



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA

TESIS PROFESIONAL

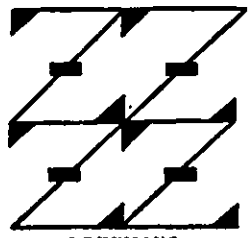
PRODUCCION Y USO DE COMPOSTA DE LIRIO ACUATICO (*Eichhornia crassipes*) COMO SUSTRATO EN LA HORTICULTURA

2999730
0266662

PRESENTADA POR:

FRANCISCO JAVIER DEL CARMEN HERRERA LOPEZ

COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TITULO DE:
BIOLOGO



DIRECTOR DE TESIS: M. EN C. JOEL PINEDA PINEDA

LO HUMANO
EJE
DENUESTRA REFLEXION

MEXICO, D. F.

DICIEMBRE 2001



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Esta tesis, que se llevó a cabo bajo la dirección del M. C. Joel Pineda Pineda y asesorada por el Biólogo Rubén Zulbarán R. : Ha sido aprobada y aceptada como requisito para obtener el título de:

BIÓLOGO

Jurado Examinador

Presidente

Biól. Rubén Zulbarán Rosales.

Vocal

M. en C. Joel Pineda Pineda.

Secretario

Biól. Raúl Arcos Ramos.

Suplente

M. en C. Ma. De Jesús Sánchez Colín

Suplente

Biól. Maricela Arteaga Mejía

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE MÉXICO. Por haber creado más escuelas para Estudios Superiores con la misma calidad de esta Casa de Estudios.

A LA FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES ZARAGOZA. Por haberme dado la oportunidad de llevar a cabo mis estudios profesionales.

AL M.C. JOEL PINEDA PINEDA. Por su invaluable apoyo para la realización de la presente tesis.

AL BIÓLOGO RUBÉN ZULBARÁN R. Por sus atinados comentarios y consejos en la revisión del presente trabajo.

A MI FAMILIA. Por todo el apoyo y aliento que me hicieron sentir durante todo este trabajo.

CONTENIDO

	Páginas
Índice de Cuadros	i
Índice de Figuras	ii
RESUMEN	iii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
2.1 Las malas hierbas	
2.2 El lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>)	
2.3 El Composteo	7
2.3.1 Generalidades	
2.3.2 Métodos de composteo	
2.3.3 Construcción y manejo de la pila de composta	
2.3.4 Factores que afectan al proceso de composteo	
2.3.5 Control del proceso de composteo	
2.3.6 Maduración y usos potenciales de la composta	
2.3.7 Actividad de los microorganismos en el proceso de composteo	
2.3.8 Evaluación de calidad de la composta	
2.4 Sustratos	27
2.4.1 Generalidades	
2.4.2 Propiedades físico y químicas	
2.4.3 Propiedades físicas e hidráulicas de los sustratos	
2.4.4 Algunos sustratos de uso común	
2.4.5 El sustrato como fuente de nutrientes	
2.4.6 Criterios para la selección de una mezcla de materiales como medio de cultivo	
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS	42
3.1 Objetivos	
3.2 Hipótesis	
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	43
4.1 Ubicación del experimento	
4.2 El proceso de composteo del lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>)	
4.3 Tratamientos de composteo	
4.4 Caracterización del producto obtenido	
4.5 Pruebas de invernadero (producción de plántulas)	
4.6 Diseño experimental	
4.7 Procedimiento para pruebas de invernadero	
4.8 Variables de respuesta evaluadas	
4.9 Análisis de datos	

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	48
5.1 Proceso de composteo	
5.2 Caracterización de la composta	
5.3 Pruebas de invernadero	
5.3.1 Efecto de la composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) en la producción de plántulas de coliflor.	
5.3.2 Efecto de la composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) en la producción de plántulas de jitomate.	
VI. CONCLUSIONES	65
VII. BIBLIOGRAFÍA	66

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Factores controlables en un proceso de composteo.	19
Cuadro 2. Propiedades generales de algunos componentes de sustratos.	30
Cuadro 3. Niveles óptimos para las propiedades físicas de los medios de cultivo.	31
Cuadro 4. Niveles óptimos para las propiedades físico y químicas de los medios de cultivo.	31
Cuadro 5. Proceso de composteo a que se sometió el lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>).	44
Cuadro 6. Tratamientos de medios de cultivo y su porcentaje de composta de Lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>).	45
Cuadro 7. Resultados del análisis químico en un extracto de saturación de composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) y de una muestra de agua del lago crece donde el lirio.	51
Cuadro 8. Valores correspondientes a la caracterización química de una muestra de turba.	54
Cuadro 9. Resultados del experimento de producción de plántulas de coliflor en diferentes medios de crecimiento a base de composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>), polvo de coco, turba y agrolita.	56
Cuadro 10. Resultados del experimento de producción de plántulas de jitomate en diferentes medios de crecimiento a base de composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>), polvo de coco, turba y agrolita.	57

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de la temperatura en una pila de composteo.	15
Figura 2. Distribución de tratamientos completamente al azar (DCA) para jitomate.	45
Figura 3. Distribución de tratamientos completamente al azar (DCA) para coliflor.	46
Figura 4. Comportamiento de la temperatura en la pila de composteo del lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>).	49
Figura 5. Efecto de la composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) como componente del medio de crecimiento, sobre el porcentaje de emergencia y altura en plántulas de coliflor.	56
Figura 6. Efecto de la composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) como componente del medio de crecimiento, sobre el porcentaje de plantas logradas al tiempo de transplante y peso seco en plántulas de coliflor.	57
Figura 7. Efecto de la composta sobre la formación de cepellón en plántulas de coliflor y jitomate.	58
Figura 8. Efecto de la composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) como componente del medio de crecimiento, sobre el porcentaje de emergencia y altura en plántulas de jitomate.	59
Figura 9. Efecto de la composta de lirio acuático (<i>Eichhornia crassipes</i>) como componente del medio de crecimiento, sobre el porcentaje de plantas logradas al tiempo de transplante y peso seco en plántulas de jitomate.	59

RESUMEN

En este trabajo, el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) fue sometido a un proceso de composteo. Para ayudar a tener un buen proceso se agregó estiércol al material en una proporción de 90% de lirio y 10% de estiércol. No obstante que, durante el proceso la etapa termofílica no se llevó a cabo en forma ideal aún así se logró la obtención de una buena composta para los propósitos del estudio.

De la composta obtenida, se obtuvo un extracto de saturación el cual fue sometido a un análisis químico de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn. Después este material se sometió a pruebas experimentales como medio de cultivo (sustrato) tanto en forma "pura" como en combinación con otros materiales para la producción de plántulas de jitomate y coliflor y por medio de esto evaluar su posible uso como un sustrato o como un componente del medio de cultivo en horticultura. Se probaron proporciones de 25, 50, 75 y 100% de la composta en combinaciones con polvo de coco, agrolita y turba, siendo esta última usada como testigo.

El análisis químico mostró que; el contenido de metales pesados Hg, Pb, Cr, Cd no fueron detectados por el método empleado (extracción con DTPA y determinación por absorción atómica) mientras que el contenido de macro y micronutrientes fue alto, con excepción del contenido de fósforo que fue bajo. Por otra parte, las características físicas de la composta cumplían con las reportadas en la literatura es decir; buena apariencia en color, olor agradable, consistencia friable, y granulometría fina.

En la producción de plántulas de jitomate y coliflor se observó que la composta en su estado puro no es recomendable como sustrato; sin embargo, en combinaciones de 25% del material y con cantidades crecientes de polvo de coco, agrolita y turba la producción de plántulas fue satisfactoria. Por otro lado, los datos registrados y analizados estadísticamente demostraron que las plántulas de jitomate son más tolerantes al posible efecto nocivo de la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

I. INTRODUCCION

En horticultura se trabaja con un gran número de especies vegetales, de éstas; las hortalizas o verduras constituyen el grupo más numeroso. Esta actividad se caracteriza por llevar a cabo el cultivo de plantas en forma intensiva, esto es, trabaja con plantas que tienen un alto potencial de rendimiento por unidad de superficie.

La horticultura se practica en todo el mundo, pero su desarrollo no es homogéneo y depende de ciertas condiciones tales como la tecnología, la economía y aún las costumbres de cada país que la practique. En Europa por ejemplo, esta forma de cultivo está muy desarrollada y representa un alto porcentaje de las actividades agrícolas.

La horticultura comercial se caracteriza por: una alta inversión y por el uso de grandes cantidades de pesticidas, de fertilizantes químicos, de reguladores de crecimiento y sustratos orgánicos e inorgánicos. Dentro de los sustratos orgánicos la turba ha sido el principal y a menudo el único material más comúnmente usado para el cultivo protegido de varias especies de plantas. La turba canadiense por sus excelentes propiedades ya sea sola o en combinación con otros materiales como agrolita, polvo de coco, arena etc., es el sustrato más empleado en esta técnica de cultivo (Burés, 1997).

En aquellos países como México, donde no se produce la turba se necesita hacer investigación sobre otros materiales alternativos los cuales sean tanto cualitativa como económicamente competitivos con el fin de reducir los costos de producción.

Es posible en muchos casos desplazar a la turba como sustrato o como componente en una mezcla de materiales. Las compostas en diferentes experimentos han demostrado ser una excelente fuente de materia orgánica para cultivos protegidos en horticultura. En México, existe una gran variedad y cantidad de materiales que pueden ser probados para producir compostas con las características adecuadas para uso agrícola.

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) el cual es el objeto de estudio del presente trabajo, puede ser un ejemplo de estos materiales para producir compostas. Esta maleza acuática esta disponible en muchos cuerpos de agua y ha llegado a ser un verdadero problema en los lugares donde se desarrolla. Esta especie vegetal se ha esparcido por las regiones cálidas de todo el mundo causando grandes efectos sobre los cuerpos de agua, entre los que se pueden citar: incremento de la eutroficación, alteración de los gases disueltos en el cuerpo de agua, promueve el desarrollo de patógenos, etc. (Morales, 1988).

El uso potencial de composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la producción de plántulas para trasplante en horticultura puede ser una alternativa de sustrato con calidad adecuada y al mismo tiempo darle un uso a esta maleza. Lo que conllevaría a una recuperación de los cuerpos de agua que están siendo eutroficados por esta maleza.

Debido a lo anterior en este trabajo, el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) fue sometido a un proceso de composteo. A la composta obtenida se le realizo una caracterización para definir su calidad. Por último se montaron pruebas de invernadero donde la composta obtenida fue evaluada como sustrato tanto en forma "pura" como en combinación con otros materiales (turba, polvo de coco y agrolita) en la producción de plántulas de jitomate y coliflor.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Las Malas Hierbas

Las malas hierbas, por los daños que llegan a ocasionar en los cultivos y por las múltiples formas en que intervienen con el aprovechamiento de tierras o cuerpos de agua, se han convertido en un gran enemigo para el hombre. La extracción de malezas cada vez se hace más importantes en todas las partes del mundo y en la actualidad se le considera un problema fundamental en todo programa de conservación llámese suelo o cuerpo de agua.

El combate contra las malezas ha pasado por varias etapas, siendo en un principio los medios mecánicos los más utilizados, pero a medida que la investigación avanza están siendo ya utilizados métodos químicos (herbicidas selectivos) y biológicos (introducción de enemigos naturales). No obstante, el uso de estas técnicas requiere más investigación debido a los peligros que esto pueda ocasionar al hombre (FAO, 1987).

Básicamente, un combate eficaz y económico contra las malas hierbas depende de dos factores (FAO, 1987) a saber: primero, es esencial un cabal conocimiento de la biología de la planta (ciclo vegetativo, diseminación etc.) para poder elegir y aplicar una adecuada medida de control. Segundo, exterminar la maleza no es asunto de un agricultor en particular sino que se debe de ver como un problema de todos; por lo que, la organización de las personas interesadas hará que la lucha contra las malezas sea efectiva (FAO, 1987).

2.2. El Lirio Acuático (*Eichhornia crassipes*)

Se acepta internacionalmente que el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es originario de la zona tropical del continente americano. Que esta planta se introdujo a México como planta ornamental a principios de este siglo y debido a su capacidad de reproducción ha proliferado llegando a cubrir grandes superficies de los lagos, vasos de almacenamiento, presas y canales en nuestro país y en menor grado a los ríos. En México se conocen dos especies de lirio acuático a saber: *Eichhornia crassipes*, que se encuentra en todo el país y *Eichhornia azurea*, que se desarrolla en los depósitos de agua en los climas cálidos (Muciño, 1981).

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) también conocido como “jacinto del agua”, se desarrolla en forma exuberante en ríos y presas contaminadas, es una planta flotante que mide de 20 a 100 centímetros, sus raíces no se adhieren en el fondo de los causes, sino que flotan en la superficie del agua. Por su dispositivo de flotación, puede ser transportado por las corrientes; o bien, empujado por la acción del viento. En general las hojas presentan una consistencia como de piel, su superficie parece encerada de manera que el agua resbala. Las plantas flotantes toman sus nutrientes directamente del agua absorbiendo el dióxido de carbono a través de los estomas que están situados en los lados superiores de las hojas (González, 1996).

Las características biológicas de esta especie son:

- a) Posee un sistema radicular adventicio sin ramificaciones. La raíz primaria se ramifica en muchas raíces secundarias y su tamaño varía de 10 a 100 centímetros.
- b) El tallo es un eje cilíndrico con entrenudos cortos, en los nodos se producen las raíces, hojas, nuevos brotes e inflorescencias.
- c) Sus flores son grandes de color violeta, agrupadas en espigas.
- d) Sus hojas son “arrosetadas”, los pecíolos o bulbos son de forma de globo, lo que permite a la planta su flotación.
- e) Su ciclo vegetativo tiene una duración de 65 a 70 días, característica que le permite su rápida propagación y en 20 a 22 días duplica su biomasa.
- f) Se reproduce de manera sexual y asexual; en el sexual la reproducción es por medio de semillas y en el asexual es por medio de estolones

La clasificación taxonómica es la siguiente (González, 1996):

Reino: vegetal
Sub-reino: fanerógamas
Tipo: angiospermas
Clase: monocotiledónea
Familia: Pontoderiaceal
Género: *Eichhornia*
Especie: *crassipes*

México ha experimentado desde hace muchos años un enorme crecimiento del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), que gradualmente se ha ido agudizando hasta el punto de llegar a ser una verdadera plaga y son pocos los cuerpos de agua del país que se escapan de este o de algún tipo de maleza acuática (Comisión Nacional del Agua (CNA), 1989).

El lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) es una planta hidrófita flotante muy adaptable a una amplia gama de condiciones ambientales y climáticas. Su tasa de reproducción es muy elevada; además parece no tener depredadores naturales y su control ha llegado a ser un fracaso (CNA, 1989). No obstante, parece ser que el frío afecta al crecimiento del lirio. Se cree que su flor color violeta (muy atractiva) ha contribuido en forma muy importante a su extensa propagación.

Las infestaciones de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) ocasionan graves problemas, los cuales interfieren de manera importante en la ecología y los usos benéficos de los cuerpos de agua. Entre estos problemas se pueden mencionar los siguientes:

- a) Incrementa la tasa de evapotranspiración.
- b) Contribuye a la aceleración masiva del proceso de envejecimiento de los cuerpos de agua, lo que se conoce como eutroficación.
- c) Favorece el desarrollo de organismos patógenos, en particular los mosquitos.
- d) Acelera el azolve del embalse
- e) Entorpece la navegación y obstruye los canales de la corriente.
- f) Dificulta el funcionamiento de las obras hidráulicas
- g) Degrada la calidad del agua para diferentes usos.
- h) Obstaculiza la pesca comercial y deportiva
- i) Propicia la devaluación de las tierras ribereñas al impedir el uso recreativo de los cuerpos de agua infestados.

Por lo regular, es necesario el control del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) para eliminar los efectos adversos de esta maleza sobre el ambiente y la salud pública. Sin embargo, dicho control podría ser combinado con algún tipo de aprovechamiento para

hacerlo costeable. De los tres métodos que se emplean para eliminar esta maleza (mecánico, químico y biológico); el mecánico, por costeable, rápido y ambientalmente seguro parece ser el más eficiente. No obstante lo anterior, el control mecánico (si se incluye la extracción) tiene un costo elevado y debe considerarse sólo cuando parte del costo pueda recuperarse mediante algún aprovechamiento de la maleza (CNA, 1989).

En un seminario llevado a cabo por la Comisión Nacional del Agua en 1989 se evidenció que el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) pudiera aprovecharse en un gran número de aplicaciones. Sin embargo, el elevado contenido de agua de esta maleza impide su aprovechamiento de una manera efectiva. No obstante, la utilidad potencial del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) permite considerarlo un recurso renovable; susceptible de ser aplicado en proyectos agropecuarios, industriales y como sistema de tratamiento de aguas residuales (CNA, 1989). Dentro de esos usos se pueden mencionar los siguientes:

- a) Se puede obtener del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) una composta que fertiliza y mejora los suelos.
- b) En forma seca se puede utilizar como forraje
- c) Con la fibra del lirio se podría fabricar papel
- d) Es útil para elaborar almácigos (sustratos) para su uso en horticultura.
- e) Tiene un gran potencial para el tratamiento de aguas residuales, en la producción de biogás y para la remoción de sustancias tóxicas.

