



INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

**“Efectos de la aplicación de composta como
mejorador de suelo y del desarrollo de dos
especies vegetales”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN INGENIERIA CIVIL**

P R E S E N T A:

CANTERO FLORES ANABEL

DIRECTORES

DR. FABIÁN ROBLES MARTÍNEZ

M. en I. FELIPE LÓPEZ SÁNCHEZ



Enero 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D. F. siendo las 15:00 horas del día 16 del mes de diciembre del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de E.S.I.A.-U.Z. para examinar la tesis titulada:
"Efectos de la aplicación de composta como mejorador de suelo y del desarrollo de dos especies vegetales."

Presentada por el alumno:

Cantero
Apellido paterno

Flores
Apellido materno

Anabel
Nombre(s)

Con registro:

B	0	8	1	5	6	6
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dr. Fabián Robles Martínez

M. en I. Felipe López Sánchez

Dr. Jorge Meléndez Estrada

M. en C. Javier Avila Moreno

M. en C. Ricardo Contreras Contreras

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES

M. en C. Pino Durán Escamilla



SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESION DE DERECHOS

En la Ciudad de México el día 11 del mes de enero del año 2011, la que suscribe Anabel Cantero Flores Alumna del Programa de Maestría en Ingeniería Civil con número de registro B081566, adscrito a la Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Zacatenco, manifiesta que es autora intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Fabián Robles Martínez y M. en I. Felipe López Sánchez y cede los derechos del trabajo intitulado "Efectos de la aplicación de composta como mejorador de suelo y del desarrollo de dos especies vegetales.", al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección cafa2009@yahoo.com.mx. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Anabel Cantero Flores



AGRADECIMIENTOS

La autora desea agradecer al Instituto de Ciencia y Tecnología del Distrito Federal (ICyTDF), por su apoyo económico para la realización de las actividades del proyecto.

Al Dr. Fabián Robles Martínez por su apoyo para facilitar los espacios y los materiales necesarios para llevar a cabo el proyecto.

Al Biol. Rogelio Bailón Morales, Omar Fuentes Jaime, Heriberto Maqueda Rosario, Jesús García Miranda, Marcelo Ortiz, Miguel Lechuga Maldonado y a todo el personal de la Planta de Composta del IPN, por brindarme las facilidades para el uso de sus herramientas e instalaciones.

Al profesor Ramón Villanueva Arce por su ayuda y asesoría para el planteamiento del desarrollo experimental así como en las pruebas microbiológicas.

Al profesor Germán F. Gutiérrez Hernández por su ayuda y asesoría en la realización de las pruebas de germinación *in vitro* y viabilidad.

A las profesoras Ma. del Carmen Calixto Mosqueda, Sonia Michel González Baños y Karen Gisela Moreno Guerreo por su amistad y colaboración en los análisis fisicoquímicos.

A los profesores Felipe López Sánchez, Jorge Meléndez Estrada, Javier Avila Moreno y Ricardo Contreras Contreras.

A Laura Belem Montiel Frausto y Oscar Gerardo Nieto por su apoyo en algunas pruebas fisicoquímicas.

A Víctor Cantero Flores, David Cantero Flores y Alberto Hernández Jiménez[▼].



CONTENIDO

CONTENIDO.....	2
ÍNDICE DE CUADROS	¡Error! Marcador no definido.
ÍNDICE DE FIGURAS	¡Error! Marcador no definido.
RESUMEN.....	5
ABSTRACT	6
1 INTRODUCCIÓN.....	7
1.1 Proceso de Compostaje	7
<i>Cuadro 2.1 Pesos volumétricos obtenidos en campo.</i>	13
1.2 Crecimiento y desarrollo del frijol (<i>Phaseolus vulgaris L.</i>).....	14
<i>Cuadro 1.1 Etapas de desarrollo de la planta de frijol.</i>	15
<i>Figura 1.1 Etapas de desarrollo de hábito de desarrollo de crecimiento de mata y guía en frijol (Phaseolus vulgaris L.).</i>	17
1.3 Crecimiento y desarrollo del maíz (<i>Zea mays L.</i>).....	17
<i>Cuadro 1.2 Etapas de desarrollo de la planta de maíz (Ritchie y Harway, 1984).</i>	19
<i>Figura 1.2 Etapas de desarrollo del maíz (Zea mays L.) (Schütte y Meier, 1981)</i>	20
2 OBJETIVOS	21
2.1 Objetivo General.....	21
2.2 Objetivos Particulares.....	21
3 HIPÓTESIS	21
4 JUSTIFICACIÓN	22
5 METODOLOGÍA.....	23
5.1 Proceso de compostaje	23
5.1.1 Producción de composta y seguimiento del proceso	23
<i>Cuadro 6.1 Materias primas y cantidades de éstas utilizadas</i> 5	24
5.2 Análisis en laboratorio	25
6.2.1 Análisis fisicoquímico.....	25
<i>Cuadro 5.2 Parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio.</i>	27
5.2.2 Búsqueda de hongos fitopatógenos.....	29
5.2.2.1 Búsqueda de hongos fitopatógenos en semillas de maíz y frijol.....	29
5.2.2.2 Búsqueda de hongos fitopatógenos en suelo	30
5.2.2.3 Búsqueda de hongos fitopatógenos en composta	30
5.2.3 Pruebas de germinación <i>in vitro</i> y viabilidad	30
5.3 Siembra en invernadero	32
<i>Cuadro 5.3 Composición porcentual para cada tratamiento</i>	32
<i>Cuadro 5.4 Arreglo final de los tratamientos para el frijol dentro del invernadero de la UPIBI.</i>	32
<i>Cuadro 5.5 Arreglo final de los tratamientos para el maíz dentro del invernadero de la UPIBI.</i>	33
<i>Cuadro 5.6 Propiedades fisicoquímicas del fertilizante 18-46-00.</i>	33
<i>Cuadro 5.7 Propiedades fisicoquímicas del fertilizante triple.</i>	34
6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	36
6.1 Proceso de compostaje	36
<i>Figura 6.1 Temperatura registrada durante la primera semana del proceso de compostaje</i> 36	



Cuadro 6.1 Temperatura antes y después de cada uno de los volteos, temperaturas tomadas 1 hora antes de realizar el volteo y 2 horas después de terminado el volteo.....	39
Figura 6.2 Comportamiento de los parámetros de control durante el proceso de compostaje.....	40
7.2 Análisis en laboratorio	42
7.2.1 Análisis Fisicoquímicos	42
Cuadro 6.2 Valores de parámetros determinados en laboratorio, composta inmadura, composta madura y suelo	42
Cuadro 6.3 Comparación de valores de parámetros determinados en laboratorio para composta madura.....	43
Figura 6.3 pH de los tratamientos utilizados en invernadero; a) análisis realizados antes de la siembra, b) y c) análisis realizado a los tratamientos una vez marchitas las plantas, frijol y maíz, respectivamente.....	44
Figura 6.4 %MO de los tratamientos utilizados en invernadero; a) análisis realizados antes de la siembra, b) y c) análisis realizados a los tratamientos una vez marchitas las plantas, frijol y maíz, respectivamente.	46
Figura 6.5 %NT de los tratamientos utilizados en invernadero; a) análisis realizados antes de la siembra, b) y c) análisis realizados a los tratamientos una vez marchitas las plantas, frijol y maíz, respectivamente.	47
Cuadro 6.4 %C y relación C/N de los tratamientos utilizados en invernadero antes de la siembra y después de marchitas las plantas de frijol y maíz.	48
Figura 6.6 Da, Dp y %EP de los tratamientos utilizados para la siembra de frijol y maíz, análisis realizados antes de la siembra. a) densidad aparente (Da), b) densidad de partícula (Dp), c) espacio poroso (%EP).	49
Figura 6.7 Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchites Permanente (PMP) y % de humedad de los tratamientos antes de la siembra.....	50
7.2.2 Hongos fitopatógenos.....	51
7.2.2.1 Hongos fitopatógenos en semillas.....	51
Cuadro 6.5 Frecuencia y % hongos fitopatógenos encontrados en las semillas de maíz	51
7.2.2.2 Hongos fitopatógenos en suelo.....	52
Cuadro 6.6 % de Hongos encontrados en el suelo.....	52
7.2.2.3 Hongos fitopatógenos en composta.....	53
Cuadro 6.7 % de Hongos encontrados en la composta.....	53
7.2.3 Pruebas de viabilidad y germinación <i>in vitro</i>	55
Figura 6.7 Porcentaje de germinación y de viabilidad para las semillas de maíz y frijol.....	55
6.3 Siembra en invernadero falta analizar y discutir.....	56
Figura 6.8 %EmP, a) plantas de frijol y b) plantas de maíz.....	57
Figura 6.9 Número de hojas desarrolladas, plantas de frijol.....	58
Figura 6.10 Número de hojas desarrolladas, plantas de maíz.....	58
Figura 6.11 Altura total de las plantas de frijol.....	59
Figura 6.12 Altura total de las plantas de maíz.....	60
Figura 6.13 Peso seco final en g, de los tratamientos utilizados para la siembra de maíz y frijol, valores registrados una vez que las plantas se secaron por completo mediante, las plantas secas fueron recolectadas y pesadas.....	61
Cuadro 6.8 Senescencia de las plantas de frijol.	62
Cuadro 6.9 Senescencia de las plantas de maíz.....	63
Cuadro 6.10 Características especiales durante el desarrollo de las plantas de Frijol.....	64
Cuadro 6.11 Características especiales durante el desarrollo de las plantas de Maíz.....	64
7 CONCLUSIONES.....	66



8	RECOMENDACIÓN	67
9	GLOSARIO.....	68
10	BIBLIOGRAFÍA.....	72
	ANEXO 1. ANÁLISIS EN LABORATORIO.....	80



1)

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron los efectos producidos por la aplicación de composta, elaborada con residuos sólidos orgánicos resultantes del mantenimiento de áreas verdes, como mejorador de suelos así como del desarrollo de dos especies vegetales, maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*). Con el fin de analizar dichos efectos se realizaron las siguientes actividades:

- Monitoreo del proceso de compostaje, desde el levantamiento de la pila hasta la obtención de composta madura. Fueron composteados residuos sólidos orgánicos resultantes del mantenimiento de áreas verdes mediante el sistema abierto por pilas con levantamiento semimecánico y volteos manuales.
- Pruebas de laboratorio que incluyeron: análisis fisicoquímicos a la composta, suelo y tratamientos utilizados para la siembra de maíz y frijol; búsqueda de hongos fitopatógenos en suelo, composta y semilla; prueba de viabilidad y germinación *in vitro* de las semillas tanto de maíz como de frijol.
- Siembra y seguimientos del crecimiento/desarrollo de maíz así como de frijol, mediante un diseño experimental aplicando 3 diferentes dosis de composta (10 %, 20% y 30%), manejándose dos controles y un comparativo al cual se le adiciono fertilizante químico (18-46-00 y Triple).

La composta una vez madura presentó las siguientes características: $\text{pH}=8.07 \pm 0.21$, contenido de nitrógeno total (%NT)= 0.94 ± 0.006 , contenido de materia orgánica (%MO)= 25.12 ± 0.42 , capacidad de campo (CC)= 33.49 ± 3.49 ml/100g, punto de marchitez permanente (%humedad)= 55.1 ± 28.39 , densidad aparente (g/cm^3)= 0.46 ± 0.02 , densidad de partícula (g/cm^3)= 0.91 y un espacio poroso (%EP) de 49.12.

La aplicación de 10 y 20% de composta mejoró el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, así como en la capacidad de retención de agua del suelo utilizado. Para las plantas de frijol la relación de los tratamientos con respecto al número de hojas (NH) fue: $T1>T2>T4>T0$; con respecto a la altura total (AT) fue: $T2>T4>T1=T0$; en relación con el peso seco final (PSf) fue: $T4>T1>T0>T2>T5$. Para las plantas de maíz la relación de los tratamientos con respecto al NH fue: $T2>T1>T4=T0$; con respecto a la AT fue: $T1>T0>T2>T4$; en relación con el PSf fue: $T0>T1>T2>T3>T4$.



ABSTRACT

This study evaluated the effects of the application of compost made from organic solid waste resulting from the maintenance of green areas, as a soil and the development of two plant species, maize (*Zea mays L.*) and bean (*Phaseolus vulgaris L.*). To analyze these effects, the following activities:

- Monitoring of the composting process, since the lifting of the stack to obtain mature compost. Were composted organic solid wastes resulting from the maintenance of green areas by battery-open system with semi-mechanical lifting and manual turning.
- Laboratory tests included: physical and chemical analysis of compost, soil and seed treatments used for corn and beans; search of fungal pathogens in soil, compost and seeds, as evidenced by in vitro viability and germination of seeds of both maize and beans.
- Planting and monitoring of growth / development of maize and beans, using an experimental design using 3 different doses of compost (10%, 20% and 30%), managed two controls and a comparison to which chemical fertilizer was added (18-46-00 and Triple).

Mature compost once presented the following characteristics: pH = 7.8 ± 0.21 , total nitrogen content (% NT) = 0.94 ± 0.006 , organic matter content (% MO) = 12.25 ± 0.42 , field capacity (CC) = 33.49 ± 3.49 ml/100 g, permanent wilting point (% RH) = 55.1 ± 28.39 , bulk density (g/cm³) = 0.46 ± 0.02 , particle density (g/cm³) = 0.91 and pore space (% EP) 49.12.

The application of 10 and 20% compost improved organic matter content and total nitrogen, and in the water holding capacity of soil used. Bean plants to the list of treatments on the number of leaves (NL) was: T1> T2> T4> T 0, with respect to the total height (AT) was: T2> T4> T1 = T0; on the final dry weight (PSf) was: T4> T1> T0> T2> T5. For corn plants the relationship between treatments with respect to NH was: T2> T1> T4 = T0, with respect to the AT was: T1> T0> T2> T4; in connection with the PSf was: T0> T1> T2> T3> T4.



1 INTRODUCCIÓN

Si bien, una de las estrategias del Manejo Integral de los Residuos Sólidos (MIRS) es la disminución de éstos desde la fuente de origen, existen residuos cuya generación es difícil de controlar y cuya fuente de origen sería un error eliminar, hablamos de los residuos sólidos orgánicos resultantes del mantenimiento de áreas verdes (RSOAV).

La generación de los RSOAV puede llegar a ser elevada si consideramos que el 20.4% del suelo urbano del Distrito Federal (D.F.) está cubierto por áreas verdes (INE, 2003), por lo anterior, ha sido menester buscar formas de aprovechamiento de dichos residuos con el fin de revalorarlos y evitar su disposición en rellenos sanitarios.

Entre las técnicas de aprovechamiento de RSOAV se tiene el compostaje o elaboración de abono orgánico. El compostaje actualmente forma parte importante en los Planes de Manejo Integral de los Residuos Sólidos Urbanos (PMIRSU). El Instituto Nacional de Ecología (INE), 2007, indica que los RSOAV son los residuos más composteados, debido a su fácil recolección y clasificación reduciendo los problemas durante su acopio y procesamiento.

Los sitios en donde son procesados los residuos orgánicos para la obtención de composta se denominan Plantas de Compostaje (PC). La mayor parte de las PC de la Ciudad de México son operadas por organismos públicos municipales. Otras PC son administradas por instituciones de educación superior o centros. Tal es el caso de la planta del Instituto Politécnico Nacional (IPN), la cual procesa residuos de tipo poda de jardín (INE, 2007a). En la PC del IPN llegan a ser procesados alrededor de 238 m³ de RSOAV al mes (Cantero, 2007).

1.1 Proceso de Compostaje

La composta se obtiene mediante la degradación bioquímica termofílica aerobia de la materia orgánica fermentable, es decir, durante el proceso de compostaje se llevan a cabo reacciones microbianas de mineralización y humectación parcial de sustancias orgánicas.

La primera etapa para la producción de composta consta de la separación de los residuos seguida del pretratamiento, que consiste en la molienda y depuración de los materiales indeseables (materiales de lenta degradación) (Cantero, 2007). La separación de los residuos desde la fuente de generación corresponde a la etapa de mayor conflicto tanto económico como



social y su eficiencia se ve reflejada en la calidad tanto química como visual de la composta producida.

Ryckeboer *et al.*, (2003b) nos menciona que el proceso de compostaje puede dividirse en cuatro fases: 1) fase mesofílica inicial (10-42°C) con duración de algunas horas o un par de días; 2) fase termofílica (45.70°C), que puede durar días, semanas o hasta meses dependiendo del material composteado; 3) segunda fase mesofílica, fase en la cual los microorganismos mesofílicos diferentes a los de la primera fase mesofílica recolonizan el sustrato; 4) fase de maduración, estabilización, que puede durar semanas o meses (Hoitink y Boehm, 1999; Tuomela *et al.*, 2000; Insam y de Bertoldi, 2003).

La producción de composta requiere de cuatro elementos básicos: nitrógeno (residuos “verdes”), carbono (residuos “café”), agua y oxígeno. A través del control y el monitoreo de estos parámetros se puede favorecer, o incluso acelerar el proceso de degradación. Además de los parámetros mencionados existen otros factores que son muy útiles para monitorear el proceso de compostaje, entre los cuales se incluyen la temperatura, la microbiota, el tamaño de partícula y el pH (Rodríguez y Córdova, 2006).

Los macronutrientes más importantes durante el compostaje son el carbono y el nitrógeno, debido a que los microorganismos usan el carbono para su oxidación metabólica, parte lo convierten en bióxido de carbono y parte lo combinan con nitrógeno para sus células (Ryckeboer *et al.*, 2003b; Navarro, 2002). Si la relación C/N es elevada el contenido de N será bajo y se puede generar un retardo del crecimiento bacteriano haciendo lento el proceso, si la relación es baja el contenido de N será alto y se tendrán pérdidas por lixiviación como nitratos o en forma de amoníaco gaseoso (Bernal *et al.*, 2009; Rodríguez y Córdova, 2006; Panizza, 2005; Ryckeboer *et al.*, 2003b).

La descomposición de la materia orgánica se logra a través de la acción microbiana, esta actividad ocurre principalmente en la película delgada de líquido (biofilms) en la superficie de las partículas orgánicas. Por lo anterior, durante el compostaje, se requiere un contenido de humedad del 30% al 65%, un valor <30% disminuye la actividad microbiana mientras que un contenido por arriba del 65% puede causar el agotamiento del oxígeno y las pérdidas de nutrientes por lixiviación (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

A pesar de que el contenido de humedad puede encontrarse entre 30-65%, por lo general debe de mantenerse entre 50-60% con el fin de no llevar a extremos el proceso (Bernal *et al.*, 2009; Gajalakshmi y Abbasi, 2008) limitando la eficiencia de degradación.



Debido a que el oxígeno es un elemento esencial para la descomposición aerobia y la supervivencia de los microorganismos es necesario mantener un balance entre la humedad y el oxígeno (Bernal *et al.*, 2009). Lo anterior con el fin de lograr un producto homogéneo (Íñiguez *et al.*, 2006). Si se llegase a presentar un déficit de oxígeno se presentaría la muerte de los organismos aeróbicos dando lugar a una descomposición anaerobia la cual puede identificarse por la generación de malos olores.

Por lo anterior el tamaño de las partículas de las materias primas usadas debe ser controlado, es conveniente moler la materia a compostear vigilando el grado de trituración, puesto que las partículas de tamaño pequeño proporcionan mayor superficie de acceso de los microorganismos, sin embargo, si el tamaño es excesivamente pequeño pueden originarse problemas de compactación excesiva que impedirán el proceso de aireación necesario ((Bernal *et al.*, 2009; Rodríguez y Córdova, 2006).

El compostaje es recomendado para lograr el manejo adecuado de residuos urbanos con mayor carga de residuos orgánicos así como para mitigar su efecto negativo sobre el ambiente, siendo el compostaje a cielo abierto con levantamiento y volteos manuales el más utilizado en comunidades de bajos recursos, ya que permite la estabilización de desechos orgánicos con el uso de poca tecnología.

Una limitante para el compostaje a cielo abierto es el costo de mano de obra y pérdidas de agua (el riego no siempre es controlado) costos que a largo plazo representan una mayor pérdida económica (Cantero, 2007), por lo cual en muchas PC disminuyen o eliminan por completo la aeración forzada, permitiendo que los materiales se estabilicen con aireación pasiva, sin embargo Sauri *et al.*, (2002) demostró que las pilas con aireación manual fueron mucho más eficientes que las pilas con aireación pasiva, por lo cual la aireación puede ayudar a acelerar la actividad microbiana así como a lograr un aumento significativo de la temperatura.

Considerando que en las diferentes etapas del proceso de compostaje se ven involucrados el desarrollo y crecimiento de diferentes poblaciones de bacterias y de hongos, la temperatura es también un parámetro que nos puede indicar el avance del proceso de descomposición de la materia orgánica (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

La estabilización de los materiales composteados no necesariamente nos indica la sanitización de los mismos, por lo que es recomendable alcanzar temperaturas por arriba de 40°C durante los primeros días de compostaje. Steger *et al.*, 2007, menciona que se requieren temperaturas por arriba de 40°C durante el compostaje para lograr eliminar microorganismos patógenos y poder satisfacer las necesidades de las poblaciones de actinobacterias



consideradas de gran importancia para la descomposición de materiales orgánicos de macromoléculas tales como celulosa, hemicelulosa, lignina y quitina ((Ryckeboer *et al.*, 2003b).

Para fines agrícolas la composta a emplear debe estar libre de patógenos y sustancias fitotóxicas que pueden interfieren con el desarrollo de las plantas (Gehr y Grobe, 1997), es decir, sus componentes deben estar completamente estabilizados con el fin de no generar alteraciones en a las plantas.

El análisis de la cantidad y tipo de residuos que ingresan a las PC es de gran ayuda para determina el rendimiento de la producción de composta. Algunos de los rendimientos documentados oscilan entre 40% y 60% (Cantero, 2007; Sauri *et al.*, 2002), los materiales de fácil degradación presentan rendimientos menores. Atkinson *et al.*, 1996, mencionan que los rendimientos en el proceso de compostaje dependen de la naturaleza del sustrato a compostear, y suponen un coeficiente de rendimiento de 0.2 a 0.5 (Sauri *et al.*, 2002).

En el D.F el cambio entre los procesos aerobios y anaerobios para la producción de composta en la mayoría de las PC es frecuente debido a la falta de capacitación del personal de trabajo así como a la falta de herramientas o maquinaria para realizar una mezcla revuelta de los materiales composteados (INE, 2007a). Por lo anterior los métodos y tiempos de producción son muy variados, dependiendo también de las condiciones económicas, sociales y climáticas de una zona en particular (Espinosa y Delfín, 2005; Bernal *et al.*, 2009).

Como ejemplo de tiempos de producción se puede mencionar a la PC del IPN, en la cual es tiempo de obtención de composta va de 2 a 6 meses (INE, 2007a), en este caso particular la producción se logra por medio de pilas semiestaticas, con volteos semanales o quincenales.

Principales beneficios y usos de la composta.

El compostaje constituye una de las mejores alternativas de tratamiento y valorización de los residuos sólidos urbanos de tipo orgánico, permitiendo reducir hasta el 50% el volumen de residuos que ingresan a los rellenos sanitarios (INE, 2007b).

La elaboración de abono orgánico, ha sido una práctica muy común en las comunidades de bajos recursos, principalmente agrícolas y ganaderas (Bernal *et al.*, 2009; Larney y Hoa,



2007; Majercak, 2002), en algunas ocasiones ha sido empleada para la restauración de suelos gastados o agotados.

La composta ayuda a mejorar la composición fisicoquímica de los suelos, puede llegar a reabastecerlos de nutrientes perdidos por la erosión (química, mecánica, potencial o de otro tipo), contribuye, en buena medida, a la aeración y a su capacidad para mantener la humedad.

La composta, en específico, la producida con residuos de jardinería ha sido empleada en la eliminación de algunas enfermedades provocadas por *Rhizoctonia* (Kuter *et al.*, 1988), de la misma manera se ha comprobado que la composta producida con material de descarte y agua residual ayuda a disminuir, de forma similar a los fertilizantes químicos, el daño por *Rhizoctonia solani* en tubérculos de papa (Íñiguez *et al.*, 2006).

