los materiales se efectuó empleando la metodología descrita por De Boott y Verdonck (1974), donde se determinó:

-agua fácilmente disponible, que corresponde al porcentaje de agua liberada del material entre succiones de 10 y 50 cm de columna de agua (c.c.a);

agua de reserva, la que se libera entre las succiones de 50 y 100 c.c.a;

-agua difícilmente disponible, que corresponde al porcentaje de agua retenida a tensiones superiores a 100 c.c.a.

-capacidad de aireación, que corresponde al volumen del material a una succión de 10 c.c.a. A partir de la curva de liberación de agua se determinaron los contenidos de agua y espacio poroso.

4. Determinación de propiedades químicas

4.1 pH y CE

El pH y la conductividad eléctrica de las muestras fueron determinados en extractos de pasta de saturación en una relación peso/volumen (1:10), se determinaron con un potenciómetro marca Orion modelo 710 A (Warncke, 1986)

4.2 Nitrógeno total.

El contenido de Nitrógeno total (NT) fue determinado por el procedimiento micro-Kjeldahl (Horneck y Miller, 1998). Los resultados fueron reportados en base seca.

4.3 Materia orgánica y Carbono orgánico

La determinación de materia orgánica se realizó de acuerdo a la metodología que indica Ansorena (1980) y consiste en colocar las muestras de composta en la mufla a 550 °C por cuatro horas. La proporción de peso perdido se consideró como materia orgánica. El peso remanente fueron cenizas.

El carbono orgánico total (COT) fue calculado mediante la siguiente ecuación (Golueke, 1977):

$$\% \text{ COT} = (100 - \text{cenizas})/1.8$$

4.4 Relación C/N

La relación C/N fue calculada con base en los análisis anteriores de carbono y nitrógeno total. Los resultados obtenidos se reportaron en base seca.

4.5 Fósforo

Se determinó con el método Bray y Kurtz 1.

4.6 Potasio

El potasio se determinó por espectrofotometría de absorción atómica.

5. Determinación de propiedades Biológicas

5.1 Índice de germinación

Se realizó una prueba de fitotoxicidad a los materiales compostados mediante el análisis de índice de germinación. Los análisis de germinación se realizaron siguiendo la metodología de Zucconi *et al* (1981 a,b) modificada. Se utilizaron semillas de rábano (*Raphanus sativus*), cebada (*Hordeum vulgare*), brócoli (*Brassica oleracea*) y extracto de saturación (p:v) (1:10) de cada una de los materiales degradados y con cuatro diluciones (100,75, 50 y 25 %) de los extractos.

Se tomaron tres cajas de Petri (9 cm de diámetro) y en cada una de ellas se colocó un papel filtro sobre el que, una vez humedecido con unas gotas del extracto, se depositaron 10 semillas de la especie a estudiar. Sobre estas semillas se colocó otro papel filtro humedecido también con el extracto. Para cada caja de Petri se utilizó alrededor de 10 mL de extracto. Los análisis se realizaron por triplicado, en todos los casos se realizó un ensayo con agua destilada (testigo).

Transcurridos cinco días se evaluaron en cada caja el porcentaje de germinación (%G) y se calculó la longitud media de la radícula (Lm) de las semillas germinadas. A partir de estos dos datos, se calculó el índice de germinación (IG) con la siguiente ecuación:

$$IG = \frac{G \text{ extracto}}{G \text{ agua}} \times \frac{Lm \text{ extracto}}{Lm \text{ agua}} \times 100$$

Donde IG (%) = índice de germinación, G extracto = % germinación del extracto, G agua= % germinación en agua destilada, Lm extracto = longitud media del extracto, Lm agua = longitud media en agua destilada.

6. Diseño experimental.

Las compostas se establecieron en un diseño en bloques al azar para determinar las características físicas y químicas de los materiales. Los datos se analizaron en el programa NCSS v. 2004 (Number Cruncher Statistical System).

Los bioensayos se establecieron en un diseño completamente al azar con arreglo factorial 3 x 4 x 3, con tres repeticiones es decir, tres especies, cuatro soluciones y tres extractos. Finalmente se determinó el % de semillas germinadas y el % de la longitud de las raíces, para determinar el IG. Los datos se analizaron en el programa NCSS v. 2004 (Number Cruncher Statistical System).

VI. Resultados y Discusión

1. Propiedades físicas

1.1 Temperatura

La variación de la temperatura durante el proceso de compostaje juega un papel selectivo en la evolución, sucesión de las comunidades microbinas, desinfección, la tasa de biodegradación y la diversidad microbiana (Zhu et al., 2004).

En este estudio los perfiles de temperatura indican que a 5 cm de profundidad se incrementa el calor debido al tamaño de partícula fibrosa que permite un mejor intercambio de oxígeno, de bióxido de carbono y eliminación de humedad (Mohee, 2005). A 10 cm de profundidad la temperatura es igual o inferior a la del ambiente.

En los tres materiales degradados hasta los 90 días la temperatura en el perfil de 5 y 10 cm fue similar a la del ambiente. Debido a que la actividad microbiana, hongos, enzimas e insectos inician el desdoblamiento de celulosa, hemicelulosa y lignina a compuestos más simples (Bernal *et al.*, 2009; Chene e Inbar, 1993).

Al suministrar oxígeno, humedad, reducirse el volumen de los materiales y concentrarse los nutrientes disponibles para los microorganismos en la fase de maduración de las compostas, disminuye la temperatura, debido a la reducción de la actividad microbiana asociada con el agotamiento de los residuos orgánicos (Bernal *et al.*, 2009).

Meunchang *et al.*, (2005), mencionan que la acumulación y conservación de calor se incrementa en pilas de mayor volumen y este se pierde con facilidad en las de menor tamaño.

Las temperaturas más elevadas en las compostas de bagazo de caña y cáscara de naranja, se observaron en la fase termofílica, oscilaron entre 35 y 38 °C (Figura 1 y 2), para paja de trigo la temperatura tuvo una fluctuación de 38 a 40 °C (Figura 3). Durante los últimos treinta días de degradación de los materiales, la temperatura comenzó a descender hasta estabilizarse, entrando en una fase de maduración que perduró hasta la culminación del proceso de compostaje.

La temperatura máxima alcanzada durante el proceso de compostaje fue baja, acercándose sólo al límite inferior de la fase termofílica (45 °C). No obstante, los microorganismos más eficientes en las compostas son los mesófilos cuya temperatura óptima corresponde al rango de 35 a 40 °C, seguido de los termófilos que requieren temperatura de 55 °C o superior (Pino *et al.*, 2005).

La temperatura de 35 a 40 °C se considera apropiada para eliminar patógenos, parásitos y semillas de malezas. Las condiciones climáticas de la época invernal incidieron en los resultados ya que la temperatura promedio para el período de experimentación fue 29 °C, por lo que el gradiente de temperatura favoreció la pérdida de calor en las pilas.

La temperatura superior a 70 °C durante la etapa termofílica del compostaje conduce a una pérdida de materia orgánica, lo que resulta una disminución significativa de N (Sánchez –Mondero *et al.*, 2004). Por lo tanto, el mantenimiento de temperatura moderada, es una forma de reducir la pérdida de N (Raviv *et al.*, 1998).

La temperatura obtenida en un proceso de compostaje de pulpa de café utilizado por Pire y Pereira (2003) en Venezuela, osciló de 35 a 40 °C. Los valores obtenidos son similares a lo realizado en esta investigación, debido al volumen que se utilizó y la temperatura externa.