La CNA ha reportado que el lirio acuático puede ser aprovechado de diferentes maneras; en este trabajo se evalúa la posibilidad de usar esta maleza para elaborar una composta y finalmente obtener un sustrato que pueda emplearse en la producción de plantas en horticultura.

2.3. El Composteo

2.3.1. Generalidades

En países desarrollados el mal manejo de los desechos sólidos urbanos con

frecuencia es la causa de graves problemas para el medio ambiente y la salud. En estos materiales, se incluyen naturalmente los residuos orgánicos los cuales representan una amenaza potencial de contaminación al medio ambiente si no se les trata para hacerlos más seguros. En consecuencia, es importante encontrar un tratamiento seguro para esto y así proteger al medio ambiente. De ahí el creciente interés por el método de composteo como una alternativa de tratamiento de tales desechos.

Lo que hace especial al proceso de composteo como tratamiento para los desechos sólidos, es porque en los residuos orgánicos suelen contener una amplia gama de materiales (sustratos) desde los más sencillos como aminoácidos, proteínas, azúcares, grasas, hasta los más complejos y recalcitrantes, celulosa, hemicelulosa y lignina (Burés, 1997). En el composteo, esta fase sólida del material orgánico sirve de:

- a) Soporte físico
- b) Matriz de intercambio de gases
- c) Fuente de nutrientes orgánicos e inorgánicos
- d) Agua
- e) Diversos microorganismos nativos
- f) Vertedero para los productos residuales metabólicos
- g) Aislamiento térmico

Todo esto permite que se den condiciones como: respiración aeróbica microbiana, retención de calor en la matriz y eliminación de productos en forma de dióxido de carbono y agua; para que se pueda llevar a cabo un proceso de composteo. Así pues, este proceso es útil en el manejo de residuos puesto que puede transformar rápidamente un material putrescible en un producto final: la composta o compost, y este material presenta características tales como estabilidad, puede ser almacenado, transportable y posiblemente utilizable como abono (Burés, 1997).

El composteo es uno de los procesos más efectivos en el reciclaje de desechos orgánicos para uso agrícola. También, es uno de los procesos de tratamiento biológico de

desechos más antiguamente reconocido (Smith, 1982).

En un proceso de composteo los desechos orgánicos son estabilizados, los nutrimentos se hacen disponibles para las plantas, se destruyen los organismos patógenos y se abaten malos olores (FAO, 1983). El objetivo del composteo es garantizar un producto final con características homogéneas, que sea no sólo seguro para un uso agrícola sino también de un alto valor fertilizante (Finstein y Miller, 1985).

Para entender mejor la filosofía que sustenta el manejo de materiales orgánicos, es importante definir qué se entiende por compostear. Así, este término es entendido como un proceso en el cual se lleva a cabo una fermentación bajo condiciones controladas que tiene por finalidad transformar la materia orgánica en compuestos estables desde un punto de vista químico y obtener una configuración física del sustrato no variable a mediano plazo. El producto final de este proceso es llamado composta o material composteado (Burés, 1997). Compostear a un material orgánico tiene como fin:

- a) Eliminar del material compuestos fitotóxicos que puedan dañar a la planta o semilla
- b) Evitar deficiencias de nitrógeno
- c) Evitar la falta de oxígeno (falta de maduración de la composta)
- d) Eliminar patógenos vegetales y animales, insectos y semillas de malas hierbas

Durante el proceso de compostaje; las bacterias, hongos filamentosos, levaduras y actinomicetos actúan y transforman los residuos orgánicos en formas más estables. Este proceso puede llevarse a cabo de dos formas distintas según la presencia o no de oxígeno: aeróbica o anaeróbicamente (Burés, 1997).

En la actualidad, la demanda de turba como sustrato en la horticultura ha crecido enormemente, ocasionando con ello escasez, una disminución de su calidad y un incremento en su costo. Ello ha llevado a la búsqueda de fuentes alternativas de materia orgánica de buena calidad y de bajo costo.

En diferentes investigaciones se han probado materiales de desecho los cuales poseen no sólo altos contenidos de materia orgánica y elementos minerales (macro y micronutrientes) sino también características físicas adecuadas para el cultivo de plantas en macetas, charolas, etc. En estos estudios, las comparaciones analíticas entre compostas y turba han demostrado que los sustratos alternativos producidos a partir de desechos tienen valores de pH neutro o ligeramente alcalino, y que sus contenidos de macro y micronutrientes son en buena medida más altos que en la turba. También, los parámetros biológicos y físicos han resultado ser satisfactorios.

El reciclaje de desechos por su implicación en el ahorro de energía y como excelente medio para preservar los recursos naturales ha llegado a ser un tema de gran interés en la actualidad (Nappi y Barberia, 1993).

El desarrollo del proceso de composteo se lleva a cabo en el ámbito de tres factores a saber; agua, oxígeno y elementos nutritivos (Tomati U, 1993). La descomposición del material resulta de la acción de un amplio rango de microorganismos y se lleva a cabo en dos etapas. La primera es la llamada etapa termofílica de oxidación biológica acelerada y la segunda es la de maduración. Se considera que la primera etapa termina cuando la temperatura máxima registrada en la pila de compostaje es menor de 40 °C. En este momento se puede llevar el material a un depósito donde se llevará a cabo el proceso de maduración.

Durante la descomposición de la materia vegetal y animal, los carbohidratos disponibles o solubles, compuestos de nitrógeno, susceptibles a la degradación están disponibles para los microorganismos, pero la mayor parte de la materia orgánica pasa primero por un proceso de trituración en el que la macroestructura es rota en unidades más pequeñas por la acción combinada de la fauna de microorganismos. El material que los organismos procesan, es suministrado principalmente por las plantas, pero algunas veces los mismos microorganismos pueden ser una fuente importante (Smith, 1982).

Cuando un proceso de composteo esta funcionando correctamente, se tiene un aumento de temperatura de entre 65 – 70 °C como consecuencia de la oxidación biológica del carbono. Se da también, una evolución cualitativa de los microorganismos que llevan a cabo la descomposición en función del nivel de temperatura alcanzado. El aumento de temperatura favorece la proliferación de bacterias termofilicas y al final de la descomposición los hongos y mohos sustituyen a aquellas. Las bacterias prosperan en sustratos nutritivos de cadena corta muy simples y utilizan nitrógeno mineral o amoniacal y carbono en forma de almidón y azúcares. Por otro lado, los hongos para actuar sobre la lignina requiere de mayor tiempo. Durante los primeros 2 o 3 meses es cuando se dan los aumentos de temperatura más altos debido a que en este tiempo están ocurriendo las transformaciones más importantes en el composteo (Pinto, 1995).

Aunque los posibles usos de los residuos sólidos en agricultura son muy diversos, su verdadero valor se puede ver en tres variantes: abono o fertilizante, enmienda orgánica o húmica y medio de cultivo. Se dice que estas variantes son complementarias entre sí puesto que en cada uso de una de ellas las demás se ponen de manifiesto. El valor agrícola de los residuos, que reside en la composición de la materia orgánica e inorgánica que contienen y en las propiedades que de ellas se derivan, dependerá en cada caso del origen del material y los tratamientos ha que haya sido sometido. Por otro lado, su uso principal lo determinará el objetivo principal de su aplicación, es decir, poner nutrimentos a disposición de los cultivos (abono), aumentar el nivel de humus del suelo (enmienda orgánica) o utilizarlo como soporte total o parcial de los cultivos (medio de cultivo). Sin embargo, a pesar de ser un proceso muy sencillo, en términos generales parece que no ha sido entendido por lo responsables del diseño y operación de las plantas. En mucho, esto se debe a un pobre intercambio de experiencias en investigación y áreas relacionadas; en consecuencia, muchos proyectos han fracasado, lo que en varios lugares ha ocasionado el desacredito del composteo como un método de tratamiento de desechos orgánicos (Pinto, 1995).

2.3.2. Métodos de Composteo

No hay en sí, un método de composteo que se considere como el mejor. Se cuenta con diferentes métodos para llevar a cabo un proceso de composteo, y la elección de uno de

ellos dependerá de los objetivos, intereses, costos y aún del gusto de la persona para decidirse por alguno. Entre estos métodos se pueden mencionar los siguientes.

- a) **Método convencional para la preparación de composta:** en términos generales este método es más lento comparado con otros porque: 1) se espera más tiempo para revolver los componentes orgánicos y 2) no se cortan en pedazos pequeños los materiales orgánicos.
- b) **Método de compostaje de 14 días:** este método es particularmente bueno para los casos en que se dispone de suficiente mano de obra de bajo costo, por ejemplo en los huertos familiares, comunales y escolares, etc.
- c) **Compostaje de tres cajones:** aquí se confeccionan tres compartimentos lo que permite seguir añadiendo materiales a la compostera. El compost del compartimento 3 está listo para usarse mientras que los otros todavía están pudriéndose.
- d) **Compostaje en camas profundas:** Tiene la ventaja de que el compost final puede ser utilizado ahí mismo en la cama (se pueden sembrar semillas o plántulas directamente).
- e) **Compostaje semihundido:** Este método es útil cuando se tiene un hoyo disponible donde, por ejemplo se arroja la basura.
- f) **Compost en fosas:** Este tipo de compostera bajo tierra se recomienda para zonas o épocas secas, en donde no existe mucha lluvia (hasta 450 mm/año). Se recomienda hacerse en terrenos con pendiente, de esta manera se puede evacuar los residuos de agua por un tubo o canal colocados en el fondo de la compostera. También, se pueden recoger los líquidos que salen del material durante la descomposición y ser utilizados como estimulantes orgánicos del suelo. Las ventajas de este método son: requiere de poca cantidad de agua y que se pueden agregar desechos poco a poco en la fosa. Pero, también tiene sus desventajas como: la construcción y los cuidados requiere de mucha mano de obra por lo que no se puede producir en grandes cantidades, si entra mucha

agua se eleva la temperatura y se pudre el compost, se puede convertir en un nido de ratas y por último la gente los descuida.

- g) **Compostaje en canastas:** Es un proceso mediante el cual se produce abono orgánico a partir de las basuras del hogar que pueden descomponerse, de hojas de leguminosas, los desechos del huerto y de la granja en canastas semi-enterradas sobre las camas del huerto. Los beneficios de este método son: el abono producido en la canasta puede usarse inmediatamente, sin necesidad de esperar los usuales 3 o 4 meses como sucede con otros métodos, las canastas contienen los materiales del compostaje, minimizando con ello la pérdida de nutrientes por escorrentía, se evita que los animales y aves esparzan los materiales del compost, sirven como reservorios y colectores de humedad y nutrientes, pueden producirse hortalizas más nutritivas a un menor costo.

2.3.3. Construcción y Manejo de la Pila de Composta

Partiendo de materiales adecuados, utilizando una técnica de tratamiento correcta y el equipo adecuado, se puede llegar a producir una composta de buena calidad. Los materiales iniciales deben contener grandes cantidades de materia orgánica y nutrimentos, así como bajas cantidades de metales pesados y contaminantes orgánicos (Nappi y Barberia, 1993).

Para la construcción de la pila de composta, se necesita coleccionar y clasificar el material hasta reunir la cantidad requerida. Durante la construcción de la pila se agrega agua para ajustar el material a un contenido de humedad a un 56%. Los pasos a seguir para la construcción de una pila de composteo son:

- a) Preparar materiales y utensilios requeridos
- b) Seleccionar el sitio de instalación
- c) Preparar la composta
- d) Colocar los postes (si se necesita)
- e) Programar los volteos
- f) Identificar posibles problemas

Las dimensiones óptimas de la pila de composta dependerá de la naturaleza del material, de su estructura, del espacio disponible y del clima. Lo importante cuando se define el tamaño de la pila es que se deben asegurar niveles térmicos correctos para lograr la esterilización del material (eliminación de semillas de malas hierbas y microorganismos patógenos) y una buena degradación del material (Pereira, 1992).

Cuando se esta llevando a cabo un proceso de composteo los problemas que más se detectan son: pilas de composteo operando anaeróbicamente, irregularidad de tiempos de volteos (por ejemplo cada 30 días), pilas construidas sin tomar en cuenta las mejores dimensiones en función de la fase del proceso, una falta de entendimiento de la importancia del contenido de humedad e ignorancia del importante significado de la temperatura en la masa de composteo.

De lo anterior se puede decir que el monitoreo de la pila de composta, más el cuidado en su construcción con respecto al contenido de humedad de los materiales usados, ayudará a obtener un producto de buena calidad. Siendo la temperatura la que da más información acerca del proceso que cualquier otra variable involucrada en un proceso de composteo. También, el análisis de oxígeno en muestras de aire tomadas del centro de la pila es un índice útil para el control de calidad del producto. Las lecturas de oxígeno deben ser entre 5 y 15%; lecturas menores de 5% indican un inadecuado movimiento o distribución de aire. Una medida de corrección para esto, es aumentar la tasa de aireación, con volteos más frecuentes.

Un proceso sencillo de monitorear involucra lo siguiente: una observación visual y medida de la temperatura de la pila en el sitio y en el laboratorio, determinación de la densidad, contenido de humedad, sólidos volátiles, pH, nitrógeno total y *Streptococci faecal* (Pereira, 1992).

Bertoldi *et. al.*, (1985) mencionan que el mal olor es señal de un proceso incorrecto, ello requiere de ventilar el interior de la pila de composta. La presencia de larvas o moscas indica un exceso o deficiencia de agua o que tal vez la capa final esta descubierta.

Las principales variables a controlar y sobre las que se basa el manejo de la pila son (Bertoldi *et. al.*, 1985; Pereira, 1992):

- a) Configuración de la pila
- b) Suministro de aire a la masa (ventilación)
- c) Control de humedad (mediante volteos periódicos)
- d) Control del calor generado (28 – 55 °C)
- e) Control de relación C/N, relaciones mayores causa una descomposición lenta y un relación menor causa volatilización de nitrógeno en forma amoniacal.
- f) pH cercano a la neutralidad (pH en el que se desarrollan la mayoría de los microorganismos)
- g) Ciclo de volteos

2.3.4. Factores que afectan el proceso de composteo

En general, cuando se hace referencia a la calidad de la composta se hace alusión a un conjunto de cualidades referentes a distintos aspectos. Estas cualidades pueden deberse a causas exógenas o bien endógenas.

Los factores son aquellos que siendo ajenos al proceso de composteo, pueden llegar a afectarlo; se trata fundamentalmente de cualquier tipo de contaminación provocada por: presencia de fragmentos de vidrio, plástico, metales etc., o por la liberación de metales pesados y/o otros productos tóxicos en la materia orgánica residual. Mientras que los factores endógenos son aquellos que dependen exclusivamente del proceso de composteo como por ejemplo la estabilidad de la materia orgánica, higienización del producto, etc. (Pinto, 1995).

a) Temperatura y ventilación. La Figura 1 muestra los cambios de la temperatura en un proceso de composteo. Se produce un rápido aumento de la temperatura que puede llegar a un rango de 70 – 80 °C. En el inicio del proceso se establece una interacción positiva entre los principales factores que afectarán el desarrollo del proceso de composteo

(sustrato, microorganismos, aireación, producción de vapor y calor). El aumento en la temperatura representa la retención del calor producido por el enorme crecimiento microbiano, lo que es debido a la gran cantidad de sustancias simples en la pila de composteo y a la interacción positiva entre los microorganismos mesófilos y la temperatura. Así, el aumento inicial de la temperatura estimula el crecimiento de la flora mesofílica. Pero, a un nivel mayor de temperatura ($> 50\text{ }^{\circ}\text{C}$), la interacción flora mesofílica - temperatura se convierte en negativa y es sustituida por los microorganismos termofílicos nativos. En cierto momento, cuando los materiales simples han sido metabolizados, los materiales más resistentes son atacados por otros microorganismos (principalmente hongos y actinomicetos) con una intensidad menor. Esto conduce a una reducción de la actividad microbiana y el calor que el sistema pierde es superior al que se genera.