La composta puede ser usada en la remediación de sitios contaminados, Kobayashi *et al.*, (2008), demostraron que la aplicación de composta con diferente tasa de contenido de materia orgánica disminuyó la biodisponibilidad de HAP, específicamente pireno (4-anillos), en calabaza (*Curcubita pepo*), ayudan a mejorar su crecimiento y desempeño, siendo sus efectos muy similares a los observados con la aplicación de fertilizantes químicos.

Tanto el proceso de compostaje como el uso de composta madura, son una solución de bajo costo y tecnológicamente efectiva para remediar suelos contaminados por residuos orgánicos peligrosos como los hidrocarburos totales del petróleo (HTP), solventes, explosivos, pesticidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) (Sauri y Castillo, 2002; Semple *et al.*, 2001). Otra posibilidad de uso para la composta es la de utilizarla como material de cobertura en rellenos sanitarios o tiraderos controlados, principalmente en zonas rurales (Sauri *et al.*, 2002).

Actualmente el compostaje es un proceso utilizado y recomendado por las autoridades ambientales estatales para la valorización de los residuos sólidos orgánicos. La producción de composta es una actividad muy antigua, sin embargo, en la actualidad es manejada como una estrategia para la disminución de residuos más que para la obtención de un posible mejorador de suelo. La problemática radica en el desconocimiento del proceso de su obtención, sus propiedades físico-químicas y biológicas así como sus posibles usos y efectos en plantas al ser aplicada.

La aplicación de composta como mejorador de suelo ha sido una práctica común en el sector agrícola (Larney y Hoa, 2007), en gran parte la composta a gran escala ha sido elaborada con estiércol o excretas de animales de granja. Como ejemplo tenemos estudios que han demostrado que la aplicación de composta, directamente a tierras de cultivo, elaborada con gallinaza (abono orgánico), puede ayudar a reducir la pérdida de N y P por lixiviación de los



suelos durante la escorrentía, de igual forma, puede mejorar la densidad aparente y la porosidad de los suelos (Evanylo *et al.*, 2008).

Por su parte Widman *et al.* (2005) demostraron mediante ensayos preliminares que la composta generada a partir de residuos sólidos urbanos (RSU) puede ser empleada con el fin de mejorar las características de suelos pobres para cultivos, reportando mejores resultados en la germinación y crecimiento de dos especies vegetales (frijol y tomate) en comparación con el uso de fertilizantes químicos.

Chang *et al.* (2007) analizaron el efecto de la aplicación de composta durante tres años en 24 cultivos, en invernadero y bajo condiciones climáticas subtropicales, demostrando que su aplicación proporcionó una cantidad mayor de nitrógeno (N) y materia orgánica (MO), en comparación con tratamientos con fertilizantes químicos. De igual forma demostraron que una aplicación alta de composta no ayuda a mejorar el rendimiento de los cultivos después de que el suelo adquiere su fertilidad óptima. Íniguez *et al.* (2006) demostraron que no existió diferencia de la calidad de papa cosechada con composta, producida con material de descarte y agua residual, a la cosechada con fertilizantes químicos.

En el Instituto Politécnico Nacional se mantiene en operación la Planta de Composta (PC), ubicada en las instalaciones de la Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco (UPALM). La PPCyV ha procesado los residuos resultantes del mantenimiento de áreas verdes del IPN durante más de 10 años (Cantero, 2007).

En resumen se puede decir que la composta es un mejorador del suelo porque favorece la aireación y la retención de humedad (en suelos arenosos ayuda a la retención del agua), mejora la estructura del suelo (previene la erosión), favorece el almacenamiento de nutrimentos y su disponibilidad para los vegetales, provee un medio favorable para el desarrollo de microorganismos benéficos para el suelo, favorece la absorción de los rayos solares debido a su color oscuro y, por tanto, el aumento de la temperatura del suelo en ciertas estaciones del año, puede reducir o eliminar la necesidad de fertilizantes químicos (Tavera *et al.*, 2010; Bernal *et al.*, 2009; Larney y Hoa, 2007).

La composta utilizada en este trabajo fue procesada en la PC, bajo las mismas condiciones laborales y mismo sistema de compostaje, por lo que es importante



mencionar que la producción de composta se hace a través del sistema abierto con pilas, levantamiento mecánico y volteos manuales.

Las materias primas utilizadas en la PC son: pasto, hojas, madera molida (mulch) y composta madura; las dimensiones que comúnmente poseen las pilas son: 11m largo, 1.6m altura y 2m ancho, ocupando un área de 22m², empleando aproximadamente 12 Toneladas de residuos. En el Cuadro 5.1 se presentan los valores de los pesos volumétricos obtenidos en campo para las materias primas empleadas.

Cuadro 2.1 Pesos volumétricos obtenidos en campo.

Material/producto terminado	Peso volumétrico (kg/m³)
Pasto	65
Hoja	68
Madera molida (mulch)	76
Composta madura	136

El volumen mensual de residuos que entran a la PC del IPN varía según de las estaciones del año así como de los programas de reforestación y mantenimiento de áreas verdes del Instituto, esta variación también se ve en los tipos de residuos entrantes. Así tenemos que la recepción de pasto representa el 80% o más de los residuos entrantes durante todos los meses (Cantero, 2007). Debido a que la PC del IPN debe procesar todos los residuos entrantes evitando rezagos y malos olores, las pilas de fermentación son levantadas con grandes cantidades de pasto.

El cultivo del frijol en conjunto con el del maíz, constituyen la dieta básica del pueblo mexicano y en consecuencia son los productos de mayor importancia socioeconómica tanto por la superficie de siembra como por la cantidad consumida *per-cápita* (COVECA, 2010). En los siguientes enunciados se describe cada una de las especies vegetales utilizadas en el presente trabajo.



1.2 Crecimiento y desarrollo del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

Nombre común: Frijol

Familia: *leguminosae*.

Subfamilia: *Papilionoidene*.

Tribu: *Phaseolac*.

Subtribu: *Phascolinae*, *geuero Phaseolus*.

Especie: *Phaseolus vulgaris* L.

Phaseolus vulgaris L, conocido como frijol común se cultiva en todos los estados del país y ocupa el 95% de la superficie dedicada al frijol (COVECA, 2010). La planta de frijol alcanza una altura de 50 a 70 cm (SIMA, 2006). La planta presenta un sistema radical formado por la raíz principal pivotante que se desarrolla a partir de la radícula del embrión y muchas raíces secundarias muy ramificadas cercanas a la superficie; en las partes jóvenes de las raíces laterales, se localizan los pelos absorbentes, órganos epidérmicos especializados en la absorción de agua y nutrimentos así como las bacterias del género *Rhizobium* fijadoras del nitrógeno atmosférico; el sistema radical se considera fibroso (COVECA, 2010; SIMA, 2006). Además de lo anterior la planta presenta las siguientes características:

Tallos delgados y débiles, el tallo principal es de mayor diámetro que las ramas laterales, de color verde rosa o morado, glabro, determinado si termina en inflorescencia o indeterminado si su yema apical es vegetativa (COVECA, 2010; SIMA, 2006).

Hojas de dos tipos simples y compuestas. Los cotiledones constituyen el primer par de hojas, el segundo par y primeras hojas verdaderas, se desarrollan en el segundo nudo, son simples, opuestas y cortadas. A partir del tercer nudo se desarrollan las hojas compuestas, las cuales son alternas, de tres folíolos, un peciolo y un raquis (COVECA, 2010).

Fruto lineal, más o menos comprimido, suavemente curvado, dehiscente, 10 a 12 x 1cm, verde morado o casi negro; semillas, reniformes oblongas a ovals o redondeadas, poco comprimidas, color rojo, amarillo, café o negro (SIMA, 2006).

La planta de frijol crece bien en temperaturas de entre 10°C a 27°C (SIMA, 2006), temperaturas bajas pueden retardar el crecimiento mientras que altas temperaturas pueden acelerarlo (Ríos *et al*, 2003). La planta de frijol es muy sensible a condiciones extremas; ya que no tolera exceso o falta de humedad (SIMA, 2006); alrededor de 400mm de agua, son



suficientes para obtener una producción de frijol. El mayor consumo de agua se presenta durante la etapa de floración y de formación de grano (Ríos *et al.*, 2003).

De acuerdo con la guía técnica presentada por la Dirección de Ciencia y Tecnología Agropecuaria (DICTA) de la Secretaría de Agricultura el pH óptimo para el cultivo de frijol queda comprendido entre 6.5-7.5, no obstante, se comportan bien en suelos que tienen un pH entre 4.5 y 5.5. (SIMA, 2006). La luz y la temperatura son los factores climáticos que más inciden en las etapas de desarrollo del frijol (Ríos *et al.*, 2003). Debe sembrarse en suelos de textura ligera, profundos, fértiles y con buen drenaje (SIMA, 2006; Ríos *et al.*, 2003).

Para su desarrollo requiere de elementos minerales, por lo que las carencias en la planta se manifiestan cuando algún nutriente mineral está en defecto o exceso, los principales elementos requeridos son P y K (0.3 kg de P/ 100 Kg de suelo), N en mayor cantidad sobre todo en época del crecimiento vegetativo. Otros elementos: boro (B), magnesio (Mg), azufre (S), Molibdeno (Mo) y cinc (Zn), son nutrientes que pueden aparecer en forma deficiente o en exceso en la planta.

Las etapas de su desarrollo se describen en el Cuadro 1.2, y han sido tomadas de Fernández *et al.* (1982) quienes proponen un conjunto de 10 etapas las cuales forman la escala de Desarrollo de la Planta de Frijol (Solórzano, 2007). Las diferentes etapas se identifican mediante un código compuesto de una letra y un número. La letra corresponde a la etapa vegetativa (V) o reproductiva (R), mientras que el número indica la posición de la etapa en la escala.

Cuadro 1.1 Etapas de desarrollo de la planta de frijol

Etapa	Descripción
V0	Germinación: se considera como inicio de esta etapa el primer día que la semilla tiene suficiente humedad para iniciar el proceso de germinación.
V1	Emergencia: inicia cuando los cotiledones de la planta aparecen a nivel del suelo.
V2	Hojas primarias: hojas primarias (unifoliadas y compuestas) están desplegadas.
V3	Primeras hojas trifoliadas: presencia de la primera hoja trifoliada completamente abierta y la lámina de los folíolos se ubican en un plano.
V4	Tercera hoja trifoliada: la tercera hoja trifoliada se encuentra desplegada.
R5	Prefloración: surge el primer botón o racimo. En variedades con hábito de crecimiento determinado del desarrollo e botones florales se notará en el último dudo del tallo o de la rama, mientras que en variedades determinadas los racimos se observaran en los nudos inferiores.
R6	Floración: presencia de la primera flor abierta.
R7	Formación de las vainas: presencia de la primera vaina con cola de la flor colgando o



	desprendida.
R8	Llenado de la vaina: la primera vaina se comienza a llenar, presencia de abultamientos; inicio del crecimiento activo de las semillas.
R9	Maduración: inicio de la decoloración y secado en las primeras vainas, seguido del amarillamiento, la caída de hojas, todas las partes se comienzan a secar. El contenido de humedad de las plantas baja hasta un 15%. Termina del ciclo biológico

Los siguientes criterios pueden ayudarnos a determinar el momento en que se alcance una determinada etapa de desarrollo de la planta de frijol (COVECA, 2010):

Emergencia: Cuando más del 50% de las semillas ha germinado y la plántula se puede ver sobre la superficie del suelo.

Inicio de floración: Cuando por lo menos el 10% de las plantas presentan una o más flores.

Plena floración: Momento en que todas las plantas presentan flores y más del 50% de éstos muestra una floración abundante.

Fin de floración: Se considera como el fin de la floración cuando solamente el 10% de las plantas muestran flores bien desarrolladas.

Periodo de floración: Se denominan así al periodo durante el cual la planta permanece floreado y se obtiene al calcular la diferencia en días entre el fin e inicio de la floración.

Madurez Fisiológica: Ocurre cuando la planta ha completado su ciclo de vida y se puede arrancar o cortar sin consecuencias negativas en la fisiología y peso de la semilla. Se presenta cuando la planta aún tiene algunas hojas senescentes (envejecidas y amarillentas) y la mayoría de las vainas muestran sus valvas apergaminadas y secas. El ciclo vegetativo puede variar de 80 días en las variedades precoces hasta 180 días en variedades trepadoras.

En la Figura 1.1 se presenta las etapas de desarrollo de hábito de crecimiento de mata y guía en frijol, propuesta por Fernández *et al.* (1982), tomada de (Solórzano, 2007).

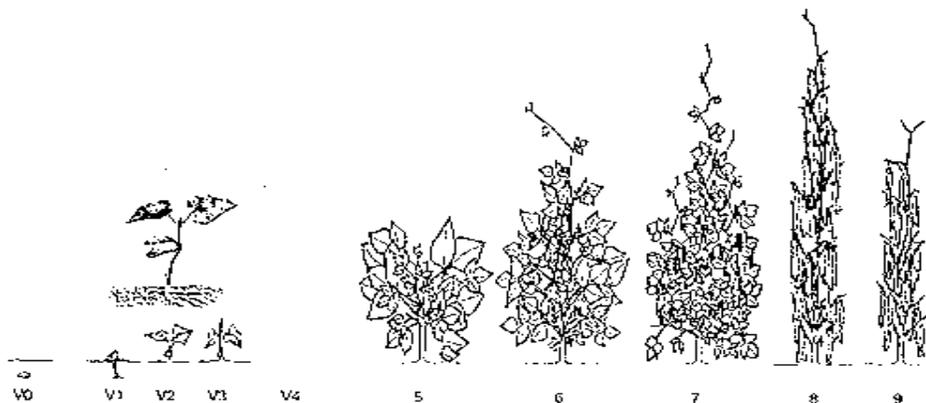




Figura 1.1 Etapas de desarrollo de hábito de desarrollo de crecimiento de mata y guía en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) (Fernández et al. 1982).

Figura extraída de Solórzano, 2007, en la que se muestra el desarrollo de la planta de frijol. V: etapa vegetativa; R: etapa reproductiva; 0-9=posición en la etapa de la escala.

1.3 Crecimiento y desarrollo del maíz (*Zea mays* L.)

Nombre común: Maíz

Nombre científico: *Zea mays* L.

Familia: Gramíneas

Género: *Zea*

La participación del volumen obtenido de maíz en la producción total de cereales fue creciente de 1996 al 2006 en 65% con respecto a otros cereales que se producen en México (trigo, sorgo, cebada, arroz y avena) (SAGARPA 2006). En parte, por lo anterior, el maíz es por mucho el cultivo agrícola más importante de México, tanto desde el punto de vista alimentario, industrial, político y social.

La planta del Maíz es de porte robusto y sin ramificaciones, de fácil desarrollo y producción anual; el tallo es simple, erecto, de elevada longitud pudiendo alcanzar los 4 m de altura, no presenta entrenudos y si una médula esponjosa, si se realiza un corte transversal, con inflorescencia masculina y femenina separada dentro de la misma planta. Las hojas son largas, de gran tamaño, lanceoladas, alternas, paralelinervias; se encuentran abrazadas al tallo y por el haz presentan vellosidades, los extremos de las hojas son muy afilados y cortantes; las raíces son fasciculadas y su misión es la de aportar un perfecto anclaje a la planta, en algunos casos sobresalen unos nudos de las raíces a nivel del suelo (SIMA, 2006).

La temperatura media óptima durante el ciclo vegetativo del maíz es de 25 a 30°C (CATIE, 1990), así como bastante incidencia de luz solar. Para que se produzca la germinación en la semilla la temperatura debe situarse entre los 15 a 20°C, temperaturas menores a 10°C retardan o inhiben el proceso de germinación (CATIE, 1990; SIMA, 2006). La planta llega a soportar temperaturas mínimas de 8°C y a partir de los 30°C, pueden aparecer problemas serios debidos a mala absorción de nutrientes minerales y agua, para la fructificación se requieren temperaturas de 20 a 32°C (SIMA, 2006), temperaturas superiores a 40°C afectan la polinización, especialmente en regiones con alta humedad relativa (CATIE, 1990).



El requerimiento de humedad del cultivo de maíz dependerá de las variedades utilizadas (CATIE, 1990), en general puede decirse que requiere alrededor de 5mm de agua al día, sin embargo, las necesidades hídricas van variando a lo largo del cultivo; durante la germinación requiere menos cantidad de agua, mientras que en la fase del crecimiento vegetativo requiere mayor cantidad de éste recurso, siendo la fase de floración el periodo más crítico porque de ella va a depender el cuajado y la cantidad de producción obtenida (CATIE, 1990; SIMA, 2006,).

La planta de maíz requiere suelos profundos, ricos en materia orgánica, con buena circulación de drenaje, se adapta muy bien a todos tipos de suelo pero suelos con pH de 6 a 7 son en los que mejor se adapta (SIMA, 2006).

La planta de maíz se puede definir como un sistema metabólico cuyo producto final es, esencialmente, almidón depositado en los órganos especializados denominados granos. Su desarrollo se puede dividir en dos fases fisiológicas (FAO, 1993):

Fase I: Fase vegetativa, se desarrollan y diferencian distintos tejidos hasta que aparecen las estructuras florales, consta de dos ciclos: 1) formación de primeras hojas, el desarrollo es ascendente, la producción de materia seca es lenta y finaliza con la diferenciación tisular de los órganos de reproducción; 2) desarrollo de hojas y los órganos de reproducción, terminado con la emisión de los estigmas.

Fase II: Fase de reproducción, inicia con la fertilización de las estructuras femeninas que se diferenciarán en espigas y granos. La etapa inicial de esta fase se caracteriza por el incremento de peso de las hojas y otras partes de la flor; durante la segunda etapa, el peso de los granos aumenta con rapidez (Tanaka y Yamaguchi, 1972).

Los principales factores del rendimiento son el número y el peso de los granos, el número de granos está determinado por el número de hileras. El tamaño y la forma del grano determinan su peso, asumiendo constantes factores como la textura y la densidad de los granos. De 100kg de panojas se obtienen unos 18kg de granos. Una hectárea de maíz produce cerca de 1,55 toneladas de residuos de tallos (FAO, 1993).

Se tiene diferentes sistemas para la identificación de las etapas vegetativas de las plantas de maíz, uno de los más comunes se basa en el conteo de la hoja más alta completamente emergida del tallo (lígula visible). En tanto que las plantas de maíz sigue el mismo patrón general de desarrollo, el número de hojas e intervalos de tiempos entre etapas de crecimiento varían mucho dependiendo del híbrido o variedad, de la fecha de siembra y de la localidad (CATIE, 1990; Solórzano, 2007).



El ciclo vegetativo del maíz puede variar de 80 a 140 días, para variedades precoces o tardías, respectivamente (CATIE, 1990). Las etapas de desarrollo de la planta de maíz (*Zea mays L.*), de mayor interés para este trabajo, tomadas de Ritchie y Hanway (1984) (Solórzano, 2007) se describen en el Cuadro 1.1, mientras que el Figura 1.1 se muestra un esquema de dicho desarrollo propuesto por Schütte y Meier en 1981 (Solórzano, 2007).

Cuadro 1.2 Etapas de desarrollo de la planta de maíz (Ritchie y Hanway, 1984).

<i>Etapas</i>	<i>Descripción</i>
Etapa Ve: germinación y emergencia	En condiciones de campo la planta absorbe agua e inicia su crecimiento, la radícula es la primera en alargarse desde el grano hinchado, seguido por el coleóptido con la plúmula encerrada, así como algunas raíces seminales. Finalmente la germinación se logra cuando el mesocótilo se alarga impulsando el crecimiento del coleóptido hacia la superficie del suelo. Cuando el coleóptido queda expuesta a la luz solar se detiene la elongación del mesocótilo (crecimiento de la planta es de 2.5-3.8cm sobre la superficie del suelo).
Etapa V3: tercera hoja	Se observan 3 hojas bien emergidas, el punto de crecimiento de la planta está por debajo de la superficie del suelo, los pelos radicales están creciendo desde el nudo radical y el crecimiento del sistema radical seminal en los hechos ha cesado, inicia la formación de nueva hojas y espiga.
Etapa V5: quinta hoja	Se complementa el inicio de la formación de la mazorca y comienza una inflorescencia masculina microscópica en el ápice del tallo. El inicio de la espiga en el ápice del tallo está justo debajo o al nivel de la superficie del suelo.
Etapa V6: sexta hoja	Periodo en el que el tallo presenta un rápido alargamiento, coincide con el punto de crecimiento y de la espiga del maíz cuando se encuentran sobre la superficie del suelo. Gran parte del sistema radical está formada por raíces nodales y los macollos se han desarrollado a partir de los nudos formados debajo del suelo.
Etapa V8: octava hoja	Periodo de rápida formación de hojas, las hojas 9ª, 10ª y 11ª han alcanzado su tamaño definitivo aunque no han emergido completamente. El alargamiento del tallo y el desarrollo de las raíces nodales rompen las dos primeras hojas, el tallo comienza su rápido alargamiento, el punto de crecimiento se encuentra 5-8cm sobre la superficie del suelo. La espiga comienza a desarrollarse con rapidez y el cuarto verticilo de las nodales se está alargando.
Etapa V9: novena hoja	Etapa en la cual pueden observarse varios primordios de mazorcas los cuales pueden desarrollar todos los nudos sobre la superficie del suelo. Al inicio, cada primordio de mazorca se desarrolla con rapidez en comparación con los meristemas de mazorca originados en la parte superior.
Etapa V12:	La duodécima hoja ha llegado a su desarrollo total, las cuatro hojas inferiores se han perdido, el tallo y la espiga crecen con rapidez, las raíces de sostén se desarrollan en



Etapa	Descripción
duodécima hoja	el primer nudo sobre la superficie. En esta etapa se determina el número potencial de óvulos de la mazorca, inicia un rápido y casi constante aumento diario del peso seco de la parte aérea de la planta.
Etapa V16: decimosexta hoja	La punta de la espiga ha emergido del verticilo, las primeras mazorcas aumentan de tamaño y longitud. Pueden perderse las hojas 5ª y 6ª.
Etapa R1: emergencia de los estigmas, anthesis	Las hojas y la espiga emergen por completo en dos o tres días, cesa el alargamiento de los entrenudos del tallo. El crecimiento del pedúnculo de la mazorca y las espigas casi se ha completado. La tusa y los estigmas, que crecerán hasta ser fertilizados, crecen rápidamente. Los óvulos se agrandan.
Etapa R2: estado de ampolla	La corona (raquis) de la espiga, las etapas y el pedúnculo están desarrollados por completo. El almidón ha comenzado a acumularse en el endospermo y los granos tienden a aumentar de peso con prontitud. El coleóptilo, primera hoja y radícula han sido iniciados en el embrión del grano.
Etapa R10: madurez fisiológica	La acumulación de materia seca ha cesado, sin embargo, el grano continúa perdiendo humedad pasada esta etapa, las hojas irán perdiendo su color verde.

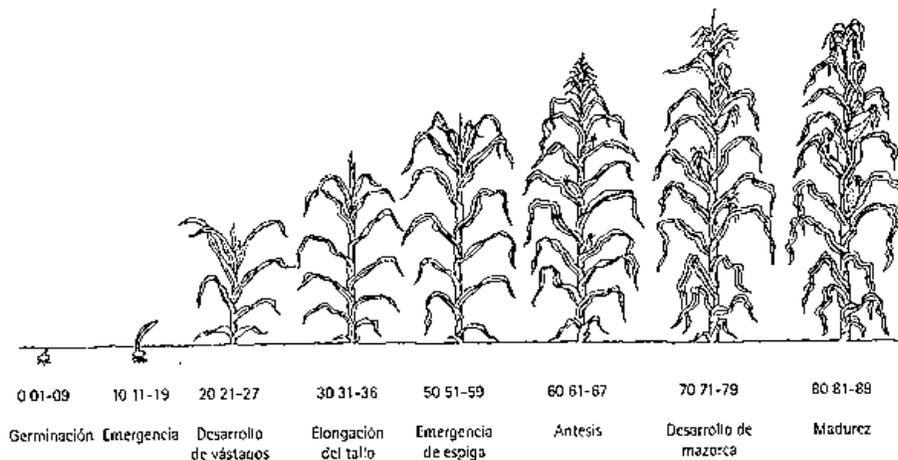


Figura 1.2 Etapas de desarrollo del maíz (Zea mays L.) (Schütte y Meier, 1981)

Figura extraída de Solórzano, 2007, en la que se muestra el desarrollo de la planta de maíz a través de un intervalo de tiempo tomado en días aproximados después de la siembra.