Sin embargo cualquier aumento de la temperatura, en un intervalo de 10 ° C puede aumentar la tasa de mineralización de dos a tres veces (Amlinger, 2003)

En general, las pilas de materiales compostados de volúmenes pequeños a menudo se caracterizan por temperatura baja en comparación con las pilas de gran tamaño. A causa de estas pérdidas de calor Pilva *et al.* (2006) recomiendan cubrir las pilas de volumen pequeño durante todo el proceso de compostaje.

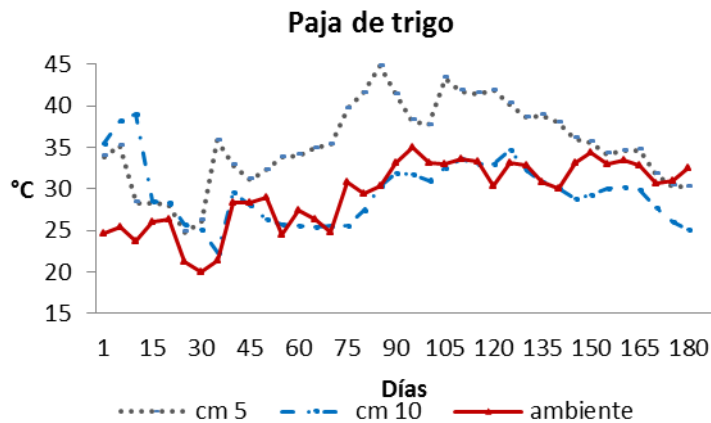
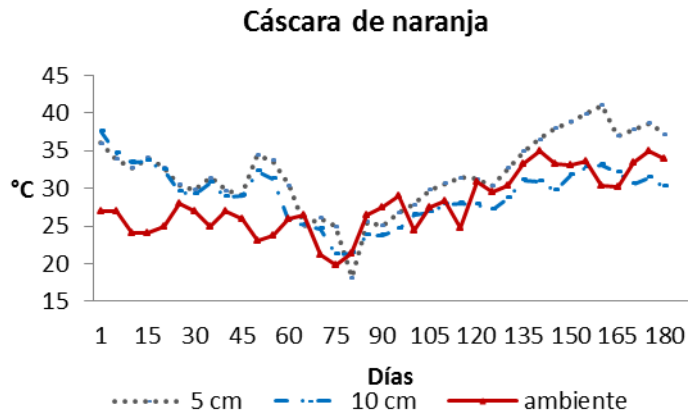
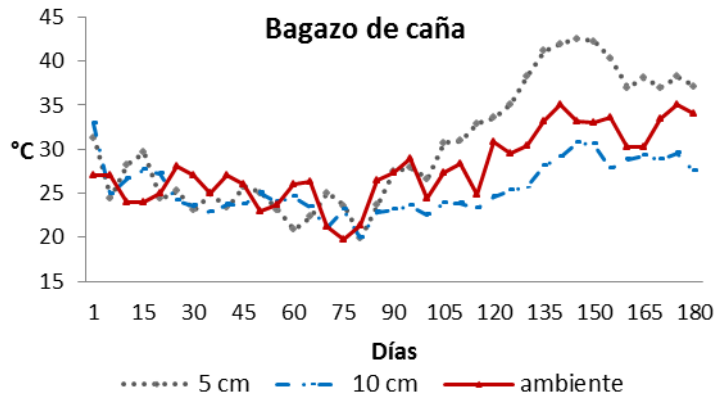


Figura 1, 2 y 3. Dinámica de la temperatura a 5 y 10 cm de profundidad en la composta de residuo de bagazo de caña, cáscara de naranja y paja de trigo.

1.2 Análisis granulométrico

La granulometría de un sustrato es importante porque determina el espacio del poro, densidad aparente, el aire y capacidad de retención de agua. El análisis de varianza mostró diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) para el análisis granulométrico. La distribución de las partículas mostró que la fracción comprendida entre 1.0 y 3.36 mm fue la de mayor proporción en paja de trigo y bagazo de caña (Cuadro 1), seguido de la fracción fina ($< 0.25 - 0.5$ mm). Benito (2006) indica que las compostas generadas de residuos de poda de árboles presentaron una textura media, lo que equivale a una distribución del tamaño de partícula entre 2.0 y 4.0 mm, que permite una buena retención y disponibilidad de agua y un contenido de aire adecuados. Por otra parte, Handreck (1983) menciona que el tamaño de partícula entre 0.1 y 0.25 mm; tiene mayor influencia en la porosidad y retención de agua. Cuanto más fino sea el material, mayor es la disponibilidad del agua por unidad de volumen para la planta. Una reducción del tamaño de partícula lleva a una disminución de la capacidad de aire (Gruda, 2004).

Cáscara de naranja mostró la mayor acumulación de partículas gruesas (3.36 – 6.36), lo que le facilita un intercambio de oxígeno y bióxido de carbono en la zona radicular, pero requiere de riegos más frecuentes.

A medida que avanza el compostaje aeróbico, el tamaño de partícula se fracciona, reduciéndose debido a la descomposición de las partículas más grandes y a los procesos de descomposición microbianos. Al incrementarse la descomposición aeróbica de los materiales orgánicos, aumenta el contenido de partículas y disminuyen los sólidos volátiles (Raviv *et al.*, 1998 y Tarre *et al.*, 1987).

Los valores obtenidos en turba por Anicua *et al.* (2008) son similares a las compostas en bagazo de caña y paja de trigo: 27% (< 0.25 mm), 13% (0.5 mm), 8% (2mm) y 44% (>3.36) y con índice granulométrico de 59%.

Cuadro 1. Análisis granulométrico e índice granulométrico (IG) para materiales compostados.

Materiales	Diámetro de partícula (mm)								IG
	< 0.25	0.25 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	2.0 – 3.36	3.36–4.76	4.76–6.36	> 6.36	
	----- % en peso -----								(%)
PT	12.79 a	2.49 b	37.38 a	23.89 a	15.97 a	3.58 b	0.69 c	3.59 b	23.83 a
BC	9.99 b	4.46 a	35.20 b	12.21 b	17.17 a	13.64 a	2.44 b	5.26 b	38.51 b
CN	1.09 c	0.10 c	2.85 c	3.07 c	8.16 b	13.53 a	6.21 a	64.91 a	92.81 c
DMS	0.963	0.399	0.345	1.190	1.239	1.577	0.334	1.796	1.205

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) ns = no significativo
 IG = porcentaje en peso de partículas con diámetro > 1 mm

1.3 Índice granulométrico

La paja de trigo mostró significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) el menor índice granulométrico (23.82) lo que implica que en este material tiene una menor aireación y una mayor retención de agua; cáscara de naranja, con el mayor valor de IG es el material que se comportaría con una mayor ventilación y una menor acumulación de agua.

El comportamiento de las composta de bagazo de caña y paja de trigo resulto opuesto a lo reportado por Benito (2006) con residuos de poda de árboles.

Las composta evaluadas por Fornes *et al* (2010) de residuos agrícolas (melón y cáscara de almendra; calabacín y pimienta) tienen valores de IG de 64%, los cuales son superiores a lo establecidos por Abad *et al*, 2001, y con características más cercanas a la composta de cáscara de naranja.

1.4 Densidad real y aparente

La composta de cáscara de naranja mostró significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) la mayor densidad real y aparente (1.52 y 0.29 respectivamente) (Cuadro 2). La densidad aparente tiene un papel importante en la manipulación y traslado de sustratos y en las propiedades mecánicas como la porosidad, la fuerza y compactibilidad (Mohee y Mudhoo, 2005). También está relacionada con el contenido de humedad y la tasa de mineralización de las compostas, además sirve de anclaje de las plantas, esto es, mientras más altas mayor densidad deberá tener el sustrato.

