



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO
PROGRAMA DE POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

SUSTRATOS ALTERNATIVOS A BASE DE CACHAZA PARA LA
PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE
(*Lycopersicon esculentum* Mill.)

EDGAR ALEJANDRO BERROSPE OCHOA

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO
2010

La presente tesis, titulada: **Sustratos alternativos a base de cachaza para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.)**, realizada por el alumno: Edgar Alejandro Berrospe Ochoa, bajo la dirección de Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

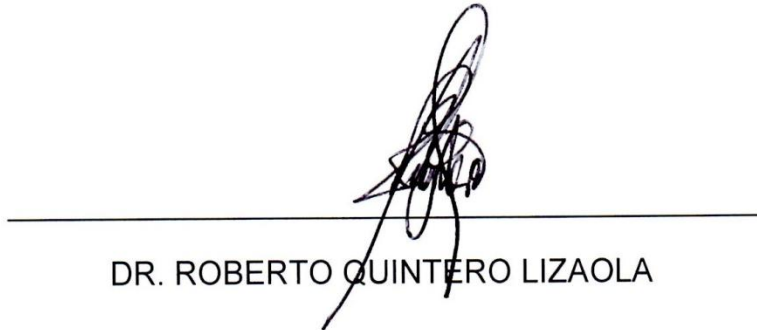
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



DR. VICTOR MANUEL ORDAZ CHAPARRO

ASESOR:



DR. ROBERTO QUINTERO LIZAOLA

ASESOR:



DR. MA. DE LAS NIEVES RODRÍGUEZ MENDOZA

Montecillo, Texcoco, México, 30 de Junio de 2010

SUSTRATOS ALTERNATIVOS A BASE DE CACHAZA PARA LA PRODUCCIÓN DE PLÁNTULAS DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.)

Edgar Alejandro Berrospe Ochoa, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2010

El presente trabajo de investigación evaluó la cachaza como sustrato alternativo para la producción de plántula de tomate, con la finalidad de fomentar el uso de subproductos agroindustriales a través de tecnologías alternativas. La realización de la investigación se llevó a cabo en tres etapas: 1) elaboración de tratamientos por medio del secado, lavado y secado, compostaje o vermicompostaje de materiales puros o mezclas de ellos; 2) caracterización de los sustratos elaborados, determinando sus propiedades físicas como granulometría, densidad, curvas de retención y contenidos de humedad, además de propiedades químicas como pH, CE, CIC, MO, N, P, K, Ca, Mg y Na; 3) producción de almácigos, registrando porcentaje de germinación, longitud y volumen radical, altura y peso seco aéreo, número de hojas, área foliar y diámetro de tallo. Los resultados mostraron que los tratamientos provenientes del secado y lavado presentaron altas proporción de porosidad, baja densidad y curvas de retención de humedad similares tratamiento al testigo (peat moss). El compostaje generó sustratos con características físicas variables en función del material fuente. Los tratamientos provenientes del vermicompostaje fueron densos, con poco espacio poroso y con baja retención hídrica. Los tratamientos elaborados presentaron pH de ligero a moderadamente básico, altas CE, altos contenidos de MO, N, P, Ca y Mg, y bajas concentraciones de K y Na. En la producción de almácigos el tratamiento a base de cachaza presentó la mayor calidad de plántulas entre los tratamientos en estudio.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Semilleros de tomate, plántulas, horticultura.

ALTERNATIVE FILTER MUD GROWING MEDIAS ON TOMATO (*Lycopersicum esculentum* Mill.) SEEDLING

The aim of this research was to generate an organic growing media using filter mud as source and its use as alternative growing media on tomato seedling. Three stages were made: 1) Treatments production: all treatments were fix by drying, washing and drying, composting or vermicomposting of materials; 2) Characterization of treatments: physical properties as sieve analysis, bulk density, water retention curves, kinds of water and chemical properties as pH, CE, OM, N, P, K, Ca, Mg, Na were registered; 3) Tomato nursery: germination, root length and volume, height and dry weight of plant, leaves, leaf area, stem diameter were registered. Treatments from drying and washing had high porosity, low bulk density and their water retention curves were similar to witness. The composting generates treatments with variable physic characteristics depending of source. The treatments from vermicomposting were compact with low bulk density and water retention. All treatments had pH from thin to moderate alkalinity; high CE, OM, N, P, Ca and Mg, and low percentage of K and Na. On seedling production treatment from dry press mud had the highest plant quality of all treatments studied.