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Determinar los efectos producidos por la aplicación de composta, elaborada con residuos orgánicos resultantes del mantenimiento de áreas verdes, como mejorador de suelo en el desarrollo y crecimiento de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*).

2.2 Objetivos Particulares

1. Determinar el efecto de la aplicación de composta como mejorador de suelo según, el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, así como en la capacidad de retención de agua del sustrato utilizado.
2. Evaluar el efecto de la aplicación de composta sobre el número de hojas, peso seco final, altura total tanto así como en la senescencia foliar hasta la marchitez permanente del maíz (*Zea mays L.*) y del frijol (*Phaseolus vulgaris*).
3. Determinar el efecto de la aplicación de composta sobre el crecimiento y desarrollo de maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris*) a través de las variables manejadas en el objetivo particular No. 2.

3 HIPÓTESIS

Si la aplicación de composta elaborada con residuos orgánicos, de área verdes, ayuda a mejorar el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, así como la capacidad de retención de agua del suelo, entonces es posible obtener un mejor crecimiento y desarrollo de especies vegetales.



4 JUSTIFICACIÓN

En el DF la mayoría de las PC procesan residuos orgánico tipo poda de jardín y el principal uso de la composta obtenida es como abono en áreas verdes (jardines, camellones y parques). Sin embargo, los posibles uso de composta son muy variados y así lo demuestran una infinidad de estudios enfocados a su aplicación como mejorador de suelos y de cultivos.

El proceso de compostaje se encuentra bien documentado, es posible hallar procedimientos e indicaciones específicas para la producción de composta, tal como la relación C/N con que debe iniciar el proceso, sin embargo, son las características reales de la comunidad generadora (número de habitantes, cultura, etc.) así como las condiciones de trabajo de las PsC los factores que rigen la producción real de composta. De lo anterior se puede afirmar que en la mayoría de los casos la producción de composta no se realiza en condiciones óptimas y esto implica la necesidad de conocer la calidad de la composta obtenida.

La composta obtenida en el IPN es utilizada como mejorador de sus suelos de áreas verdes y campos deportivos, se ha demostrado que su producción es factible técnica y económicamente (Cantero, 2007), por lo cual en este trabajo se planteó el determinar sus efectos sobre el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, así como en la capacidad de retención de agua en suelos del mismo instituto.

Ahora bien, la búsqueda de aplicaciones de la composta es de gran importancia para alentar el mercado de ésta e indirectamente promover la separación de residuos orgánicos e inorgánicos con el fin de valorizarlos. Por lo cual también es este trabajo se presenta su uso como mejorador del desarrollo de dos especies vegetales, maíz (*Zea mays L.*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L.*), las cuales fueron seleccionadas por su importancia económica y alimenticia en México.



5 METODOLOGÍA

Para estudiar los efectos de composta elaborada con residuos orgánicos tipo poda de jardín y aplicada en diferentes dosis como mejorador de suelos y del desarrollo de maíz (*Zea mays L*) y frijol (*Phaseolus vulgaris L*), se realizaron las siguientes actividades:

1. Monitoreo de la producción de composta, desde el levantamiento de la pila hasta la obtención de composta madura.
2. Pruebas de laboratorio que incluyeron: análisis fisicoquímicos a la composta, suelo y tratamientos utilizados para la siembra de maíz y frijol; búsqueda de hongos fitopatógenos en suelo, composta y semilla; prueba de viabilidad y germinación *in vitro* de las semillas tanto de maíz como de frijol.
3. Siembra y seguimientos del crecimiento/desarrollo de maíz así como de frijol.

En los siguientes enunciados se describe detalladamente cada una de las actividades realizadas así como la importancia de su desarrollo en este trabajo.

5.1 Proceso de compostaje

5.1.1 Producción de composta y seguimiento del proceso

La pila para la obtención de composta fue montada en la PPCyV, fue empleado el sistema abierto por pilas semiestáticas con levantamiento semimecánico y volteos manuales (sistema empleado en la PPCyV). La metodología empleada se describe a continuación:

1. Se agregó una capa de madera molida (mulch), con ayuda de un cargador frontal.
2. Se agregó una capa de hoja, con ayuda del cargador frontal.
3. Se agregó una capa de pasto, con ayuda del cargador frontal.
4. Se agregó una capa de composta madura con ayuda del cargador frontal.
5. Se repitieron los pasos del 1 al 4 hasta lograr una altura adecuada para el acomodo manual de los materiales.
6. Durante el acomodo de los materiales éstos fueron humedecidos con ayuda de un aspersor.
7. La pila se concluyó con una capa de composta madura.



8. La pila fue cubierta con un plástico para invernadero.

Las materias primas y cantidades aproximadas se presentan el Cuadro 5.1. Las dimensiones fueron: 11m largo, 1.6m altura y 2m ancho, ocupando un área aproximada de 22m², empleando alrededor de 12 toneladas (35.2 m³) de residuos.

Cuadro 6.1 Materias primas y cantidades de éstas utilizadas⁵

Materia prima	Cantidad (kg)
Pasto	6,000
Hoja	1,133
Madera molida (mulch)	1,866
Composta madura (inóculo)	3,200

Durante el proceso de compostaje se midieron y registraron los parámetros de control: pH, humedad y temperatura. Cabe mencionar que dentro de los objetivos del presente trabajo no se incluye la caracterización del proceso de compostaje, por lo que solamente fueron considerados los parámetros pH, humedad y temperatura con el único fin de llevar a cabo un control de la degradación de los materiales composteados. Las mediciones se realizaron de la siguiente manera:

pH y contenido de humedad (% humedad): durante la primera semana del proceso estos parámetros se tomaron in situ y con ayuda de un Humidímetro Electrónico / PH para Suelos, Modelo: WF7029. Durante el levantamiento de la pila, los materiales fueron humedecidos según el requerimiento visual de las materias primas utilizadas. El suministro de agua se realizó evitando la generación de lixiviados.

A partir de la segunda semana, durante cada volteo fueron tomadas 10 muestras de aproximadamente 1 Kg distribuidas uniformemente al azar, posteriormente se mezclaron y mediante el método del cuarteo se obtuvo una muestra de 1Kg (NTEA-006-SMA-RS-2006), las muestras fueron trasladadas y analizadas en el laboratorio de Ingeniería Ambiental de la UPIBI.



El contenido de humedad fue obtenido por el método gravimétrico, mientras que el pH por el método potenciométrico, ver Anexo 1.

Temperatura: durante la primera semana se midió cada tercer día hasta alcanzar la etapa termofílica, posteriormente se registró antes y después de cada volteo, fueron utilizados termómetros bimetálicos,. La pila fue dividida (visualmente) en tres partes, parte superior, parte inferior y centro, tomando 20 mediciones en cada parte con el fin de obtener valores más representativos.

Una vez alcanzada la maduración de la composta, la pila de composta fue trasladada a la UPIBI y almacenada. Antes de ser empleada ésta fue cribada con el fin de eliminar materiales indeseables.

El proceso de compostaje se inició el 19 de enero del 2009, fueron aplicados 13 volteos semanales durante tres meses, se permitió la estabilización durante 2 meses a partir de la 13^a vuelta, una vez obtenidas temperaturas debajo de 27°C durante una semana se determinó concluida la etapa de maduración. El 19 de junio del 2009 se dio por concluidos el proceso de compostaje.

5.2 Análisis en laboratorio

Los análisis de laboratorio incluyeron pruebas fisicoquímicas así como biológicas las cuales se enlistan y se describen en los siguientes apartados:

1. Análisis fisicoquímicos realizados a la composta y a la tierra
2. Búsqueda de hongos fitopatógenos, esta última prueba se aplicó a la composta madura, a la tierra a emplear y en las semillas de las especies a utilizar.
3. Pruebas de viabilidad
4. Pruebas de germinación *in vitro*

6.2.1 Análisis fisicoquímico

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Laboratorio de Tecnología Ambiental de la Unidad Profesional Interdisciplinaria de Biotecnología (UPIBI-IPN). Cabe mencionar que los análisis químicos fueron aplicados a la composta en su etapa de estabilización, a la composta madura y al suelo empleado.



Los análisis fisicoquímicos también fueron aplicados a las mezclas de suelo-composta empleadas en la etapa de siembra en invernadero, tomándose muestreos en 2 diferentes tiempos de crecimiento de las especies (tiempo inicial y final).

Para este apartado fue necesario realizar muestreos con el fin de obtener muestras representativas, para el caso de la composta inmadura: se realizaron perforaciones a la pila de composta tomando 10 muestras de aproximadamente 1kg distribuidas uniformemente al azar, posteriormente se mezclaron y mediante el método del cuarteo se obtuvo una muestra de 1kg; una vez que la composta maduró fue aplicado el método del cuarteo para la obtención de una muestra de 5kg.

El suelo empleado se obtuvo de los campos de la UPIBI; antes de realizar las mezclas para los tratamientos fue cribado, aireado y expuesto al sol, posteriormente se tomaron 10 muestras de aproximadamente 1kg distribuidas uniformemente al azar, posteriormente se mezclaron y mediante el método del cuarteo se obtuvo una muestra de 5 Kg. Una vez realizadas las mezclas de los tratamientos manejados en la siembra en invernadero se tomaron muestras de cada una de éstas; una vez marchitas las plantas se tomaron muestras individuales de 1 kg de todas las repeticiones, mediante el cuarteo se obtuvo una muestra individual de 1 kg por tratamiento.

Con el fin de preservar las características de las muestras, la etapa de muestreo comprendió las siguientes actividades: identificación, traslado, registro, secado, molienda y almacenamiento para su conservación.

Los parámetros fisicoquímicos que se midieron así como el método empleado se enlistan en el Cuadro 5.2, dichos parámetros fueron seleccionados según los alcances del presente trabajo, para mayor detalle en el Anexo 1 se describen las técnicas utilizadas para cada prueba.



Cuadro 5.2 *Parámetros fisicoquímicos analizados en laboratorio.*

Parámetro	Aplicado a					Método
	Composta		Suelo	Tratamientos		
	<i>inmadura</i>	<i>madura</i>		<i>antes de la siembra</i>	<i>después de la siembra</i>	
pH	X	X	X	X	X	Potenciométrico
Materia orgánica (%MO)	X	X	X	X	X	Walkley y Black
Nitrógeno total (%NT)	X	X	X	X	X	Micro Kjeldahl
Carbono (C)	X	X	X	X	X	%MO x 0.58 (Jackson, 1970)
C/N	X	X	X	X	X	(%MO x 0.58)/%N
Contenido de humedad (% humedad)	-	X	X	X	-	Gravimétrico
Capacidad de campo (CC)	-	X	X	X	-	Columna de suelo
Punto de marchitez permanente (PMP)	-	X	X	X	-	Girasol
Densidad aparente (Da g/cm ³)	-	X	X	X	-	Cilindro de volumen conocido
Densidad de partícula (Dp g/cm ³)	-	X	X	X	-	Con agua
Espacio Poroso (%EP)	-	X	X	X	-	%EP=100-(Da/Dp)*100

pH: El pH es un parámetro muy común e importante ya que refleja características fundamentales del suelo. La determinación potenciométrica del potencial de hidrógeno (pH) se basa en la medición de la actividad de los iones hidrógeno mediante el uso de electrodos con membrana sensible a éstos. Este parámetro puede verse alterado por diversas razones como: tipo y cantidad de constituyentes inorgánicos y orgánicos, concentración de sales en la solución o relación suelo: solución.

Contenido de Materia Orgánica (%MO): La determinación del %MO se evalúa con base en el contenido de carbono orgánico. El método de Walkley y Black, se basa en la oxidación del carbono orgánico por medio de una solución de dicromato de potasio y el calor de reacción que se genera al mezclarla con ácido sulfúrico concentrado. Pasado un tiempo a la mezcla se adiciona ácido fosfórico con el fin de evitar interferencias de Fe³⁺ y el dicromato de potasio residual es valorado con sulfato ferroso.



Contenido de Nitrógeno Total (%NT): Con el método micro Kjeldahl la muestra es digerida en presencia de ácido sulfúrico concentrado, sulfato de potasio y sulfato cúprico hasta obtener el desprendimiento de humos blancos y que la solución se observe transparente e incolora o de un tono amarillo paja. El residuo es enfriado, diluido y llevado a condiciones alcalinas para la determinación del amonio. El amonio destilado se cuantifica volumétricamente.

Relación C/N: La relación C/N está en función del % MO obtenida de acuerdo a la constante de Jackson (1970) y del %N. Para determinar el contenido de carbono se multiplica el % MO x 0.58, donde la constante dada por Jackson, (1970) tiene un valor de 0.58.

Por lo tanto, la ecuación para determinar la relación C/N es:

$$C/N = (\%MO \cdot 0.58) / \%NT$$

$$\text{Carbono Orgánico (\%C)} = \%MO / 1.724$$

Contenido de Humedad (% humedad): El método gravimétrico está basado en la medición de la cantidad de agua expresada en gramos que contiene una muestra (de suelo o composta). El contenido de agua es expresado como la relación de la masa de una muestra después de haber sido secada y llevada a peso constante.

Capacidad de campo (CC): Cantidad de agua que un suelo puede retener, después de ser saturado con agua (2 o 3 días) y contando con libre drenaje, su valor representa la máxima cantidad de agua disponible para las plantas y comprende tanto el agua capilar como la higroscópica.

Punto de marchitez permanente (PMP): el punto de marchitez permanente es el porcentaje de agua que tiene un suelo cuando las plantas que lo habitan manifiestan marchitez permanente.

Densidad aparente (Da): La densidad aparente del suelo es la relación entre el peso del suelo seco en la estufa y el volumen ocupado por ese peso del suelo.

Densidad de partícula (Dp): La densidad de partículas se define como la relación entre el peso de partículas sólidas secas a la estufa y el volumen de un líquido desplazado por ellas. En el sistema métrico se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm³).

Espacio Poroso (% EP): Es la porción del suelo ocupada por el aire y el agua, es decir es aquella porción de suelo que no está ocupada por los sólidos orgánicos o minerales. Para



obtener el %EP se requieren los valores de la D_a y la D_p del suelo, sustituyendo sus valores en la siguiente ecuación:

$$\%EP = 100 - \left(\frac{D_a}{D_p} \right) \times 100$$

5.2.2 Búsqueda de hongos fitopatógenos

La búsqueda de hongos fitopatógenos se llevó a cabo tanto en las semillas de maíz como en las de frijol, así como en la composta madura y en el suelo utilizado.

El objetivo de esta prueba, fue detectar la presencia de hongos fitopatógenos primeramente en las semillas (de maíz y frijol) descartando de esa manera su infertilidad por contaminación, seguido por la búsqueda de hongos fitopatógenos, que pudiesen inhibir la germinación de las semillas o alterar el desarrollo de las plántulas, en suelo y composta.

La identificación de los hongos presentes se realizó mediante preparaciones temporales en laminillas y se observaron en microscopio compuesto (40x). Los hongos se identificaron a género por medio de las claves de Barnett y Hunter (1998). Se determinó la frecuencia de cada uno de los géneros encontrados así como su porcentaje. Los análisis de detección e identificación de los hongos se realizaron de septiembre a diciembre del 2009. A continuación se describe las técnicas utilizadas para los aislamientos.

5.2.2.1 Búsqueda de hongos fitopatógenos en semillas de maíz y frijol

Se esterilizaron toallas de papel absorbente, agua destilada y bolsas de plástico, las semillas se desinfectaron con una solución de hipoclorito de sodio al 1.5 % (lavado durante 3min), posteriormente fueron lavadas 2 veces con agua destilada estéril con el fin de eliminar restos de hipoclorito de sodio.

Se colocaron 20 semillas (desinfectadas) en papel absorbente húmedo (esterilizado), se enrollaron y colocaron en bolsas de plástico (esterilizadas), todo bajo condiciones asépticas, finalmente se trasladaron a una estufa con temperatura de 25°C durante 4-7 días.



El procedimiento se repitió bajo condiciones normales, es decir con toallas, agua y bolsas de plástico sin esterilizar así como semillas sin desinfectar.

Una vez germinadas las semillas (emergencia de radícula) se procedió a evaluar su aspecto, las semillas que presentaron retardo en su crecimiento o una alteración visible fueron extraídas y colocadas en cajas petri con Agar Papa Dextrosa (PDA). Las cajas se mantuvieron a temperatura ambiente, una vez detectado el crecimiento de hongos se realizó la purificación de cultivos (por cultivo monospórico).

5.2.2.2 Búsqueda de hongos fitopatógenos en suelo

Para el aislamiento de hongos del suelo, se realizó un aislamiento a partir de diluciones de una muestra de suelo tomada con la punta de un asa previamente esterilizada. El medio de cultivo empleado fue Agar Dextrosa Sabouraud (ADS). El número de diluciones fueron 6, los cultivos se mantuvieron a temperatura ambiente, una vez detectado el crecimiento de hongos, se procedió a su aislamiento y purificación en nuevas cajas con ADS, haciendo 5 puntos para cada diferente hongo encontrado, una vez detectado el crecimiento de los hongos se realizó la identificación mediante la preparación de laminillas.

5.2.2.3 Búsqueda de hongos fitopatógenos en composta

El aislamiento de hongos de la composta se realizó a partir de gránulos de composta, los cuales fueron colocados en cajas petri con PDA, 5 cajas con 5 puntos cada una, los cultivos se mantuvieron a temperatura ambiente, una vez detectado el crecimiento de hongos, se procedió a su identificación mediante la purificación de cultivos y preparación de laminillas.

5.2.3 Pruebas de germinación *in vitro* y viabilidad

Considerando que cuándo se siembra un lote de semillas no todas germinan al mismo tiempo, se realizaron pruebas de germinación *in vitro* y viabilidad con el fin de conocer el porcentaje de semillas capaces de germinar. La primera prueba se realizó bajo condiciones estándar permitiendo el crecimiento normal de la semilla, mientras que en la segunda se estimuló su capacidad germinativa potencial a través de una reacción química de coloración para demostrar si las semillas estaban vivas.



El porcentaje de germinación fue determinado mediante pruebas de germinación *in vitro*. La germinación comienza con la entrada de agua a la semilla, uno de los primeros procesos que se activa es la respiración destinada a entregar la energía necesaria que será utilizada para el crecimiento del eje embrionario (Fernández y Johnston, 1986). La división y el alargamiento celular del embrión provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente ocurre por la emergencia de la radícula (García *et al.*, 2006).

La viabilidad se determinó mediante la prueba de tretazolio (Delouche *et al.*, 1971). Esta prueba se basa en el principio de respiración de la semilla, las semillas viables al momento de respirar liberan enzimas de hidrogenasas que al contacto con la sal de tretazolio se genera una coloración rojo carmín en el tejido de la semilla. La prueba de tretazolio es una prueba rápida que nos indica la viabilidad de las semillas, la prueba es destructiva por lo que no es posible obtener productos de estas.

Para las pruebas de germinación *in vitro*: se colocaron 25 semillas en papel absorbente húmedo, separadas por espacios uniformes (4 repeticiones por especie), se enrollaron y colocaron en bolsas de plástico, se trasladaron a una estufa con temperatura de 25°C durante 4-7 días. Las toallas con las semillas fueron revisadas a los 2º, 6º y 7º día, se procedió a evaluar su desarrollo determinando como germinadas las semillas que presentaron crecimiento radicular (García *et al.*, 2006), este criterio fue aplicado a ambas especies.

Para la prueba de viabilidad: se tomaron 10 semillas, 4 repeticiones por especie, se embebieron en agua destilada durante 12 horas a temperatura ambiente, posteriormente se les realizó un corte longitudinal por el eje embrional. Se eligieron las mitades de las semillas que mostraron mayor definición de sus componentes morfológicos, y se mantuvieron sumergidas en agua destilada, posteriormente se colocaron en cajas petri y se agregaron 10 ml de cloruro de trifenil-2-3-5-tretazolio al 0.2% P/V.

Las cajas petri se incubaron a 27 °C por 4 horas protegidas de la luz. Finalmente se observaron las estructuras embrionales con un microscopio estereoscópico, una coloración rojo carmín en el tejido de la semilla, y principalmente sobre el embrión, indicaban viabilidad, la falta de coloración indicaban lo contrario. La interpretación de resultados se realizó siguiendo las claves para pruebas de tretazolio en maíz y frijol (Delouche *et al.*, 1971).



5.3 Siembra en invernadero

La siembra de maíz y frijol se llevó a cabo en los invernaderos de la UPIBI, por medio de bioensayos que consistieron en bolsas negras con capacidad para 10 Kg. La siembra se realizó el 23 de Octubre de 2009, las temperaturas dentro del invernadero durante el día oscilaron entre los 10°-38°C, con una humedad relativa entre 60 a 80 %.

Los tratamientos consistieron un diseño experimental aplicando 3 diferentes dosis de composta (10 %, 20% y 30%), manejándose dos controles y un comparativo al cual se le adiciono fertilizante químico (18-46-00 y Triple) quedando como se indica en el Cuadro 5.3. Para cada tratamiento se prepararon 7 repeticiones. Los tratamientos T0 y T5 fueron considerados como los testigos (positivo y negativo). El acomodo de los tratamientos dentro del invernadero fue completamente al azar. En los Cuadros 5.3 y 5.4, se muestra el arreglo final de los tratamientos dentro del invernadero.

Cuadro 5.3 Composición porcentual para cada tratamiento

Tratamiento	Nomenclatura	Relación suelo- composta
Testigo negativo	T0	Únicamente suelo
Tratamiento 1	T1	90-10
Tratamiento 2	T2	80-20
Tratamiento 3	T3	70-30
Tratamiento 4	T4	Tierra más fertilizante químico
Testigo positivo	T5	Únicamente composta

Cuadro 5.4 Arreglo final de los tratamientos para el frijol dentro del invernadero de la UPIBI.

T4 7	T4 14	T0 1	T0 5	T0 15	T2 9	T3 4	T5 9
T5 12	T4 16	T0 14	T4 4	T4 9	T3 1	T1 11	T3 9
T2 10	T0 13	T0 9	T0 10	T28	T2 14	T3 3	T3 13
T3 12	T4 15	T4 6	T2 13	T1 16	T1 6	T1 7	T1 5
T5 2	T3 7	T0 16	T1 8	T2 3	T5 8	T1 1	T5 15
T5 14	T3 11	T2 12	T5 1	T4 8	T2 16	T5 13	T1 10



Cuadro 5.5 Arreglo final de los tratamientos para el maíz dentro del invernadero de la UPIBI.

T2 5	T4 15	T4 10	T5 5	T4 2	T0 6	T0 8	T0 7
T5 16	T5 3	T2 6	T4 5	T5 10	T0 4	T0 3	T0 2
T3 15	T1 12	T2 2	T2 11	T0 11	T4 11	T0 12	T2 1
T3 14	T3 16	T1 2	T4 1	T5 4	T5 7	T2 15	T4 12
T3 5	T2 7	T1 15	T5 11	T5 6	T4 3	T2 4	T3 2
T3 6	T3 8	T3 10	T1 14	T1 13	T1 4	T1 9	T1 3

La composta y el suelo utilizados fueron cribados para eliminar, en lo posible, piedras (mayores a 3cm), papel y plásticos. Las bolsas negras fueron preparadas con las mezclas ya mencionadas anteriormente. Cada bolsa se etiquetó y se realizaron perforaciones de 4cm para la instalación de las semillas. Para el caso del maíz se colocaron 5 semillas mientras que para el frijol se colocaron 3 semillas. La cantidad de semillas a utilizar fue determinada según los datos obtenidos de las pruebas de germinación *in vitro* y viabilidad.

En los Cuadros 5.6 y 5.7 se presentan algunas características físicas y químicas de los fertilizantes 18-46-00 y triple, respectivamente, la información fue obtenida de las fichas técnicas correspondiente a cada uno.

Cuadro 5.6 Propiedades fisicoquímicas del fertilizante 18-46-00.