Cuadro 2. Caracterización física: densidad real (Dr), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua total disponible (ATD) y agua difícilmente disponible (ADD) en materiales compostados.

Materiales	Dr ---g cm ⁻³ ----	Da	Ca	CRA -----	Solidos	EPT % en volumen	AFD	AR	ATD	ADD
Paja de trigo	1.26 ab	0.06 b	41 a	54 ab	5 b	95 a	44.24 b	36.62 a	28.62 b	24.57 b
Bagazo de caña	1.11 b	0.06 b	47a a	49 b	4 c	96 a	48.31 a	41.21 b	26.99 a	24.12 b
Cáscara de naranja	1.52 a	0.29a	25 b	58 a	17 a	83 a	60.31 c	56.48 c	53.47 c	54.72 a
DMS	0.30	0.01	10.15	21.31	0.107	11.57	0.03	0.21	0.90	0.15
Optimo	1.4–2.6		10 - 30	55 – 70		> 85	20 – 30	4 – 10	24 – 40	

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).
Valores óptimos, según Abad et al. (1993)

1.5 Espacio poroso total y retención de agua

En los tres productos, el porcentaje de agua fácilmente disponible estuvo sobre el nivel óptimo (De Boodt y Verdonck, 1974; Abad et al 1993) (Cuadro 2). Piere y Pereira (2003) con sustratos de bagazo de caña y fibra de coco obtuvieron el 45 y 65 % de agua en materiales después de ser compostados. Estos materiales tienen una alta capacidad de retención de agua, debido a su alta porosidad y porque sus poros son pequeños (Bunt, 1988). Un alto porcentaje de agua disponible provoca una disminución en el número de poros que influyen considerablemente en la aireación del sustrato, por lo tanto, una reducción en su proporción dará lugar a un deterioro del aire en la zona radical (Gruda, 2004).

Los valores de capacidad de aireación promedio fluctúan entre 20 y 30% (Pastor, 1999), en este trabajo se obtuvieron valores de 47 y 41% para bagazo de caña y paja de trigo, respectivamente, datos superiores significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) a la cáscara de naranja. También Piere y Pereira (2003) encontraron en bagazo de caña 47% de capacidad de aireación. Un alto volumen de aireación favorece el libre drenaje y disminuye la capacidad de retención de agua, con lo cual el número de riegos se reduce.

Un sustrato ideal debe tener un espacio poroso total mayor a 85%. En las compostas de paja de trigo y bagazo de caña se registró significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) el mayor espacio poroso total (96 y 95% respectivamente); en sustratos de cáscara de arroz y bagazo de caña el espacio poroso fue de 85 y 92%, según Piere y Pereira; (2003). El espacio poroso está determinado por la densidad aparente, el tamaño, forma y distribución de las partículas (Raviv et al 1998). Sin embargo en el tratamiento de cáscara de naranja el espacio poroso total es de 83%, debido a la menor cantidad de fibra que se acumula en la cáscara con respecto a los tallos de trigo y caña de azúcar.

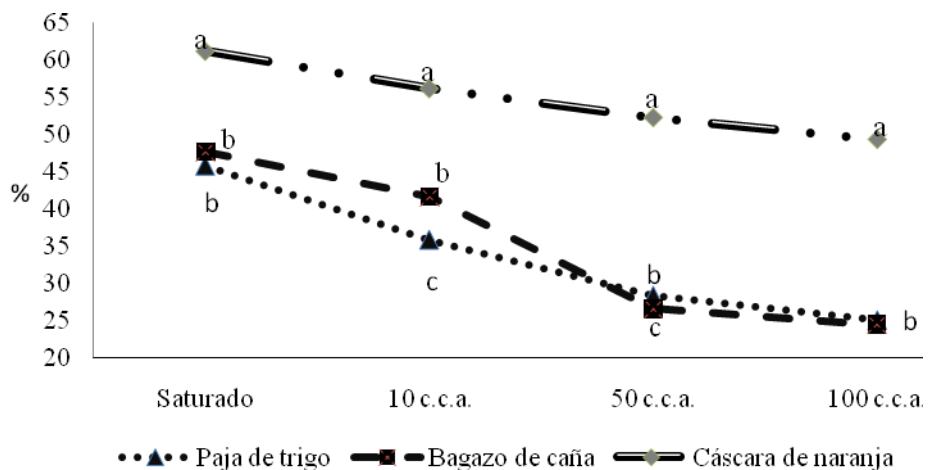


Figura 4. Curva de liberación de humedad de compostas.

Al someter los materiales a una presión de 10 cm de columna de agua (c.c.a), se evidenció la capacidad de aireación y la capacidad de retención de humedad, de manera que la relación entre estas variables fue inversamente proporcional. La paja de trigo mostró significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) la menor retención de humedad (35.89%), al someterse a esta presión. Se ha reportado que la capacidad de retención de humedad para peat moss oscila entre el 47 y 56% (Dede et al., 2006; Gruda y Shnitzler, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004).

Con una presión de succión de 50 c.c.a el bagazo de caña mostró significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) la menor retención de humedad (26.65%). El bagazo de caña y la paja de trigo mostraron significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) la menor retención a 100 c.c.a. (24.55 y 25.09 respectivamente). El proceso de compostaje de residuos agrícolas afecta la retención de humedad en comparación al potencial del material inicial.

El tratamiento cáscara de naranja a cualquier presión de columna de agua (saturado, 10, 50 y 100 c.c.a) absorbe mayor cantidad de agua, porque tiene un bajo espacio poros y una alta densidad aparente, debido a las características que conforman este material.

El tratamiento con mayor proporción de sólidos estadísticamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) fue la cáscara de naranja con 17% (Cuadro 2). Iñiguez *et al.*, (2006) reportaron un valor similar para peat moss. De Boodt y Verdonk (1974) y Pastor (1999) consideran que el contenido de material sólido debe ser igual o menor del 15%, por lo tanto el bagazo de caña y la paja de trigo están dentro de este rango para ser utilizados como sustratos hortícolas.

El bagazo de caña y la paja de trigo mostraron la mayor capacidad de aireación (47 y 41%). La CA en peat moss reportada (Dede *et al.*, 2006; Iñiguez *et al.*, 2006; Gruda y Schnitzler, 2004; y Verdonck y Demeyer, 2004), es variable encontrándose datos desde 12% hasta 39%. De acuerdo a los parámetros óptimos establecidos por Pastor (1999) que un sustrato debe tener entre 10% y 30% de CA, sólo la cáscara de naranja (25%) está dentro de estos rangos.

El bagazo de caña mostró la mayor proporción de agua fácilmente disponible (48.31%). La cantidad de AFD que retiene un sustrato es la cantidad de agua que una planta puede absorber de forma tal, que no se observa una competencia con el sustrato por esta. Pastor (1999) estableció un rango óptimo entre 20 y 30%, y los valores de AFD en todos los tratamientos de este experimento fueron superiores a este rango.

La composta de bagazo de caña registró un contenido de agua de reserva del 36.62 %, los otros productos resultaron con valores mayores para esta variable.

La cantidad de agua de reserva (AR) reportada para el peat moss oscila entre 5 y 14% (Dede *et al.*, 2006; Gruda y Shnitzler, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004). Los valores encontrados en AR en todos los tratamientos utilizados en este experimento fueron superiores a este rango. Pastor (1999) considera un valor óptimo de 4 a 16% de AR.