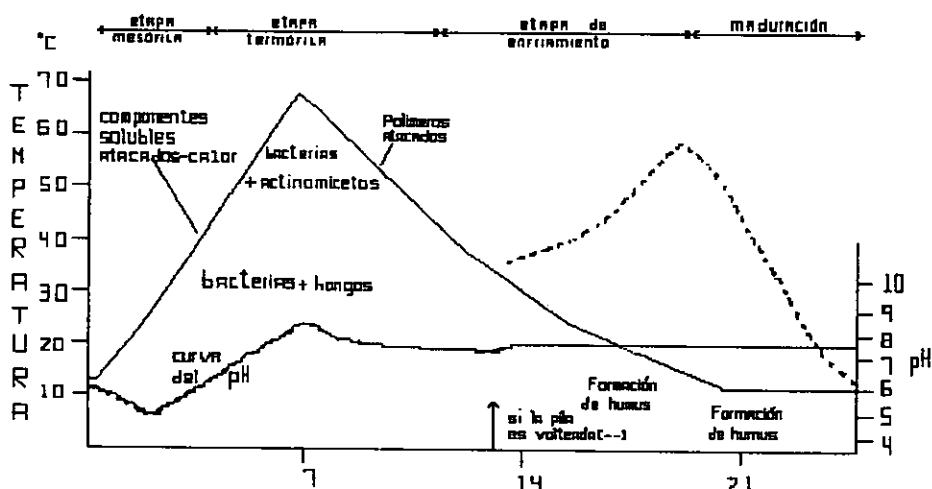


Figura 1. Comportamiento de la temperatura en una pila de composteo (Pinto, 1995)

La molienda y el tamizado de algunos desechos orgánicos pueden llegar a acelerar el proceso de composteo, esto se debe al incremento de área superficial para el ataque microbiano. Sin embargo, una molienda excesiva puede provocar la compactación y condiciones anaeróbicas (Pinto, 1995).

La temperatura es un parámetro de gran importancia que influye sobre la tasa de biodegradación y la eliminación de patógenos. Este parámetro en todo momento indica la actividad biológica dentro de la masa de la pila. La presencia de ciertos patrones de temperatura determina los siguientes criterios para cualquier proceso propuesto (Pereira, 1992): que la fase biooxidativa acelerada debe tener lugar entre los 45 – 65 °C, y que estas temperaturas elevadas deben mantenerse el mayor tiempo posible para así maximizar la cantidad total de biodegradación y producir un material estéril. Una manera de cumplir estos dos criterios es llevar a cabo modificaciones sucesivas en la configuración de la pila.

b) Humedad. El contenido óptimo de humedad de la biomasa para un rápido composteo termofílico y aeróbico es de un 40 a 60% (en base a peso). Por debajo de 40% de humedad, la descomposición será aeróbica pero lenta. Por otro lado, arriba de un 60% de humedad puede darse una insuficiente ventilación debido al espacio poroso ocupado en su mayor parte por agua (FAO, 1983). Cuando se desea optimizar la velocidad de producción de composta es posible hablar de un secado prematuro, pero esto puede acarrear que cese la acción microbiana antes de que la composta alcance un nivel de estabilización deseado. Por lo que es recomendable llevar a cabo un buen control de las variables involucradas en el proceso (manejo de la composta, materiales usados, contenido de humedad inicial etc.) a fin de disminuir la duración del proceso de composteo y al mismo tiempo obtener un producto biológicamente estable (Finstein y Miller, 1985). Disminuir el calor generado mediante temperaturas inhibitorias para así disminuir el consumo de agua, traería como consecuencia una descomposición lenta del material. Entonces, puede decirse que la densidad aparente es claramente, dependiente del contenido de humedad (Finstein y Miller, 1985 y Stentiford *et al*, 1985).

c) Problemas de olor relacionados con la ventilación. Los problemas de malos olores pueden deberse a: naturaleza de los materiales de desecho, ubicación de la pila de composteo, períodos prolongados de lluvia y composta no estabilizada o excesivamente húmeda (FAO, 1983). Es necesario un suministro constante de oxígeno a fin de asegurar un composteo termofílico y aeróbico. Un suministro insuficiente de oxígeno causará condiciones anaeróbicas y una estabilización incompleta del material orgánico. El producto

final obtenido bajo estas condiciones es por lo regular de olor muy fuerte.

En la mayoría de los métodos de composteo no se lleva cabo un control preciso de la ventilación, lo que causa que se produzcan fuertes olores durante los primeros 15 a 20 días de iniciado el proceso de composteo, esto puede ser corregido con un adecuado ciclo de volteos. No obstante, aún pueden presentarse cierta emisión de olor unos días después del volteo. Cuando se realiza el volteo puede ocurrir que las moscas lleguen a depositar sus huevecillos, esto se puede solucionar al remover la capa exterior de la pila de composta y colocarla en el núcleo de la pila reformada. Ello interrumpe el ciclo de vida las larvas de mosca.

El manejo de materiales putrescibles representa un riesgo de perturbación al medio ambiente. Los materiales son de inmediato atacados por los microorganismos, por lo que, se pueden prevenir estos riesgos mediante la aceleración de la etapa inicial del proceso de descomposición (Finstein y Miller, 1985).

d) Relación C/N. Debido a que los microorganismos requieren no sólo de carbono para su crecimiento y obtención de energía sino también de nitrógeno para la síntesis de proteínas; la tasa de descomposición de los desechos orgánicos se ve afectada por esta relación de carbono-nitrógeno. Los desechos orgánicos que tienen relaciones de C/N entre 25:1 y 35:1, se descomponen rápidamente. Por otro lado, concentraciones más bajas pueden causar pérdida de nitrógeno en forma amoniacal, mientras que relaciones más altas pueden prolongar el proceso de composteo.

No obstante las dificultades asociadas con su interpretación, la relación C/N refleja el estado de degradación y humificación de la composta y en consecuencia se usa como indicador del fin de un proceso de composteo. Cuando el valor final de esta relación es de alrededor de 12 se dice que hay una buena humificación (Morel, 1985). En los materiales de la composta, el nitrógeno se conserva en forma de biomasa microbiana (FAO, 1983).

e) pH y conductividad eléctrica (CE). El pH óptimo para un composteo

termofílico y aeróbico a una tasa elevada de descomposición fluctúa entre 6 y 7.5. Sin embargo, en investigaciones realizadas en Estados Unidos han mostrado que hay un amplio rango de pH en el que se puede compostear (por ejemplo lodo de aguas negras) con poco efecto sobre la tasa de descomposición (FAO, 1983). Generalmente, los procesos de composteo que involucran volteos de la pila presentan pérdidas de nitrógeno durante los primeros 20 días debido a las condiciones alcalinas y a las altas temperaturas (Pereira, 1992). El pH de una composta que varía entre 7.4 y 8.5 es desfavorable para la mayoría de las plantas que se cultivan en contenedor. Una composta con una conductividad eléctrica mayor de 1500 dS/m^{-1} puede inhibir un crecimiento óptimo. Cuando esto sucede es necesario mezclar la composta con otros materiales para minimizar la influencia de tales propiedades sobre el crecimiento vegetal (Verdnock, 1979).

f) Ciclo de volteos y configuración de la pila. Con cada volteo en la pila hay una disipación de calor, esta practica mantiene una temperatura promedio más elevada como consecuencia de una mayor ventilación; de esta manera la fase de degradación inicial resulta más corta.

En general, con los volteos no se disminuye la duración del proceso de un modo apreciable, por lo que es práctico añadir una buena cantidad de paja antes de dar los volteos en la pila de composta. A nivel industrial, con el volteo se puede disminuir entre un 10 – 15% del espacio ocupado por las pilas de composta gracias a la disminución del volumen de los materiales orgánicos durante el composteo. La configuración geométrica de la pila es uno de los factores más importantes en la determinación del perfil de temperatura. Esta configuración tiene que modificarse cada vez que se volteo la pila para que se logre un balance térmico entre el calor producido en la masa y el calor perdido al ambiente. El objetivo de esto es alcanzar un punto de equilibrio con una temperatura máxima de alrededor de $60 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

El ciclo de volteos promueve la biodegradación, incrementando o disminuyendo el periodo de composteo. El tipo de volteo usado es un mecanismo para el control efectivo de la temperatura de la masa de la pila y la cantidad de aireación. Los volteos se pueden hacer

usando información obtenida de observaciones relacionadas a la demanda de oxígeno que ocurre en las pilas que son aireadas automáticamente. Con el uso de esta información, se ha encontrado que el ciclo más apropiado es: dar volteos cada tres días en los primeros treinta días; después de los treinta días los volteos se pueden dar cada seis días hasta que la temperatura máxima registrada en el núcleo de la pila de composta sea menor a 40 °C, esta condición se da alrededor de los 70 días después de establecida la pila (Pereira, 1992).

2.3.5. El control del proceso de composteo

Durante el proceso de composteo se da una compleja interacción entre el material orgánico, los microorganismos, la aireación y la producción de agua y calor por la que es importante entender como influyen estos parámetros en el ecosistema microbiano para mejorar la eficiencia del composteo. A nivel empírico, es obvio que demasiada agua excluirá el aire, lo que provoca condiciones anaeróbicas. Por otro lado, poca agua provocará la interrupción de la actividad microbiana. Demasiado carbono genera limitación del nitrógeno en la actividad microbiana. Cabe recordar aquí que el composteo es un proceso biológico y aeróbico. Por ello, los mecanismos de aireación son fundamentales para el proceso. Esta eficiencia puede definirse de muchas maneras, así como cubrir varios objetivos, desde la maximización de la degradación hasta la eliminación de los patógenos, al control de los olores y a la producción y estabilización del producto (Pinto, 1995). El mismo autor menciona que algunos investigadores han propuesto la identificación, desde el punto de vista de estudio de 20 factores controlables del proceso de composteo (Cuadro 1).

Cuadro 1. Factores controlables en un proceso de composteo.

Evolución de la materia orgánica	Control de humedad
Relación C/N	Aireación
Tamaño de las partículas	Temperatura ambiente
% de composta reciclado	Tiempo de retención
Equipo de mezcla	% de aire reciclado
Tamaño del reactor	Profundidad
Frecuencia de volteo	Tipo de proceso
Agente regulador de proceso	Tiempo de maduración
Contenido inicial de humedad	Inoculación
Temperatura	Agentes estructuradores

(Fuente: Pinto, 1995)

ESTA TESIS NO DEBE
QUITARSE DE LA BIBLIOTECA

Según Dalzell *et al* (1987) el seguimiento de un proceso de composteo consistiría en:

- a) El contenido de humedad y la temperatura se deben checar a los siete días de iniciado el proceso. La temperatura llegaría a 60 °C como máximo. Los materiales se van asentando de forma visible. Un olor a amoníaco significa pérdida de nitrógeno por exceso de humedad y baja relación de C/N.
- b) Repetir el chequeo a los 17 – 21 días. En esta momento la temperatura debe haber disminuido, aunque la pila conserva calor.

Cuatro semanas después de que se inició el proceso, la temperatura va disminuyendo y para la séptima semana la pila alcanza la temperatura ambiente. La etapa de descomposición del proceso en sí, tiene lugar cuando peso y volumen de los materiales hayan disminuido a casi la mitad, esto y el color oscuro del material indicarán el inicio del proceso de humificación.

2.3.6. Maduración y usos potenciales de la composta

La composta fresca no es útil para pruebas de germinación, debido a la presencia de compuestos fitotóxicos, en su mayoría ácido acético. Antes de usarse, la composta necesita un tiempo de maduración de 4 meses para que los compuestos fitotóxicos sean degradados (Sheldrake, 1979).

La utilidad potencial de la composta depende de su madurez. En la producción de hongos es buena una composta fresca, pero para otros usos una composta insuficientemente inmadura puede causar efectos adversos en los cultivos y pérdidas significativas de rendimiento (fitotoxicidad de la composta, sobrecalentamiento, efecto depresivo debido a la inmovilización de nitrógeno).

El incremento en la demanda comercial de la composta requiere que el tiempo de composteo sea determinado adecuadamente para evitar el riesgo de efectos negativos. Por lo tanto, es necesario contar con métodos que permitan evaluar la madurez de la composta tanto en el laboratorio como en el sitio de composteo.

Existen algunos métodos los cuales se basan en la evolución de los parámetros de la biomasa. Los métodos en parte están basados en la hipótesis inicial de que la madurez de la composta puede ser evaluada mediante la estabilidad biológica del producto. Estimar la madurez por tanto, equivale a medir la actividad de la biomasa microbiana o determinar aquellos constituyentes que son fácilmente biodegradables y susceptibles a la degradación. Entre estos métodos se pueden mencionar:

- a) Método respirométrico
- b) Análisis de constituyentes biodegradables (carbono orgánico total, polisacáridos)
- c) Estudio de parámetros bioquímicos (ATP, actividad enzimática).

Los métodos de análisis químico para evaluar la madurez de una composta tienen como base el supuesto de que durante cada una de las etapas del composteo, los constituyentes orgánicos de los desechos sufren transformaciones que los convierten en componentes biológicamente más estables. Aparte de la disminución del carbono orgánico total y componentes fácilmente degradables, se puede presentar un incremento en el contenido de productos orgánicos altamente polimerizados. Estos últimos se ven menos afectados por la degradación inmediata y se pueden comparar con los compuestos húmicos del suelo. Dentro de los métodos químicos para evaluar la madurez de una composta, los parámetros que se incluirían son: carbono orgánico total, relación C/N, contenido de polisacáridos y estado de sustancias húmicas. También, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la capacidad de retención de humedad y el contenido de cenizas son parámetros útiles para determinar la madurez de una composta.

Cuando finaliza el proceso de composteo, el material obtenido es "suelto", esponjoso y liviano, de un color café oscuro casi negro. El olor del material es similar al suelo de monte. El contenido de materia orgánica en el material es más alto si su mineralización es baja (Morel, 1985). Por otra parte, Pereira (1992) define la madurez de la composta en términos de la nitrificación: Cuando NO_2^- y / o NO_3^- aparecen en la pila de composta es entonces cuando el producto se considera listo para su uso.

Si después de un volteo, la temperatura no pasa de los 40 °C en los días siguientes, entonces el material se lleva a maduración. Esto se da por lo regular en un período de 30 días.

Por lo regular, los organismos que se usan como indicadores de maduración de la composta son *Streptococci faecal*. Se han llevado a cabo comparaciones entre diferentes métodos de composteo respecto a la inactivación del patógeno. Aunque el método de composteo con volteos periódicos se le considera como uno de los menos efectivos en el control de patógenos presentes en el material de composta (debido a la recontaminación del material esterilizado en el núcleo al momento del volteo), en la subsecuente fase de maduración se alcanza una esterilización satisfactoria.

En general, el material composteado final debe tener un alto contenido de humus, un bajo contenido de contaminantes, características físicas adecuadas y estabilidad biológica para poder ser almacenado, transportado y utilizado como abono (Pinto, 1995; Nappi y Barberia, 1993).

2.3.7. Actividad de los microorganismos en el sistema de composteo

En un proceso de composteo, la fase sólida del material orgánico sirve de soporte físico, como fuente de nutrimentos orgánicos e inorgánicos y agua, como hábitat de diversos microorganismos nativos, como vertedero para los productos residuales metabólicos y como matriz de intercambio de gases.

Durante el proceso de composteo, los compuestos fenólicos son oxidados y condensados a compuestos de alto peso molecular similares a los ácidos húmicos y fúlvicos. En las compostas, la microflora degrada tanto a la lignina como a la celulosa y estas actividades son más probables cuando no hay competencia con micelios de *Agaricus bisporus*. Los actinomicetos también pueden actuar sobre la lignina y la celulosa.

Los microorganismos influyen para que la temperatura más favorable para la descomposición sea de 50 – 55 °C. Mientras que para la eliminación de amonio de la

composta y para favorecer la predominancia de hongos en la composta, la temperatura óptima es de 40 – 45 °C. También, durante el composteo ocurren muchas formas de degradación de las paredes celulares vegetales, al igual que en ambientes anaerobios como en el rúmen (bacterias mesofílicas, protozoarios, hongos) y el ensilaje (bacterias mesofílicas).

Estudios a nivel microscópicos del proceso de composteo han mostrado una sucesión ecológica inicialmente dominada por bacterias y pocos hongos. Luego, los microorganismos dominantes son los actinomicetos. Algunas observaciones permiten afirmar que la biomasa microbiana acumulada durante el composteo, sirve como fuente de nutrimentos para los microorganismos que crecen en este medio. Dado lo anterior, los altos niveles de actividad microbiana y el alto contenido de nitrógeno permiten un contenido de ATP y N en la biomasa de la composta mucho más alto que en la biomasa del suelo. También, dado que ocurre una considerable transformación de nitrógeno, los factores de conversión utilizados para los suelos no son aplicados a las compostas.

En un momento dado, si las condiciones del medio varían; un organismo puede llegar a tener la tasa de crecimiento más alta y por lo tanto siempre se tendrán especies dominantes. En general, hay sucesiones de microorganismos en períodos cortos y largos que dependen de los cambios en las condiciones del medio. Estos cambios pueden ser producidos por los mismos organismos, por ejemplo: reducción de los niveles de nutrimento y oxígeno o cambios en el pH, o bien pueden ser producidos por factores externos como el clima. Después de una serie de sucesiones, la población se diversifica hasta alcanzar un equilibrio dinámico entre los organismos y su ambiente. La estabilidad se da en términos de las especies presentes aún cuando el número de individuos aumente o disminuya y el equilibrio entre las especies varíe ligeramente.

En resumen, si se manipula la cantidad y tipo de biomasa microbiana durante el proceso de composteo, se obtiene un producto final de calidad para uso en la producción de cultivos y como mejorador de suelos.