Propiedades fisicoquímicas del fertilizante 18-46-00	
Fórmula Química	$(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$
Peso Molecular (g/mol):	132.055
Contenido de Nitrógeno Total (w/w)	18% de Nitrógeno Amoniacal
Contenido de Fósforo (P 2O 5)	
Fósforo Total (Pentóxido de Fósforo) (w/w)	46%
Fósforo Disponible (Pentóxido de Fósforo) (w/w)	46%
Fósforo Soluble en Agua (Pentóxido de Fósforo) (w/w)	42%
Presentación Física	Gránulos esféricos de color café oscuro, grisáceo o negro
Tamaño de partícula	1.18 a 4.00 mm
Solubilidad en agua, a 20° C (100 g/100 ml):	58.0 g/100 ml. de agua



Propiedades fisicoquímicas del fertilizante 18-46-00	
pH en solución al 10%	7.4 – 8.0
Densidad Aparente (Kg/m ³)	955 – 1,040
Índice de Salinidad	29.2
Humedad Relativa Crítica (a 30° C)	83 %
Acidez equivalente a Carbonato de Calcio:	69 partes de Carbonato de Calcio por 100 partes de DAP

Cuadro 5.7 Propiedades fisicoquímicas del fertilizante triple.

Propiedades fisicoquímicas del fertilizante triple	
Nitrógeno Total (w/w)	15%
Nitrógeno amoniacal (w/w)	9%
Nitrógeno Nítrico (w/w)	6%
Contenido de Fósforo Total (P 2O 5) (w/w)	15% Pentóxido de Fósforo
Contenido de Potasio (K 2O)	15%
Presentación Física	Sólido granulado color gris claro
Tamaño de partícula	2.0 a 5.00 mm
pH en solución al 10%	6.8 – 7.2
Unidades Densidad Aparente (Kg/m ³)	923 Kg/m ³
Humedad Relativa Crítica (a 30° C):	1 %

El fertilizante 18-46-00 cuyo nombre es Fosfato de Amonio Dibásico, también es llamado Fosfato Diamónico (DAP), fue aplicado durante la siembra. El fertilizante triple también llamado Triple 15 es un fertilizante químico contiene los 3 macronutrientes más importantes N-P-K, fue aplicado a los 30 días de vida de las plantas.

Cabe mencionar que las proporciones manejadas, para el caso de la composta, fueron determinadas con base en datos recomendados por manuales específicos para la siembra en invernadero, una parte de composta por tres de tierra así como directamente en campo, aplicar los primero 5 cm de profundidad (Rodríguez y Córdoba, 2006), de igual forma el tamaño de las macetas fue seleccionado con base a experiencias que nos indican la posibilidad del rápido crecimiento de las especies (Widman *et al.*, 2005).

Durante la primera semana el riego fue diario, hasta la obtención de las primeras plántulas, a partir de la segunda semana el riego se realizó cada tercer día. El control de malezas se realizó en forma manual hasta los treinta días de edad de las especies, por ser este el período crítico de competencia con las malezas (CIAT, 1989).



Una vez realizada la siembra de las semillas, tanto de maíz como de frijol, se realizó el seguimiento del desarrollo y crecimiento de las plantas obtenidas, tomándose notas en bitácora. El seguimiento consistió en tomar mediciones de las siguientes variables: % de emergencia de plántulas (%EmP), Número de Hojas (NH), Altura Total (AT), senescencia foliar hasta la marchitez permanente (MP) y peso seco final (PSf). Las mediciones de las plántulas desarrolladas se realizaron semanalmente durante el primer mes a partir del segundo mes las mediciones fueron quincenales.

6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Proceso de compostaje

Como ya se mencionó la pila para la obtención de composta fue montada en la PPCyV, mediante el sistema abierto por pilas semiestáticas con levantamiento semimecánico y volteos manuales, las materias primas fueron: pasto, hojas, madera molida y composta madura como inoculo; las dimensiones finales de la pila fueron: 10 m de largo, 1.2 m de altura y 2 m de ancho, ocupando un área aproximada de 20 m², con un volumen final de 24 m³ (8.153 toneladas), con una reducción en volumen de los residuos al final del proceso del 35%.

En la Figura 6.1, se muestran las temperaturas registradas durante todo el proceso de compostaje. La grafica presenta los valores obtenidos (promedios) en la parte inferior, centro y superior de la pila, la línea roja nos indica el valor promedio para toda la pila.

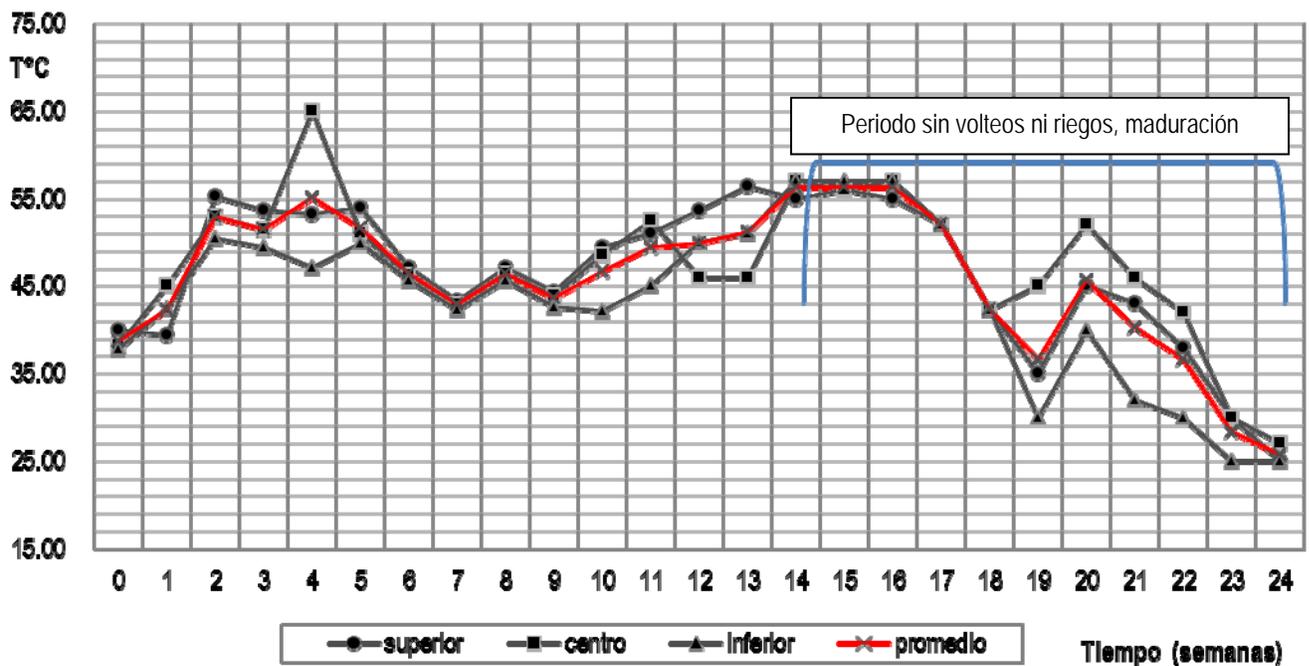


Figura 6.1 Temperatura registrada durante la primera semana del proceso de compostaje



El aumento rápido de la temperatura nos implica una transición rápida de la etapa mesofílica a la etapa termofílica (Ryckeboer *et al.*, 2003a; Ryckeboer *et al.*, 2003b) y es un buen indicador del avance del proceso, por lo general se considera un buen indicio del control sanitario, que durante la fase inicial del proceso se alcancen temperaturas de hasta 45 °C (Ryckeboer *et al.*, 2003b; Ryckeboer *et al.*, 2002; Trejo, 1994). En la Gráfica 6.1 apreciamos un aumento de la temperatura importante desde la primera semana hasta la tercera semana en la que se comienzan a observarse las primeras fluctuaciones.

En la Gráfica 6.1, observamos un descenso significativo de la temperatura de la semana 5ª a la 10ª (vueltas 5ª-10ª), teniéndose valores por debajo de 50 °C. A partir de la 11ª semana (11ª vuelta) la temperatura se eleva manteniéndose relativamente constante y por arriba de los 50 °C hasta la semana 17ª (etapa de maduración) en la que comienza un descenso. En este periodo los nutrientes son un factor limitante, causando una disminución de la actividad microbiana y la producción de calor (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

El decaimiento de la temperatura por debajo de los 50°C y manteniéndose durante tres semanas (7ª, 8ª y 9ª semana) alrededor de los 40°C provocó una interrupción de la etapa termofílica, que estaba iniciando, pasando rápidamente a una segunda etapa mesofílica, retrasando el proceso de descomposición.

Se requieren de temperaturas arriba de 55 °C durante 3 días consecutivos (Navarro, 2002) o bien de 45-50°C durante 12 días consecutivos para asegurar la eliminación de microorganismos patógenos (Rodríguez y Córdova, 2006., NTEA-006-SMA-RS-2006). Como podemos ver en la Gráfica 6.1 ambas condiciones se cumplen de las semanas 11ª a la 16ª, periodo que corresponde a la mayor actividad termofílica.

En la Gráfica 6.1, se observa que la temperatura registrada en el centro de la pila alcanzó temperaturas superiores respecto a la parte inferior y superior, la mayor temperatura registrada fue de 65°C, por lo general las temperaturas más elevadas suelen presentarse en el centro de las pilas de composta (Rodríguez y Córdova., 2006).

En nuestro caso podemos afirmar que se presentaron dos etapas mesofílicas, la primera comprendida durante la primera semana, la segunda quedó comprendida a mitad del proceso, con duración de tres semanas (7ª, 8ª y 9ª semana). De igual forma se presentaron dos etapas termofílicas, la primera comprendida de la semana 1 hasta la semana 6; la segunda inició la semana 10 y concluyó la semana 18.



Como se observa tres semanas después de suspendidos los riegos y los volteos la temperatura se sigue manteniendo por arriba de 45°C, es decir en la etapa termofílica, sin embargo las temperaturas no son superiores a los 70°C por lo cual podemos afirmar que la actividad microbiana no fue inhibida (inactivación enzimática o déficit de oxígeno) (Ryckeboer *et al.*, 2003b) y esta continuo probamente hasta que la producción de calor fue menor que el de la disipación de calor, considerando que las altas temperaturas ayudan a la degradación de compuestos orgánicos recalcitrantes como lignocelulosa, por ejemplo, madera (Tuomela *et al.*, 2000).

Se considera que el proceso de compostaje está concluido cuando la temperatura ya no aumenta y se estabiliza casi a la temperatura ambiente (Rodríguez y Córdova, 2006). Para nuestro caso esto comienzo a ocurrir hasta la semana 22. En la semana 24 el proceso de compostaje se da por concluido teniéndose una temperatura promedio de 25°C. Durante la fase de maduración, la disminución de la calidad del sustrato y los compuestos más complejos, tales como el humus de lignina que se forman ya no son más degradables (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

La disminución de la temperatura después de cada volteo se puede apreciar en el Cuadro 6.1. El mayor descenso se obtuvo durante la cuarta vuelta siendo aproximadamente de 19°C, lo cual coincide con un descenso de la temperatura de la parte inferior y superior de la pila, pero no del centro de ésta. Por lo que podemos decir, y tal como indica Bernal *et al.*, 2009, que los volteos realizados funcionaron como reguladores de la temperatura y ayudaron a disipar, en parte, agua en forma de vapor.

La temperatura es un indicador de la actividad microbiana, a mayor temperatura mayor actividad microbiana, por lo que es normal que la mayor diferencia obtenida antes y después de cada volteo se observe durante las primeras semanas, debido a la gran cantidad de material orgánico que se está degradando. La segunda lectura se tomó dos horas después del volteo.



Cuadro 6.1 Temperatura antes y después de cada uno de los volteos, temperaturas tomadas 1 hora antes de realizar el volteo y 2 horas después de terminado el volteo.

Volteo	T°C antes del volteo	T°C después del volteo	Diferencia
1	54.00	48.84	5.16
2	60.16	45.54	14.62
3	57.52	45.55	11.97
4	60.66	41.75	18.91
5	56.33	46.89	9.44
6	54.00	46.38	7.63
7	53.00	42.84	10.16
8	55.00	46.38	8.63
9	54.00	43.44	10.56
10	50.15	43.30	6.85
11	57.00	46.00	11.00
12	57.00	49.88	7.13
13	57.00	51.18	5.82

La menor diferencia de temperaturas, antes y después de cada volteo, se presentaron al inicio y durante los últimos dos volteos, sin embargo también se presentaron bajas diferencias en los volteos 5, 6, 8, y 10, periodo en que se registró la interrupción de la etapa termofílica dando lugar a una segunda etapa mesofílica.

Los volteos pudieron ser un factor importante en el comportamiento ya que no se permitió la duración de las temperaturas alcanzadas, recordando que se realizaron 13 volteos mientras que son recomendados solo cinco volteos como mínimo (NTEA-006-SMA-RS-2006).

Los promedios obtenidos del pH y del %Humedad durante el proceso de compostaje se presenta en la Figura 6.2. Cabe recordar que estos parámetros fueron obtenidos en laboratorio a partir de la segunda semana, la toma de muestras se realizó durante los volteos según lo indicado por la NTEA-006-SMA-RS-2006.

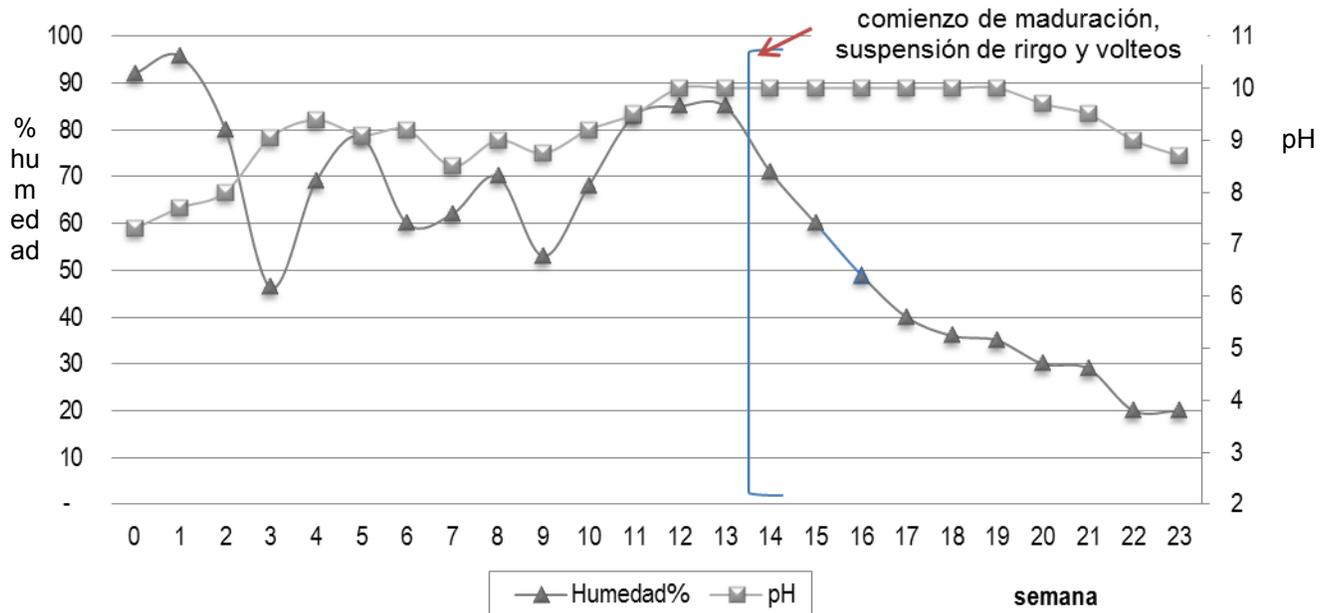


Figura 6.2 Comportamiento de los parámetros de control durante el proceso de compostaje

En nuestro proceso el pH inicia con un valor neutro de 7, lo cual es correcto considerando que durante la fase inicial del proceso de compostaje los substratos se encuentran a temperatura ambiente y el pH es, por lo general, levemente ácido (Ryckeboer *et al.*, 2003b) o neutro. El pH se basificó hasta adquirir un valor de 10, durante la etapa de maduración se observa un descenso hasta 8.7.

El pH tiende a ser un parámetro que indica cómo avanza el proceso; en un proceso normal el pH inicia su descenso hasta 6.5 estabilizándose y basificándose a un valor entre 7- 8, lo que permite la degradación y la maduración. Un valor superior a 8 provoca pérdidas de nitrógeno en forma de amoníaco (Rodríguez y Córdova, 2006; Bernal *et al.*, 2009).

En nuestro proceso no se observó un pH por debajo de 6.5, por el contrario nuestro proceso se basifico rápidamente, esto puede encontrarse ligado, principalmente, a las composición de la materia prima utilizada (Sadiqui *et al.*, 2008) (6 Toneladas de pasto contra 1 tonelada de hojas, 1.8 de madera y 3.2 de composta). Debido a las condiciones básicas que se presentaron se puede afirmar que la principal actividad microbiana fue realizada por Actinobacterias, las cuales soportan excesos o déficit de agua y el pH óptimo para su desarrollo oscila entre 7-8 (Ryckeboer *et al.*, 2003b). Sadiqui *et al.*, (2008) nos mencionan que puede ser considerado como un indicador de madurez.



La biodegradación principal ocurre durante los primeros 3 meses del proceso (Röben, 2002), por lo que fue de gran importancia mezclar el material así como el control de la humedad. Por lo general se ha manejado que la humedad óptima del proceso de compostaje sea del 50-60% (Bernal et al., 2009; (Gajalakshmi y Abbasi, 2008), este porcentaje tiende a reducirse hasta un 30 ó 40% (Rodríguez y Cordova., 2006). Para las bacterias, el contenido de agua óptimo se extiende a partir del 50 hasta el 60% (Fogarty y Tuovinen, 1991; Ryckeboer et al., 2003b), favoreciendo un pH cercano a neutro.

Como podemos apreciar en la Figura 6.2, en un inicio la humedad fue excesiva, rebasando el 90%, esto pudo adjudicarse al contenido de humedad del pasto; los residuos de pasto tienen características similares a los estiércoles y poseen un alto contenido de agua lo cual puede afectar la eficiencia del proceso (Bernal et al., 2009; Sadiqui et al., 2008)). Este exceso de agua pudo provocar el descenso de la temperatura durante la semanas 6^a a la 10^a (vueltas 6^a-10^a). A pesar de ser controlado el suministro de agua durante los volteos, como podemos ver en la Figura 7.2, durante gran parte del proceso se registró una humedad por arriba del 70%.

Al momento en que se reduce la humedad, la temperatura aumenta y el sustrato se alcalina, Ryckeboer et al., (2003b) nos menciona que es este momento Actinomicetos (Actinobacterias) compiten con otros organismos por los nutrientes, jugando un papel importante al degradar desechos duros como tallos leñosos o corteza pudiendo actuar aún después de la fase termofílica. A pesar de que gran parte de los materiales se encuentran degradados la temperatura puede continuar elevada debido a que se encuentran activados *Actinomadura* y *Thermobifida*, dos grupos de Actinobacteria que comúnmente ocurren en las etapas finales y que pueden estar activas temperaturas bajas (40°C) (Steger et al., 2007).

En resumen, las temperaturas alcanzadas durante el proceso de compostaje fueron óptimas considerando que el excederlas no nos llevaría a acelerar el producto o a mejorar su calidad (Ryckeboer et al., 2003b; Bernal et al., 2009). La humedad del sustrato influyó directamente sobre el gradiente de temperatura en toda la masa, cuyo comportamiento dio paso a las diferentes etapas del proceso (etapa mesofílica o etapa termofílica) que estuvo acompañada de diferentes colonias de microorganismos que consumieron la materia orgánica hasta agotarla.

El proceso de compostaje se inició el 19 de enero del 2009, el periodo o etapa bioxidativa tuvo una duración de tres meses y un periodo o etapa de maduración de dos meses, el 19 de junio del 2009 se dio por concluido el proceso obteniéndose composta madura en un periodo total de 5 meses.



7.2 Análisis en laboratorio

7.2.1 Análisis Físicoquímicos

En el Cuadro 6.2 se presentan los valores de los parámetros físicoquímicos evaluados en la composta inmadura, composta madura y suelo. Para el caso de la composta madura en el Cuadro 6.3 se presentan los valores recomendados en la NTEA-006-SMA-RS-2006.

Cuadro 6.2 Valores de parámetros determinados en laboratorio, composta inmadura, composta madura y suelo

Parámetro	Composta inmadura	Composta madura	Suelo
pH	10.025	8.076 ± 0.21	8 ± 0.11
%MO	35.83 ± 0.87	25.12 ± 0.42	1.97 ± 0.02
%NT	1.54 ± 0.2	0.94 ± 0.006	0.088 ± 0.006
%C	20.78 ± 0.51	14.57 ± 0.24	1.14 ± 0.01
C/N	13.48 ± 1.61	15.42 ± 0.21	12.97 ± 0.82
%Hu	36.31 ± 2.34	3.99 ± 0.51	2.51 ± 0.14
CC (ml/100g)	---	33.49 ± 3.49	4.49 ± 0.49
PMP (%humedad)	---	55.1 ± 28.39	2.18 ± 0.24
Da (g/cm ³)	---	0.46 ± 0.02	1.2 ± 0.17
Dp (g/cm ³)	---	0.91	2
%EP	---	49.12	40.52

Para el caso de la composta inmadura los análisis en laboratorio señalados en Cuadro 6.2 fueron obtenidos durante la cuarta semana de estabilización (semana 19 del proceso). Como se puede observar el valor de pH se encuentra 2 unidades fuera del rango recomendado (NTEA-006-SMA-RS-2006), recordemos que un pH elevado puede producir pérdida de nitrógeno en forma de amonio (Widman, *et al*, 2005) y es considerado como un indicador de la calidad de la composta. Por esta razón la composta se dejó madurar más tiempo hasta la obtención de un valor de pH más aceptable. Valores de pH similares a los presentados han sido reportados por Bernal *et al.*, 2009, quien composteo estiércoles con el fin de producir un material estable para diversos usos agrícolas.



El contenido de humedad, el pH y el %NT de las muestras tomadas durante la cuarta semana de maduración nos indicaron que el proceso no se encontraba terminado, sin embargo, los valores obtenidos y la estabilización nos ayudaron a determinar el momento en el cual se dio por concluido el proceso. La importancia de determinar la madurez de la composta fue necesaria debido a que algunos de los problemas ocasionados por usar composta inmadura son: generación de malos olores, la atracción de insectos, la contaminación ambiental y los efectos fitotóxicos (Steger *et al.*, 2007; Mathur *et al.*, 1993).

Cuadro 6.3 Comparación de valores de parámetros determinados en laboratorio para composta madura

Parámetro	Composta madura	Valor recomendado NTEA-006-SMA-RS-2006
pH	8.076 ± 0.21	6.5-8
Nitrógeno total (%NT)	0.945 ± 0.006	-
Materia orgánica (%MO)	25.12 ± 0.42	>15
Relación C/N	15.42 ± 0.21	<12

Los valores ideales para la relación C/N como resultado de un buen compostaje se encuentran entre 25 y 35 (esto es, 25 partes de C por uno de N y 35 de C por uno de N) o bien, el producto de C/N debe ser menor a 12 (Navarro, 2002; NTEA-006-SMA-RS-2006), para nuestro caso, observamos que el valor obtenido es superior por 3.3 unidades. La relación C/N en ningún caso debe ser menor a 8, ya que indicaría que la composta se ha mineralizado excesivamente, la estabilidad de esta relación es un indicador de que la degradación ha finalizado y la composta ha madurado.

Bernal *et al.*, (2009) nos menciona que al igual que los estiércoles, los residuos de pasto poseen una alta concentración de N dando un relación C/N muy baja y, en algunos casos, de gran alcalinidad. En nuestro proceso la composta madura no presento una relación C/N muy baja, como ya vimos esta es superior por 3.3 unidades con respecto al valor de referencia de <12 (NTEA-006-SMA-RS-2006). Por lo que se puede decir que los efectos producidos por la cantidad de pasto composteado se vio reflejado en el pH final del producto (8.076 ± 0.21).



El contenido de materia orgánica fue superior al 15% (25.15%), lo que nos indica un buen proceso de compostaje; como se ve más adelante éste porcentaje no influyó drásticamente sobre el contenido de materia orgánica en los tratamiento T1, T2 y T3, pero si mejoró su contenido en comparación con los tratamiento T0 (100% suelo) y T4 (suelo+fertilizante, 18-46-00 y triple). El %MO en un suelo es un buen indicador de su fertilidad, principalmente de su capacidad para proporcionar nutrimentos a los cultivos (Rodríguez y Rodríguez, 2002). Por arriba del 3.51% en suelos se considera un alto contenido de MO, por lo que afirmamos que el suelo utilizado es pobre en %MO.