ADDITIONAL KEY WORDS: Soilless growing media, filter mud, nursery, seedling.

Dedico esta tesis a:

Mi madre (Alicia Ochoa Berrospe), quien me ha brindado la vida y apoyo incondicional.

A mi hija (Katherine Alejandra Berrospe Macías), quien ha sido el motor de mi superación y me regala una hermosa experiencia como padre día a día.

A mi esposa (Laura Macías Romero), quien me ha apoyado durante toda la maestría.

A mi hermano (Manuel Alejandro Berrospe Ochoa), por su constante apoyo incondicional.

A María Ochoa Berrospe, Aurelio Figueroa Navarro y Manuel Ochoa Berrospe, quienes me alentaron a continuar superándome.

A la memoria de mis abuelos María Luisa Berrospe Pérez e Ignacio Ochoa Magaña.

A las personas integrantes de mi Consejo Particular por el esfuerzo, la dedicación, el tiempo y el apoyo que me han brindado, pero sobre todo por su infinita paciencia para conmigo.

A Karen, Omar y Edgar quienes me alentaron a seguir peleando por mis sueños.

A todos los profesores, compañeros, laboratoristas, amigos y familiares que de alguna forma me han acompañado hasta hoy, aun a la distancia.

A los mexicanos que, a través del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y el Colegio de Postgraduados, han apoyado mi formación.

ÍNDICE

| | Página |
|--|---------------|
| I. INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1 Turba (Peat moss) | 3 |
| 2.2 Cachaza | 7 |
| 2.3 Estiércol vacuno | 11 |
| 2.4 Compostaje | 11 |
| 2.4.1 Temperaturas durante el compostaje | 12 |
| 2.4.2 Relación C:N en el compostaje | 15 |
| 2.4.3 pH en el proceso de compostaje | 17 |
| 2.4.4 Humedad durante el proceso de compostaje | 17 |
| 2.4.5 Oxígeno en el proceso de compostaje | 18 |
| 2.4.6 Microorganismos relacionados al compostaje | 18 |
| 2.4.7 Calidad del compost | 19 |
| 2.5 Vermicompostaje | 21 |
| 2.5.1 Calidad de vermicompost | 24 |
| 2.6 Sustratos | 25 |
| 2.6.1 Características físicas de los sustratos | 25 |
| 2.6.1.1 Granulometría | 26 |
| 2.6.1.2 Porosidad | 27 |
| 2.6.1.3 Espacio poroso total (EPT) | 27 |
| 2.6.1.4 Porosidad de retención de agua | 28 |
| 2.6.1.5 Curva de retención de agua | 28 |
| 2.6.1.5.1 Capacidad de aireación (CA) ó porosidad de aireación (P_{air}) | 28 |
| 2.6.1.5.2 Agua fácilmente disponible (AFD) | 28 |
| 2.6.1.5.3 Agua de reserva (AR) | 29 |
| 2.6.1.5.4 Agua difícilmente disponible (ADD) | 29 |
| 2.6.1.5.5 Capacidad de retención de humedad | 29 |
| 2.6.1.6 Densidad aparente (D_a) | 29 |

| | Página | |
|-------------|--|-----------|
| 2.6.2 | Características químicas | 30 |
| 2.6.2.1 | Capacidad tampón | 30 |
| 2.6.2.2 | pH | 30 |
| 2.6.2.3 | Capacidad de intercambio catiónico (CIC) | 30 |
| 2.6.2.4 | Relación carbono:nitrógeno (C:N) | 30 |
| 2.6.2.5 | Conductividad eléctrica | 31 |
| 2.6.2.6 | Nitrógeno | 31 |
| 2.6.2.7 | Fosforo | 31 |
| 2.6.2.8 | Potasio | 31 |
| 2.6.2.9 | Calcio | 32 |
| 2.6.2.9 | Magnesio | 32 |
| 2.7 | Calidad de plántula | 32 |
| 2.8 | Conclusión de literatura | 34 |
| III. | OBJETIVO GENERAL | 36 |
| 3.1 | Objetivos particulares | 36 |
| IV. | HIPÓTESIS GENERAL | 37 |
| 4.1 | Hipótesis particulares | 37 |
| V. | MATERIALES Y MÉTODOS | 38 |
| 5.1 | Etapa I: Elaboración de tratamientos y dinámica poblacional microbiana en compost y vermicompost | 38 |
| 5.2 | Etapa II: Caracterización de propiedades físicas y químicas de tratamientos | 41 |
| 5.3 | Etapa III: Producción de almácigos, estabilidad de tratamientos y plántulas en producción | 41 |
| VI. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 43 |
| 6.1 | Etapa I: Elaboración de tratamientos y dinámica poblacional microbiana en compost y vermicompost | 43 |
| 6.1.1 | Temperaturas en el proceso de compostaje y vermicompostaje | 43 |