2.3.8. Evaluación de la calidad de la composta

El uso de composta proveniente de diferentes materiales orgánicos como un sustrato alternativo en horticultura, sólo debe llevarse a cabo cuando dicha composta ha alcanzado un grado de madurez apropiado. Por lo tanto, se hace necesario hacer una caracterización en términos de algunos parámetros físicos, químicos y biológicos para evaluar la madurez y estabilidad biológica de la composta. Por un lado, los parámetros físicos y químicos dan una evaluación exacta de la presencia de contaminantes; por otro lado, los ensayos biológicos y químicos pueden determinar de manera global la estabilidad del producto.

Durante el proceso de composteo, las propiedades físicas y químicas son interdependientes y varían de acuerdo a la etapa del proceso. Las cualidades físicas del material final deben ser: buena porosidad, buena capacidad de retención de humedad y un pH adecuado. El estado químico final de la composta debe ser tal que los nutrientes que las plantas requieren para su crecimiento se acumulen y que estén fácilmente disponibles; estos nutrientes incluyen también a la biomasa microbiana. Durante el proceso de composteo, se da una evolución tanto del estado físico y químico del sustrato como de las especies de microorganismos involucrados.

Son importantes también, algunos parámetros biológicos como los siguientes:

- a) **Los ensayos de fitotoxicidad, mineralización de N y respiración.** Estos parámetros describen la estabilidad de la composta como un todo (Nappi y Barberia, 1992).
- b) **Pruebas de elementos y sustancias tóxicas.** Para su uso, se debe verificar que la composta este libre de contaminantes. Legalmente se han establecido límites para elementos tóxicos y materiales inertes para así garantizar un uso seguro de estos materiales en la agricultura (Nappi *et al.*, 1992). La producción microbiana de toxinas es alta durante la fase inicial de descomposición y disminuye en la etapa de estabilización (Zucconi *et al.*, 1985). Para ser llamada composta, la materia orgánica debe llegar a ser un producto estable como el humus, debe tener un olor a suelo de monte, estar degradada a partículas finas, y haber perdido su aspecto original (Bertoldi *et al.*, 1985). Un producto composteado estable puede ser almacenado sin necesidad de

tratamiento adicional o aplicado al cultivo o árbol sin dañarlos. Cuando no se ha alcanzado la estabilidad, la descomposición se sigue dando; lo que produce metabolitos que son tóxicos para las plantas (Zucconi *et al.*, 1985).

- c) **Materiales inertes.** El contenido de materiales inertes no siempre va ser un problema. Estos materiales que deprecian sensiblemente a la composta dependerán de la tecnología de la planta procesadora. Por ejemplo, aquellas plantas que cuentan con una maquinaria y equipo para moler y mezclar completamente los materiales inertes con la materia orgánica obtendrán una composta con materiales inertes mínimos.
- d) **Capacidad de retención de humedad.** Con el fin de un manejo adecuado, es importante conocer la disponibilidad de agua de la composta. Para ello, se debe calcular la máxima capacidad de retención de humedad. Esto se puede hacer mediante la saturación de una muestra de la composta y calcular el contenido de humedad después de someterla a centrifugación suave a 50 revoluciones por minuto (Nappi *et al.*, 1992).
- e) **Porosidad ocupada por aire (POA).** La porosidad ocupada por aire o capacidad de aireación; es probablemente la propiedad más importante de una composta. Para medir esta propiedad se han desarrollado numerosos métodos; entre los que se encuentran los métodos gravimétricos. Estos métodos incluyen un humedecimiento, seguido de la determinación del peso húmedo, peso en seco, densidad y cálculo de gravedad específica. Un problema inherente a todos los métodos es llevar a saturación la composta. Algunos investigadores sugieren el uso de un agente humectante para asegurar lo más posible la saturación completa. Cualquier método para medir la POA, no sólo debe ser rápido y sencillo, sino que también debe ser confiable para el manejo de un amplio rango de ingredientes de composta (Bragg y Chambers, 1988).
- f) **Calidad de la materia orgánica.** La calidad y cantidad de la materia orgánica vienen siendo dos de los parámetros más importantes para evaluar la calidad global y grado de madurez de la composta. Por lo regular, el contenido de materia orgánica de compostas derivadas de desechos es de un 50%. La calidad de la materia orgánica puede variar

ampliamente en función de los componentes iniciales del material composteado y del grado de transformación alcanzado durante el proceso de composteo (Nappi *et al*, 1992). El contenido de sustancias húmicas se expresa como sigue:

Relación de humificación = (carbono húmico total/carbono orgánico total)* 100

Índice de humificación = (carbono de los ácidos húmicos/carbono orgánico total)* 100

g) **Ensayo de fitotoxicidad.** Las pruebas de fitotoxicidad y crecimiento se realizan in vitro y en maceta, respectivamente. Estas pruebas son usadas para detectar la presencia de sustancias tóxicas en compostas que han sido procesadas bajo condiciones no muy adecuadas (carencia de oxígeno, deficiente homogeneización de la masa, corto tiempo de maduración). Las sustancias tóxicas, tanto minerales (amonio, ácido sulfhídrico, sulfatos) como orgánicas (ácidos grasos volátiles, fenoles, etc.) llegan a ser inhibidores específicos y por esto, son índices importantes del desarrollo del proceso; en otras palabras, la presencia de sustancias tóxicas significa una insuficiente estabilización de la composta. Los ensayos in vitro consisten en la germinación de semillas de *lepidum sativum* remojadas en diluciones variables del extracto del material. El índice de germinación es igual al número de semillas germinadas multiplicado por la longitud promedio de la raíz, expresado como un porcentaje respecto al testigo. Por otra parte, los experimentos en macetas consisten en el cultivo de *lepidum sativum* sobre un sustrato hecho de arena y turba con diferentes cantidades de composta; el índice de crecimiento es igual a la relación entre la materia seca del tratamiento y el testigo.

h) **Ensayo de mineralización del nitrógeno.** La mineralización del nitrógeno es considerado un parámetro efectivo para la cuantificación de sustancias nitrogenadas fácilmente biodegradables; por lo que, puede ser inversamente correlacionada a la estabilidad. La técnica consiste en establecer un punto de referencia evaluando las variaciones del contenido de nitrógeno mineral en relación al contenido de nitrógeno total en un período de incubación de diez días en anaerobiosis, dadas por la transformación del nitrógeno orgánico a nitrógeno mineral y viceversa. Si los materiales son estables, las diferentes formas del nitrógeno llegan y se mantienen en una condición

de equilibrio y no se presentan variaciones considerables después de la incubación.

- i) **Ensayo de respiración.** El ensayo de respiración da información útil acerca de los contenidos de materia orgánica fácilmente biodegradable. De hecho, la respiración de la composta y su grado de madurez son inversamente proporcionales. La actividad respiratoria puede ser evaluada mediante las técnicas de chequeos a cada hora, del consumo de oxígeno o la producción de bióxido de carbono, los cuales dependen de la estabilidad del producto. La primera técnica determina el consumo de oxígeno midiendo la disminución que se da durante la incubación de la muestra. Esta disminución es dada por la absorción del CO₂ producido, con NaOH 2N. Debido a que se estima la tasa de consumo de oxígeno, la duración de la prueba esta determinada por la estabilidad del producto y varía de uno a dos días para productos muy biodegradables y hasta cinco o seis días para productos muy estables. La segunda técnica determina la actividad respiratoria mediante la cuantificación del CO₂ liberado por el producto durante un cierto periodo, mientras que la presión parcial de oxígeno dentro del contenedor de la muestra se mantiene constante por medio de un sistema electrolítico de producción de oxígeno. Las mediciones tienen lugar en aerobiosis suministrando suficientes cantidades de oxígeno para no limitar el sistema biológico. El flujo de CO₂ es activado tan pronto como la disminución de la muestra se presenta dentro del contenedor, cuando la presión de O₂ se restablece el flujo se detiene.

2.4. Sustratos

2.4.1. Generalidades

El desarrollo de los sustratos para su uso en horticultura tiene su origen en el cultivo en contenedores o macetas. Ello planteó la necesidad de un cambio en el concepto de suelo para los cultivos tradicionales; apareciendo así los sustratos para sustituir al suelo natural. La importancia del cultivo en sustratos es obvia (Burés, 1997): la mayor parte de producción de planta ornamental tienen lugar en contenedores o macetas, y por ende, en sustratos. Al mismo tiempo, se esta dando un incremento en la demanda de sustratos para el cultivo de hortalizas en invernaderos. Algo común en los cultivos producidos en

contenedor es el volumen limitado del sustrato lo que obliga a intensificar el riego y el abonado.

Es necesario tener en cuenta que un sustrato (medio de cultivo) puede dar resultados distintos según el tipo, forma y tamaño del contenedor o maceta, especie vegetal, técnicas culturales (riego, fertilización) y condiciones climáticas; por lo que la idoneidad de un sustrato estará supeditada al manejo de éste y no podrá por si sola ofrecer garantías de éxito para un cultivo.

Para Williams (1980), un sustrato o medio de cultivo es cualquier material usado para el enraizamiento o cultivo de plantas en maceta. Este material debe cumplir las mismas funciones que un suelo; es decir, soportar la raíces y actuar como un reservorio de humedad, nutrimentos y aire. Un medio de cultivo puede ser una mezcla de varios ingredientes, incluso algunos artificiales y otros de origen natural y no necesariamente un producto natural como el suelo. En realidad, la mayoría de los sustratos o medios de cultivos comerciales para plantas no contienen suelo.

Por lo regular, los materiales que componen un sustrato se seleccionan por su disponibilidad, costo, facilidad de manejo, ausencia de semillas de malas hierbas, ausencia de insectos, patógenos o ausencia de fitotoxidad. En la actualidad, también se toman en cuenta otros factores tales como; remoción de patógenos, capacidad de reciclaje, optimización de agua y la prevención del lavado de nutrientes.

Respecto a los sustratos es importante tener en cuenta lo siguiente: un sustrato, para que pueda garantizar éxito en un cultivo debe poder mantenerse como un factor fijo; es decir, que sus propiedades físicas, químicas y biológicas sean siempre las mismas para así poder establecer un manejo adecuado del mismo. Esto ha traído como consecuencia una gran cantidad de investigaciones (Burés, 1997) y muchos conocimientos y "recetas" de sustratos han quedado obsoletos en las década de los 90s. Tecnologías de punta están empezando a aportar nuevos conocimientos sobre sustratos hortícolas (Burés, 1997).

En la actualidad, el interés y la aceptación de medios artificiales de cultivo

(sustratos) esta en aumento. En un principio, los horticultores mostraban renuencia a admitir la posibilidad de cultivar las plantas en estos medios, pero una vez que los usaron se convencieron que estos materiales tenían ventajas respecto al cultivo en el suelo. Ello significa que continuará la demanda de nuevos materiales que los científicos deberán evaluar para garantizar seguridad en su uso (Sheldrake, 1979; Ansorena, 1994).

2.4.2. Propiedades físicas y químicas

En la evaluación de la calidad o eficiencia de un sustrato como medio de cultivo es necesario llevar a cabo pruebas como: pH, conductividad eléctrica, capacidad de intercambio de bases, capacidad de amortiguamiento, densidad aparente, tamaño y distribución de poros, espacio poroso total, capacidad de retención de humedad y porosidad ocupada por aire. Además de algunas pruebas más específicas para ciertos sustratos (Wilson, 1983).

Actualmente, en la producción hortícola se esta sustituyendo al suelo por sustratos artificiales por las siguientes razones (Wilson, 1983) : el costo de esterilización es menor o nulo, menor peso de las mezclas de sustratos y la dificultad para conseguir suelos de calidad. Además los sustratos artificiales presentan ventajas como: posibilidad de elaborar mezclas homogéneas, estar libres de enfermedades y malezas, su baja densidad y el que favorecen un crecimiento acelerado. Todo lo anterior, da como resultado tres grandes ventajas a los sustratos artificiales sobre el suelo. Primero, materiales que pueden componer al sustrato al mezclarse crean un gran espacio poroso, lo cual elimina el riesgo de compactación en la zona de la raíz. Segundo, al tener una estructura suelta favorecen el drenaje (aunque se retiene humedad debido a la presencia del componente orgánico). En tercer lugar, el estar libres de todo elemento patógeno.

El uso de medios artificiales para el cultivo de plantas ha crecido enormemente en los últimos años. Siendo las combinaciones de turba, vermiculita y perlita los medios más usados comúnmente. No obstante, recientemente se ha vuelto la mirada a otros medios como: residuos municipales, lana de roca, arcilla expandida, corteza de árboles, lodo de aguas negras, aserrín, arenas y otros materiales. A excepción de la turba, por lo regular los

otros materiales no se usan solos sino en combinación con otros. Aunque la turba puede combinarse en un 40 – 50 % en base a volumen con perlita o vermiculita o ambos.

El horticultor necesita conocer las características de los posibles medios de cultivo (Cuadro 2) para decidir cual usar y si hace mezclas tener la seguridad de que esta haciendo una mezcla correcta de los materiales.

Cuadro 2. Propiedades generales de algunos ingredientes de sustratos (medios de cultivo)

Material	Aireación	Retención de agua	Capacidad tampón	Contenido de nutrientes
Turba	buena	buena	pobre/buena	pobre
Arena	pobre/buena	pobre	pobre/buena	nulo
Perlita	muy buena	pobre/buena	nula	nulo
Poliespan	muy buena	nula	nula	nulo
Vermiculita	pobre/buena	buena	muy buena	pobre/buena
Lana de roca	muy buena	pobre	nula	pobre
Lana de roca Absorbente de agua	pobre	muy buena	nula	pobre
Corteza picada	muy buena	buena	buena	pobre

Fuente: Ansorena (1994).

Las propiedades físicas de los sustratos de más uso son (Wilson, 1983): densidad aparente, espacio poroso, capacidad de retención de humedad (CRH), porosidad ocupada por aire (POA), y distribución de tamaño de partículas. Las químicas son: grado de descomposición, pH, conductividad eléctrica, capacidad de amortiguamiento, capacidad de intercambio de bases y otras pruebas químicas específicas para algunos sustratos.

En la actualidad, un gran número de sustratos son usados en horticultura, y muy probablemente habrá más de ellos en el futuro. También, el análisis de dichos sustratos es llevado a cabo por diferentes métodos. Por lo anterior, se hace necesario una estandarización de esos métodos y explicar los principales análisis físicos y fisicoquímicos requeridos, para que así el horticultor pueda elegir un buen medio de cultivo. Luego, se puede llevar a cabo un análisis químico del sustrato con los métodos adecuados. Los Cuadros 3 y 4 muestran los niveles óptimos para las propiedades físicas y químicas de los sustratos.

Cuadro 3. Niveles óptimos para las propiedades físicas de los medios de cultivo

Propiedad	Nivel óptimo
Tamaño de partícula (mm)	0.25-2.5
Densidad aparente (g/cm ³)	<0.4
Densidad real (g/cm ³)	1.45-2.65
Espacio poroso total (% en volumen)	>85
Retención de agua (% en volumen) a:	
10 cm	55-70
50 cm	31-40
100 cm	25-31
Capacidad de aireación (% en volumen)	10-30
Agua fácilmente disponible (% en volumen)	20-30
Agua de reserva (% en volumen)	4-10
Agua total disponible (% en volumen)	24-40
Valor "R" (cm)	10-30
Contracción (% en volumen)	<30

Fuente: Ansorena (1994)

Cuadro 4. Niveles óptimos para las propiedades físico y químicas de los medios de cultivo

Propiedad	Nivel óptimo
pH (extracto de saturación)	52-6.3
Conductividad eléctrica (extracto de saturación, dS/m)	0.75-3.49
CIC (meq/100g)	
- Fertigación permanente	nula o muy baja
- Fertigación intermitente	>20
Cenizas (%)	<20
Materia orgánica (%)	>80
Relación carbono/nitrógeno (C/N)	20-40
Nutrientes asimilables (extracto de saturación, mgL ⁻¹)	
N-NO ₃	100-199
N-NH ₄	0-20
P	6-10
K	150-249
Ca	>200
Mg	>70
Fe	0.3-3.0
Mn	0.02-3.0
Mo	0.01-0.1
Zn	0.3-3.0
Cu	0.001-0.5
B	0.005-0.5

Fuente: Ansorena (1994)

Los diferentes medios de cultivo artificiales de uso común se han desarrollado para mejorar drenaje y aireación, dejando en segundo lugar a la capacidad de suministrar nutrimentos. Los componentes individuales de un medio de cultivo pueden tener propiedades que, al combinarlas se puede obtener una mezcla con las propiedades físicas deseadas por un largo periodo de tiempo (Hansen, 1993).

Preparar el medio de cultivo para plantas en contenedor debe hacerse con suficiente tiempo para permitir que los componentes se amalgamen y que los desinfectantes (si se usan) ejerzan su acción. Los componentes en el medio de cultivo deben mezclarse bien y la mezcla debe esterilizarse con vapor o con productos fumigantes (bromuro de metilo o basmid) para eliminar posibles daños por hongos o bacterias. Así tratado, el sustrato se conserva tapado. Antes de usarse, este sustrato debe ventilarse removiéndolo y mezclándolo, o molerlo para desmenuzar las partículas gruesas y eliminar cualquier residuo tóxico (Sitta, 1988).