En las Figura 6.3, 6.4 y 6.5 se presenta el comportamiento de los parámetros pH, %MO y %NT para cada uno de los tratamientos manejados en la siembra de maíz y frijol, se presentan los promedio obtenidos de los análisis realizados antes de la siembra y después de que las plantas se marchitaron.

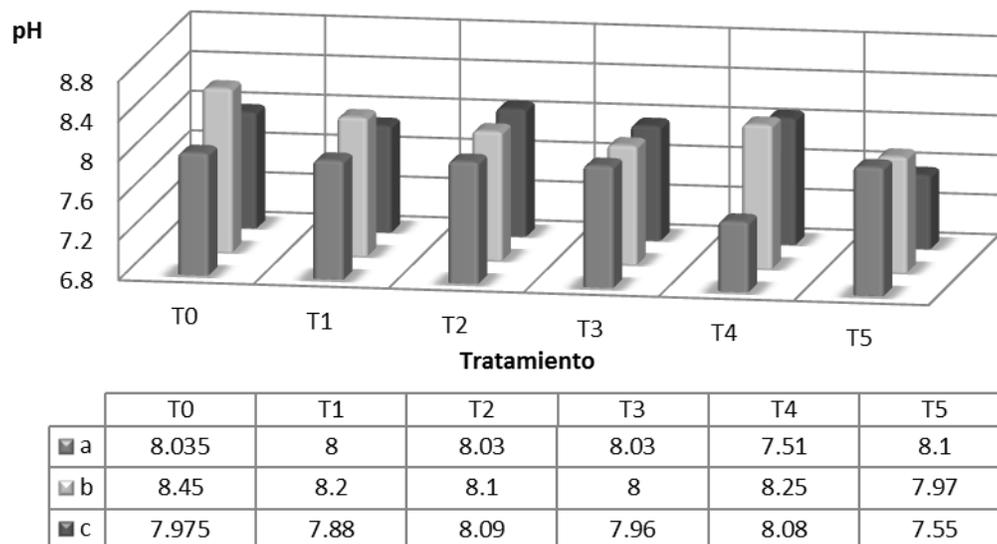


Figura 6.3 pH de los tratamientos utilizados en invernadero; a) análisis realizados antes de la siembra, b) y c) análisis realizado a los tratamientos una vez marchitas las plantas, frijol y maíz, respectivamente.

Antes de la siembra el pH más básico fue registrado en el tratamiento T5 (100% composta): mediante la adición de composta el pH de los tratamientos T1, T2 y T3, no se vio



significativamente afectado, esto a diferencia de [Casado et al., \(2006\)](#) quienes reportaron un disminución del pH conforme aumentaba la dosis de composta, de lodos residuales y cuyo pH fue neutro, de forma similar Chang *et al.* (2007) reporto una decremento del pH con respecto a tratamientos con fertilizantes químicos, mientras que en nuestro caso el tratamiento con fertilizantes (T4) presento una reducción, de pH, de 0.5 unidades.

El pH más común en los suelos va de 4.5 a 9.0, por lo general en suelos con pH por arriba de 7.5 se reduce la disponibilidad de fósforo, sin embargo se puede usar como límite un pH de 8.5, pues a valores mayores se presentaría problemas fisicoquímicos que restringirían el uso productivo del suelo. Considerando que el pH del suelo (Cuadro 6.2) corresponde a un suelo mineral alcalino (8 ± 0.11) (Rodríguez y Rodríguez, 2002), y que la aplicación de composta no modifico agresivamente el pH, podemos afirmar que los tratamientos T0, T1, T2, T3 y T5 se encuentran dentro del límite de productividad. Siendo el T4 el tratamiento con un pH neutro y con mayor posibilidad de productividad.

El pH óptimo para el crecimiento del cultivo de frijol queda comprendido entre 6.5-7.5 (SIMA, 2006) mientras que para el maíz se encuentra entre 5.5-7.5 (Rodríguez y Rodríguez, 2002) (o 6-7 según SIMA, 2006). Por lo que podemos decir que todos los tratamientos con composta se encuentran fuera del rango óptimo para el desarrollo de maíz y frijol, por 0.5 unidades, al igual que el control T0. Siendo el T4 el tratamiento con un pH más adecuado para el crecimiento de frijol y maíz, la disminución del pH con la aplicación de composta pudo ser debido a al efecto de la acidificación de los iones de amonio del fertilizante durante su transformación en el suelo ([Chang et al., 2007](#); Kemmitt et al. 2006).

En la Figura 6.3 se aprecia que el pH tuvo una reducción importante en el tratamiento T5, después de la siembra de maíz mientras que el control T5 del frijol no presento un cambio significativo con respecto al valor obtenido antes de la siembra; los tratamientos T4 tanto de maíz como de frijol mostraron un incremento importante con respecto al inicio de la siembra, siendo los que mayor aumento presentaron después del T0 del frijol; los T0, T1 y T2 del frijol presentaron un aumento del pH, de echo conforme aumenta la dosis de composta se aprecia una disminución del 0.01. Datos diferentes nos reporta [Casado et al., \(2006\)](#) quien obtuvo una reducción del pH de todos sus tratamientos al trabajar con lodos residuales composteados después del crecimiento de coliflor.

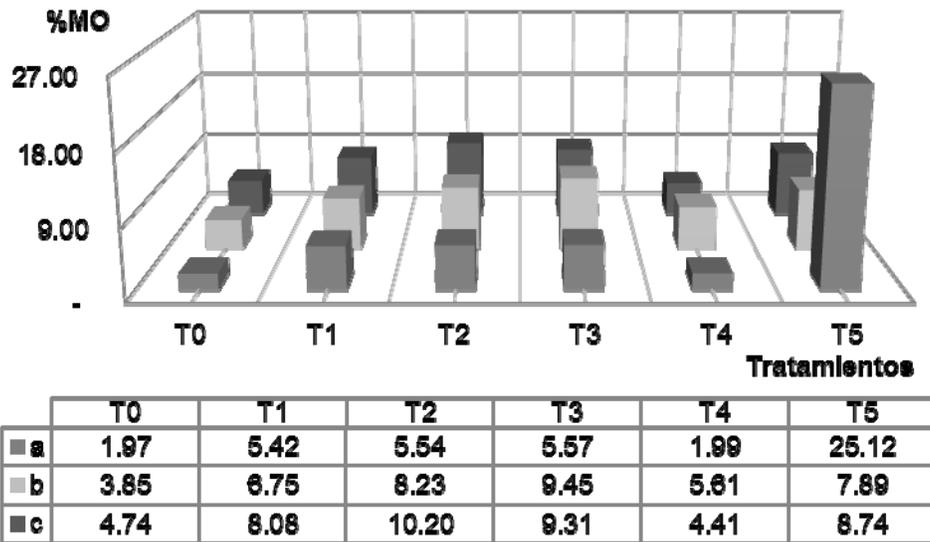


Figura 6.4 %MO de los tratamientos utilizados en invernadero; a) análisis realizados antes de la siembra, b) y c) análisis realizados a los tratamientos una vez marchitas las plantas, frijol y maíz, respectivamente.

Con respecto al %MO el T5 presento, antes de la siembra, el mayor porcentaje con respecto a los otros tratamientos; la composta madura tuvo un %MO de $25.15 \pm 0.42\%$, y como se puede ver en la Figura 6.4 este porcentaje no afecto de forma agresiva el %MO de los tratamiento T1, T2 y T3, pero si mejoró el contenido de materia orgánica con respecto al control T0 (27.4%), mientras que el tratamiento T4 no mostro un aumento importante contenido en comparación con los otros tratamiento.

Un dato importante es el incremento del %MO que se presentó después de marchitas las plantas en los tratamientos utilizados para la siembra de maíz, a excepción del T4 cuyo %MO fue mayor en frijol. El tratamiento T2 del maíz presento un mayor incremento respecto a los otros tratamientos.

La aplicación de composta al suelo durante largos periodos puede ayudarnos a mejorar su contenido aún después de realizadas siembras (Chang *et al.*, 2007), éste efecto puede ser visto en la Figura 6.4, en donde el %MO aumento en todos los tratamientos, una vez marchitas las plantas, con composta. Los beneficios en las cosechas pueden ser vistos durante la segunda o tercera aplicación, sin embargo un exceso de %MO puede llevarnos a una saturación del sustrato provocando una deficiencia en su productividad.

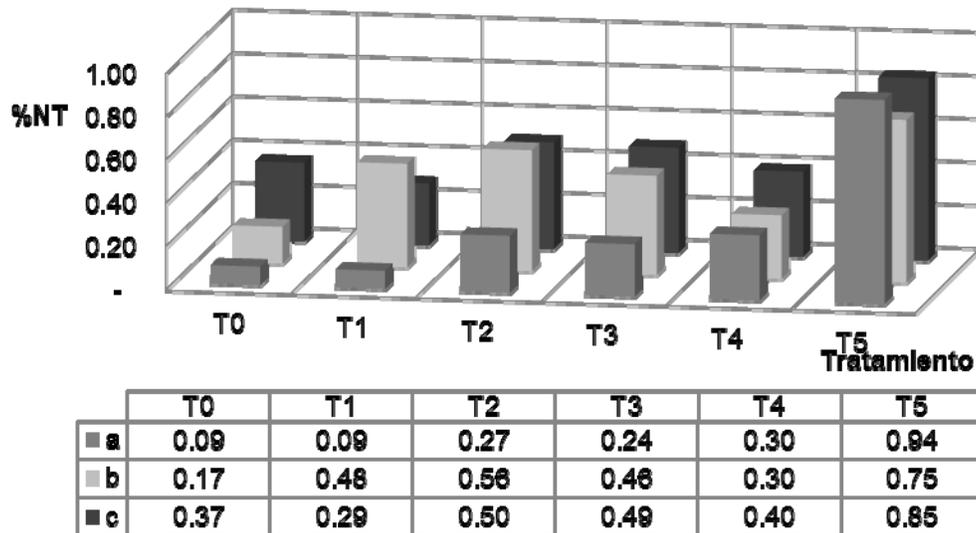


Figura 6.5 %NT de los tratamientos utilizados en invernadero; a) análisis realizados antes de la siembra, b) y c) análisis realizados a los tratamientos una vez marchitas las plantas, frijol y maíz, respectivamente.

La adición de composta, incremento de forma significativa el %NT, al igual que (Casado et al., 2006), el %NT aumento conforme aumento el contenido de composta, en nuestro caso, no se obtuvo una diferencia importante entre el tratamiento T2 y T3 (± 0.03). Una vez que las plantas crecieron y se marchitaron los tratamientos tanto de frijol como de maíz presentaron un aumento del %NT, siendo el tratamiento T2 del maíz el más representativo (10.20%NT).

Los fertilizantes químicos aplicados poseen un %NT de 18% (18-46-00) y 15% (triple), y como podemos en la Figura 6.5 el %NT más alto, antes de la siembra y sin considerar el T5, correspondió al T4 con 0.30% valor que se mantuvo después de la siembra de frijol pero no así de maíz, el cual presentó un aumento de 0.1. El T2 presentó un aumento significativo (0.18) con respecto al T0, antes de la siembra el cual tuvo una diferencia de 0.03 con respecto al T4. Los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron un aumento, después de la siembra

En el Cuadro 6.4 se presentan los promedios obtenidos del %C así de la relación C/N, se presentan los promedios obtenidos antes de la siembra así como los correspondientes a las pruebas realizadas después de marchitas las plantas.



Cuadro 6.4 %C y relación C/N de los tratamientos utilizados en invernadero antes de la siembra y después de marchitas las plantas de frijol y maíz.

Tratamiento	Antes de la siembra		Análisis realizados después de crecidas y marchitas las plantas			
	%C	C/N	frijol		maíz	
			%C	C/N	%C	C/N
T0	1.14	12.97	2.75 ± 0.11	7.50 ± 1.776	2.23 ± 0.12	13.03 ± 0.97
T1	3.14	36.55	4.69 ± 0.03	16.28 ± 0.225	3.91 ± 0.12	8.16 ± 1.35
T2	3.21	12.10	5.91 ± 0.23	11.89 ± 0.453	4.77 ± 0.16	8.59 ± 1.70
T3	3.23	13.21	5.40 ± 0.23	11.06 ± 0.513	5.48 ± 0.06	12.03 ± 3.48
T4	1.15	3.80	2.56 ± 0.18	6.47 ± 0.425	3.25 ± 0.19	11.02 ± 1.19
T5	22.54	23.86	5.07 ± 0.06	6.00 ± 1.009	4.57 ± 0.49	6.07 ± 0.67

El tratamiento T1 presentó el mayor incremento de la relación C/N, su %NT no presentó incremento alguno con respecto al T0, sin embargo su %MO si fue superior al del T0, en un 27.5%, lo cual nos generó la relación C/N tan elevada. Después de la siembra de frijol el T1 presento un decremento importante del 4.45%.

En la Figura 6.6 se presentan los promedios obtenidos para los parámetros físicos Da, Dp y %EP, mientras que en la Figura 6.7 se muestra los valores obtenidos para los parámetros físicos CC, el PMP y el % humedad, análisis determinados a todos los tratamientos utilizados antes de realizar la siembra en invernadero.

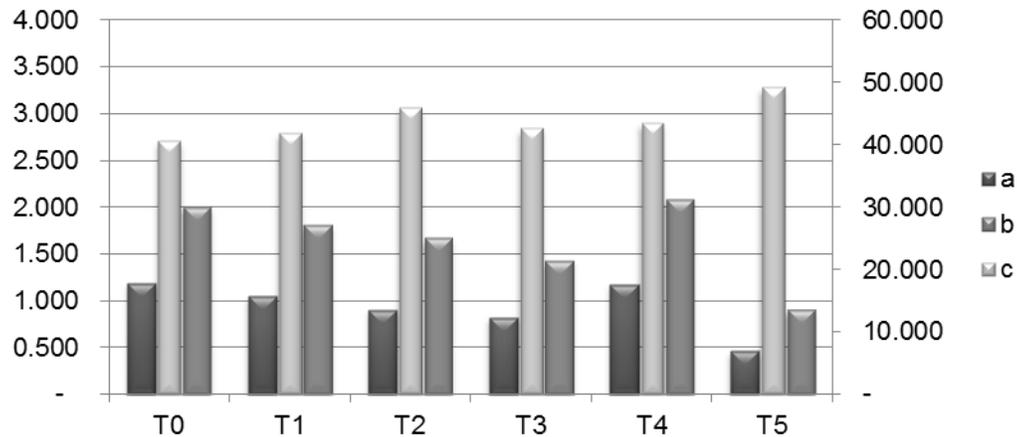


Figura 6.6 D_a , D_p y %EP de los tratamientos utilizados para la siembra de frijol y maíz, análisis realizados antes de la siembra. a) densidad aparente (D_a), b) densidad de partícula (D_p), c) espacio poroso (%EP).

La D_p es conocida también como densidad real y considera únicamente las partículas del suelo, mientras que la D_a comprende tanto las partículas (fracción mineral más la fracción orgánica) como los espacios del suelo por lo tanto su valor debe ser menor a la densidad de partícula. La materia orgánica tiene una densidad aparente promedio de 0.3g/cm^3 , de manera que a medida que aumenta la cantidad de materia orgánica en el suelo, su densidad aparente disminuye (Rodríguez y Rodríguez, 2002). Estos parámetros afectan la percolación, infiltración y aireación del suelo, y por ende el crecimiento radicular.

En la Figura 6.7 se observa que al aumentar la dosis de composta la D_a y D_p descendieron, obteniéndose un aumento en el %EP, datos diferentes han sido reportados por Casado et al., (2006) quienes nos indican un aumento de la D_p y una disminución de la D_a al aumentar la dosis de composta. También nos indica que los tratamientos con 2 y 4 kg/m^2 de composta no presentaron diferencia alguna, en estos parámetros, entre ambas dosis; efectos no observados en nuestros ensayos.

Al mejorar la porosidad del suelo, tratamientos T1 y T2, así como la capacidad de retención de agua, se proporcionó una mayor aireación y una menor compactación del suelo y como se presenta más adelante esto se vio reflejado en el mejor desarrollo y crecimiento del maíz y frijol.

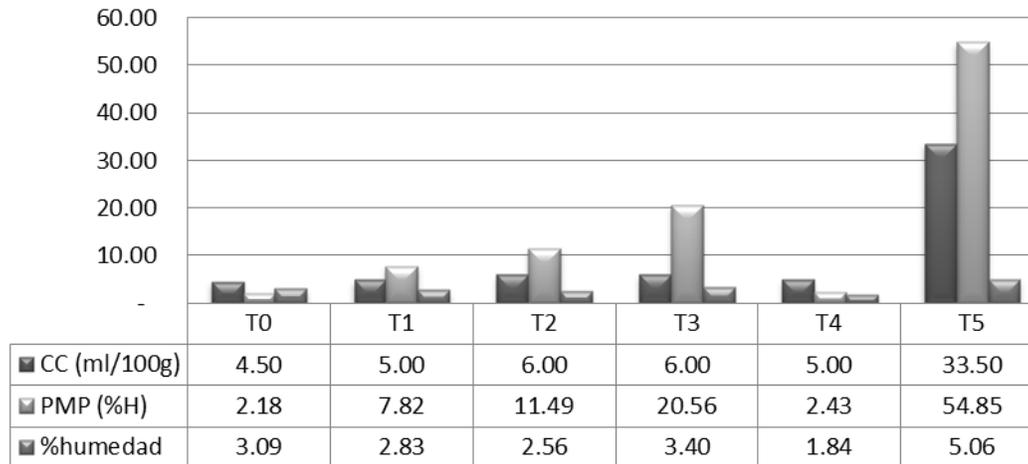


Figura 6.7 Capacidad de Campo (CC), Punto de Marchites Permanente (PMP) y % de humedad de los tratamientos antes de la siembra.

La CC se refiere a la capacidad de retención de agua del sustrato y representa la cantidad de agua real disponible para las plantas que sostiene el suelo. El PMP se refiere al mínimo contenido de agua contenido en el sustrato el cual se producirá la marchitez permanente de plantas que eviten en éste. En la Figura 6.7 puede apreciarse un incremento de la CC y del PMP conforme aumenta la dosis de composta, esto era esperado debido a que el %EP tiende a aumentar la porosidad del suelo y en conjunto con la aplicación de materia orgánica es posible lograr un aumento de la retención de agua aprovechable para las plantas.

El % de humedad se refiere a la humedad higroscópica contenida en las partículas del suelo, esta es agua que no está disponible para el desarrollo de las plantas, y como podemos apreciar en la Figura 6.7, el mayor % lo presentaron los tratamientos T3 y T5, tratamientos con los valores muy altos en los tres parámetros. El % de humedad elevado puede llevarnos a una saturación del suelo y una difícil pérdida del agua gravitacional saturando el medio y compactándolo. Como se presenta más adelante, las plantas desarrolladas en estos tratamientos se marchitaron rápidamente, posible resultado, en parte, debido a los valores de estos parámetros.



7.2.2 Hongos fitopatógenos

7.2.2.1 Hongos fitopatógenos en semillas

No se observó crecimiento de hongos fitopatógenos en las semillas de frijol por lo que en estas pruebas solamente se muestran datos de las semillas de maíz. En las semillas de maíz se encontró a *Aspergillus* y *Fusarium*, en un 30 y 95% en semillas sin desinfectar, mientras que en semillas desinfectadas la frecuencia fue de 5 y 20% respectivamente, Cuadro 6.5.

Cuadro 6.5 Frecuencia y % hongos fitopatógenos encontrados en las semillas de maíz

	Hongo (género)	Frecuencia	% de semillas contaminadas
Semillas de maíz desinfectadas	<i>Fusarium</i>	4/20	20
	<i>Aspergillus</i>	1/20	5
Semillas de maíz sin desinfectar	<i>Fusarium</i>	19/20	95
	<i>Aspergillus</i>	6/20	30

Los valores obtenidos nos indican que la contaminación de las semillas de maíz es externa, principalmente de *Fusarium*, el cual es un hongo muy común en el suelo y las semillas pudieron adquirirlo en cualquier etapa de su manejo. *Fusarium* es considerado un patógeno que no causa daños considerables sin embargo, en climas húmedos, puede causar pudrición del tallo y de la mazorca de maíz, algunas especies como *Fusarium culmorum* son patógenas para las semillas de maíz (Warham et al., 1996).

Aspergillus fue encontrado con menor frecuencia, 1 en semillas desinfectadas y 6 en semillas sin desinfectar; *Aspergillus* es causante de la pudrición de maíz en almacenamiento con un contenido de humedad superior al 15% así como de la mazorca, puede reducir la germinación de las semillas, las sequías y altas temperaturas favorecen el desarrollo de aflatoxinas que pueden provocar enfermedades respiratorias y afectan el sabor de los granos (Warham et al., 1996).

Cabe mencionar que no fueron identificadas las especies de los géneros encontrados, sin embargo, la especie de los hongos fitopatógenos hallados en los ensayos de laboratorio fueron de gran ayuda para pronosticar los posibles daños que se tendrían en las plantas de maíz. La



información obtenida nos indica que las plantas de maíz serán más vulnerables en lo referente a las presencia de hongos fitopatógenos con respecto a las plantas de frijol.

7.2.2.2 Hongos fitopatógenos en suelo

En el Cuadro 6.6 se presentan el listado de hongos fitopatógenos encontrados en el suelo. Se encontró a *Rhizopus*, *Fusarium*, *Penicillium*, *Mucor*, *Colletotrichum* y *Trichoderma* en porcentajes que variaron de 2% para *Mucor* y *Trichoderma*, 28% y 62% para *Penicillium* y *Fusarium*, y un 4 % para *Colletotrichum*.

Cuadro 6.6 % de Hongos encontrados en el suelo

Hongo	% encontrado
<i>Rhizopus</i>	Presente*
<i>Fusarium</i>	62.2
<i>Penicillium</i>	28.8
<i>Colletotrichum</i>	4.44
<i>Mucor</i>	2.22
<i>Trichoderma</i>	2.22

Presente*: no fue posible cuantificarlo debido a que su crecimiento fue muy rápido

En el Cuadro 6.5 observamos que no fue posible cuantificar el crecimiento de *Rhizopus*, debido a que éste fue muy rápido en todas las repeticiones manejadas; *Rhizopus* es un patógeno muy común en el suelo y puede llegar a causar infecciones en humanos debido a su rápido crecimiento (Warham et al., 1996).

Como podemos ver en el Cuadro 6.6 se tiene nuevamente la presencia de *Fusarium* y se encuentra en mayor porcentaje con respecto a los otros fitopatógenos, seguido por *Penicillium* el cual es conocido por provocar pudrición de la mazorca de maíz y puede generar grandes pérdidas por la pudrición del grano de maíz (Warham et al., 1996).

Colletotrichum que se presentó en un 4.4%, causa pudrición del tallo y tizón de la hoja de maíz, amarillamiento de las hojas de frijol; mientras que *Mucor* y *Trichoderma* se presentaron en un 2.2%, dos géneros de hongos cuyos daño al maíz o frijol no son considerados importantes. *Trichoderma* ha sido utilizada para contrarrestar enfermedades de los géneros *Rhizoctonia*, *Mucor*, *Pythium*, *Phytophthora*, *Fusarium*, *Rhizopus*, *Botrytis*, *Colletotrichum*, y muchos géneros más, por lo que su presencia se considera positiva.



Cuando el suelo fue tamizado para su análisis microbiológico se observó la presencia tanto en huevecillo como en larva de Gallina ciega (*Phyllophana spp.*) (Coleoptera: Scarabaeidae), considerada una plaga primaria (CATIE, 1990), esta plaga se alimentan de material vegetativo en descomposición y puede llegar a ocasionar daños a las raíces de las plantas, tanto de frijol como de maíz (CATIE, 1990; IICA, 2010).

Aunque *Phyllophana spp.* no es catalogada como un patógeno su presencia si puede indicarnos futuros problemas en la germinación y emergencia de las plantas de maíz y frijol. Esta plaga causa daños más frecuentes en suelos donde hubo pastos (CATIE, 1990) y no fue encontrada en la composta. Su control se realizó de forma natural eliminando malezas gramíneas, removiendo el suelo y poniéndolo a secas al sol con el fin de exponer la plaga al sol y a predadores, control cultural (CATIE, 1990; IICA, 2010).