La composta de cáscara de naranja registró 53.47 % de agua totalmente disponible ATD, es la cantidad de agua presente en un sustrato de la cual la planta dispone para su crecimiento.

La cantidad de agua difícilmente disponible (ADD) que presentó la composta de cáscara de naranja fue de 54.72%, seguida de paja de trigo y bagazo de caña (24.12 y 24.57% respectivamente). Gruda y Schnitler (2004) reporta cantidades de ADD para peat moss entre 20 y 37% por lo que el bagazo de caña y la paja de trigo se encuentran en este rango.

El contenido de agua y aire son los parámetros físicos más importantes de los sustratos (Bunt, 1988). El agua debe estar disponible en el sustrato en el estado de energía más bajo posible, pero al mismo tiempo suficiente aire es necesario en la zona de la raíz. El sustrato puede tener una muy buena capacidad de retención de agua, sin embargo, no es adecuado para los cultivos de contenedor, debido a su bajo volumen de aire en baja tensión (De Boodt *et al.*, 1974).

Dado que las propiedades de aireación no se pueden cambiar fácilmente en el sustrato, la porosidad de aire tiende a disminuir con el tiempo en el contenedor, altos niveles de aireación iniciales son esenciales para un buen desarrollo de la planta (Nkongolo y Caron 2006).

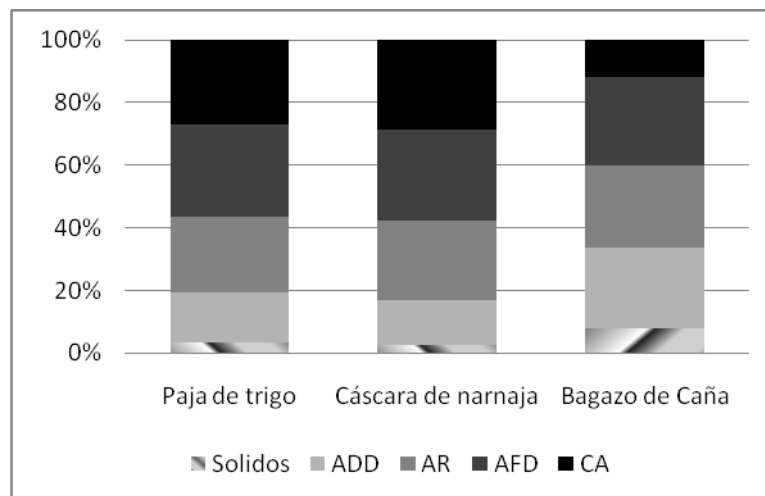


Figura 5. Curva de retención de humedad de compostas.

El contenido de espacio poroso es responsable del almacenamiento de agua y aire es inversamente proporcional al de contenido material sólido del sustrato. Los productos cáscara de naranja y bagazo de caña, al tener menor capacidad de saturación hídrica presentaron la mayor proporción

de sólidos, en cambio la composta de cáscara de naranja tuvo mayor capacidad de saturación, en consecuencia su contenido de material sólido fue menor.

La capacidad de aire y densidad real reportada por Heerden (2001) en cáscara de naranja combinada con hidróxido de calcio se asemejan a lo obtenido en esta investigación.

Fornes *et al* (2010) evaluaron diferentes residuos agrícolas (melón y cáscara de almendra; calabacín y pimienta), el espacio poroso promedio para ambos materiales osciló entre 75 y 80%. La capacidad de aireación estuvo en un rango de 35 a 45% y la retención de humedad fue de 45 a 50 %, valores muy semejantes a lo reportado en esta investigación.

Jayasinghe *et al.*, (2010) en composta con el 60% de residuos de caña de azúcar reporta un espacio poroso total de 82%, espacio de aire 21%, densidad aparente de 0.33 gcm^{-3} , los valores distan de los analizados en este documento debido a que el complemento de la mezcla son agregados sintéticos, pero se acercan a las características físicas de un sustrato ideal.

Las compostas utilizadas por Benito (2006) con residuos de poda de árboles reportan valores similares en sus propiedades físicas, densidad real, volumen de agua, índice de granulométrico, espacio poroso total y volumen de aire con respecto a las compostas de bagazo de caña y paja de trigo, probablemente debido a que su composición en celulosa, hemicelulosa y lignina es similar a los residuos evaluados en este trabajo.

2. Propiedades químicas

2.1 pH

Las compostas de paja de trigo y bagazo de caña presentaron significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), el menor valor de pH (6.01 y 6.36, respectivamente) (Cuadro 3). Durante la fase termófila, los valores de pH de bagazo de caña y paja de trigo se incrementaron para alcanzar su estabilidad; sin embargo el tratamiento de cáscara de naranja lo alcanzo hasta la fase de maduración, lo cual se clasifica como un pH alcalino, debido a que se obtuvo un valor de 7.98. Heerden (2001), realizó

una investigación con cáscara de naranja agregando hidróxido de calcio, y obteniendo un pH similar (7.2) después de 80 días de compostaje. El olor característico de la composta de cáscara de naranja es provocada por la presencia de ácidos orgánicos, generados por la anaerobiosis. Los ácidos orgánicos; son considerados como agentes antimicrobianos. En la última fase el pH se incrementó y la concentración de ácidos orgánicos disminuyó (Cheung et al., 2010).

Jayasinghe *et al.*, (2010) analizó compostas producidas a partir de residuos de caña (60%) y materiales sintéticos (40%) y obtuvo un pH final de 6.4 lo cual es similar al reportado en esta investigación.

El aumento en el pH está relacionado con la liberación del NH^+3 , resultado de la degradación de la materia orgánica a través de las actividades microbianas, mientras que la disminución en el pH, es causado por la volatilización de amonio (Roca *et al.*, 2009).

El aumento del pH de un sustrato orgánico se debe a la actividad de microorganismos que descomponen la materia orgánica y por liberación de iones hidroxilo en el medio (Barraud, 1990).

Para peat moss Schmilewski (2008) reporta un rango de pH de 3.5 a 6.4, este rango coincide con lo reportado por Dede *et al.*, (2006); y Quesada y Mendez (2005), por lo que el bagazo de caña y la paja de trigo están dentro del rango para ser utilizados como sustrato.

2.2 CE

Las compostas de cáscara de naranja y bagazo de caña presentaron significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), los menores valores (3.96 y 4.20 respectivamente) de CE (Cuadro 3). El valor de la variable fue incrementándose de manera constante desde el inicio del proceso hasta la maduración de los materiales, el mayor valor se registró para la composta de paja de trigo. La salinidad excesiva en las compostas puede causar fitotoxicidad directamente, los valores altos de CE puede ser un factor limitante para las plantas sensibles a la salinidad (Mengel *et al.*, 2001). La salinidad se desarrolla a partir de la mineralización y la producción de ácidos orgánicos (Epstein, 1997). Desde

un punto de vista físico, el uso de esta composta podría requerir el riego frecuente, con pequeñas cantidades de agua para evitar la toxicidad por sales.

Jayasinghe *et al.*, (2010) analizaron residuos de caña y materiales sintéticos obteniendo una CE 1.2 dS m^{-1} con un valor inferior a lo encontrado en el mismo residuo, este valor es debido al menor volumen ocupado para degradar y a la combinación con otro material. El comportamiento de las compostas de bagazo de caña y paja de trigo tiene un comportamiento similar en pH y CE respecto a las investigaciones realizadas en los años 2005 y 2008 con residuos de poda de árboles realizadas por Benito. La investigación realizada por Bustamante (2009) con residuos de naranja y estiércol de ganado en pH (7.3) y CE (2.85) son similares a lo encontrado en esta investigación. Formes *et al.*, (2010) analizaron el pH en tres compostas de residuos orgánicos, registrando un valor promedio de 9.33 y una CE de 6.9 dS m^{-1} . Valores muy diferente a los reportados en esta investigación.