De acuerdo con Fonteno (1993), para determinaciones físicas no hay un criterio establecido sobre qué propiedades determinar ni de como determinarlas. Si bien, algunas propiedades físicas tales como espacio poroso, distribución de tamaño de partículas y contenido de materia orgánica permiten caracterizar sustratos.

Por otro lado, las propiedades hidráulicas influyen en la penetración del agua, drenaje, movimiento de agua hacia las raíces y la evaporación del agua en los sustratos. Estas propiedades se pueden dividir en dos a saber: 1) características de retención de humedad, 2) conductividad hidráulica. Donde, la primera mide la capacidad del sustrato para retener o almacenar agua y se describe en términos de agua disponible, capacidad del contenedor y punto de marchitamiento permanente, y la segunda, se entiende como la capacidad del sustrato para transmitir el agua y se define por la ley de Darcy y depende del contenido de agua del medio de cultivo.

Densidad aparente (peso por unidad de volumen). Es una propiedad del sustrato fácilmente medible que se correlaciona con muchas otras propiedades. Los parámetros

físicos tales como espacio poroso se pueden calcular a partir del valor de densidad aparente y contenido de cenizas. Hay una alta correlación entre densidad aparente y el contenido de cenizas, así como con el grado de descomposición. Además, esta propiedad puede ser afectada por el contenido de humedad, grado de compactación y distribución de tamaño de las partículas (Wilson, 1983). La densidad aparente se mide simplemente como la razón de peso seco / volumen.

La densidad real. Propiedad física que para materiales porosos es difícil de medir debido al aire atrapado en los poros. Para determinarla, el mejor método es el del picnómetro. Este valor es requerido para estimar el % de espacio poroso. Cuando no se puede medir, para materiales orgánicos se usa una media de 1.50 g.cm^{-3} y para materiales minerales de 2.65 g.cm^{-3} .

Espacio poroso total (EPT). Uno de los criterios más importantes para la evaluación de cualquier sustrato es el porcentaje de espacio poroso y la proporción y cantidad de agua y aire presente en el espacio poroso.

$$\text{Espacio poroso total} = (1 - (\text{densidad aparente} / \text{densidad real}) * 100$$

Capacidad de retención de humedad y espacio poroso ocupado por aire. Según Carter (1993), la capacidad de retención de humedad (CRH) se determina por el método de saturación y drenado, donde el agua en turba saturada es extraída por gravedad. Este método permite el cálculo de la capacidad de aireación por diferencia entre el EPT y CRH volumétrica.

Por otro lado, Wilson *et. al.*(1983) mencionan que estas determinaciones se hacen usando aparatos de succión, donde se somete a las muestras a más de 100 cm de columna de agua. De aquí se pueden establecer algunas relaciones importantes:

$$\% \text{ del espacio poroso ocupado por aire a capacidad contenedor (POA)} = (\text{EPT} - \% \text{ de agua a } 10 \text{ cm de tensión})$$

% de agua disponible = (% de humedad a capacidad contenedor (10 cm de tensión) - % de humedad a 100 cm de columna de agua).

Tipos de agua:

0 – 10 cm de tensión	agua gravitacional
10 – 50 cm de tensión	agua fácilmente disponible
50 – 100 cm de tensión	agua de reserva
10 – 100 cm de tensión	agua disponible
> 100 cm de tensión	agua difícilmente disponible
1500 cm de tensión	punto de marchitamiento permanente

En los sustratos en contenedor, la succión media con que el agua es retenida es muy inferior a las de los suelos minerales de campo: a capacidad de contenedor (CC) en macetas de unos 20 cm de espesor, es del orden de los 10 cm de columna de agua. Es por ello que comúnmente se toman como valores de CC y de aireación de un sustrato, sus contenidos de agua y de aire a 10 cm de succión. En condiciones de crecimiento óptimo, es necesario que el sustrato tenga simultáneamente entre un 20% y un 30% de aire y de agua fácilmente asimilable con sólo un 4 a 10 % de agua de reserva.

La porosidad ocupada por aire; probablemente, es la propiedad física más importante de los sustratos empleados en horticultura ornamental. Hasta el momento, no hay un acuerdo respecto al valor óptimo de POA. No obstante, por lo regular se acepta un valor entre el 10 y el 30 % para sustratos en maceta.

Distribución de tamaño de partículas. El tamaño de las partículas es muy importante debido a que afecta el valor de la densidad aparente, del espacio poroso y a la capacidad de retención de humedad y aireación del medio. Por lo regular se usan 5 categorías de tamaño, y de acuerdo con Ansorena (1994) el sustrato más recomendado es aquel con tamaño de partículas entre 0.25 y 2.5 mm los cuales retienen suficiente agua fácilmente disponible y presentan un adecuado contenido de aire. Los tamaños usados son:

- < 1mm
- 1 – 5 mm
- 5 – 10 mm
- 10 – 20 mm
- 20 – 50 mm

pH: El pH es un parámetro de la medida de acidez del sustrato. Se le considera un parámetro muy importante ya que cada planta requiere de un rango de pH para crecer. Para determinar el pH en materiales “turposos”, el método estándar es utilizar una muestra de 5 g. de material seco después de humedecerla con 100 ml de agua destilada, o bien el pH se determina en una relación 1: 2 ó 1: 6 (relación muestra : agua) ó en el extracto de saturación.

Conductividad Eléctrica (CE): Se refiere a la concentración de sales ionizadas en solución, también es un parámetro importante para cualquier sustrato. La CE varía según las características de los sustratos. La conductividad eléctrica siempre debe determinarse antes de determinar el pH; debido a que al determinar pH se puede alterar la CE del extracto por el paso de cloruro de potasio de la celda al introducir el electrodo de pH.

Capacidad de amortiguamiento: Medida para amortiguar cualquier cambio brusco en el pH debido a fertilizantes, u otras sustancias que se adicionen al sustrato. Esta capacidad se estima mediante curvas de titulación, las cuales describen la variación del pH al adicionarse un ácido o una base a la muestra.

Capacidad de intercambio de bases. Esta capacidad se mide a un pH de 7 y se expresa como meq/100 g de material; expresa la capacidad de los sustratos para retener cationes que puede ser grande o baja evitando el lavado. Es una determinación importante en materiales tales como, turba, corteza, agrolita, polvo de coco etc. Sin embargo, para materiales inertes esta determinación no es necesaria. Si se van a usar sustratos muy específicos aparte de estas determinaciones pueden requerirse otros análisis químicos. Por ejemplo, el contenido de manganeso en la corteza que se usa como sustrato.

2.4.3. Algunos sustratos de uso común

Turba. De acuerdo con Ansorena (1994), las propiedades físicas de este sustrato son medidas en forma similar a los suelos minerales, pero los métodos desarrollados para los suelos minerales son modificados para facilitar la estandarización de los materiales de turba. El grado de descomposición de este sustrato generalmente está bien relacionado con varias propiedades físicas y químicas de los materiales turbosos. Siendo esta propiedad importante para clasificar y evaluar este material para sus diferentes usos. El grado de descomposición o humificación de la turba se evalúa en términos del contenido de fibra o humus. Los métodos más comunes para evaluar esta propiedad son: el volumen de fibra, la dispersión mecánica, centrifugación, el método colorimétrico y el método del tamizado. La calidad de la turba se ve afectada por las plantas que le dieron origen. Ninguna turba se deriva de un solo tipo de vegetación, sino que contiene una mezcla de residuos vegetales. El análisis botánico debe hacerse a nivel microscópico.

Corteza. Material que cada vez se usa más en horticultura debido a su alta disponibilidad, bajo costo y mayor peso para dar estabilidad al contenedor. Se recomienda para este material un nivel máximo de cloruros de 0.25 % y la concentración máxima de manganeso de 200 ppm.

Residuos municipales. Materiales que se están usando comercialmente, no obstante algunos problemas como su alto contenido de vidrio. Según los estándares belgas se establece que el nivel máximo permitido de vidrio, arena y plástico es de 1 %. Otro gran problema es el contenido de metales pesados que puede causar, por ejemplo deficiencias de hierro o contaminación por plomo.

Lodo de aguas negras. Los graves problemas de contaminación mundial ha ocasionado que se promueva entre los productores el uso de este material orgánico de bajo costo en sus tierras. Sin embargo, el alto contenido de metales pesados de este sustrato puede provocar efectos en las plantas o efectos dañinos para el hombre y los animales.

Los lodos pueden ser crudos o predigestados. Los primeros resultan de la sedimentación primaria y el tratamiento biológico aeróbico. Los segundos se producen por almacenamiento de lodo crudo por más de 2 años o digestados por 30 días a 30 °C. Este tratamiento permite reducir a niveles bajos los agentes patógenos y la relación C/N.

Aserrín. La mayoría de estos materiales son buenos como sustratos, aunque el aserrín de cedro rojo es tóxico para las plantas, lo que lleva a la recomendación de que se debe conocer el origen del aserrín.

Arena. Material que es muy usado como un componente para los sustratos siempre y cuando este libre de contaminantes y de tamaño adecuado. Los sustratos inertes ofrecen al agricultor ventajas como: buena disponibilidad, los nutrientes se pueden suministrar en el agua en función de la necesidad de la planta, ya libres de enfermedades o maleza se pueden volver a usar. No obstante, presentan problemas como: baja capacidad de amortiguamiento por lo que se necesita control de pH y conductividad eléctrica, es necesario determinar calcio, magnesio y sodio, finalmente las características (como contenido de nutriente, drenaje, patógenos etc.) son muy heterogéneas (Wilson, 1983).

Vermiculita. Material de origen micáceo previamente calentado a 1000 – 1100 °C, esterilizado y con una densidad aparente de 100 – 120 kg m⁻³. Su estructura de placa permite retener y liberar grandes cantidades de agua y minerales para el crecimiento de la planta.

Un problema en su uso es el alto nivel de pH, no obstante que puede contener una cantidad apreciable de potasio y magnesio. La vermiculita tiene una buena CIC, lo cual lleva a una resistencia a cambios bruscos de pH. Se puede usar en la construcción y en horticultura y aquí es donde se debe tener cuidado con la calidad de este material. Los tamaños de partícula van de 4 a 1, siendo el número 4 el más fino. Para fines hortícolas ha dado buen resultado los números 2, 3 y 4 (Wilson, 1983).

Perlita. Material que se usa mucho en horticultura. La perlita es una forma de roca

volcánica que se expande a temperatura 1000 – 1100 °C. Se esteriliza y presenta un pH de 7 – 7.5 y una densidad aparente de 100 – 125 kg m⁻³. A diferencia de la vermiculita, la perlita no tiene CIC o capacidad de amortiguamiento. Pero, contiene cantidades apreciables de sodio y aluminio que pueden ser absorbidos por la planta. Se recomiendan niveles de Na₂O menores de 5 %. Este material no se degrada o deteriora excepto por destrucción física, y puede retener agua en su área superficial irregular (Wilson, 1983).

Arcilla expandida. Material granular que resulta de una mezcla de arcillas moldeadas a granos, al calentarse a más de 1100 °C. Debido a los espacios vacíos que quedan al evaporarse el agua durante el calentamiento, el producto llega a ser muy poroso, y por ello puede usarse en horticultura como sustrato. Su densidad es alrededor de 300 – 400 kg m⁻³, no tiene CIC o capacidad de amortiguamiento. Su conductividad eléctrica puede ser muy alta (> 2.8 mS) dado su contenido de sal, por lo que se necesita hacer un lavado de este material antes de usarse como sustrato.

Este sustrato presenta tres tamaños de partícula que van de 0 – 3, 3 – 10 y 10 – 30 mm. Para propósitos hortícolas se recomienda usar el tamaño de 3 – 10 mm (Wilson 1983).

2.4.4. El sustrato como fuente de nutrimentos

Además de ciertas propiedades físicas, las cuales aseguran el anclaje de la planta y el suministro de aire y agua, los sustratos deben proporcionar los minerales que, a través de las raíces, toma la planta (Ansorena, 1994). Por lo regular, los medios de cultivo no son inertes; sino que interactúan con la solución nutritiva, actuando como reserva de nutrimentos a través de la capacidad de intercambio catiónico. Esta última propiedad depende en gran medida del pH del medio.

El pH es uno de los parámetros más importantes en la caracterización de un medio de cultivo, y del valor de pH dependerá: la posible presencia de compuestos de aluminio o manganeso, la asimilación de los nutrimentos minerales, la capacidad de retención de nutrimentos como reserva en el complejo de cambio. También, el pH afecta la solubilidad del fósforo, la cual será mayor cuanto menor sea el valor de pH.

Uno de los problemas nutrimentales más frecuentes en horticultura es la salinidad o exceso de sales disueltas en la solución acuosa del medio de cultivo, lo que puede ser corregido mediante un lavado de las sales en exceso. La salinidad puede ser controlada a través de medición de la conductividad eléctrica.

Los métodos que se emplean para determinar el nivel de fertilidad de los sustratos orgánicos son diferentes de los suelos minerales. Estas diferencias afectan a todas las etapas del análisis, desde la preparación de la mezcla hasta la preparación de los resultados, pasando por las soluciones utilizadas para extraer los nutrimentos disponibles. Normalmente, el extractante que se usa para sustratos orgánicos es el agua, la cual extrae la mayor parte de los nutrimentos disponibles. La variación entre estos métodos es la relación de volúmenes de sustrato a extractante. En el método de extracto por saturación, se prepara una pasta saturada de agua con el sustrato, simulando la saturación en las condiciones de cultivo a capacidad de contenedor y se determinan las concentraciones de nutrimentos en la solución acuosa que resulta tras una filtración.

Ya que los resultados de los análisis químicos de pH, conductividad y nutrimentos disponibles dependen mucho del método utilizado, es muy importante conocer dicha técnica para así interpretar correctamente un análisis porque frecuentemente en la práctica las etiquetas de los sustratos no indican el método de extracción empleado, lo que lleva a la nulidad de un análisis e incluso se induce al error.

Lo anterior, ha llevado a una serie de recomendaciones que dependerán del sustrato empleado. Por ejemplo, el programa de nutrición para plantas cultivadas en turba incluye; encalado y una aplicación total de macro y micronutrientes a la turba antes de llenarse los contenedores, seguido de aplicaciones posteriores de soluciones de potasio y nitrógeno por medio de riego. También, se incluyen en el agua de riego otros nutrimentos cuando se requiera (FAO, 1990). El aserrín también es prefertilizado de esta forma y regado con soluciones con 126 – 210 mg de N/L y 208 mg de K/L. No obstante, a veces la mayoría de los nutrimentos son suministrados en solución (FAO, 1990).

No obstante que la turba, corteza de árbol composteada y la vermiculita tienen la capacidad de retener nutrientes, lo hacen con menos fuerza que los suelos minerales. Se ha observado que la presencia de vermiculita en el medio reduce el K^+ y NH_4^+ extractable con agua. Por otra parte, el N extractable con agua disminuye a 30% después de 12 semanas de composteo debido a la inmovilización, pero incrementa a más de 100% después de 6 meses de composteo.

En Estados Unidos, la mezcla más común es conocida como "peatlite", la cual se hace a base de turba y vermiculita en una proporción 1:1. La vermiculita suministra cantidades significativas de potasio y magnesio disponibles para las plantas. La turba y la perlita se agregan bastante bien, pero no aportan nutrientes. La tendencia actual es hacia una fórmula básica de materiales usados como sustratos a los que se adiciona una solución nutritiva (N, P, K) más una mezcla completa de micronutrientes.

2.4.5. Criterios para la selección de una mezcla de materiales como medio de cultivo

Existe una gran variedad de materiales, los cuales pueden ser usados como medios (sustratos) para el cultivo de plantas. Sin embargo, hay varios factores que influyen en la elección de un medio de cultivo en horticultura. Además de los requerimientos propios de la especie a cultivar, también tienen una gran importancia estos parámetros: la disponibilidad, la pureza química, la estabilidad biológica, costo y homogeneidad de la calidad a largo plazo. El bienestar de la planta dependerá en gran medida del bienestar de las raíces (Olli, 1993).

Según Vic Ball (1991), el uso de una correcta mezcla de materiales, es muy importante para tener éxito en el cultivo de plantas. Una mezcla de materiales debe cumplir con las siguientes propiedades las cuales pueden llegar a ser muy importantes para la planta (Olli, 1993):

- a) Favorecer el intercambio de agua y aire
- b) Actuar como una reserva de nutrientes
- c) Servir de soporte para la planta

- d) Debe ser reproducible
- e) Tener una fácil disponibilidad
- f) Con calidad homogénea, para que las plantas tengan un desarrollo similar
- g) Una estructura permanente, con baja tasa de compactación para favorecer períodos largos de cultivo y crecimiento en un volumen restringido de sustrato.
- h) Buena mojabilidad aún después del secado completo del sustrato en el contenedor
- i) Adecuada retención de nutrimentos y agua. Las plantas deben sobrevivir durante el trasplante y comercialización
- j) Fácil de manejar

Finalmente, aún cuando el factor vital es la planta; cada productor debe hacer la elección de su propio medio de cultivo dependiendo de las circunstancias, técnicas de cultivo y equipo (Olli, 1993).

III OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1 Objetivos

- a) Determinar la calidad física, química y biológica de la composta obtenida a partir del lirio acuático
- b) Evaluar el desarrollo de plántulas para trasplante producidas en sustratos en los cuales esta presente como un componente de la mezcla el lirio acuático.
- c) Determinar la proporción de composta de lirio acuático que debe mezclarse con otros materiales, para elaborar un sustrato que favorezca el mejor desarrollo de las plantas.

3.2 Hipótesis

- a) Si el material de lirio acuático se le somete a un proceso de composteo controlado, entonces podría obtenerse una composta con calidad agronómica.
- b) Si la composta obtenida favorece el crecimiento y desarrollo de las plántulas de jitomate, entonces esto se considerara como un indicador de la calidad de la composta.
- c) Si la composta de lirio acuático no presenta buena calidad como sustrato en estado puro, entonces podría llegar a constituir la fracción orgánica principal en una mezcla.

IV MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Ubicación del experimento

El proceso de composteo de lirio acuático y su evaluación como sustrato para plántulas de jitomate (*Lycopersicon esculentum Mill*) y coliflor (*Brassica oleracea L.*) se llevó a cabo en el área de invernaderos del Departamento de Suelos de la UACH. El lirio acuático para el proceso de composteo se colectó en el Lago de Zumpango, Estado de México. El trabajo se llevó a cabo en el periodo 1999 – 2000.

Los análisis físicos, químicos y biológicos se llevaron a cabo en los laboratorios del Departamento de Suelos de la UACH.

4.2. Proceso de Composteo

El proceso completo de composteo se llevó a cabo siguiendo la metodología de elaboración de compostas propuesta por Dalzell *et al*, (1987) y Pereira (1993). El cual al aplicarse a nuestro trabajo consistió en las siguientes fases:

- a) Colecta del material a compostear (lirio acuático) en la zona del lago de Zumpango Edo. México. También, se colectó el estiércol que se le adicionaría al lirio para facilitar el composteo.
- b) El lirio acuático fue sometido a un proceso de “picado” con machete para obtener pequeños trozos de lirio de unos 4 centímetros de largo para un mejor proceso de composteo y de manejo.
- c) Preparación de la base para la pila de composta de lirio acuático.
- d) Preparación de una pila con dimensiones de 1.2 x 1.5 x 0.8 m, ancho, largo y altura, respectivamente, para el proceso de composteo del lirio acuático.

4.3. Tratamiento de Composteo

Utilizando al lirio acuático como material principal y estiércol en menor proporción se preparó la pila de composteo de acuerdo al cuadro 5:

Cuadro 5. Proceso de composteo a que se sometió el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

Tratamiento	Descripción	Cantidad de material
Composteo de Lirio acuático	lirio + estiércol	lirio acuático: 1066 litros estiércol: 133 litros

Nota: se uso una proporción de 9:1 de lirio y estiércol respectivamente con base a volumen.

Durante el proceso de composteo se tomaron lecturas de temperatura del interior de la pila cada tercer día, al mismo tiempo se hicieron “chequeos” visuales y ajustes de humedad en la pila de composta. Para proporcionar aireación, la pila de composta se volteo cada 8 días después de la instalación.

4.4. Caracterización del producto obtenido

Las variables químicas: pH, sales solubles, nitratos, fósforo, potasio, calcio, magnesio, sodio y cloruros fueron determinados en el extracto de saturación (Warncke, 1990), y para determinar Fe, Cu, Zn, y Mn la extracción se realizó con DTPA (Berghage, *et al.*, 1987).

La cuantificación de las distintas variables en los extractos obtenidos, se llevó a cabo siguiendo los procedimientos usados para muestras de suelo que se han estandarizado en los laboratorios del Departamento de Suelos. Para medir pH se utilizó el método del potenciómetro. La conductividad eléctrica se determinó con el conductímetro Jenway (Benton *et al.*, 1980, y Warncke, 1990). Para determinar N total y N inorgánico se uso el método microkjeldahl. Para cuantificar fósforo se uso el método de colorimetría, K y Na se cuantificaron por espectrometría de emisión de flama, y los elementos Ca, Mg, Fe, Zn, Cu y Mn se midieron por medio del espectrofotómetro de absorción atómica (Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C., 1997)

4.5. Pruebas de invernadero (producción de las plántulas)

Diseño de tratamientos.- Para probar la calidad de la composta en la producción de plántulas se utilizaron mezclas de sustratos para el desarrollo de las plantas. Los sustratos usados para las mezclas fueron: turba, polvo de coco y agrolita. En el Cuadro 6 se muestra las proporciones en que estos sustratos fueron combinados. Como “testigo” se usó

tratamiento compuesto de 100% de turba. Las especies vegetales que se cultivaron fueron: jitomate de la variedad Flora dade y coliflor de la variedad Snowflower.

Cuadro 6. Tratamientos de medios de cultivo utilizados en la producción de plántulas de jitomate y coliflor.

Tratamiento	Composta (%)	Polvo de coco (%)	Turba (%)	Agrolita (%)
1	100	0	0	0
2	75	25	0	0
3	75	0	25	0
4	75	0	0	25
5	50	25	25	0
6	50	25	0	25
7	50	0	25	25
8	25	25	25	25
9	25	50	25	0
10	25	50	0	25
11	25	25	50	0
12	25	0	50	25
13	0	100	0	0
14	0	0	100	0

Nota: Las proporciones (%) de cada material fueron con base a volumen.

4.6. Diseño Experimental

Para evaluar la composta en la producción de plántulas, se llevo a cabo dos experimentos uno para jitomate y otro para la planta de coliflor; los tratamientos (Figura 2 y 3) se distribuyeron completamente al azar (DCA), con cuatro repeticiones. La Figura 2 y 3 muestra las distribución completamente al azar de tratamientos y repeticiones para las especies de plantas utilizadas.

T7a	T1d	T6a	T9d	T5b		T5d	T4d	T8d	T10b	T9b		T6c	T14b	T8a	T3b	T7c
T2a	T12b	T1a	T3d	T1c		T10a	T6d	T13a	T8c	T12c		T4c	T12a	T11b	T2b	T10c
T11a	T13c	T12d	T5c	T14d		T4a	T11c	T3a	T1b	T13d		T9c		T2c		T9a
T13b	T10d	T2b	T6b	T4b		T7b	T14c	T7d	T11d	T14a		T8b		T5a		T3c

T= tratamiento 1, 2, 3,.....14= número de tratamiento a, b, c, d = repetición de tratamientos

Figura 2. Distribución de tratamientos completamente al azar (DCA) para jitomate en el área experimental (bancales en invernadero)

T1b	T6b	T9c	T13b	T3b		T5d	T12b	T12d	T7a	T4a		T14a	T12a	T2b	T8d	T11c
T4d	T6d	T12c	T10a	T6a		T11a	T6c	T2a	T1a	T10d		T13c	T4b	T11b	T1c	T5b
T11d	T3c	T7b	T9a	T8b		T8a	T3a	T8c	T5a	T13d		T9d		T13a		T2c
T14d	T3d	T2d	T5c	T14b		T10c	T4c	T9b	T7d	T14c		T7c		T10b		T1d

T= tratamiento 1, 2, 3,.....14= número de tratamiento a, b, c, d = repetición de tratamientos

Figura 3. Distribución de tratamientos completamente al azar (DCA) para coliflor en el área experimental (bancales del invernadero)

4.7. Procedimiento para instalar las pruebas de invernadero

En el invernadero se ocuparon dos “bancales”; uno para el experimento de jitomate y otro para el de coliflor. Se usaron 6 charolas germinadoras (200 cavidades) para cada experimento en su respectivo bancal, cada charola a su vez se dividió en diez unidades experimentales cada una con 16 cavidades donde cada unidad experimental correspondió a una repetición de tratamiento.

Los cálculos se hicieron con base a volumen, como son 14 tratamientos y se repiten 4 veces serían 56 unidades experimentales para jitomate y coliflor, respectivamente. Luego, al calcular el volumen de una “celdilla” se encontró que se necesitaban 15 ml por celdilla que al multiplicarse por las 16 celdillas de cada repetición dan una cantidad de 240 ml que a su vez se multiplican por las 4 repeticiones dio una cantidad de 960 ml. Ya preparadas las cantidades de mezclas para ambos experimentos se “llenaron” las charolas y se procedió a humedecer los sustratos a un nivel de capacidad de contenedor. Un día antes de sembrar los sustratos se fumigaron con “Bavistin” para prevenir posibles problemas de pudrición de las plantas.

En cada una de las celdillas de la unidad experimental se sembraron dos semillas. Después de la siembra se dio un riego quedando con una humedad aproximadamente a capacidad de contenedor. Posteriormente, se llevó a cabo el “aclareo” el criterio fue dejar la planta que se viese más sana y fuerte quedando así una sola planta por celda.

4.8. Variables de respuesta evaluadas

Se evaluaron las siguientes variables:

- a) Porcentaje de emergencia. Evaluada al momento del llevar a cabo el “aclareo”
- b) Porcentaje de plantas logradas al tiempo de transplante (PLTT). Se tomó en cuenta las plantas logradas después de 40 días de la siembra.
- c) Altura de las plantas
- d) Producción de materia seca

Tomando al azar 6 plantas para jitomate y 5 para coliflor de cada repetición se obtuvo el valor de las dos últimas variables (altura de planta y peso seco).

4.9. Análisis de datos

Los datos que se obtuvieron a lo largo del experimento se analizaron mediante el programa estadístico de computación SAS (Statistical Analysis System) aplicándose un análisis de varianza y la prueba de comparación de medias (Tukey, 0.05).

V. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados se presentan en función del orden en que se desarrolló el trabajo; es decir, primero se presenta la información que se recabó durante el proceso de composteo, después los resultados de la caracterización de la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) y finalmente, se presentan los resultados de las pruebas de invernadero (producción de plántulas).

5.1 Proceso de composteo

En este trabajo, el seguimiento que se dio a la pila de composteo consistió en: el monitoreo de contenido de humedad, temperatura y ventilación. No obstante que se trabajó con un material fresco con alto contenido de humedad, no se tuvieron problemas de exceso de humedad ni de altas temperaturas. Para ello, se realizaron volteos periódicos cada 8 días sin que se detectara la presencia de malos olores, característicos de la falta de oxigenación. Lo anterior concuerda con la literatura que dice que la temperatura es un indicador muy importante para el composteo de un material así como el contenido de humedad y la ventilación (Ansorena, 1994).

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la temperatura durante el proceso de composteo del lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la pila durante 82 días. Se puede observar que la temperatura alcanza un valor máximo de 39 °C a los 5 días que se instaló la pila. Se observa también, que a partir de los siete días (semana 1) la temperatura baja de manera drástica y presenta valores entre 20 °C y 25 °C hasta la semana 6 en que desciende hasta los 15 °C. Finalmente, a partir de la octava semana, la temperatura empieza a ascender hasta alcanzar los 27 °C y posteriormente en la última semana disminuye hasta los 20 °C.

Este comportamiento de la temperatura durante el proceso de composteo, que podemos llamarle irregular, pudo deberse a que la pila de composteo se vio afectada por las fluctuaciones de la temperatura ambiental.

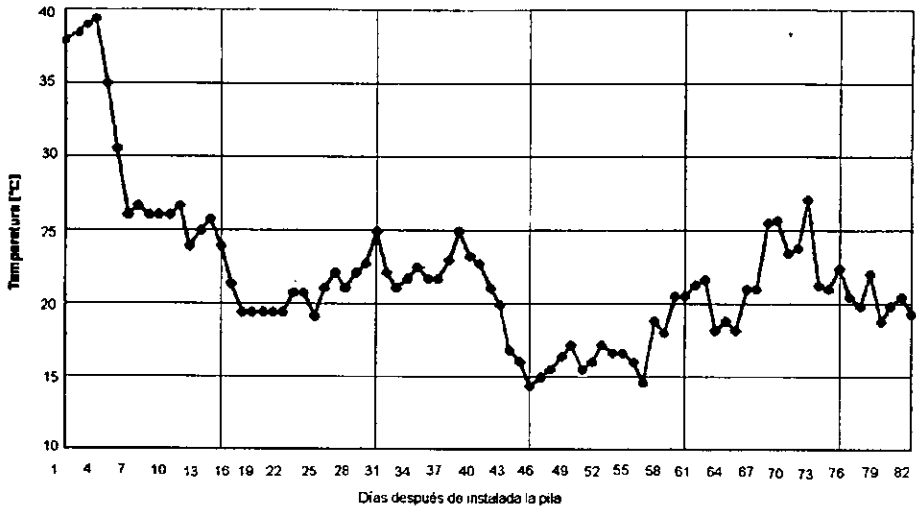


Figura 4. Comportamiento de la temperatura en la pila de composta de lirio acuático.

Respecto a lo anterior, Willson (1983) menciona que conforme se desarrolla el proceso de composteo, la actividad microbiana se incrementa y por ende la temperatura aumenta rápidamente de un rango mesofílico a un rango termofílico. Esta transición sucede a los 40 °C . De hecho, en un proceso de composteo la descomposición de los materiales orgánicos es más rápida en la etapa termofílica, en la cual las temperaturas fluctúan entre los 60 °C – 70 °C . Por esta razón y de acuerdo al mismo autor, la temperatura en una composta es el indicador primario de la eficiencia del proceso de descomposición. La relación tiempo – temperatura proporciona un índice confiable de la probable magnitud de la destrucción de patógenos. Por ejemplo, una temperatura de 55 °C en la pila durante tres días podría asegurar la total destrucción de los patógenos.

En el presente trabajo, se deben considerar las variables del medio ambiente, debido a que la pila de composta se instaló en el mes de noviembre y el periodo de composteo coincidió con el periodo de heladas en la región. Por esta razón, en la Figura 4 se observan marcados descensos en la temperatura, y ello pudo contribuir a que no se alcanzara la temperatura óptima para el composteo (rango termofílico con temperaturas superiores a los

40 °C). Esta condición pudo haber afectado en mayor grado a la eficiencia del proceso de composteo del lirio acuático debido a que ciertas poblaciones de microorganismos como los ascomicetos requieren de una temperatura dentro del rango termofílico para actuar eficientemente (Pinto, 1995. Pereira, 1992). Además, se dice que una alta temperatura favorece el proceso de mineralización y una temperatura baja favorece la humificación.

De acuerdo a Schmilewski (1991), la evaluación del grado de humificación puede verse a través de la capacidad de autocalentamiento de la composta durante y después del proceso de composteo. En nuestro caso, si se observan las temperaturas de las últimas semanas del proceso de composteo (etapa de maduración), la composta se clasificaría como de grado V (20 – 30 °C) que correspondería a una composta madura y aplicable, siempre y cuando se haya tenido un proceso normal de composteo y hayan tenido lugar las etapas mesofílica y termofílica que en este caso la segunda no se llevo a cabo, lo que implicaría cierto riesgo en su uso con relación al desarrollo de patógenos. No obstante lo anterior, se puede considerar que la eficiencia del proceso de descomposición se llevó a cabo de manera aceptable, ya que al final del proceso se generó un material negro, friable, esponjoso, con olor agradable como se describe en la bibliografía (Bertoldi *et al.*, 1985. Nappi *et al.* 1992).

5.2 Caracterización de la composta

Los resultados de la caracterización química de la composta de lirio acuático se muestran en el Cuadro 7. Los valores de cada parámetro fueron medidos de acuerdo a los criterios establecidos por Ansorena (1994) y Lindsay y Martens (1990).

Cuadro 7. Resultados del análisis químico en el extracto de saturación de la composta y de una muestra de agua del lago donde se recolecto el lirio acuático (*Eichhornia crassipes*).