7.2.2.3 Hongos fitopatógenos en composta

En el Cuadro 6.7 se presentan el listado y porcentaje de hongos fitopatógenos encontrados composta. En composta, se encontró a *Rhizopus*, *Fusarium*, *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, *Aspergillus flavus* y *Penicillium link* con frecuencias de 84, 18, 6, 1, 1 respectivamente.

Cuadro 6.7 % de Hongos encontrados en la composta

Hongo	% encontrado
<i>Rhizopus</i>	*Presente
<i>Fusarium</i>	75.89
<i>Aspergillus niger</i>	15.79
<i>Aspergillus terreus</i>	5.26
<i>Aspergillus flavus</i>	1.75
<i>Penicillium link</i>	1.75

Presente*: no fue posible cuantificarlo debido a que su crecimiento fue muy rápido

Para el caso de la composta, al igual que en el caso del suelo, *Rhizopus* no pudo ser cuantificado debido a su rápido crecimiento y *Fusarium* nuevamente representa el mayor porcentaje de hongos fitopatógenos encontrados.



Algunas especies de *Rhizopus* han sido encontradas durante el composteo, como ejemplo: *Rhizopus arrhizus* que ha sido encontrado durante el composteo de residuos de jardín y verduras durante la etapa mesofílica, mientras que *Rhizopus oryzae*, fue encontrado durante el proceso de compostaje de residuos de jardín y *Rhizopus stolonifer* durante la etapa mesofílica (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

El genero *Fusarium* ha sido ampliamente encontrado durante el compostaje de residuos de jardín y principalmente durante la etapa mesofílica Ryckeboer *et al.*, 2003b. *Aspergillus niger*, *Aspergillus terreus*, y *Aspergillus flavus* han sido encontrados durante el proceso de compostaje de residuos de jardín, vermicomposta y en mezclas de diferentes residuos con residuos de jardín, principalmente en la etapa mesofílica (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

Penicillium sp. ha sido encontrado durante las etapas mesofílicas y termofílicas del compostaje de residuos de diferentes residuos mezclados con residuos de jardín (Ryckeboer *et al.*, 2003b).

Para fines agrícolas la composta debe estar libre de patógenos y sustancias fitotóxicas que pueden interferen con el desarrollo de las plantas (Gehr& Grobe, 1997), es decir, sus componentes deben estar completamente estabilizados con el fin de no generar alteraciones en a las plantas.

Con respecto al presencia de hongos fitopatógenos en composta NTEA-006-SMA-RS-2006, nos indica que para en mejoradores de suelo no debe existir presencia alguna de éstos. Por otra parte Gehr& Grobe, (1997) nos indican que para fines agrícolas la composta debe estar libre de patógenos y sustancias fitotóxicas que pueden interferen con el desarrollo de las plantas. Sin embargo como se presenta más adelante los tratamientos con composta no presentaron ninguna de las alteraciones provocadas por algunos de los fitopatógenos encontrados.

En resumen, *Fusarium* fue el hongo fitopatógeno común entre las semillas, el suelo y la composta, su presencia se debe a que es un hongo muy común de estos sustratos, sus principales efectos son: pudrición de tallo así como de semillas impidiendo su germinación. *Aspergillus* fue encontrado tanto en las semillas como en la composta. Mientras que *Rhizopus*, fue encontrado en la composta y en el suelo de forma incuantificable.



7.2.3 Pruebas de viabilidad y germinación *in vitro*

En la Figura 6.7 se presenta el porcentaje de germinación *in vitro* así como la viabilidad obtenida para cada especie.

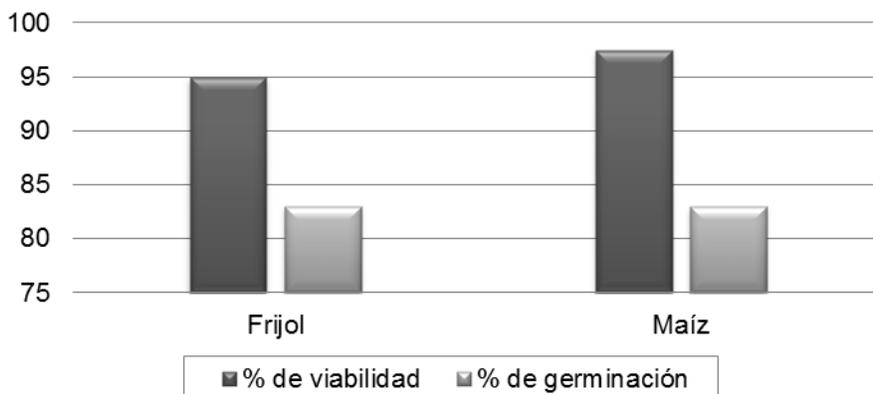


Figura 6.7 Porcentaje de germinación y de viabilidad para las semillas de maíz y frijol

Recordando que la germinación de una semilla comienza con la entrada de agua al interior, seguido por la división y el alargamiento celular del embrión que provocan la rotura de las cubiertas seminales, que generalmente ocurre por la emergencia de la radícula (García, et al, 2006), para este apartado, fueron consideradas semillas germinadas aquellas que presentaron crecimiento de radícula dentro del 4° al 7° día.

En la Figura 6.7 se observa que el % de viabilidad fue superior al % de germinación, así tenemos que 95% y 97.5% del lote de semillas de frijol y maíz, respectivamente, son fértiles, sin embargo, los resultados de las pruebas de germinación *in vitro* nos indican que no todas las semillas germinaron al mismo tiempo, debido a que solo el 83% de las semillas (de ambas especies) germinaron. Por lo que podríamos afirmar que sólo el 83% de las semillas serán capaces de producir plantas.

Esta información es de gran importancia para determinar la producción de plantas por lote de semillas, considerando que el tiempo entre la siembra y el establecimiento de la plántula, es un período crucial en el ciclo agronómico del cultivo ya que es cuando la semilla está expuesta a un amplio rango de factores ambientales que pueden afectar su germinación y establecimiento. Es decir, el %de germinación puede reducirse debido a factores ambientales y



éstos a su vez pueden influir sobre el establecimiento de las plantas germinadas, lo cual nos lleva pérdidas económicas.

En resumen, de los resultados obtenidos de este apartado puede decirse que los tratamientos T1 y T2 presentaron un incremento despreciable del valor de pH, un decremento en la Dp y Da así como un incremento del %EP, aumentaron el %MO y %NT (excepto el T1), incrementaron la CC y el PMP. Con respecto a la presencia de hongos fitopatógenos las pruebas nos indicaron que las plantas de maíz pudieran ser más vulnerables a éstos, sin embargo los hongos aislados no son de una gran importancia fitosanitaria. Las pruebas de viabilidad y germinación *in vitro* nos indican que el porcentaje de germinación tanto para maíz como para frijol podría ser del 83% sin embargo este % podría reducirse según las condiciones ambientales o incrementarse hasta un 95% y 97.5%, debido a la viabilidad de maíz y frijol, respectivamente.

6.3 Siembra en invernadero falta analizar y discutir

Las variables analizadas durante el crecimiento y desarrollo de las plantas de maíz y frijol fueron: % de emergencia de plántulas (%EmP), Número de Hojas (NH), Altura Total (AT), senescencia foliar hasta la marchitez permanente (MP) y peso seco final (PSf). Las mediciones se realizaron semanalmente durante el primer mes a partir del segundo mes las mediciones fueron quincenales.

En las Gráficas 6.8 se presenta el %EmP para el frijol y el maíz respectivamente, el tiempo máximo considerado para la emergencia de las plántulas fue de 15 días, intervalo de tiempo que fue considerado con base en los resultados de viabilidad y germinación *in vitro*, con el fin de obtener un porcentaje de establecimiento de las plantas superior al 83% (porcentaje de germinación).

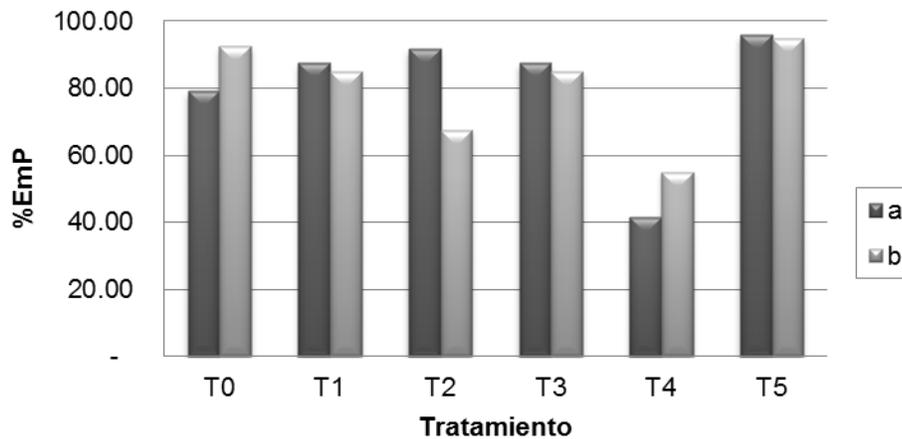


Figura 6.8 %EmP, a) plantas de frijol y b) plantas de maíz

Como podemos ver en la Figura 6.8 el % de germinación rebasa el 83% (para ambas especies) en todos los tratamientos con composta, a excepción del T2 de maíz, en el cual se observa un porcentaje menor. En el caso del frijol la aplicación de composta incremento el porcentaje de germinación con respecto al control T0, el mayor porcentaje se observa en el T5 (para ambos vegetales). Para el caso del maíz la aplicación de composta no incremento el porcentaje, presentándose el mayor incremento en el control T0. Datos similares nos reporta Roy *et al.*, (2010) quien experimento con maíz y frijol obteniendo un menor porcentaje de germinación en tratamientos con composta (2.25 ton/hectárea) en comparación con el control. Él nos indica que se tuvieron otros factores de importancia que mejoraron mediante la aplicación de composta (producción de biomasa y longitud de raíces).

A diferencia de la composta utilizadas en este trabajo, Simone y Taylor (2003) nos mencionan que la composta elaborada con RSU inhibió la emergencia de plántulas, produjo retrasos en el crecimiento y deformaciones en rábano y plantas de berro. En nuestros tratamientos tanto para maíz como para frijol no fueron observadas ninguna de estas características.

En la Grafica 6.9 y 6.10 se muestra la variación del número de hojas desarrolladas (NH), mientras que en las Gráficas 6.11 y 6.12 se muestra la variación de la Altura Total (AT) de cada tratamiento tanto para frijol como para maíz. En las 4 Figuras es posible apreciar que el crecimiento de hojas se suspende en los tratamientos T3 y T5, esto debido a que el 87.55 (7/8) de las repeticiones manejadas se marchitaron prontamente.

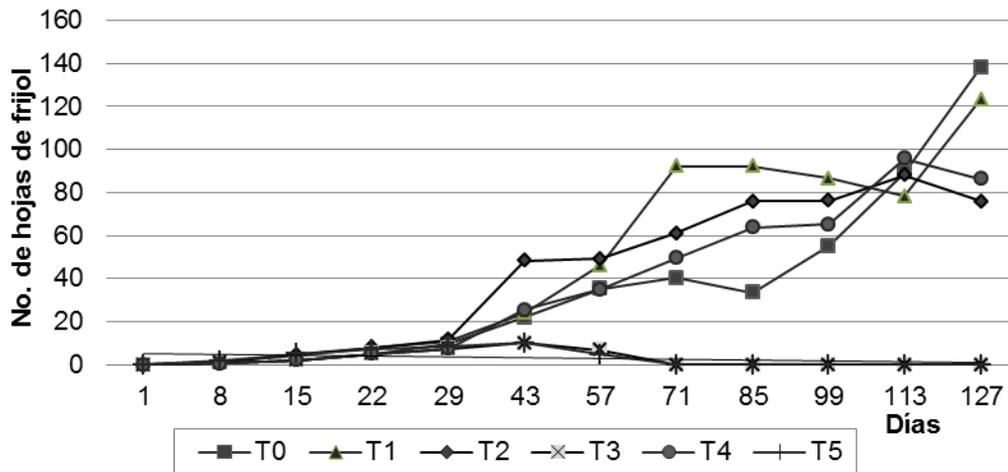


Figura 6.9 Número de hojas desarrolladas, plantas de frijol

Para el caso del frijol, en la Figura 6.9, apreciamos un NH muy análogo en todos los tratamientos hasta el día 29 de vida de las plantas, a partir del día 43 el T1 presenta un mayor NH reduciéndose, éste, el día 113. El T2 es el segundo tratamiento con mayor NH, seguido del T4.

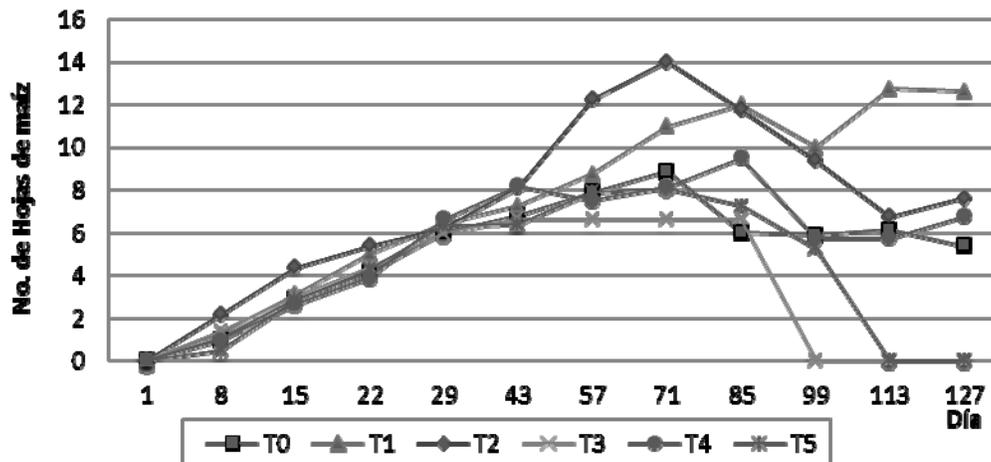


Figura 6.10 Número de hojas desarrolladas, plantas de maíz



Para el caso del maíz, en la Figura 6.10, apreciamos un NH muy similar en todos los tratamientos hasta el día 29 de vida de las plantas, a partir del día 43 el T2 presenta un mayor NH reduciéndose, éste, el día 71. El T1 es el segundo tratamiento con mayor NH, seguido del T4. Datos muy similares para el caso del frijol, con la diferencia de que para éste el T1 presento el mayor NH mientras que para él maíz fue el T2 el tratamiento con más NH.

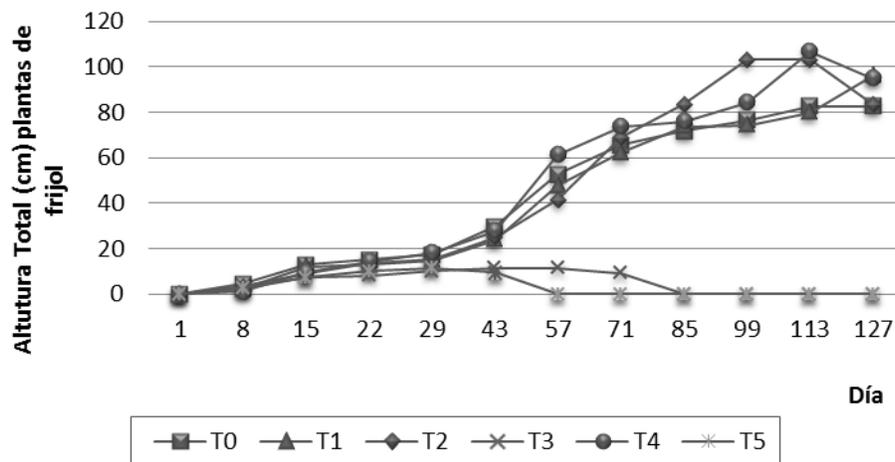


Figura 6.11 Altura total de las plantas de frijol

En la Figura 6.11, se aprecia una AT similar en todos los tratamientos solo durante los primeros 8 días, a partir del día 8 los tratamientos T0, T1, T2 y T4 presentan un crecimiento análogo hasta el día 85, a partir de éste día el T2 y T4 presentan la mayor AT, con respecto al T0.

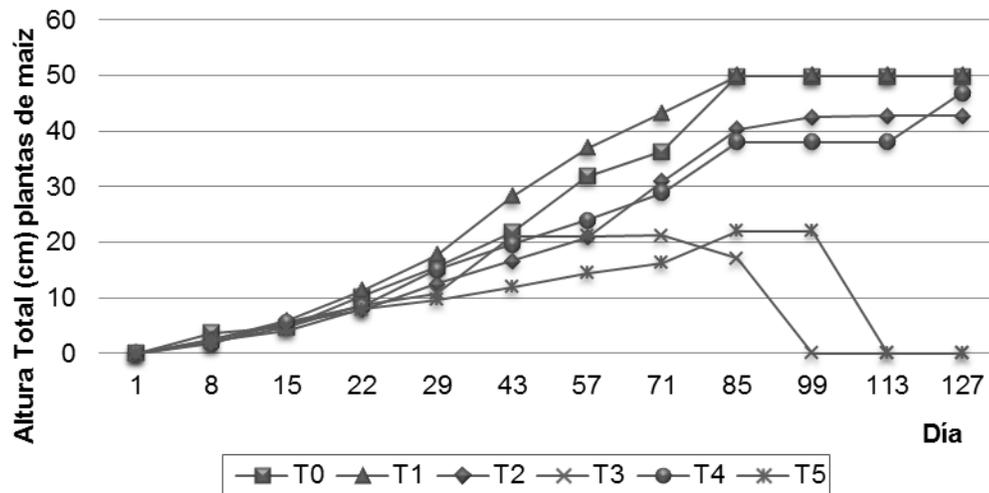


Figura 6.12 Altura total de las plantas de maíz

En la Figura 6.12, se aprecia una AT análoga en todos los tratamientos hasta la semana 22, a partir de ésta semana el T1 presenta la mayor AT. El día 85 el T0 posee una AT similar al T1, mientras que el T1 posee una AT superior al T4, pero inferior al T2 y T0.

En la Figura 6.13 se presenta el PSf de cada uno de los tratamientos utilizados. Se presenta la suma de cada una de las repeticiones para los diferentes tratamientos. El T3 únicamente presenta datos correspondientes al maíz, mientras que el T5 presenta solamente datos del frijol; debido a que éstos tratamientos se marchitaron prontamente dejando 1/7 plantas vivas respectivamente.

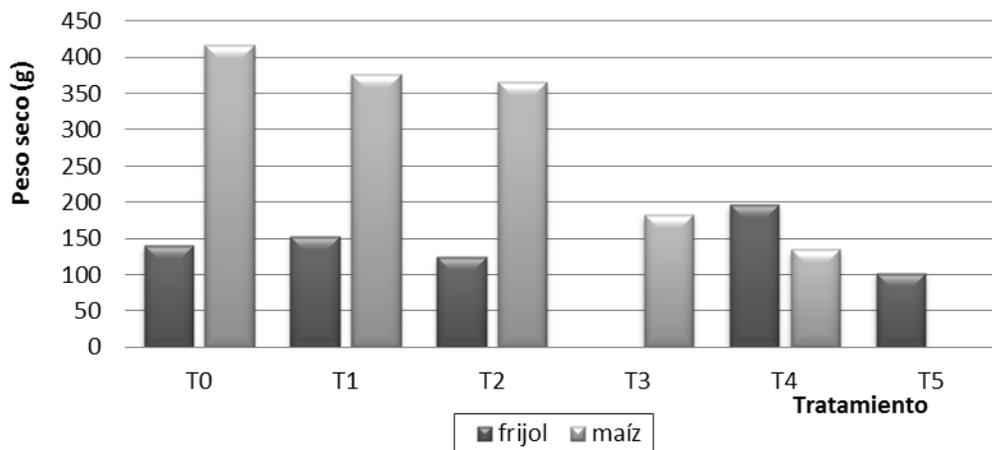


Figura 6.13 Peso seco final en g, de los tratamientos utilizados para la siembra de maíz y frijol, valores registrados una vez que las plantas se secaron por completo mediante, las plantas secas fueron recolectadas y pesadas.

El mayor peso seco estuvo representado por el tratamiento T0 correspondiente al maíz, como puede verse en los tratamientos T3 y T4 se presenta el menor peso seco, sin embargo, el peso seco del T3 corresponde a solo una planta (1/8) mientras que el peso seco del T4 corresponde a 8 plantas (8/8). La misma situación puede verse al comparar el T5 y el T4. El T1 y T2 presentan una aproximación a los valores del T0, sin embargo, solamente el T1 del frijol fue superior al del T0.

La temperatura óptima para el buen desarrollo de la planta de frijol oscila entre 10°C-27°C (SIMA, 2006) mientras que altas temperaturas pueden acelerar el crecimiento (Ríos et al., 2003). El rango de temperatura requerido para el desarrollo de la planta de maíz va de 25 a 30°C. En el invernadero de la UPIBI las temperaturas alcanzadas durante el día fueron de 10°C-38°C. Las altas temperaturas registradas pudieron afectar el desarrollo de las plantas interfiriendo en su ciclo vegetativo y reproductivo.

La senescencia de las plantas, tanto de maíz como de frijol, fue registrada visualmente visual considerándose el ciclo fenológico. El ciclo de crecimiento y desarrollo para frijol puede ser de entre 80 y 180 días, mientras que para el maíz puede ser de 90 a 180 días (COVECA, 2010). La senescencia final se refiere a la marchitez continua de las hojas, es decir, la marchitez de las primeras hojas es muy común, sin embargo deben desarrollarse nuevas antes de esto, de lo contrario la planta morirá.



En los Cuadros 6.8 y 6.9 se presenta un análisis de la senescencia de las plantas de frijol y maíz, respectivamente, el cual consto en evaluar los daños visibles a las plantas por plagas así como por los efectos de la temperatura en el invernadero, hojas amarillas y secas y la ausencia de retoños. En los Cuadros 6.10 y 6.11 se presentan algunas características especiales observadas en los diferentes tratamientos manejados.

Cuadro 6.8 Senescencia de las plantas de frijol.

Trato/ Día	1	8	15	22	29	43	57	71	85	99	113	
T0	Buen desarrollo						1/8 con plaga y hojas secándose	5/8 secándose		8/8 secándose		
T1	Buen desarrollo									8/8 secándose		
T2	Buen desarrollo						2/8 secándose, 1/8 plaga (mejorando)		8/8 secándose	3/8 secas, 2/5 secándose	8/8 plántulas secas	
T3	Buen desarrollo	6/8 secándose		4/6 secándose, 2/8 muertas			5/6 secándose, 2/8 secas		6/8 secas	8/8 secas		
T4	Buen desarrollo						4/8 hojas amarillas, 1/8 plaga		8/8 hojas retoñando pero se secan			6/8 secándose, 1/8 secas
T5	Buen desarrollo					3/8 secas, 2/8 secándose		8/8 plantas secas				

En el Cuadro 6.8, para el caso del frijol, se observa que el tratamiento T1 presento un buen desarrollo hasta el día 85, es decir su crecimiento y NH fue lineal, y poseía un color vivo. El T2 comenzó a presentar problemas a partir del día 57, su crecimiento y desarrollo se caracterizó



por la auto recuperación de las plantas que tenían plaga, que aunque corta, no pereció de forma tan progresiva como el T0. Los tratamientos T4 se caracterizaron por presentar amarillamiento de sus hojas a partir del día 57, después de lo cual comenzó a secarse.

Cuadro 6.9 Senescencia de las plantas de maíz.