2.3 Materia Orgánica

La composta de bagazo de caña presentó significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), la mayor acumulación de materia orgánica (92.22%). El contenido de materia orgánica disminuyó en todos los residuos compostados, fue más marcada durante la primera etapa del proceso biotecnológico (cuadro 3).

La investigación realizada por Goyal (2005) con residuos de caña y estiércol de ganado demostró que el contenido de materia orgánica disminuye a medida que la descomposición avanza. Al final del experimento, los tratamientos con residuos de caña presentaron una menor disminución, debido principalmente a la presencia de compuestos recalcitrantes de carbono como la lignina en residuos de caña de azúcar.

Los valores de materia orgánica, en la investigación realizada por Bustamante (2009) con residuo de naranja combinado con estiércol de ganado fueron de 81%, similares a lo obtenido en este trabajo.

La pérdida de materia orgánica aumentó con el tiempo del compostaje en todos los residuos orgánicos, debido a una mayor disponibilidad de sustancias biodegradables para los microorganismos. Este hecho indica que la adición de residuos agroindustriales aumenta la tasa de descomposición de materia orgánica. La pérdida de materia orgánica puede ser aceptada como un índice para una composta madura (Raj y Antill 2011).

2.4 Nitrógeno

La composta de cáscara de naranja presentó significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), la mayor concentración de nitrógeno (2.56 %) (Cuadro 3). Bustamante 2009 con el mismo residuo combinado con orujo de uva obtuvo una concentración de nitrógeno de 2.78%. La disminución en el contenido total de N en las primeras etapas de descomposición es debido a las pérdidas de N en forma de amoníaco, que a su vez depende del tipo de material y su relación C:N inicial (Kirchman y Witter 1989 y Sánchez Mondero *et al.*, 2004).

El N total aumentó gradualmente hasta alcanzar el valor más alto al final del compostaje. Los cambios en las concentraciones de las dos formas inorgánicas de nitrógeno (NH^{+4} y NO^{-3}) presentan las tendencias típicas en todos los compostajes. El nitrógeno amoniacal (NH^{+4}) aumenta, el nitrógeno nítrico (NO^{-3}) disminuye y viceversa (Raj y Antil, 2011).

El contenido de nitrógeno total de residuos de paja de arroz (0.7) analizados por Roca *et al.*, 2009 es similar a lo encontrado en esta investigación, sin embargo Meuchang *et al.*, (2005) al compostar chaza y bagazo de caña de azúcar obtuvo una mayor concentración de nitrógeno (1.4%).

Cuadro 3. Caracterización química en extracto de saturación, de residuos de bagazo de caña, cáscara de naranja y paja de trigo compostados.

Materiales	pH	CE	N total	P	K	MO	COT	C/N
		dS m ⁻¹	-----	-----	%	-----		
Paja de Trigo	6.01 b	6.65 a	0.79 b	3.0 b	0.54 b	83.08 b	48.24 b	60.36 a
Bagazo de Caña	6.36 b	4.20 b	0.63 c	3.0 b	0.47 c	92.22 a	53.57 a	83.58 a
Cáscara de Naranja	7.98 a	3.96 b	2.56 a	3.8 a	0.77 a	80.08 b	46.49 b	18.12 b
DMS	1.31	0.59	0.22	0.27	0.32	6.34	3.68	23.63

Medias con distinta letra en la columna son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).

2.5 Relación C/N

La composta de cáscara de naranja presentó significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), la menor relación C/N (18.12) (Cuadro 3). La relación C/N tiende a disminuir durante el proceso de biodegradación, debido a la pérdida de C en forma de CO_2 , y a la pérdida de agua por evaporación durante la mineralización de la materia orgánica, y mientras que el contenido de N por unidad de material es mayor que el inicial. Este comportamiento coincide con lo reportado por Kapetanios *et al.*, (1993) y Fang *et al.*, (1999).

Después de 90 días Goyal (2006) en mezcla de residuos de caña y estiércol obtuvo un relación C:N de 28 alcanzando este valor por el aporte de estiércol de ganado (nitrógeno).

Jayasinghe *et al.*, (2010) analizaron residuos de caña y materiales sintéticos y reporta un relación C:N (26%) menor que el valor reportado en esta investigación, debido a que los residuos de caña están combinados con materiales sintéticos.

Una relación C: N por debajo de 20 es indicativo de la madurez de la composta (Golueke,1981), y una proporción menor a 15 es preferible (Bernal *et al.*, 2009), sin embargo la relación C: N no es un buen indicativo de la madurez de las compostas, porque tiene una gran variabilidad, y a menudo indica errores en este parámetro, tampoco no refleja si el material está lo suficientemente descompuesto (Sellami *et al.*,2008).

2.6 Fósforo y potasio

La composta de cáscara de naranja presentó significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$), la mayor concentración de fósforo (3.8 %) y potasio (0.77%) (Cuadro 3). Estos valores son mayores y menores respectivamente de los registrados para, residuos de paja de arroz con concentraciones de fosforo de 2.5 % y 1.2% de potasio (Roca, 2009); y mayores que los reportados en compostas de bagazo de caña combinado con cachaza, cuyo valores fuerón 1.2 % de fosforo y 0.5 % de potasio (Meuchang *et al.*, 2005), valores similares a los residuos con menor concentración de nutrientes de este trabajo.

3. Propiedades biológicas

3.1 Índice de germinación

3.1.1 Especie

El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$) para los factores extracto, especie y dilución, así como para las interacciones (Figuras 6, 7, 8 y Cuadro 4). Las semillas de brócoli mostraron significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) el mayor índice de germinación (126.72) en comparación con rábano (97.72) y cebada (69.90) (Figura 7). El extracto acuoso procedente de la composta de bagazo de caña presentó significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) el mayor índice de germinación (Figura 6).

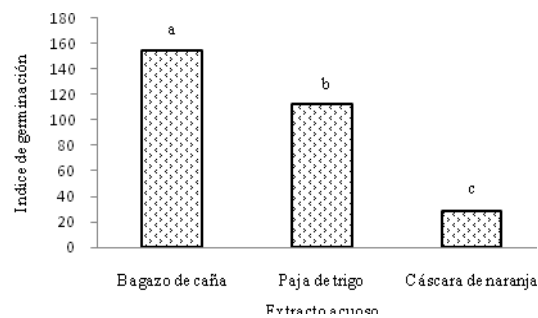


Figura 6. Índices de germinación en función de los diferentes extractos acuosos.

3.1.2 Solución

La dilución al 25% (sin importar el tipo de extracto) registro significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) el mayor índice de germinación (159.70), y a medida que aumentó la concentración de la dilución, el valor del índice disminuyó significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$). Con los datos se obtuvo un modelo polinómico con una estimación de predicción del 99.97% (R^2) (Figura 8).

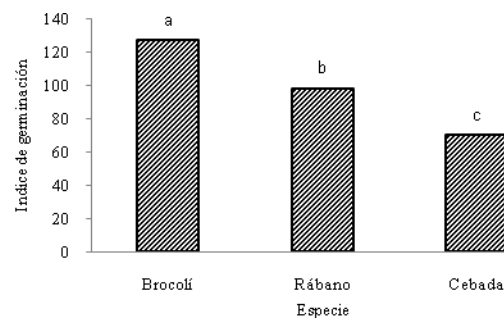


Figura 7. Índices de germinación en función de especies.