Parámetro	Material	Valor	Clasificación
pH	composta	8.15	arriba del óptimo
	agua	8.78	arriba del óptimo
CE (ds/m)	composta	41.55	muy arriba del óptimo
	agua	0.38	Bajo
Ntotal (%)	composta agua	1.12	Bueno
N - NO3 (mgL ⁻¹)	composta	107	dentro del óptimo
	agua		
N - NH4 (mgL ⁻¹)	composta	61	arriba del óptimo
	agua		
P (mgL ⁻¹)	composta	0.05	Bajo
	agua		
Ca (mgL ⁻¹)	composta	363.11	arriba del óptimo
	agua	11.82	
Mg (mgL ⁻¹)	composta	273.07	arriba del óptimo
	agua	4.26	
Na (mgL ⁻¹)	composta	31.19	
	agua	88.78	
K (mgL ⁻¹)	composta	9933.3	muy arriba del óptimo
	agua	9.77	
Fe (mgL ⁻¹)	composta	39.84	arriba del nivel crítico
	agua		
Cu (mgL ⁻¹)	composta	2.44	arriba del nivel crítico
	agua		
Zn (mgL ⁻¹)	composta	45.12	arriba del nivel crítico
	agua		
Mn (mgL ⁻¹)	composta	101.16	arriba del nivel crítico
	agua		
Cl (mgL ⁻¹)	composta	1754.92	arriba del óptimo
	agua	35.45	
SO4 (mgL ⁻¹)	composta	16893.94	arriba del óptimo
	agua	25.94	
C - org. (%)	composta agua	15.32	
HCO ₃ ⁻ (meqL)	composta		
	agua	3.2	
RAS	composta	0.3	
	agua	5.63	
Relación C/N	composta agua	13.98	Adecuado

Niveles críticos: Fe (4.8 mg/kg), Cu (0.53 mg/kg), Mn (0.22 mg/kg), Zn (0.8 mg/kg)
 Rangos óptimos : pH (5.2 - 6.3), Ca > 200, Mg > 70, N - NO₃ - (100 - 199), N - NH₄ (0 - 20), P (6 - 10), K (150 - 249) a extracto de saturación (mgL⁻¹)

NOTA: Los análisis de macronutrientes y determinaciones de pH y CE se hicieron usando el método de extracto de saturación y los datos se reportan con base a peso/volumen (mg/litro de extracto) (Ansorena 1994). Mientras que los análisis de Fe, Cu, Zn y Mn se hicieron siguiendo el método modificado del extracto de saturación, usando DTPA como extractante y los datos se reportan con base a peso/volumen (mg/litro de material) Lindsay y Martens (1990).

Como se puede observar, los resultados del análisis químicos de la composta muestran que las concentraciones de nutrientes (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn) donde N, P, K, Ca, Mg y S se determinaron por el método de extracto de saturación y Fe, Cu, Zn y Mn por el métodos modificado del extracto de saturación usando DTPA como extractante, se encuentran por arriba de los niveles críticos reportados en la literatura de análisis de sustratos (Ansorena, 1994; Bunt, 1986; Bures, 1997). Cuando se comparan los valores del Cuadro 7 con los del Cuadro 8, se observa que la turba supera en contenido de fósforo y sodio a la composta de lirio acuático y que los valores de $N - NH_4^+$ están por arriba del óptimo en la composta de lirio acuático. Sin embargo, en valores de contenido de los demás elementos están en un rango similar; la composta supera en mucho a la turba, presentando incluso, valores bastante altos de sulfato, potasio y cloruros. Por otro lado, se observa que los valores de CE de la composta son muy altos lo que era de esperarse dada la elevada concentración de elementos en solución; situación que podría afectar sensiblemente la germinación y restringir el uso de este material en la producción de plántulas o como componente en de un medio de cultivo. En lo que se refiere al nivel de salinidad, el cual se debe a la acumulación de sales durante el proceso de composteo (aún habiéndose alcanzado un grado aceptable de maduración) se recomienda un ligero lavado de la composta (Morel, 1985) para disminuir posibles efectos adversos en las plantas. A pesar de la alta concentración de sales los valores bajos de Relación de Adsorción de Sodio (RAS) y de porcentaje de sodio intercambiable (PSI) en la composta se pueden explicar por la alta proporción de Ca y Mg respecto a Na, lo cual disminuye el riesgo de toxicidad por sodio y/o efectos negativos en las propiedades físicas del medio de crecimiento (Ayers y Wescot, 1987).

El valor de la relación C/N es muy importante en el composteo, porque refleja el estado de degradación y humificación de la composta. En este caso, el valor es alrededor de 13, y de acuerdo a Pereira (1992) muestra un estado avanzado de humificación. Lo anterior descartaría la sospecha de un proceso incompleto de composteo dadas las temperaturas relativamente bajas monitoreadas durante el composteo del lirio acuático. Lo que no significa que la etapa termofílica no sea necesaria para lograr una buena descomposición de residuos y formación de composta libre de patógenos (autoesterilización).

También se llevó a cabo un análisis químico de una muestra de agua del medio en que crece el lirio acuático que se usó como material para la composta (los valores se muestran también en el Cuadro 7). De acuerdo con Canovas (1990), Ayers y Wescot (1987) los resultados del análisis muestran que el agua puede ser apta para el riego dado su valor de conductividad eléctrica y niveles no cuantificables de elementos tóxicos (As, Hg, Pb, Cr, Ni y B). Sin embargo, por el pH, el contenido de bicarbonatos (HCO_3^-) y el valor de la relación de adsorción de sodio; el uso de esta agua representaría un riesgo moderado de alcalinización.

Para interpretar los resultados del análisis de micronutrientes, se hizo la suposición de que el contenido de nutrientes en un litro de composta es comparable al contenido correspondiente en un litro de suelo. Esta suposición se hace bajo la consideración propuesta por Warncke (1990) en el sentido de que la expresión de los valores de los diferentes parámetros en base a peso de sustrato conlleva a una sobreestimación de dichos valores debido a las densidades aparentes que son muy inferiores a los de suelo; además de que los cálculos de sustrato en el cultivo de plantas en contenedores (macetas, charolas etc.) son hechos con base a volumen (litro del medio de cultivo) considerando solo el espacio de exploración radical.

Cuadro 8. Valores correspondientes a la caracterización química de una muestra de turba.

Parámetro	pH	CE uS/cm	Na mg/l	K mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	N-NH ₄ mg/l	N-NO ₃ mg/l	PO ₄ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l
Valor	6.5	3.63	40	119	204	24	54	78	19	73	15

Valores expresados en mg por litro de extracto

Al considerar que los medios de cultivo artificiales poseen una densidad aparente de 0.2 a 0.8 g/cm³ y que la CIC de estos se expresa con base a peso, entonces los valores de estos sustratos serán bastantes altos con respecto a los suelos minerales. Mientras que al expresar la CIC con base a volumen, los valores son comparables. Ya que muchos métodos de análisis especifican una relación muestra/solución dada, entonces la determinación con base a peso o con base a volumen afectará los resultados y por consiguiente la interpretación. Considérense los medios A y B. El medio A tiene una densidad de 0.4 g/cm³ y el medio B tiene una densidad 0.8 g/cm³. Si se mezclan 10 mM de nitrato ($\text{N} - \text{NO}_3^-$) a

un litro de cada medio y se hace una extracción con base a volumen / volumen con una relación muestra – solución de 1 : 5, el extracto de cada muestra contendrá 2 mM N – NO₃⁻ L⁻¹. Pero, con base a volumen/peso con una relación de 1:5, el extracto del medio A contendrá 5 mM N – NO₃⁻ L⁻¹, mientras que el extracto del medio B contendrá 2.5 mM N – NO₃⁻ L⁻¹. Por ello, las muestras medidas con base a peso necesitaran una conversión de los resultados a unidades de volumen u otros criterios de interpretación en función de la densidad del material. Al considerar estos factores, las mediciones y análisis de los medios de cultivo deben llevarse a cabo en base a volumen (Mehlich, 1972; 1973; citado por Warncke, 1990).

5.3 Pruebas de invernadero

De los experimentos llevados a cabo en el invernadero se presentan en los Cuadros 9 y 10 las pruebas de comparación de medias de las dos series de tratamientos evaluadas en jitomate y coliflor. Se presentan los valores promedio de las variables evaluadas en cada tratamiento. De esta manera, la discusión se da en dos apartados los cuales corresponden a la misma composta, pero evaluada con dos especies de cultivo (jitomate y coliflor). También, se presentan las Figuras 5, 6, 7 y 8 en las que se muestra el efecto de la composta de lirio acuático como componente del medio de cultivo sobre las variables evaluadas en cada cultivo.

5.3.1 Efecto de la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la producción de plántulas de coliflor

En la Figura 5 y 6 se puede observar que la composta de lirio acuático, si se aplica en dosis de 50, 75 y 100%, muestra un efecto negativo sobre el porcentaje de emergencia y sobre el porcentaje de plantas logradas al tiempo de transplante en coliflor. Al analizar los valores del Cuadro 6 se observa que en los tratamientos 8 a 12 que contienen un 25% de la composta se obtuvo un buen porcentaje de emergencia y de ellos el tratamiento 9 tuvo el mejor porcentaje de emergencia. Para las variables % emergencia y % plantas logradas al tiempo de transplante, los valores presentados en el Cuadro 9 deberían ser muy similares; las diferencias observadas se explican debido a que después de evaluarse el % emergencia

(15 días después de la siembra) hubo semillas que germinaron y algunas plantas murieron antes del tiempo de trasplante (días después de la siembra). Esto puede verse en las Figuras 5 y 6 donde la curva de porcentaje de emergencia no coincide con la de porcentaje de plantas logradas al tiempo de trasplante. Del Cuadro 9 puede verse que en unos casos (tratamientos 2, 3, 4, y 6 principalmente) hubo mayor retraso en la emergencia de las plántulas. El retraso en la emergencia puede deberse al efecto salino de la composta . Este efecto también se manifestó en las variables peso seco y altura; en la altura sólo tres tratamientos (6, 11 y 12) se ubican en el grupo del tratamiento testigo (turba). Respecto al grado de formación de cepellón, en este trabajo se evaluó visualmente, observándose que la composta de lirio acuático, cuando se mezcló con los otros materiales en cantidades de 25 % a 75%, favorece una buena formación de cepellón (Figura 7). Del análisis del Cuadro 9 se desprende que las variables peso seco (PS) y altura de planta (ALT) fueron más sensibles al efecto de la composta y por eso se observan diferencias más notables con el testigo, ello confirma la eficiencia de la turba como medio de cultivo.

Cuadro 9. Desarrollo de plántulas de coliflor en diferentes sustratos con base en composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), polvo de coco, agrolita y turba en diferentes proporciones.

Tratamiento	% EMERG.	% PLTT	ALT (cm)	PS (g/planta)
1	0.00 C	0.00 F	0.000 F	0.000 G
2	21.87 BC	42.19 BCDEF	2.3750 EF	0.900 EFG
3	10.936 C	15.63 EF	2.150 EF	0.0675 G
4	32.806BC	37.50 CDEF	3.250 DE	0.0675 G
5	62.49 BA	67.19 ABCD	6.285 ABCD	0.2300 BCDE
6	37.496 BC	31.25 DEF	3.450 DE	0.0700 FG
7	60.93 BA	64.06 ABCDE	5.955 BCD	0.210 CDEF
8	87.496 A	82.81 ABC	6.125 BCD	0.27250 BCD
9	93.74 A	90.63 BA	7.725 AB	0.3525 B
10	82.806 A	79.69 ABCD	5.5750 BCD	0.2325 BCD
11	82.81 A	71.88 ABCD	6.5250 ABC	0.290 BC
12	90.62 A	87.50 AB	6.7250 ABC	0.2975 BC
13	89.06 ^a	87.50 AB	4.200 CDE	0.1375 DEFG
14	96.87 A	95.31 A	9.200 A	0.5725 A
C. V.	29.4404	32.1816	24.3889	27.2398
DMS	22.472	49.314	3.0463	0.1414

Estadísticamente los valores con las mismas letras pertenecen al mismo grupo, y los valores más altos pertenecen al grupo A.

C.V. Es el coeficiente de variación que se obtiene del análisis de varianza en el programa SAS (Statistical Analysis System).

DMS: Diferencia mínima significativa que se obtiene de comparar las medias por el método de Tukey en el programa SAS.

% EMERG: Porcentaje de emergencia (15 días después de la siembra)

% PLTT: Porcentaje de plantas logradas al tiempo de trasplante (40 días después de la siembra)

PS: Producción de materia seca al tiempo de trasplante (g / planta) (promedio de 3 plantas por repetición, elegidas al azar)

ALT: Altura de planta (cm) (promedio de 5 plantas por repetición, elegidas al azar)

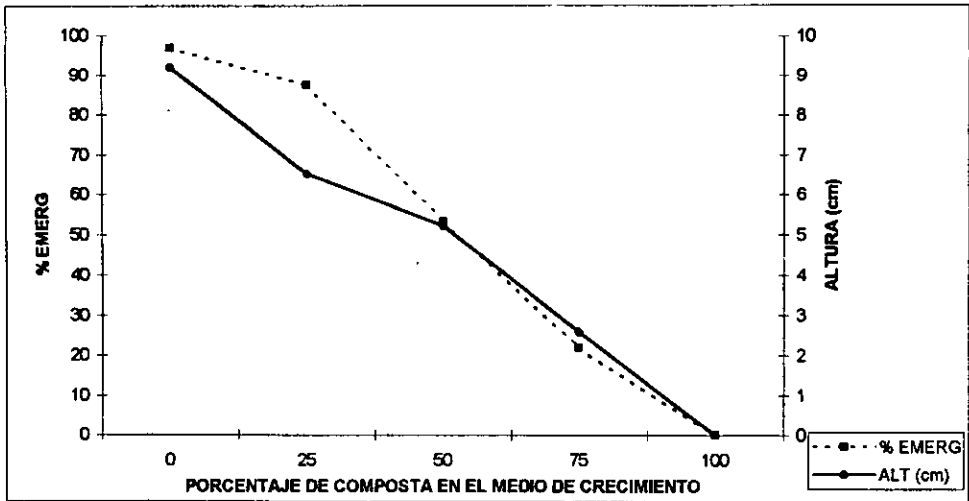


Figura 5. Efecto de diferentes porcentajes de composta en la mezcla del sustrato sobre el porcentaje de emergencia (EMERG) y altura (ALT) en plántulas de coliflor.

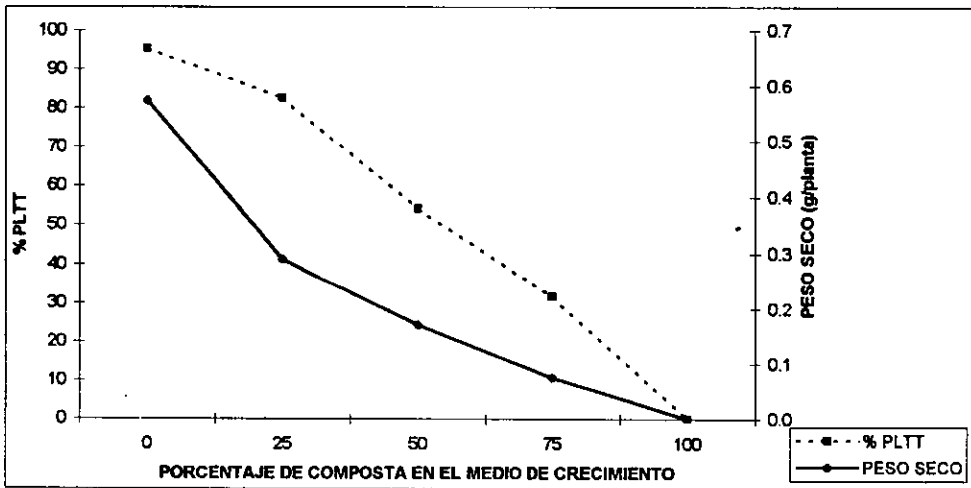


Figura 6. Efecto de diferentes porcentajes de composta en la mezcla del sustrato sobre el porcentaje de plantas logradas al tiempo de trasplante (PLTT) y peso seco (PS) en plántulas de coliflor.

5.3.2 Efecto de la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) en la producción de plántulas de jitomate

Al analizar cuadro 10, se observa que en general, en el experimento con jitomate los resultados obtenidos muestran una menor variabilidad que los obtenidos para coliflor.

Como puede observarse en los datos del Cuadro 10 y en las Figuras 8 y 9, la plántula de jitomate parecería ser más tolerante el efecto negativo de la composta de lirio acuático. Otra vez se puede ver que el porcentaje de emergencia y el porcentaje de plantas logradas al tiempo de transplante no coinciden y ello se debe a que hubo plántulas que emergieron después que se midió la variable porcentaje de emergencia (15 días después de la siembra). No obstante, tanto los valores en el Cuadro 10 como las curvas de cada parámetro (Figuras 8 y 9) tienden a ser más similares que en las plántulas de coliflor. La tolerancia de la planta de jitomate al efecto negativo de la composta de lirio acuático también repercutió de manera positiva en las variables peso seco (PS) y altura (ALT) ya que como puede verse en el Cuadro 10 y en las Figuras 8 y 9 los tratamientos 8 a 12, los cuales contienen un 25% de composta fueron los que produjeron las plantas más altas y por ende un mayor valor de peso seco. Al igual que en las plántulas de coliflor la variable grado de formación de cepellón se evaluó de manera visual concluyéndose que los tratamientos con hasta un 75% de composta favorecen una buena formación de cepellón. Finalmente, basándose en los datos del Cuadro 10 y de las Figuras 8 y 9, es posible decir que los tratamientos con composta de lirio acuático hasta en un 50% en el medio de cultivo no serán tan afectados por el efecto negativo de la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*)

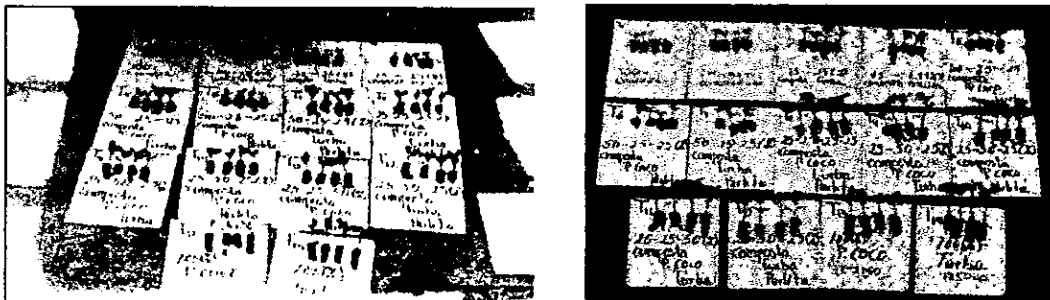


Figura 7. Efecto de la composta sobre la formación de cepellón en plántulas de coliflor y jitomate respectivamente.