Trato/ Día	1	8	15	22	29	43	57	71	85	99	113	127
T0	Buen desarrollo		1/8 plaga			1/8 con plaga y ladeada	2/8 plaga, 1/8 ladeada y seca			1/8 seca, 7/7 poco crecimiento	8/8 poco crecimiento	
T1	8/8 Buen desarrollo									7/8 poco desarrollo	1/8 con espigas, 7/8 con poco desarrollo	
T2	8/8 Buen desarrollo									1/8 ladeada	2/8 plantas secas	
T3	8/8 Buen desarrollo					2/8 plantas secas, 1/8 recuperándose, 1/8 encogida		4/8 plantas secas	5/8 secas, 1/3 secándose	3/8 secas, 2/5 secándose	4/8 secas, 2/4 secándose	
T4	8/8 Buen desarrollo				18/ secándose y ladeada			1/8 seca, 1/7 ladeada	2/8 plantas secas			
T5	8/8 Buen desarrollo					2/8 planas secas		4/8 plantas secas	7/8 plantas secas			

En el Cuadro 6.9, para el caso del maíz, se observa que el tratamiento T1 presento un buen desarrollo hasta el día 85, es decir su crecimiento fue lineal, las hojas marchitas venían acompañadas de nuevas hojas y poseía un color vivo. El T2 comenzó a ladearse el día 85, después de lo cual comenzó a secarse. El T4 se caracterizó por la falta del anclaje de sus raíces provocando que estas se ladearan. El T1 se caracterizó por presentar plaga, igual que en el caso del frijol, su deterioro fue lento pero progresivo.



Cuadro 6.10 Características especiales durante el desarrollo de las plantas de Frijol

Tratamiento	Observaciones
T0	Presento plagas y hojas amarillas durante casi todo su periodo de crecimiento.
T1	Presento hojas amarillas por solo un periodo (antes de floración), fueron las primeras plantas en florear, con hojas más grandes. Después del día 57 presentaron hojas amarillas, plaga y poco crecimiento.
T2	Plantas con muchas ramificaciones, plantas bien asidas al soporte colocado, 1 planta que presentó plaga se recuperó
T3	Plantas con gran desarrollo durante los dos primeros meses y de las primeras en marchitarse.
T4	Plantas sin ramificaciones, muy largas y se ladearon, plantas con raíces expuestas.
T5	Plantas con gran desarrollo durante los dos primeros meses, hojas muy grandes, y de las primeras plantas en marchitarse.

Cuadro 6.11 Características especiales durante el desarrollo de las plantas de Maíz.

Tratamiento	Observaciones
T0	Presentaron plaga, algunas plantas se ladearon y poco crecimiento
T1	Tratamiento con 1 planta que desarrollo espiga.
T2	Plantas muy largas, con tallo muy delgado y hojas muy gruesas, 1 planta que desarrollo espiga
T3	Plantas con plaga, sin embargo presentaron ramificaciones y un buen desarrollo durante los dos primeros meses y las segundas en marchitarse
T4	Plantas con raíces expuesta, plaga, ladeada,
T5	Plantas con ramificaciones, con gran desarrollo durante los dos primeros meses y las primerrras en marchitarse

Como hemos visto los tratamientos con mejor desarrollo de las plantas de maíz y frijol corresponde a T1 y T2, a pesar de que al inicio de la siembra estos tratamientos presentaron un pH básico y fuera del rango necesario para el crecimiento de maíz y frijol, éstos fueron competitivos con respecto al tratamiento T4 cuyo pH era el óptimo.



Para las plantas de frijol la relación de los tratamientos con respecto al NH fue: $T1 > T2 > T4 > T0$; con respecto a la AT fue: $T2 > T4 > T1 = T0$; en relación con el PSf fue: $T4 > T1 > T0 > T2 > T5$.

Para las plantas de maíz la relación de los tratamientos con respecto al NH fue: $T2 > T1 > T4 = T0$; con respecto a la AT fue: $T1 > T0 > T2 > T4$; en relación con el PSf fue: $T0 > T1 > T2 > T3 > T4$.

En sayos similares con coliflor demostraron que la aplicación de 2kg/m^2 de composta elaborada con lodos residuales, tenían un efecto positivos sobre las propiedades físicas y biológicas del suelo y proporciona un suministro de nutrientes para crecer coliflores en su superficie bajo regímenes de explotación intensiva sin pérdida de rendimiento de biomasa (Casado et al., 2006). De igual forma se ha comprobado la eficacia de la aplicación de composta en la producción de biomasa en maíz y frijol (2.25ton/hectáreas) (Roy et al., 2010).

Sin embargo Chang et al., (2007) en pruebas realizadas aplicando composta en campo y por largos periodos, obtuvieron un valor de composta con 540kg de Na^{-1} como la dosis óptima para la producción de hortalizas, bajo bajo condiciones climáticas subtropicales; sin embargo reportan que una alta dosis de composta no ayuda a mejorar el rendimiento de cultivos debido a que el suelo se satura después de adquirir su fertilidad óptima.

Debido a las características del diseño experimental no es posible interpolar los resultados obtenidos directamente en campo, ya que las concentraciones de composta son muy diferentes a las manejadas, y pronosticar un desarrollo similar al obtenido en invernadero y por medio de bionesayos sería equivoco, debido principalmente a la capacidad de extensión de las raíces. Sin embargo los efectos resultantes de la aplicación de composta de RSOAV pueden llevarnos a recomendar su aplicación en campo, siempre y cuando el proceso de compostaje sea controlado garantizando un producto con la calidad menester para el cultivo de interés

En resumen, podemos afirmar que los tratamientos de 10% y 20% de composta fueron competitivos, y en ocasiones superiores, a los efectos positivos causados por la aplicación de los fertilizantes químicos 18-46-00 y triple en el crecimiento y desarrollo de maíz y frijol.



7 CONCLUSIONES

La aplicación 10, 20 y 30% (p/p) de composta elaborada con residuos de poda de áreas verdes, mejoró los contenidos de materia orgánica en suelo agrícola 27.5, 28.12 y 28.27%, respectivamente.

La adición de 20 y 30% de composta en suelo agrícola, incrementó de forma significativa el contenido de nitrógeno total en 30 y 26.6%, respectivamente.

La aplicación de composta demostró mejorar la densidad de partícula y aparente aumentando el espacio poroso de suelo.

Con lo referente a la capacidad de campo-CC- (capacidad de retención de agua) del suelo, la adición de 10% de composta presentó un incremento del 11.6% en la CC, mientras que las dosis de 20 y 30% de composta presentaron un incremento del 13%, cada uno.

La presencia de hongos fitopatógenos encontrados en la composta no representó un problema fitosanitario durante el desarrollo y crecimiento del maíz y del frijol.

La aplicación de 30% de composta y 100% de composta estimularon la emergencia de plántulas de maíz y frijol; los dosis con 10 y 20% de composta estimularon la emergencia de plántulas de frijol.

La aplicación de 10 y 20 % de composta incremento el número de hojas tanto en las plantas de maíz como de frijol, e influyeron positivamente en el desarrollo de la altura total de ambas especies.

La aplicación de 10 y 20 % de composta propició el buen desarrollo y crecimiento de las plantas de maíz y de frijol

La aplicación del 10 y 20% de composta de residuos orgánicos de área verdes de manera general, presentó mejores resultados con respecto a los tratamientos testigo (sin composta) y a los tratamientos con 30%, debido a que ayudan a mejorar el contenido de materia orgánica y nitrógeno total, así como la capacidad de retención de agua del suelo y sus efectos se vieron reflejados en un mayor número de hojas, en la altura total y retardando la senescencia foliar hasta la marchitez permanente del maíz (*Zea mays L.*) y del frijol (*Phaseolus vulgaris*).



8 RECOMENDACIÓN

Se recomienda controlada el suministro del contenido de humedad durante el proceso de compostaje, con el fin de acelerar la madurez del producto final. Lo anterior se recomienda considerando la información obtenida de la bibliografía consultada en la cual el contenido óptimo de humedad es del 50%.

Durante la producción de la composta deben ser vigiladas las proporciones manejadas de los materiales composteados con el fin de garantizar un pH neutro.

Si se desean realizar pruebas en invernadero se recomienda controlar y aclimatarlo con el fin de evitar problema de temperatura, que puedan alterar las etapas de desarrollo de las plantas.

Un exceso composta puede provocar la saturación del suelo y por ende la muerte de las plantas, por lo que se recomienda que en futuros ensayos la cantidad máxima de composta aplicada no rebase el 50%.

Debido a que los tratamientos con 100% y 30% de composta presentaron un pronto marchitamiento se recomienda la realización de análisis de sales solubles.

La dosis de composta manejadas en este trabajo fueron implementadas para bolsas negras con capacidad para 10gk por lo que si se desea aplica a nivel de campo primero deben realizarse los estudios de fertilidad del suelo en cuestión.



9 GLOSARIO

Acción microbiana: Proceso de degradación de la materia orgánica en los residuos sólidos, debido principalmente a bacterias y hongos, la cual se descompone a través de enzimas.

Aerobios: Organismos que necesitan del oxígeno diatómico para vivir o a los procesos que lo necesitan para poder desarrollarse.

Aireación: Inclusión del aire de la atmósfera, por medios naturales o mecánicos, para la degradación por vía aerobia de todos aquellos residuos biodegradables.

Almacenamiento: Acción de retener temporalmente los residuos, en tanto se procesan para su aprovechamiento, se entregan al servicio de recolección, o se disponen.

Análisis de suelo: Prueba física, química o microbiológica que estima algunas de fracciones que constituyen al suelo.

Aprovechamiento de los Residuos: Conjunto de acciones cuyo objetivo es recuperar el valor económico de los residuos mediante su reutilización, remanufactura, rediseño, reciclado y recuperación de materiales secundados o de energía.

Áreas verdes: Toda superficie cubierta de vegetación, natural o inducida.

Biodegradable: Cualidad que tiene la materia de tipo orgánico, para ser metabolizada por medios biológicos.

Compostaje: tecnología utilizada para la obtención de composta, a partir de residuos orgánicos vegetales y animales o biosólidos, utilizando un proceso de tipo microbiológico y bioquímico basado en procesos de mineralización, transformación y estabilización bajo condiciones aerobias o anaerobias y termofílicas, bajo condiciones adecuadas de humedad y temperatura.

Composta: Producto obtenido mediante procesos microbiológicos aerobios y anaerobios, que han pasado por las diferentes etapas termofílicas y mesofílicas, que permiten obtener un producto benéfico para el suelo e inocuo para el ambiente.

Densidad: Masa o cantidad de materia de un determinado residuo, contenida en una unidad de volumen, en condiciones especificadas.

Disposición final: Última fase del control de los residuos sólidos, consistente en colocarlos en determinados sitios de los cuales no serán removidos, con objeto de evitar daños al ambiente. Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.



Estabilización (maduración): Proceso que involucra tratamientos destinados a lograr la mineralización de la materia orgánica para obtener composta (mejoradores de suelo).

Etapa mesofílica: Se presenta cuando en el proceso de compostaje actúan los microorganismos capaces de vivir en un rango de temperatura de 25 a 40°C. Etapa del compostaje con mayor actividad metabólica.

Etapa termofílica: Se presenta cuando en el proceso de compostaje se reemplaza la población mesofílica dando lugar a microorganismos que se desarrollan a temperaturas mayores a 40°, dichos microorganismos continúan con el proceso de biodegradación.

Fermentación: Reacción química que transforma la materia orgánica y se debe a enzimas segregadas por microorganismos.

Gestión Integral de Residuos: Conjunto articulado e interrelacionado de acciones normativas, operativas, financieras, de planeación, administrativas, sociales, educativas, de monitoreo, supervisión y evaluación, para el manejo de residuos, desde su generación hasta la disposición final, a fin de lograr beneficios ambientales, la optimización económica de su manejo y su aceptación social, respondiendo a las necesidades y circunstancias de cada localidad o región.

Humus: Complejo agregado de sustancias amorfas, surge como resultado del composteo. Sustancia de naturaleza coloidal y que proviene de la descomposición de los residuos orgánicos.

Lixiviado: Líquido contaminante que resulta del paso de un disolvente, generalmente agua, a través de un estrato de residuos sólidos y que contiene en disolución y/o suspensión sustancias contenidas en los mismos. Líquido que se forma por la reacción, arrastre o filtrado de los materiales que constituyen los residuos y que contiene en forma disuelta o en suspensión, sustancias que pueden infiltrarse en los suelos o escurrirse fuera de los sitios en los que se depositan los residuos y que puede dar lugar a la contaminación del suelo y de cuerpos de agua, provocando su deterioro y representar un riesgo potencial a la salud humana y de los demás organismos vivos.

Método aeróbico: Son aquellos sistemas en los cuales el proceso de biotransformación es realizado mediante aireaciones naturales o forzadas de forma conjunta o intermitente, que aceleran el metabolismo de los microorganismos aeróbicos que descomponen la materia orgánica por oxidación.

Método anaeróbico: Son aquellos sistemas en los cuales el proceso de descomposición biológica de los sustratos orgánicos se lleva a cabo en ausencia de oxígeno (sistemas cerrados). Los productos finales



Manejo Integral: Las actividades de reducción en la fuente, separación, reutilización, reciclaje, co-procesamiento, tratamiento biológico, químico, físico o térmico, acopio, almacenamiento, transporte y disposición final de residuos, individualmente realizadas o combinadas de manera apropiada, para adaptarse a las condiciones y necesidades de cada lugar, cumpliendo objetivos de valorización, eficiencia sanitaria, ambiental, tecnológica, económica y social.

Minimizar: El conjunto de medidas tendientes a evitar la generación de los residuos sólidos y aprovechar, tanto sea posible, el valor de aquellos cuya generación no sea posible evitar.

Muestra: Parte representativa de un universo o población finita, obtenida para conocer sus características.

Muestreo: Procedimiento para obtener una o más muestras representativas de un terreno (suelo).

Nitrógeno total: Es la suma de los nitrógenos amoniacal y orgánico presentes en la muestra, conocido como nitrógeno Kjeldahl.

Patógeno: (del griego *Pathos*, enfermedad y *gainen*, engendrar) es el adjetivo que se le da a microorganismo que tiene la propiedad de producir enfermedad en los seres humanos.

Peso volumétrico: Peso de los residuos sólidos, contenidos en una unidad de volumen.

pH: Potencial hidrógeno, grado de acidez o de alcalinidad de un sustancia. Logaritmo negativo de la actividad de los iones de hidrógeno en una sustancia.

Planes de Manejo: Instrumento cuyo objetivo es minimizar la generación y maximizar la valorización de residuos sólidos urbanos, residuos de manejo especial y residuos peligrosos específicos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, con fundamento en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de Residuos, diseñado bajo los principios de responsabilidad compartida y manejo integral, que considera el conjunto de acciones, procedimientos y medios viables e involucra a productores, importadores, exportadores, distribuidores, comerciantes, consumidores, usuarios de subproductos y grandes generadores de residuos, según corresponda, así como a los tres niveles de gobierno.

Relación Carbono/Nitrógeno: Es el parámetro utilizado como control de calidad de los residuos sólidos dentro de un sistema, utilizando como base la materia orgánica.

Reutilización: El empleo de un material o residuo previamente usado, sin que medie un proceso de transformación. Acción de usar un residuo sólido.

Reciclaje: Transformación de los residuos a través de distintos procesos que permiten restituir su valor económico, evitando así su disposición final, siempre y cuando esta restitución



favorezca un ahorro de energía y materias primas sin perjuicio para la salud, los ecosistemas o sus elementos.

Recolección: Acción de recoger los residuos sólidos de sus sitios de almacenamiento, para depositarlos en el equipo destinado a conducirlos a las estaciones de transferencia, instalaciones de tratamiento o sitios de disposición final.

Relleno sanitario: Obra de ingeniería planeada y ejecutada, previendo los efectos adversos al ambiente, para la disposición final de los residuos sólidos municipales.

Residuo: Material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en la LGEEPA y demás ordenamientos que de ella deriven.

Residuos Orgánicos: Todo residuo sólido fácil de biodegradar.

Tratamiento: Procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad. Proceso aplicado a los residuos para eliminar su peligrosidad o hacerlos reutilizables.

Valorización: Principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo es recuperar el valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica.



10 BIBLIOGRAFÍA

- Agrios, G. N. 1997. Plant Pathology. Academic Press. San Diego, CA. USA. p. 635.
- Atkinson C. F., Jones D., Gauthier J. J. 1996. Biodegradabilities and Microbial Activities during Composting of Municipal Solid Waste in Bench-Scale Reactors. Compost Science & Utilization. Vol. 4. pp. 14-23.
- Ascencio, J., y J.E. Fargas. 1973. Análisis del crecimiento del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.); Variedad "Turrialba-4") cultivado en solución nutritiva. Mirríalba. 23(4): pp. 420-428.
- Bernal M.P., Albuquerque J.A., Moral R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. In Bioresource Technology 100. pp. 5444–5453
- Barnett, H. L. Hunter, B. B. 1998. Illustrated Genera of Imperfect Fungi. APS Press. St. Paul, Minnesota. USA. 218 p.
- Bidwell, R.G.S. 1979. Fisiología vegetal. Interpretación del crecimiento y desarrollo. 409-418.
- Cantero F. A. 2007. Optimización y Control de la Planta de Producción de Composta y Vivero perteneciente a la Unidad Profesional Adolfo López Mateos, Zacatenco. Tesis de licenciatura. IPN, ENCB. México.
- Casado V. J., Sellés S., Navarro J., Bustamante M.A., Mataix J., Guerrero C., Gomez. I. 2006. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. Waste Management 26. pp. 946–952.
- Centro Agronómico de Investigación Enseñanza. CATIE 1990. Guía para el manejo integral de plagas del cultivo de maíz. Programa de Mejoramiento de Cultivos Tropicales. Turrialba, Costa Rica. 89 p.
- Centro Internacional de Agricultura Tropical. CIAT, 1989. Información básica sobre competencia entre las malezas y los cultivos. Fuentes de Piedrahíta. Cali, Colombia. CIAT 42p. (serie:04SW-01.02). En línea. <http://books.google.com.mx/books>
- Chang E., Chung R., Tsai Y. 2007. Effect of different application rates of organic fertilizer on soil enzyme activity and microbial population. Soil Science and Plant Nutrition, 53. pp. 132–140.
- Comisión del Medio Ambiente Regional de los Lagos. CONAMA, 2003. “Manual de compostaje casero”. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit. Chile.
- Comisión Europea. 2000. Ejemplos de buenas prácticas de compostaje y recogidas selectivas de residuos. Luxemburgo: Oficina de publicaciones Oficiales de Comunidades Europeas.



Comisión Veracruzana de Comercialización Agropecuaria. COVECA, 2010. Monografía del Frijol. Gobierno del Estado de Veracruz, México. pp 24. En línea: <http://portal.veracruz.gob.mx/pls/portal/docs/PAGE/COVECAINICIO/IMAGENES/ARCHIVOSPDF/ARCHIVOSDIFUSION/MONOGRAFIA%20FRIJOL2010.PDF>

Dalzell H. W., Biddlestone A. J., Gray K. R. y Thurairajan K. 1991. Manejo del suelo: producción y uso del compost en ambientes tropicales y subtropicales. Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), Italia. 178 p.

Delouche, J. C., Wayne S., T., Raspes M., Lien Hard, M. 1971. Prueba de viabilidad de semillas con tetrazol. CRAT, AID. Buenos Aires, Argentina. 256 pp.

Espinosa V. R. M. y Delfín A. I. 2005. Composteo: Reaprovechamiento de la materia orgánica. ARBOREA, Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Arboricultura, año 7, número 14-15 Diciembre. pp. 27-37.

Evanylo G., Sherony C., Spargo J., Starner D., Brosius M., Haering K. 2008. Soil and water environment al effects of fertilizer-, manure-, and compost-based fertility practices in an organic vegetable cropping system. Agriculture, Ecosystems and Environment, 127. pp. 50–58.

Eweis B., Ergas J., Daniel P., Chang y Edward D. Schroeder. (1999). Principio de Biorremediación. McGraw-Hill. España. 201-220 pp.

Fogarty y Tuovinen, 1991 Fogarty A.M., Tuovinen O.H. (1991). Microbial degradation of pesticides in yard waste composting. Microbiol. Rev., 55(2). pp. 225-233.

Food and Agriculture Organization. FAO, 1993. Agriculture and Consumer Protection Department. Maize in human nutrition. Online: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S02.htm#>

Fernández H. G., Johnston B. M. 1986. Fisiología vegetal experimental. San José Costa Rica. Servicios editoriales IICA. pp.340.

Fernández F., Geps P. y López M. 1982. Etapas de desarrollo de la planta de frijol común. Guía de estudio, Centro Internacional de Agricultura Tropical. Cali, Colombia.

Gajalakshmi, S., Abbasi, S.A., 2008. Solid waste management by composting: state of the art. Crit. Rev. Environ. Sci. Technol. 38. pp. 311–400.

García Breijo Francisco José, Roselló Caselles Josefa y Santamarina Siurana M^a Pilar. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. pp.163.

Gehr W. & Grobe K. 1997. Yard Trimmings Products. Use Guide. Agriculture in Partnership with San Jose. pp. 1-16.



- Gutiérrez-Hernández G. F., Virgen-Vargas J., Arellano-Vázquez J.L. 2007. Germinación y crecimiento inicial de semillas de maíz con envejecimiento natural. *Agronomía mesoamericana*. México. 18(2): 163-170.
- Hoitink H.A.J., Boehm M.J. 1999. Biocontrol within the context of soil microbial communities: A substrate-dependent phenomenon. *Annu. Rev. Phytopathol.* 37. pp. 427-446.
- Insam H., de Bertoldi M. 2003. Microbiology of the composting process. In: Golueke C., Bidlingmaier W., de Bertoldi M. and Diaz L., Eds, *Compost Science and Technology*, Elsevier Science Ltd. pp. 25-47.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA 2010. Plagas de Frijol en Centroamérica. Guía de identificación y manejo integrado: plagas del frijol en Centroamérica. Proyecto Red de Innovación Agrícola. SICTA, COSUDE. Managua, Nicaragua, 2010. pp 2.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. IICA 2008. Guía de identificación y manejo integral de las enfermedades del frijol en América Central. Proyecto Red SICTA, COSUDE. Managua, Nicaragua. pp. 4-7, 26 y 27. 32 p.
- Instituto Nacional de Ecología. INE, 2003. Inventario de Áreas Verdes en el Distrito Federal, Gobierno del Distrito Federal. México D.F. 2003-09-11. En línea: <http://www.sma.df.gob.mx/sma/index.php?opcion=26&id=112>
- Instituto Nacional de Ecología. INE, 2007a. Experiencias de la producción de composta en México. Gobierno del Distrito Federal. México D.F. En línea: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/experiencias.html>
- Instituto Nacional de Ecología. INE, 2007b. Programa municipal de compostaje. INE 2007. Gobierno del Distrito Federal. México D.F. En línea: <http://www2.ine.gob.mx/publicaciones/libros/499/programa.html>
- Íñiguez G., Rodríguez R. y Virgen G. 2006. Compostaje de material de descarte y aguas residuales de la industria de curtiduría. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, año/vol. 22, número 003. DF, México. pp. 113-123.
- Jackson, M.L. 1970. Análisis químico de suelos. Ediciones Omega, S.A., Barcelona.
- Jenny, H.A., F. Bingham y B. Padilla-Saravia. (1948). “Nitrogen and organic matter contents of Colombia, South America”, en *Soil Science*, Number 66. pp. 175-186.
- Kemmitt SJ, Wright D, Goulding KWT, Jones DL. 2006. pH regulation of carbon and nitrogen dynamics in two agricultural soils. *Soil Biol. Biochem.*, 38. pp., 898–911.