3.1.3 Extracto

Los extractos de bagazo de caña y paja de trigo mostraron índices de germinación promedio superiores a 100 (154.06 y 111.76, respectivamente), por lo que se consideran como productos fitoestimulantes en la agricultura (Aggelis *et al.*, 2002). También, Benito *et al.*, (2006) encontraron índices de germinación de 111 hasta 154 con materiales de celulosa, hemicelulosa y lignina aptos para ser utilizados directamente en la agricultura y libre de elementos fitotóxicos. La disminución de la fitotoxicidad durante el compostaje es el resultado de la degradación de sustancias que suelen ser tóxicas para la planta, tales como los ácidos orgánicos, por microorganismos (Bernal *et al.*, 2009).

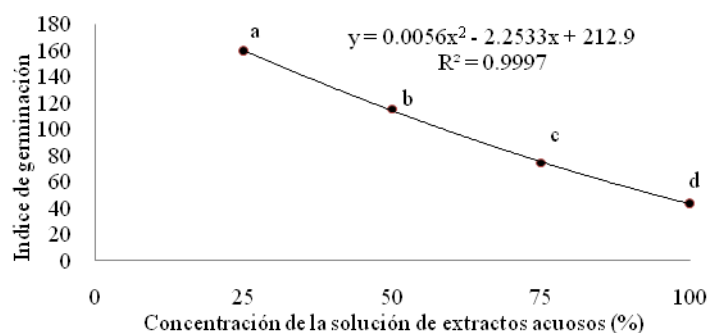


Figura 8. Comportamiento del índice de germinación respecto a la concentración de soluciones preparadas a partir de extractos acuosos de compostas de residuos agrícolas.

El extracto de cáscara de naranja mostró significativamente (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) el menor índice de germinación (28.51), valor por debajo del establecido como mínimo (60), por lo que se considera fitotóxico (Aggelis *et al.*, 2002). Bustamante *et al.*, (2009), trabajando con extractos de cáscara de naranja combinados con hidróxido de calcio, obtuvieron un índice de germinación superior a 50 con semillas de *Lepidium sativum* L. Lo anterior confirma que los extractos provenientes de residuos de naranja (aún combinado este material), quizás tengan características fitotóxicas (Aggelis *et al.*, 2002). La fitotoxicidad puede ser resultado de varios factores como la falta de oxígeno, la alta actividad microbiana, la acumulación de compuestos tóxicos (ácidos orgánicos), la inmovilización de nitrógeno, la presencia de metales pesados y sales minerales, entre otros (Epstein, 1997).

3.1.4 Interacción (Especie – solución – extracto)

Respecto a la combinación de los factores en estudio, los mayores índice de germinación (260.08 – 267.38) con diferencias significativas (Tukey, $\alpha \leq 0.05$) se registraron con las combinaciones semillas de brócoli-diluciones de extracto al 25 y 50%-composta de trigo y bagazo de caña (Cuadro 4). El índice de germinación es uno de los parámetros sensibles para evaluar la toxicidad que afecta el crecimiento de raíces y la germinación (Bernal *et al.*, 2009), por lo cual, este parámetro debe ser interpretado con cautela, dado los múltiples factores que intervienen para su definición (Raj y Antil., 2011).

El índice de germinación es un factor relativo a la germinación de las semillas y la elongación de las raíces. Es un parámetro sensible, que es capaz de detectar la toxicidad que afecta el crecimiento radicular y la germinación. En general, la disminución de la fitotoxicidad durante el compostaje es el resultado de la degradación de sustancias fitotóxicas por microorganismos (Aparna *et al.*, 2008).

Se ha propuesto (Aggelis *et al.*, 2002) que: si el índice de germinación es menor que 25 entonces, el sustrato se caracteriza por ser muy fitotóxico, si el valor está entre 26 y 65 el sustrato se caracteriza por ser fitotóxico, si el el valor del índice de germinación es mayor de 66 pero menor de 100 el sustrato se caracteriza por ser no fitotóxico, estable y pueden ser utilizado con fines agrícolas, y si el mayor a 101 el sustrato se caracteriza por ser un nutriente, fitoestimulante útil para la agricultura. De acuerdo con esa propuesta, las compostas elaboradas con paja de trigo y bagazo de caña son libres de sustancias fitotóxicas, mientras que las compostas de cáscara de naranja es fitotóxica.

Cuadro 4. Índices de germinación en función de la interacción especie – solución de extracto (%) – composta.

Especies	Tratamiento		Índice de germinación
	Solución (%)	Composta (extracto)	
Rábano	25	Naranja	158.14 d
Rábano	50	Naranja	25.38 m
Rábano	75	Naranja	8.50 o p
Rábano	100	Naranja	3.67 o p
Cebada	25	Naranja	58.58 k
Cebada	50	Naranja	7.81 o p
Cebada	75	Naranja	11.24 o n
Cebada	100	Naranja	0.00 p
Brócoli	25	Naranja	52.93 k
Brócoli	50	Naranja	10.94 o n
Brócoli	75	Naranja	0.00 p
Brócoli	100	Naranja	0.00 p
Rábano	25	Trigo	158.39 d
Rábano	50	Trigo	43.93 l
Rábano	75	Trigo	38.37 l
Rábano	100	Trigo	18.36 m n
Cebada	25	Trigo	140.62 e
Cebada	50	Trigo	113.05 f g
Cebada	75	trigo	72.28 j
Cebada	100	Trigo	80.38 i j
Brócoli	25	Trigo	267.38 a
Brócoli	50	Trigo	261.66 a
Brócoli	75	Trigo	119.50 f
Brócoli	100	Trigo	27.27 m
Rábano	25	Caña	229.27 b
Rábano	50	Caña	206.97 c
Rábano	75	Caña	164.63 d
Rábano	100	Caña	117.05 f
Cebada	25	Caña	106.90 g h
Cebada	50	Caña	103.49 h
Cebada	75	Caña	86.38 i
Cebada	100	Caña	58.04 k
Brócoli	25	Caña	260.08 a
Brócoli	50	Caña	263.03 a
Brócoli	75	Caña	166.38 d
Brócoli	100	Caña	86.50 i

Valores con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $\alpha \leq 0.05$).

VII. Conclusiones

El compostaje modificó todos los parámetros físicos, químicos y biológicos de los residuos de bagazo de caña y paja de trigo y los ubico dentro los parámetros recomendados para ser usados como óptimos para su uso como sustratos.

Cáscara de naranja por su constitución anatómica por contener menor cantidad celulosa hemicelulosa y lignina en los parámetros físicos y biológicos no es un material apropiado para ser usado como sustrato solo, debido a que acumula agua en exceso y es un material fitotóxico.

La composta de bagazo de caña y paja de trigo genero una composta estable con una alta capacidad de aireación y un adecuado nivel de humedad para el crecimiento y desarrollo de plantas.

Los residuos compostados de bagazo de caña y paja de trigo con los extractos más diluidos y la semilla de brócoli se obtuvo el mayor índice de germinación materiales aptos para ser usados como sustratos.