Cabe mencionar que los tratamientos testigo (100% turba) confirmaron la calidad de la turba como uno de los mejores medios de cultivo para horticultura, lo que se demuestra por los valores de los parámetros de calidad de las mezclas (tratamientos) y de las plántulas cuando fueron medidos (Cuadro 10).

Cuadro 10. Desarrollo de plántulas de jitomate en diferentes sustratos con base en composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*), polvo de coco, agrolita y turba en diferentes proporciones.

Tratamiento	% EMERG	% PLTT	ALT (cm)	PS (g/planta)
1	0.000 C	6.25 D	0.500 E	0.000 E
2	1.56 C	35.94 C D	2.663 D E	0.0325 D E
3	9.37C	48.44 C	3.460 D E	0.0750 D E
4	15.62 C	54.69 C B	4.565 C D E	0.12250 C D E
5	10.93 C	90.63	4.205 C D E	0.2700 B C D E
6	17.18 C	65.63 C A B	4.185 C D E	0.10750 D E
7	23.5 C	85.94 A B	5.075 B C D	0.2475 B C D E
8	59.37 B	94.44 A	8.645 B A	0.3550 A B C D
9	78.126 A B	100 A	9.693 A	0.4475 A B C
10	82.81 A B	100 A	10.043 A	0.4825 A B
11	85.936 A B	98.44 A	9.558 A	0.4600 B A
12	73.43 A B	100 A	9.033 A B	0.3550 A B C D
13	95.306A	96.88 A	8.135 A B C	0.2700 B C D E
14	100 A	100 A	12.015 A	0.6750 A
C. V.	27.7377	18.5842	24.6834	46.9762
D.M.S	16.268	36.092	4.0688	0.3291

Estadísticamente los valores con las mismas letras pertenecen al mismo grupo, y los valores más altos pertenecen al grupo A.

C. V. Es el coeficiente de variación que se obtiene del análisis de varianza en el programa SAS (Statistical Analysis System).

DMS: Diferencia mínima significativa que se obtiene al comparar las medias por el método Tukey en el programa SAS.

%EMERG: Porcentaje de emergencia (15 días después de la siembra)

% PLTT: Porcentaje de plantas logradas al tiempo de trasplante (40 días después de la siembra)

PS: Producción de materia seca al tiempo de trasplante (g / planta) (promedio de 6 plantas por repetición, elegidas al azar)

ALT: Altura de planta (cm) (promedio de 6 plantas por repetición, elegidas al azar)

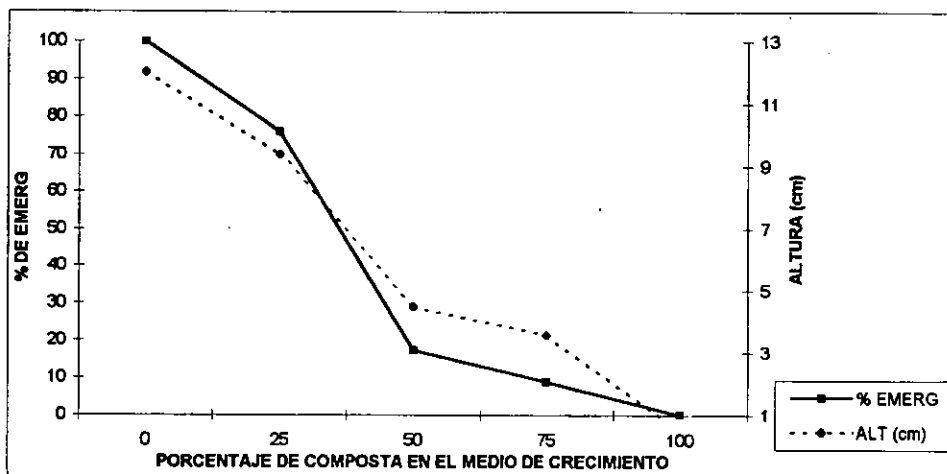


Figura 8. Efecto de diferentes porcentajes de composta en la mezcla del sustrato sobre el porcentaje de emergencia (EMERG) y altura (ALT) en plántulas de jitomate.

Los resultados anteriores concuerdan con la literatura que dice que no se recomienda usar una composta en estado puro y que es mejor buscar una mezcla idónea para cultivar (Wilson, 1979). Otro factor importante cuando una composta forma parte de una mezcla es la estabilidad de esta. Aunque no se pudo demostrar la presencia de sustancias tóxicas en este experimento, el efecto negativo que se observó a los niveles altos de composta en la mezcla (> 50%) se puede atribuir principalmente al daño por sales donde pudo estar involucrado tanto la disminución de potenciales hídricos (con la consecuente disminución en la disponibilidad de agua), como el efecto de toxicidad de algunos iones; por ejemplo cloruros que son altamente tóxicos los cuales estaban en altas concentración (Cuadro 7).

Los resultados obtenidos concuerdan con diversos experimentos donde se han utilizado mezclas que contienen dosis intermedias de 25% y 50% de alguna composta (Nappi y Barberia, 1993), situación que concuerda con lo observado en este experimento.

En este trabajo, la importancia de la capacidad de agregación se evaluó a través del grado de formación de cepellón (se hizo solo de manera visual) y demuestra el hecho de que una mezcla de materiales con buena capacidad de agregación servirá de soporte a una buena planta; por otro lado, si el medio de cultivo esta pobremente estructurado o demasiado ligero, la planta no tendrá un soporte adecuado y se necesitarán cuidados adicionales para sostener a la planta. Lo anterior implicaría labores adicionales lo que vendría a incrementar los costos de producción, al mismo tiempo la planta tendría una vida muy reducida. Por ejemplo, cuando las plantas sean transportadas, al llegar al destino el sustrato estará suelto y las plantas maltratadas (Olli, 1993), situación que viene a ser muy importante para las hortalizas de transplante como la coliflor y el jitomate.

En lo referente a los efectos dañinos ligados a la fitotoxicidad, las compostas inmaduras son obviamente menos efectivas y su efecto a menudo puede ser contradictorio; por lo que éstas no deben ser consideradas un sustituto adecuado o como componente orgánico e inorgánico de medios de cultivo para la siembra de plantas. Los materiales que se compostean son seguros siempre y cuando estén bien humificados y no contengan

metales pesados en niveles tóxicos. Incluirlos como componentes de un medio de cultivo como fuente de materia orgánica beneficia a la planta y contribuye a la reducción de fertilizantes. En este aspecto, la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) aunque su proceso de composteo no incluyó la fase termofílica y a juzgar por la relación C/N sí hubo una "buena descomposición y humificación", lo anterior se demostró en los resultados de los análisis químicos de la composta. Además, los efectos negativos cuando formó parte importante de la mezcla del sustrato (50, 75 y 100%) fue atribuido a un efecto salino más que a la presencia de compuestos orgánicos fitotóxicos. Esto a juzgar por el crecimiento y desarrollo de las plántulas.

De acuerdo con los resultados se puede decir que la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) aún con sus altos valores de pH y contenido de sales, puede ser incluida como componente de un medio de cultivo con dosis de 25% para la producción de plántulas ya que, tanto en coliflor como en jitomate los tratamientos con esta proporción de composta produjeron buenos resultados en los parámetros medidos (% emergencia, PLTT, ALT, PS). Esto fue demostrado tanto visualmente como estadísticamente. Por otra parte, los resultados indican que de las dos especies probadas el jitomate es más tolerante a los efectos nocivos de la composta de lirio acuático.

También, los resultados indican que un problema que limitaría el uso como sustrato de esta composta de lirio serían los efectos osmóticos que resultan de una alta concentración de sales en la composta. Respecto al contenido de nutrimentos (aunque existe la posibilidad de un nivel tóxico) se puede decir que esta composta tiene una alta capacidad de suministrar nutrimentos con excepción del fósforo el cual presentó un valor bajo. De acuerdo con Morel (1985) para disminuir posibles efectos nocivos de una composta, un lavado previo a la elaboración de la mezcla, podría ayudar a que esta tipo de materiales pudieran ser usados en mayor proporción en medios de cultivo.

VI. CONCLUSIONES

1. Con base en los análisis de laboratorio y pruebas de invernadero, la composta de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) presentó baja calidad agronómica, lo que conlleva a rechazar la hipótesis 1.
2. La composta con base en lirio acuático usada como sustrato disminuyó de manera sensible el crecimiento y desarrollo de plántulas de jitomate y coliflor, debido principalmente a un efecto salino. Entonces de acuerdo con la hipótesis 2 esto indicaría una baja calidad de sustrato en la composta.
3. El experimento demostró que la composta con base en lirio acuático no puede llegar a ser el componente orgánico principal de un medio de cultivo, pero utilizada en bajas proporciones (no más del 25%) con otros materiales (turba, polvo de coco, agrolita) producirá buenos resultados. Lo que concuerda con la hipótesis 3.

VII. BIBLIOGRAFÍA

Ansorena, M. J. 1994. SUSTRATOS: Propiedades y caracterización. Ed. Mundi Prensa. España. 172 pags.

Ayers, R. S y D. W. Wescot. 1987. La calidad del agua en la agricultura. Estudio de riego y drenaje.

Benton, J. J., Raymond, C. W. and Wayne E. S. 1980. Handbook on reference methods for soil testing. The Council on soil testing and plant analysis. USA. 130 pags.

Berghage, R. D., Krauskopf D. M., Warncke D. D. and I. Widens 1987. Micronutrient testing of plant growth media: Extractant identification and evaluation. Commun. In soil sci. plant anal., 18 (9): 1089 – 1109.

Bertoldi, M., Valini G. and A. Pera. 1985. Technological aspects of composting including modeling and microbiology. En: Gasser, J. K. R. (Ed.). Composting of agricultural and other wastes. USA. Pp. 27 – 40.

Bragg, N. C. and B. J. Chambers. 1988. Interpretation and advisory applications of compost air-filled porosity (AFP) measurements. Acta horticultrae (221): 35-44.

Bunt, A. C. 1988. Media and mixes for container-grown plants. Unwin Hyman Ltd. USA. 309 pags.

Burés Silvia, 1997. Sustratos , Ediciones Agrotécnicas. Madrid

Canovas, C. J. 1990. Calidad agronómica de las aguas de riego. 4ª. Edición. Editorial Mundi Prensa. Madrid, España. 55 pags.

Comisión Nacional del Agua (CNA). Control y Aprovechamiento del Lirio Acuático en México/Instituto Mexicano de tecnología del Agua, 1989.

Dalzell, W. H., Bidlestone J. A., Groy K. y K. Thurairajan. 1987. Soil management: Compost production and use in tropical and subtropical environments. FAO. Soils bulletin No. 56 . Roma.

Edwards, C. A., Burrows I., Fletcher K. E. and B. A. Jones. 1985. The use of earthworms for composting farm wastes. En: Gasser, J. K. R. (Ed.). Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers CO., Inc. USA. pp 229-242.

FAO. 1957. Las Malas Hierbas. Roma 110 pags.

FAO. 1983. El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de America Latina: Informe de la reunión-taller latinoamericana sobre el reciclaje de materias orgánicas en la agricultura. San José Costa Rica (7-17 de Julio 1980). Roma 253 pags.

FAO. 1990. Soilless culture for horticultural crop production. Roma. 188 pags.

Finstein M. S. and F. C. Miller. 1985. Principles of composting leading to maximization of decomposition rate, odour control and cost effectiveness. En: Gasser(Ed.). Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers CO., Inc. USA. pp. 13-26.

Fonteno, W. C. 1993. Problems and considerations in determining physical properties of horticultural substrates. Acta Horticulturae (342): 197 – 204.

González Orihuela Aldegundo. Control de Lirio acuático en cuerpos de agua. Gobierno del Estado de Jalisco. 1996

Hansen, M. 1993. Alternative substrates for potted plants. Acta Horticulturae (342): 191-204.

Lindsay, W. L. and Martens, D. C. 1990. Testing soils for copper, iron, manganese and zinc. En: Westerman, R. L. (De.) Soil testing and plant analysis. 3rd de. SSSA. Madison , Wisconsin, USA. pp. 229 – 261.

Morales, P. A. M. 1988. Efecto del lirio acuático (*Eichhornia crassipes* Solms) sobre algunas condiciones físicas y químicas del suelo y su influencia en la producción de zanahoria (*Daucus carota* L.) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Tesis profesional de Licenciatura. Chapingo, México. 123 pags.

Morel, J. L. 1985. Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. En: Gasser, J. K. R. (Ed.) Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers CO., Inc. USA. pp. 56 – 72.

Muciño Zarazua Ricardo R. 1981. Análisis químico del ensilado de lirio acuático (*Eichhornia crassipes*) bajo diferentes métodos de ensilaje. Tesis, Facultad de Medicina y Veterinaria UNAM.

Nappi, P., Consiglio M. and R. Barberia. 1992. Chemico-physical and biological parameters for evaluation compost quality. Acta horticulturae(302): 267 – 278.

Nappi, P. and R. Barberia . 1993. Compost and growing medium: Chemical, physical and biological aspects. Acta horticulturae (342): 249 – 256.

Olli, R. 1993. Choice of growing media for pot plants. Acta horticulturae (342): 357 – 360.

Pereira, N. J. T. 1992. A low cost controlled windrow system. Acta horticulturae (302) 141-151.

Pinto R. J. J. 1995. Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Editorial AEDOS. Barcelona, España. 181 pags.

Schmielewski, G. K. 1995. Quality control and use of composted organic wastes as components of growing media in the Federal Republic of Germany. *Acta horticulturae* (294): 89 – 98.

Sheldrake, R. 1979. Artificial mix substrates commonly used in U. S. A. En: Wilson (Ed.) Symposium on substrates in horticulture other than soils in situ Auchincruive, Scotland. 17 – 20 september 1879). *Acta horticulturae*, (99) 1980. pp. 47 – 50.

Sitta, G. 1988. El ABC de la horticultura protegida. MUNDI – PRENSA. Madrid, España. 88 pags.

Smith O. L. 1982. SOIL MICROBIOLOGY: A model of decomposition and nutrient cycling. Editorial CRC Press, Inc. U S A. 273 pags.

Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C., 1997. Manual de Procedimientos Analíticos para Análisis de Suelos y Plantas. Laboratorio de Fertilidad de Suelos-INERAT. Colegio de Posgraduados.

Stentiford, E. Y., Mara D. D. and P. L. Taylor. 1985. Forced aeration co-composting of domestic refuse and sewage sludge in static piles. En: Gasser, J. K. R. (Ed.). Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers CO., Inc. USA. pp. 42-55.

Tomati, U. 1993. Compost in floriculture. *Acta horticulturae* (342): 175 – 181.

Tyler, H. 1970. Organic gardening without poisons. Litton Educational Publishing inc. New York, USA. 111pags.

Verdnock, O. 1979. Growing ornamental plants in inert substrates. En: Wilson (Ed.) Symposium on substrates in horticulture other than soils in situ. Auchincruive Scotland (17 –20 september 1879) *Acta. Horticulturae*, (99) 1980. pp. 113 –130.

Vic Ball 1991 Soil mixes. En Vic Ball (Ed.) Greenhouse growing. Geo. J. Ball Inc. Chicago, USA pp. 197 – 199.

Warncke D. D. 1990. Testing artificial growth media and interpreting the results. En Westerman, R. L. (Ed.). Soil testing and plant analysis. 3rd ed. SSSA. Madison Wisconsin, USA. pp. 337 – 358.

Wilson, G. C. S. 1983. The physico-chemical and physical properties of horticultural substrates. *Acta horticulturae* (150): 19 – 25.

Williams, P. L. 1980. Practical horticulture. A Reston book. New Jersey. pp. 341 – 350.

Willson, G. B., Parr J. F. and L. J. Sikora . 1983. El composteo de residuos orgánicos y la utilización de composta en la agricultura. En FAO (Ed.). Boletín de Suelos 51: El reciclaje de materias orgánicas en la agricultura de América Latina. Roma. Pp. 60 – 68.

Zuconi, F., Monaco A. And M. Forte. 1985. Phytotoxins during the stabilization of organic matter. En: Gasser, J. K. R. (Ed.). Composting of agricultural and other wastes. Elsevier Applied Science Publishers CO., Inc. USA. pp. 73 – 86.