- Kobayashi T., Navarro R. R., Tatsumi K., Iimura Y. 2008. Influence of compost amendment on pyrene availability from artificially spiked soil to two subspecies of *Cucurbita pepo*. National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), 16-1. pp. 305-8506.
- Kuter G.A., Hoitink H.A.J. y Chen W. 1988. Effects of municipal sludge compost curing time on suppression of *Pythium* and *Rhizoctonia* diseases of ornamental plants. *Plant Disease* 72. pp. 751-756.
- López C., Arias H., De Lorenz S., Fernández V. 2006. Propuesta de un método para la disposición final de residuos sólidos generados en el bosque de San Juan de Aragón, México, D.F. XV Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales. Soluciones Ambientales para un Desarrollo Pleno. México 2025. 25 de Mayo. EXPO Guadalajara.
- Larney, F.J., Hao, X., 2007. A review of composting as a management alternative for beef cattle feedlot manure in southern Alberta, Canada. *Bioresour. Technol.* 98. pp. 3221–3227.
- Majercak J. 2002. Success Story, Turning Garbage into Gold Succ. Director of Waste Management Programs. Center for Ecological Technology ess Story. Solid Waste and Emergency Response (5306W) EPA 530-F-02-02.
- Mathur S.P., Owen G., Dinell H., Schnitzer M. 1993. Determination of compost biomaturity. *Biol. Agric. Hortic* 10. pp. 65-85.
- Moreno, D.R. 1978. Clasificación del pH del suelo; contenido de sales y nutrientes asimilables. México, INIA-SARH.
- Moreno, D.R. 1970. Clasificación tentativa propuesta por el autor. México. SAG.
- Navarro R. A. 2002. Manual para hacer composta Aeróbica. CESTA Amigos de la Tierra. El Salvador.
- NEGRO, M.J.; Aibar J.; R. Alarcón; P. Ciria; M.V Cristóbal; A. de Benito; A. García Martín; G. García Murieras; C. Labrador; C. Lascada, J. A. Lezaún; R. Meco; G. Pardo; M.L, Solano; C. Torner y C. Zaragoza. (2000). Producción y gestión del compost. *Informaciones Técnicas*. Dirección General de Tecnología Agraria, Zaragoza, España. pp. 88.
- Palacios Vèlez Enrique. (2002). ¿Por qué, cuándo, cuánto y cómo regar? Para lograr mejores cosechas. México, Trillas.
- Panizza L.A. (2005). La Compota: Una receta del siglo XXI. ARBOREA, Órgano informativo de la Asociación Mexicana de Arboricultura. Año 7. Número 14-15 Diciembre. pp. 38-43. México.
- Ríos M. J., Quirós J.E. y Arias J.H. 2003. Frijol, recomendaciones generales para su siembra y manejo. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Regional 4, Centro



de Investigación “la Selva”, Apartado Aéreo 100, Rionegro, Antioquia, Colombia. Cartilla Ilustrada 2. 48 páginas.

Ritchie W. S. y Hanway. 1984. How a corn plant develops. Ames Iowa Special Report, Iowa State University of Science and Technology Cooperative Extension Service. núm. 48. pp. 21

Röben Eva. 2002. Manual de Compostaje para Municipios. DED/Ilustre, Municipio de Loja, Loja Ecuador.

Rodríguez F. H., Rodríguez A. J. 2002. Métodos de análisis de suelos y plantas, criterios de interpretación. Trillas. pp. 58. México.

Rodríguez S. M. A. y Córdova y V. A. 2006. Manual de compostaje municipal, Tratamiento de residuos sólidos urbanos. SEMARNAT, INE, GTZ. México.

Roy S., Arunachalam K., Kumar D. B., Arunachalam A. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. Zea mays, Phaseolus vulgaris and Abelmoschus esculentus. Applied Soil Ecology 45. pp. 78–84.

Royo A., Aragües R. 1991. Tolerancia a la salinidad de 48 cultivos de cebada en la fase de emergencia. Invest. Prot. Veg. 6. pp. 17-26.

Ryckeboer J., Mergaert J., Coosemans J., Deprins K., Swings J. 2003a. Microbiological aspects of biowaste during composting in a monitored compost bin. J. Appl. Microbiol., 94(1). pp. 127-137.

Ryckeboer J., Mergaert J., Vaes K., Klammer S., D. de Clercq., Coosemans J., Insam H., Swings J. 2003b. A survey of bacteria and fungi occurring during composting and self-heating processes. Annals of Microbiology, 53 (4). pp. 349-410.

Ryckeboer J., Cops S., Coosemans, J. 2002. The fate of plant pathogens and seeds during anaerobic digestion and aerobic composting of source separated household wastes. Compost Sci. Util., 10(3): 204-216.

Saidi N., Chérif M., Jedidi M., Mahrouk M., Fumio A., Boudabous A., Hassen A. 2008. Evolution of Biochemical Parameters During Composting of Various Wastes Compost. American Journal of Environmental Sciences 4 (4). pp. 333-341.

Sauri, M. y B.E. Castillo 2002. Utilización de la composta en procesos para la remoción de contaminantes. *Ingeniería* (6-3). pp. 55-60

Sauri R. M. R., Nájera A. H. A., Ramírez H. J. G. y Mejía S.G. M. 2002. Aplicación del composteo como método de tratamiento de los residuos de frutas producidos en zonas de alta generación. Artículo de Investigación. *Ingeniería Revista Académica*. Enero-abril.año/volumen 6, numero 001. Universidad Autónoma de Yucatán.Merida México. pp. 13-20.



Schütte F. y Meier U. 1981. Entwicklungsstadien des mais, zum gebrauch für das versuchswesen, die beratun und die praxis in der land-wirtschaft. En Biologische Bundesastalt für Land und forstwirtschaft, Merkblatt, núm.28/4. pp 10.

Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. SAGARPA 2006. Índice de Maíz. En línea: http://w4.siap.sagarpa.gob.mx/sispro/IndModelos/SP_AG/Maiz/Descripci%C3%B3n.pdf

Semple, K.T., Reid, B.J. y Fermor, T.R. 2001. Impact of composting strategies on the treatment of soils contaminated with organic pollutants. Environ. Pollution, 112: 269 - 283.

Simone L. J. y Taylor B. R. T. 2003. Effects of pulp mill solids and three composts on early growth of tomatoes. Bioresource Technology 89. pp. 297–305.

Sistema de Información Municipal Agropecuaria. SIMA, 2006. Monografía de productos agropecuarios. Gobierno de Chiapas, México. pp. 114. En línea: <http://www.agrochiapas.gob.mx/archivos/01000000/01060000/Monografias%20de%20productos%20agropecuarios.pdf>. 223–227.

Solórzano Vega Esteban. 2007. Guías fenológicas para cultivos básicos. México, Trillas. pp. 54-68, 94-97.

Steger K., Jarvis A., Vasara T., Romantschuk M., Sundh I. 2007. Effects of differing temperature management on development of Actinobacteria populations during composting. Research in Microbiology 158. pp. 617-624.

Tanaka, A. y Yamaguchi. 1972. Producción de materia seca, componentes del rendimiento y rendimiento del grano de maíz. Colegio de postgraduados. Chapingo, México. 124 p.

Trejo V. R. 1994. Procesamiento de la basura urbana. Trillas. pp.186 – 213. México.

Tuomela M., Vikman M., Hatakka A., Itävaara M. 2000). Biodegradation of lignin in a compost environment: A review. Bioresour. Technol., 72(2). pp. 169-183.

Warham E J., Butler L D., Sutton B C. 1996. Ensayos para la semilla de maíz y de trigo: Manual de laboratorio. CIMMYT, México, y CAB International, Reino Unido.

Widman Aguayo F., Herrera Rodríguez F., Cabañas Vargas D. D. 2005. El uso de la composta proveniente de residuos sólidos municipales como mejorador de suelos para cultivos en Yucatán. Estudios preliminares. En Ingeniería Revista Académica, septiembre-diciembre, año/vol. 9, número 003. pp. 31-38.



Zaller JG, Koepke U. 2004. Effects of traditional and biodynamic farmyard manure amendment on yields, soil chemical, biochemical and biological properties in a longterm field experiment. *Biol. Fertil. Soils*, 40. pp, 222–229.

Legislación Consultada

Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. 2005. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos. Nueva Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación./8/10/2003. Última reforma publicada DOF 22-05-2006.

Asamblea Legislativa del Distrito Federal. 2003. Ley de Residuos Sólidos del Distrito Federal. México. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 22/05/2003.

Acuerdo por el que se aprueba y expide el Programa General de Gestión Integral de Residuos Sólidos. México. Gaceta Oficial del Distrito Federal. 1/10/2004.

NOM-021-RECNAT-2000. Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.

NMX-AA-015-1985. Protección al ambiente – contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - muestreo – método de cuarteo

NMX-AA-052-1985. Protección al ambiente - contaminación del suelo - residuos sólidos municipales - preparación de muestras en el laboratorio para su análisis

NMX-AA-25-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo residuos sólidos-determinación del pH-método potencio métrico.

NMX-AA-067-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de la relación carbono / nitrógeno

NMX-AA-24-1984. Protección al ambiente - contaminación del suelo-residuos sólidos municipales - determinación de nitrógeno total

NMX-AA-021-1985. Protección al ambiente-contaminación del suelo residuos sólidos municipales-determinación de materia orgánica.

NMX-AA-016-1984. Protección al ambiente-contaminación del suelo-residuos sólidos municipales-determinación de humedad.



Gobierno del Estado de México. 2006. NTEA-006-SMA-RS-2006 Que establece los requisitos para la producción de los mejoradores de suelos elaborados a partir de residuos orgánicos. Gaceta del gobierno CLXXXII. 9/10/06. Toluca, México.

Páginas electrónicas consultadas

Anuario Estadístico del Estado de Veracruz. 2001-2002. Consulta de bases de indicadores de Producción Estatal. www.sefiplan.gob.mx. Julio 2010.

Consulta de bases de datos de producción mundial y comercio internacional de Frijol. SIAP, SIACON, Anuario Agrícola por Municipio SAGARPA. Consulta de Indicadores de Frijol. www.siap.sagarpa.gob.mx. Julio 2010.

FERISQUISA. <http://www.foxitsoftware.com>. Ficha técnica del fertilizante triple complejo 15-15-15. Ficha técnica del fertilizante 18-46-00. Enero 2011.

Investigación sobre el Frijol. <http://www.siea.sagarpa.gob.mx/Publicaciones/Archivos/Frijol90-00.pdf> Julio 2010

Revista Claridades Agropecuarias No. 101, 88, 76, 63, 44 y 7. www.infoaserca.gob.mx. Julio 2010.

Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Consulta de precios de Frijol. www.economia-sniim.gob.mx. Julio 2010

Situación y Perspectivas del Frijol. Autor: Jorge A. Rojo Leyva. www.agronet.com.mx. Julio 2010



ANEXO 1. ANÁLISIS EN LABORATORIO

a) pH-método potenciométrico

Materiales

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001 g
- Potenciómetro con compensador de temperatura, electrodo de vidrio y electrodo de referencia
- Vasos de precipitado de 50 ml
- Pipeta volumétrica de 20 ml
- Varilla de vidrio

Reactivos

- Soluciones amortiguadoras de pH = 4.0 y pH = 7.0
- Agua destilada

Procedimiento para suelo

- 1) Calibrar el potenciómetro con las soluciones amortiguadoras de pH=4 y pH=7.
- 2) Pesar 10 g (1 g para composta) de muestra y transferir a un vaso de precipitado.
- 3) Añadir 20 ml (10 ml para composta) de agua destilada.
- 4) Agitar durante 30 minutos.
- 5) Dejar reposar la solución durante 15 minutos.
- 6) Pasado el tiempo, sumergir los electrodos en la solución, tomar la lectura de temperatura y pH.
- 7) Secar los electrodos y lavarlos con agua destilada. Registrar la lectura.
- 8) Sumergir los electrodos en un vaso de precipitados con agua destilada.

b) % de Materia Orgánica (%MO)-Walkley y Black.

Reactivos

- Ácido sulfúrico concentrado al 98% (H_2SO_4).
- Ácido Fosfórico al 95% (H_3PO_4).
- Sulfato Ferroso 0.5 N ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$), disolver 140 g de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ en 40 ml de H_2SO_4 y aforar con agua destilada a 1l.



- Dicromato de Potasio 1 N ($K_2Cr_2O_7$), pesar 48.8 g de $K_2Cr_2O_7$ y aforar con agua destilada a 1l.
- Difenilamina al 1 %, pesar 0.5g de difenilamina y disolver en 20 ml de agua destilada, aforar a 100ml con ácido sulfúrico concentrado.

Procedimiento

- Correr un blanco para la obtención del factor de corrección.
- Correr las muestras por duplicado.
- Triturar la muestra en un mortero y pasar por malla de 2mm.
- Pesar 0.1 g de la muestra y se transferir a un matraz Erlenmeyer de 250 ml
- Agregar 10 ml de dicromato de potasio.
- Agregar 20 ml de ácido sulfúrico concentrado.
- Agitar enérgicamente durante un minuto.
- Dejar reposar durante 30 minutos.
- Posteriormente agregar 100 ml de agua.
- Agregar 10 ml de ácido fosfórico.
- Agregar 0.5 ml (5 a 10 gotas) de difenilamina
- Titular con sulfato ferroso 0.5 N hasta que virar de violeta oscuro a verde.

Valorar la solución de sulfato ferroso 0.5 N con dicromato de Potasio 1 N, cada vez que se utilice para titular las muestras, con el fin de conocer la normalidad real del sulfato.

Cálculos

El porcentaje de materia orgánica se calcula con la siguiente fórmula:

$$\text{Materia orgánica en \%} = \frac{(V_1N_1 - VNF)k}{P}; \text{ en donde:}$$

V_1 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en la muestra en ml

N_1 = Normalidad de la solución de dicromato de potasio.

V = Volumen de solución del sulfato ferroso gastado en la titulación de la muestra de ml

N = Normalidad de la solución de sulfato ferroso.

P = Peso de la muestra en g.

$$k = 0.69 = 0.003 \frac{1.72}{0.74} \times 100; \text{ en donde:}$$

0.003 = Miliequivalente del carbono.



0.74 = Factor de recuperación.

1.72 = Factor para convertir el % de carbono en % de materia orgánica.

F = Factor de corrección y se obtiene por la siguiente fórmula:

$$F = \frac{V_0 N_1}{V_B N} ; \text{ en donde:}$$

V_0 = Volumen de solución de dicromato de potasio empleado en el blanco en ml

V_B = Volumen de sulfato ferroso gastado en la titulación del blanco en ml

La diferencia máxima permisible entre dos series de pruebas, no debe exceder de $\pm AA$ 2% en el resultado.

c) Nitrógeno Total (%NT) -Microkjendahl

Aparatos

- 1 Aparato de digestión micro Kjeldahl con extractor de humos
- 1 Aparato de destilación micro Kjeldahl (montado en laboratorio)

Materiales

- Matracas micro Kjeldahl Granalla de zinc de 20 mallas
- Perlas de vidrio
- Matracas Erlenmeyer de 500 ml
- Embudos de destilación
- Vasos de precipitados

Reactivos

- Sulfato de potasio (K_2SO_4)
- Acido salicílico ($C_2H_2O_4$)
- Sulfato cúprico ($CuSO_4 \cdot 5H_2O$)
- Tiosulfato de sodio cristalino ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$)
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Solución de hidróxido de sodio 10 N (NaOH), pesar 40 g de NaOH y aforar a 100 ml de agua.
- Acido bórico al 4 % (H_3BO_3), pesar 4 g de NaOH y aforara a 100 ml de agua.
- Solución de ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N, tomar 8.33 ml y aforar a un 1l de agua.



- Solución indicadora mixta de rojo de metilo y verde de bromocresol (Pesar 1 g de rojo de metilo y 0.5 g de verde de bromocresol, se disuelven en 100 ml de alcohol etílico y se lleva a un pH=5).
- Solución de carbonato de sodio 0.1N (Na_2CO_3) pesar 5.3g de Na_2CO_3 , previamente secado en la estufa a 110°C durante 2 horas, y aforar a 1l de agua.
- Solución indicadora de rojo de metilo AL 0.04% o naranja de metilo 0.1N.

Procedimiento

- a) Correr un blanco de agua y un control con albúmina.
- b) Pesar 0.040 g de muestra (0.020g de albúmina), colocar en un papel arroz y transferir a un matraz micro Kjeldhal.
- c) Agregar 0.1 g de ácido salicílico y 3 ml de ácido sulfúrico concentrado, agitar hasta que el ácido se incorpore totalmente a la muestra, formándose el ácido nitrososalicílico.
- d) Dejar reposar 30 minutos, y después añadir 1 g de tiosulfato de sodio; agitar y dejar reposar por un período de 5 minutos.
- e) Transcurrido el tiempo calentar la mezcla hasta que no exista desprendimiento de humos blancos y la solución se clarifique.
- f) Mantener la digestión durante 30 minutos más.
- g) Retirar el matraz y dejar enfriar a temperatura ambiente.
- h) Añadir 0.1 g de sulfato cúprico y 1 g de sulfato de potasio llevarlo a digestión hasta obtener una solución incolora ó de color amarillo paja.
- i) Lavar la solución del matraz micro Kjeldhal, con 15 ml de agua destilada, llevar a un matraz Erlenmeyer de 500 ml, al cual previamente añadir 4 a 5 granallas de zinc y 5 perlas de vidrio.
- j) En el embudo de destilación agregar 15 ml de hidróxido de sodio 10 N.
- k) En la punta del embudo colocar un vaso de precipitado de 50 ml y añadir 5 ml de ácido bórico al 4 % más 3 gotas de indicador mixto.
- l) Destilar alrededor de 25 ml y apagar la parrilla.
- m) Titular con ácido clorhídrico 0.1N hasta obtener un vire rosa.

Valorar la solución de ácido clorhídrico 0.1N con carbonato de sodio 0.1N, cada vez que se utilice para titular las muestras, con el fin de conocer su normalidad.



Cálculos

El nitrógeno total en por ciento se calcula con la siguiente fórmula:

$$NT \text{ en } \% = \frac{4 \times N_1 \times 0.014 \times 100}{M} \text{ , en donde}$$

A = Volumen de la solución de ácido clorhídrico empleado en la recolección del amoniaco destilado.

N_1 = Normalidad del ácido clorhídrico.

M = Masa de la muestra en g.

0.014 = Miliequivalente del nitrógeno.

100 = Para relacionar el nitrógeno a por ciento.

Para la obtención del nitrógeno total real de las muestras debe restarse el nitrógeno obtenido en el blanco (nitrógeno del papel arroz utilizado).

Nota: La diferencia máxima permisible en el resultado de pruebas efectuadas por duplicado, no debe exceder de 0.3% en caso contrario, se debe repetir la determinación.

d) % Humedad -método gravimétrico

Materiales

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula
- Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada
- Cápsulas de porcelana
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio
- Pinzas

Procedimiento

- 1) Pesar la cápsula sin muestra (registrar el peso).
- 2) Colocar la cápsula en la estufa a 120°C durante 24 horas, transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 1 hora.



- 3) Pesar 1 g de muestra en la cápsula (registrar el peso total)
- 4) Para muestras de suelo colocar la cápsula en la estufa a 110°C durante 12 horas (para composta a 60°C durante 2 horas), transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 1 hora (20 minutos para composta).
- 5) Transcurrido el tiempo, pesar el crisol con muestra.
- 6) Colocar nuevamente la cápsula en el estufa durante 2 horas (para composta y suelo) transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 20 minutos.
- 7) Repetir el paso 5 hasta la obtención de peso constante.

Se considera peso constante cuando entre dos pesadas consecutivas la diferencia es menor al 0.01%.

Cálculos

La CC se calcula con la siguiente fórmula.

$$CC = \frac{(P_C + P_{mh}) - (P_C + P_{ms})}{P_{ms}} \times 100$$

$$CC = \% H$$

P_C = Peso de la cápsula sin muestra en g

P_{mh} = Peso de la muestra húmeda en g

P_{ms} = peso de la muestra seca en g

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%.

e) Capacidad de campo (CC) -método de la columna de suelo

Materiales

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula
- Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada
- Cápsulas de porcelana
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio
- Pinzas



- Macetas con perforaciones y capacidad para 100 g de suelo

Procedimiento

- 1) Pesar 60 g de muestra
- 2) Colocar en una maceta con perforaciones, evitando pérdidas de muestra
- 3) Añadir agua hasta humedecer por completo toda la muestra, permitiendo que drene el sobrante de agua.
- 4) Dejar reposar de 2 a 3 días permitiendo el libre drenaje.
- 5) En una capsula de porcelana, previamente llevada a peso constante y tarado, colocar una muestra de suelo, preferentemente no tomada de la superficie, y péseles juntos.
- 6) Colocar la cápsula en la estufa a 105°C (para composta a 60°C) durante 24 horas, transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 1 hora.
- 7) Transcurrido el tiempo, pesar el crisol con muestra.
- 8) Colocar nuevamente la cápsula en el estufa durante 2 horas (para composta y suelo) transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 20 minutos.
- 9) Repetir el paso 5 hasta la obtención de peso constante.

Cálculos

La CC se calcula con la siguiente fórmula.

$$CC = \frac{(P_C + P_{mh}) - (P_C + P_{ms})}{P_{ms}} \times 100$$

$$CC = \% H$$

P_C = Peso de la cápsula sin muestra en g

P_{mh} = Peso de la muestra húmeda en g

P_{ms} = peso de la muestra seca en g

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%.

f) Punto de marchitez permanente (PMP)-método del girasol

Materiales

- Balanza analítica con sensibilidad de 0.001g
- Espátula



- Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada
- Cápsulas de porcelana
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Equipo usual de laboratorio
- Pinzas
- Macetas con perforaciones y capacidad para 500 g de suelo

Procedimiento

- 1) Manejar muestras por triplicado.
- 2) Llenar las macetas con 500 g de muestra (previamente tamizada y secada al aire) y colocar 3 semillas de girasol, regar con agua de grifo hasta la obtención de plántulas, seleccionar la más vigorosa y eliminar las restantes.
- 3) Permitir que la plántula alcance su desarrollo hasta la obtención de cuatro pares de hojas verdaderas. En éste momento eliminar el riego.
- 4) Cubrir la maceta para evitar evaporación.
- 5) Si la plántula presenta marchitamiento colocar en un lugar húmedo, si se recupera colocar nuevamente al sol. Si la plántula no se recupera ésta ha llegado a su PMP.
- 6) En una capsula de porcelana, previamente llevada a peso constante y tarado, colocar una muestra de suelo, preferentemente no tomada de la superficie, y péseles juntos.
- 7) Colocar la cápsula en la estufa a 105°C (para composta a 60°C) durante 24 horas, transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 1 hora.
- 8) Transcurrido el tiempo, pesar el crisol con muestra.
- 9) Colocar nuevamente la cápsula en el estufa durante 2 horas (para composta y suelo) transcurrido el tiempo pasar al desecador durante 20 minutos.
- 10) Repetir el paso 5 hasta la obtención de peso constante.

Cálculos

La **CC** se calcula con la siguiente fórmula.

$$CC = \frac{(P_C + P_{mh}) - (P_C + P_{ms})}{P_{ms}} \times 100$$

$$CC = \% H$$

P_C = Peso de la cápsula sin muestra en g

P_{mh} = Peso de la muestra húmeda en g



R_{ms} = peso de la muestra seca en g

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%.

g) Densidad aparente (método del cilindro de volumen conocido)

Materiales

- Balanza con sensibilidad de 0.1g
- Espátula
- Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada
- Cápsulas de porcelana
- Guantes de asbesto
- Desecador con deshidratante
- Pinzas
- Cilindro muestreador
- Espátula
- Capsulas de porcelana para humedad

Procedimiento

- 1) Manejar muestras por triplicado.
- 2) Colocar el cilindro en la estufa a 110°C hasta peso constante.
- 3) Llenar el cilindro con las muestras (previamente tamizada y secada al aire), nivelar con la espátula.
- 4) Colocar en la estufa a 105°C hasta la obtención de peso constante.

Cálculos

$$D_a = \frac{R_{ms}}{V_c}$$

$$R_{ms} = (P_c + muestra) - (P_c + R_{ms})$$

D_a = densidad aparente

R_{ms} = peso de la muestra seca en g

V_c = volumen del cilindro en cm^3



P_c = peso del contenedor

La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%.

h) Densidad de partícula (método con agua).

Materiales

- Balanza con sensibilidad de 0.1g
- Estufa con circulación forzada de aire y temperatura controlada
- Cilindro muestreador
- Desecador con deshidratante
- Pinzas
- Espátula
- Probeta graduada de 500ml

Procedimiento

- 1) Manejar muestras por triplicado.
- 2) Colocar el cilindro en la estufa a 110°C hasta peso constante.
- 3) Llenar el cilindro con las muestras (previamente tamizada y secada al aire).
- 4) Colocar en la estufa a 105°C hasta la obtención de peso constante (aproximadamente 12 horas).
- 5) Agregar 250 ml de agua a la probeta graduada
- 6) Pesar 100 g de suelo seco a la estufa, a 110°C durante 12 hrs
- 7) Pasar a la probeta graduada

Cálculos

$$D_p = \frac{P_p (g)}{vp (ml)} = \frac{100g}{\text{aumento del volumen}}$$

P_p = peso de las partículas en gramos

V_a = volumen que aumento el agua

El aumento en el volumen del agua corresponde al volumen de las partículas que componen el suelo (volumen de la parte sólida del suelo).



La diferencia máxima permisible entre determinaciones efectuadas por duplicado no debe ser mayor al 1%.