VIII. Revisión de literatura

- Abad M. y P. Noguera. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. In: Cadahía. C. Fertirrigación. Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. Mundi Prensa.
- Abad, M. 1995 Sustratos. Para el cultivo sin suelo. In: El cultivo del tomate. Ediciones Mundi – Prensa.Madrid.
- Abad M, P. F. Martínez., M. D. Martínez, y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. Actas Hort. 11 141-154.
- Abad M, P. Noguera and S. Bures .National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case studyin Spain.Bioresour Technol2001;77:197–200.
- Aggelis, G., C. Ehaliotis, F. Nerud, I. Stoychiev, G. Luberatós and G. Zervakis. 2002 Evaluation of white-rot fungi for detoxification and decoloration of effluents from the green olives debittering process. Appl. Microbiol. Biotechnol. 59 : 353–360.
- Aiken G.R. , D.M. McKnight, R.L. Wershaw y P. MacCarthy. 1985. An introduction to humic substances in soil, sediment, and water., Editors , Humic Substances in Soil, Sediment, and Water: Geochemistry, Isolation, and Characterization
- Amlinger,F., B. Gotz., J. Geszti., P. Dreher., and Ch. Weissteiner. 2003. Nitrogen in biowaste and yard waste compost: dynamics of mobilization and availability. European Journal of Soil Biology. 2003: 107-116.
- Anicua-Sánchez R, C. Gutiérrez-Castorrena and G. P. Sánchez .2008. Physical and micromorphological properties of organic and inorganic materials for preparing growing media. Act. Hort. 779: 577-582
- Ansorena, J. 1994. Sustratos. Propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid España.
- Aparna,C., P. Saritha., V.Himabindu and Y Anjaneyulu. 2008. Techniques for the evaluation of maturity for composts of industrially contaminated lake sediments. WasteManage.28:1773–1784.
- Atkinson,C.F., Jones,D.D., Gauthier,J.J., 1996. Biodegradability and microbial activities during composting of poultry litter. Poult.Sci.75,608–617.
- Baca C. G. A., S. Alcalde., G. Martínez y Barrera I. 1990. Efecto de solución nutritiva, el riego, el sustrato, y la densidad de siembra en tres cultivos hortícolas en hidroponía al aire libre. Agrociencia. 1:51-76
- Benito M., A. Masaguer A., R. De Antonio R. and Moliner, A. 2005 Use of pruning waste compost as a component in soil-less growing media, Bioresour. Technol. 96 : 597–603.
- Benito M., A. Masaguer, R. De Antonio and A. Moliner. 2006. Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. Bioresource Technology 97 2071–2076
- Bernal, M., J.A. Albuquerque, and R. Moral. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. Bioresource Technology. 100: 5444-5453.
- Bernal M.P., A. F. Navarro, A. Roig, J. Cegarra and D. García. 1996. Carbon and nitrogen transformation during composting of sweet sorghum bagasse, Biol. Fert. Soils 22 (1996), pp. 141–148
- Brewer L.J. and D.M. Sullivan. 2003. Maturity and stability evaluation of composted yard trimmings. Compost Science and Utilization 11 96–112.

- Bunt A. C. 1988. Media and Mixes for Container-Grown Plants. (second ed.), Unwin Hyman Ltd., London, UK.
- Bustamante, M., C. Paredes., J. Morales., A. Mayoral. and R. Moral. 2009. Study of The composting process of winery and distillery wastes using multivariate techniques. *Bioresour. Technol.* 100: 4766–4772.
- Crawford, J.H., 1983. Composting of agricultural wastes – a review. *Process Biochem.* 18, pp. 14–18
- Chefetz, B., P.G. Hatcher, Y. Hadar and Y. Chen. 1996. Chemical and biological characterization of organic matter during composting of municipal solid waste.. *J. Environ. Qual.* 25 : 776–785.
- Chen, Y.B., Chefetz, B., Hadar, Y., 1996. Formation and properties of humic substances originating from composts. In: Bertoldi, M., et al. (Eds.), *The Science of Composting*. Blackie Academic, London, pp. 382–393.
- Chen Y. and Y. Inbar. 1993. Chemical and spectroscopical analyses of organic matter transformation during composting in relation to previous term compost next term maturity. In: H.A.J. Hoitink and H.M. Keener, Editors, *Science and Engineering of Composting: Design, Environmental, Microbiological and Utilization Aspects*, Renaissance Publications, Ohio . 551–600.
- Cheung H. N. B., G.H. Huang and H. Yu. 2010. Microbial-growth inhibition during composting of food waste: Effects of organic acids. *Bioresource Technology.* 101: 5925-5934.
- De Boodt, M., O. Verdonck. and I. Cappaert. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort.* 37, 2054–2062.
- De Bertoldi M, G. Vallini and A. Pera. 1993. The biology of composting: a review, *Waste Manage.* 157–176.
- Dede O., G Köseoglu, S Özdemir and A Celebi. 2006. Effects of organic waste substrates on the growth of impatiens. *Turk J. agric. For Turkey* 30: 375-381.
- Dix, N.J. and Webster, J., 1995. *Fungal Ecology*, Chapman & Hall, Cambridge, Great Britain.
- Epstein, E. 1997. *The Science of Composting*. CRC Press LLC. Florida. USA.
- Eriksson, K.-E.L., Blanchette, R.A. and Ander, P., 1990. *Microbial and Enzymatic Degradation of Wood and Wood Components*, Springer, Berlin, Germany
- Escudero, J. 1993. Cultivo hidropónico del tomate In: curso superior de especialización sobre cultivo sin suelo. F. Canovas y J. R. Días (eds) I.E.A. / F.I.A.P.A. Almería España
- Fang, M., J. W. C. Wong., K.K. Ma., M. H. Wong. 1999. Co-composting of sewage sludge and coal fly ash: nutrient transformations. *Bioresource Technology* 67:19–24.
- Fernández, C., J. E. Cora and L. T. Braz. 2006. Desempenho de substratos no cultivo do tomateiro do grupo cereja. *Hortic. Bras.*, v 20. Pág. 559, 560. Jaboticabal, São Paulo State, Brazil
- Fornes F., C. Carrion., R. García-de-la-Fuente., R. Puchades and Abad M. 2010. Leaching composted lignocellulosic wastes to prepare container media: Feasibility and environmental concerns. *Journal of Environmental Management.* 91: 1747-1755.
- Fustec, E., Chauvet, E. and Gas, G., 1989. Lignin degradation and humus formation in alluvial soils and sediments. *Appl. Environ. Microbiol.* 55, pp. 922–926.

- Gajalakshmi S. and S. A. Abbasi. 2008. Solid waste management by composting: state of the art, Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 38: 311–400.
- Gomez-Brandon M , C. Lazcano y J. Domínguez. 2008. The evaluation of stability and maturity during the composting of cattle manure. *Chemosphere*, **70** : 436–444
- Golueke, C.G., 1991. Principles of composting. In: The Staff of Biocycle Journal of Waste Recycling. The Art and Science of Composting. The JG Press Inc., Pennsylvania, USA, pp. 14–27
- Golueke, C.G., 1992. Bacteriology of composting. *BioCycle* **33**, pp. 55–57.
- Goyal, S., Dhull, S. K. y Kapoor, K. K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology*. 96:1584 – 1591.
- Gruda,N. W and H. Schnitzler. 2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable transplants. *ScientiaHorticulturae*.100 309–322
- Hendreck, K.A. and N. Blanck. 1991. Growing media ornamental plants and turf. New South Wales University Press- Kensington. Australia. 401
- Hendreck K.A. 1983. Particle size and the physical properties of growing media for containers. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 14 209–222.
- Haug, R.T., 1993. *The Practical Handbook of Compost Engineering*, Lewis Publishers, Boca Raton, USA
- He, X.T., T.J. Logan and S.J. Traine. 1995 Physical and chemical characteristics of selected US municipal. solid waste composts. *J. Environ. Qual.* 24 :543–552.
- Heereden van I., C. Cronje., S.H.Swart. and J.M. Kotzé. 2001. Microbial chemical and physical aspects of citrus waste composting.
- Hoitink H.A.J. and M.J. Boehm, Biocontrol within the context of soil microbial communities: a substrate-dependent phenomenon. 1999. *Annual Rev. Phytopathol.* 37 : 427–446.
- Horneck D. A. and R.O Miller. 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. In Y.P. Karla (Ed). *Handbook of reference methods for plant analysis tissue. Left plants speak. Soil and Plant analysis council.* CRC Press. Boca Ratón. Fl. uSA.
- Hsu. J., and S. Lo. 2001. Effect of composting on characterization and leaching of copper, manganese, and zinc from swine manure. *Environ. Pollut.*, **114**: 119–127.
- Huang,G.F., M. Fang., Q. T. Wu., L. X. Zhou., X.D.Liao. and J.W.C.Wong. 2001. Co-composting of pig manure with leaves. *Environ.Techno.* 22 1203–1212.
- Hue, N.V. and J. Liu., 1995. Predicting compost stability, *Compost Sci. Util.* 3 : 8–15.

- Inbar, Y., Chen, Y. and Hadar, Y., 1989. Solid-state carbon-13 nuclear magnetic resonance and infrared spectroscopy of composted organic matter. *Soil. Sci. Am. J.* 53, pp. 1695–1701
- Iñiguez, C. G., J. Parra. y P. A. Velasco. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. *Rev. Int. De Contaminación Ambiental.* 22: 82-93.
- Jayasinghe, G.Y. I.D. Liyana and Y. Tokashiki. 2010. Evaluation of containerized substrates developed from cattle manure compost and synthetic aggregates for ornamental plant production as a peat alternative. *Resources, Conservation and Recycling.* 54: 1412-1418.
- Kapetanios E.G., M. Ioizidou, and G. Valkanas, G. 1993. Compost production from greek domestic refuse. *Bioresource Technol.* 44:13–16.
- Kirchman, H. and E. Witter, E. 1989. Ammonia volatilization during aerobic and anaerobic manure decomposition. *Plant Soil.* 115:35–41.
- Martínez F. X., 1993. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas Hort.* 11:55-66.
- Mari et al., 2005 I. Mari, C. Ehaliotis, M. Kotsou, I. Chatzipavlidis and D. Georgakakis, Use of sulfur to control pH in previous term composts next term derived from olive processing by-products, previous term Compost next term *Sci. Util.* 13 (2005), pp. 281–287
- Mengel, K., E.A. Kirkby, H. Kosegarten and T. Appel, *Principles of Plant Nutrition* (fifth ed.). 2001, Kluwer Academic Publishers., The Netherlands p. 864
- Meunchang S., S. Panichsakpata and R. Weaver. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. *Bioresource Technology.* 96: 437-442.
- Michelot P. 1999. Relations substrat - irrigation. In: P Michelot, C Chambolle (Coord). *L irrigation en pépinière hors sol.* 19-27.
- Mohee R. and A. Mudhoo. 2005. Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology.* 155 92–99
- Moreno, M.T., M.T. Aguado, y E. Carmona. 1998. El empleo de bioensayos para la detección de efectos fitotóxicos en sustratos y enmiendas. *Actas de Horticultura* 23:81-97.
- Nkongolo N. V. and J. Caron. 2006. Pore space organization and plant response in peat substrates: I. *Prunna x cistena* and *Spiraea japonica*. *Scientific Reserch and Essay.* 3: 77- 89.
- Pastor S. J. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana.* 17: 231-235
- Paatero, J., Lehtokari, M., Kempainen, E. 1984. *Kompostointi.* WSOY.
- Pire R y Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del estado de Lara, Venezuela, Propuesta metodológica. *Bioagro.* 15 55-63.

- Quesada R. G y S. C. Méndez. 2005 Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almacigo de hortalizas. *Rev. Agr. Trop.* 35: 01-13.
- Raj,D. and R.S. Antil. 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of compost prepared from agro-industrial wastes. *Bioresource Technology.* 102:2868-2873.
- Raviv,M., Y.Oka., J.Katan., Y.Hadar., A.Yogev., S.Medina., A. Krasnovsky., and H. Ziadna. 2005. High nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. *Bioresource Technology.* 96 419–427.
- Raviv,R., B. Z. Zaidman and Y. Kapulnik. 1998. The use of compost as a peat substitute for organic vegetable transplants production. *Compost Sci. Util.*, 1 46–52.
- Raviv M.,Y. Chen and Y. Inbar. 1986. Peat and peat substitutes as growth media for container grow plants. In: Y. Chen and Y. avnimelench (eds). *The role of organic matter in modern agriculture.* Martinus Nijhoff publishers. The Netherlands.
- Ranalli G.,G. Botturea, P. Taddei, M. Garavni, R. Marchetti and G. Sorlini. 2001. Composting of solid and sludge residues from agricultural and food industries. *Bioindicators of monitoring and compost maturing.* J. *Environ. Sci. Health,* 36 415–436.
- Roca-Pérez L., C. Martínez., P. Marcilla and R.Boluda. 2009. Composting rice straw with sewage sludge and compost effects on the soil – plant system. *Chemosphere.* 75: 781-787.
- Ruiz,F F. 2009. *Ingengería del compostaje.* Universidad Autónoma Chapingo. pp 235.
- Rynk, R. 2003. Compost remediates a landfill and grows a national park. *Biocycle* 44 34-40
- Sánchez-Monedero, M.A.,Roig,A., Cegarra,J., Bernal,M.P. ,Noguera,P., Abad,M.Antón,A.,2004. Composts as media constituents for vegetable transplant production. *Compost Sci.Util.*12:161-168.
- Semarnat. 2005. *Guía para la gestión integral de los residuos sólidos municipales.* Subsecretaria de Gestión para la protección Ambiental.
- Schmilewski G. 2008. The role of peat in assuring the quality of growing media . *Mires and peat.* Vol. 3. Germany.
- Sharma, H.S.S., 1989. Economic importance of thermophilous fungi. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 31, pp. 1–10
- Stevenson, F.J. 1982. *Humus Chemistry.* Jhon Wiley y Sons. New York.
- Tarre S., M. Raviv and G. Shelef. 1987. Composting of fibrous solids from cow manure and anaerobically digested manure. *Biol. Waste,* 19 299–308
- Tiquia S.M. 2010. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. *Chemosphere.* 79: 506-512.
- Varadachari, V. and Ghosh, K., 1984. On humus formation. *Plant Soil* 77, pp. 305–313
- Verdonck O and P. Demeyer. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Hort.* 644: 99-101.

Warncke D.D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. Hortscience. 21:223-225.

Wu, L.K. and L. Q. Ma. 2002. Relationship between compost stability and extractable organic carbon. J.Environ.Qual. 31 1323–1328.

Yao L., G. Li, S. Tu, G. Sulewski y Z. He. 2007. Salinity of animal manure and potential risk of secondary soil salinization through successive manure application. *Sci. Total Environ.*, **383** : 106–114.

Zucconi, F., M. Forte., A. Monaco, and M. De Bertoldi, 1981a. Biological evaluation of compost maturity. Biocycle 22: 27–29.

Zucconi, F., A. Pera., M. Forte., and M. De Bertoldi. 1981b. Evaluating toxicity of immature compost, Biocycle 22: 54–57.

Zucconi, F and M. de Bertoldi. 1987. Compost specifications for the production and characterization of compost from municipal solid waste. In: M. de Bertoldi, M.P. Ferranti, P. L'Hermite and F. Zuconni, Editors, Compost: Production, Quality and Use, Elsevier, Barking (1987), pp. 30–50.