| | Página | |
|----------|---|----|
| 6.1.2 | Contenido de humedad durante el proceso de compostaje y vermicompostaje | 46 |
| 6.1.3 | Dinámica microbiana durante el proceso de compostaje y vermicompostaje | 48 |
| 6.1.3.1 | Bacterias | 48 |
| 6.1.3.2 | Hongos | 51 |
| 6.1.3.3 | Actinomicetos | 53 |
| 6.2 | Etapa II: Caracterización de propiedades físicas y químicas de tratamientos | 55 |
| 6.2.1 | Caracterización física de tratamientos | 55 |
| 6.2.1.1 | Granulometría de tratamientos | 55 |
| 6.2.1.2 | Densidad aparente (Da) | 60 |
| 6.2.1.3 | Porosidad de tratamientos | 60 |
| 6.2.1.4 | Contenido de humedad en tratamientos | 61 |
| 6.2.1.5 | Fases en tratamientos | 64 |
| 6.2.1.6 | Curvas de retención de humedad | 68 |
| 6.2.2 | Caracterización química de tratamientos | 73 |
| 6.2.2.1 | pH de tratamientos | 73 |
| 6.2.2.2 | Conductividad eléctrica (CE) de tratamientos | 73 |
| 6.2.2.3 | Materia orgánica (MO) de tratamientos | 74 |
| 6.2.2.4 | Contenido de nitrógeno en los tratamientos | 74 |
| 6.2.2.5 | Relación carbono:nitrógeno | 75 |
| 6.2.2.6 | Fósforo y magnesio en tratamientos | 75 |
| 6.2.2.7 | Potasio en tratamientos | 76 |
| 6.2.2.8 | Calcio en tratamientos | 77 |
| 6.2.2.9 | Sodio en tratamientos | 77 |
| 6.2.2.10 | Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en tratamientos | 78 |

| | Página | |
|--------------|---|-----|
| 6.3 | Etapa III: Producción de almácigos, estabilidad de tratamientos y plántulas en producción | 79 |
| 6.3.1 | Temperatura ambiental | 79 |
| 6.3.2 | Contenido de ácidos húmicos y fúlvicos en tratamientos | 80 |
| 6.3.2.1 | Ácidos húmicos | 80 |
| 6.3.2.3 | Ácidos fúlvicos | 81 |
| 6.3.3 | pH del agua del drenaje de riego de tratamientos | 83 |
| 6.3.4 | Conductividad eléctrica (CE) del drenaje de riego de tratamientos | 84 |
| 6.3.5 | Germinación | 86 |
| 6.3.6 | Calidad de plántula | 90 |
| 6.3.6.1 | Altura de planta | 90 |
| 6.3.6.2 | Diámetro de tallo | 91 |
| 6.3.6.3 | Número de hojas | 92 |
| 6.3.6.4 | Área foliar | 93 |
| 6.3.6.5 | Peso seco parte aérea | 94 |
| 6.3.6.6 | Longitud de raíz | 95 |
| 6.3.6.7 | Volumen radical | 97 |
| 6.3.6.8 | Peso seco de raíz | 98 |
| 6.3.6.9 | Plántulas finales y pérdida de plántulas | 99 |
| 6.3.6.10 | Altura de plántula en relación con el peso seco de la parte aérea | 99 |
| 6.3.6.11 | Área foliar en relación con el número de hojas | 102 |
| 6.3.6.12 | Longitud de raíz en relación con el volumen radical | 104 |
| VII. | CONCLUSIONES | 107 |
| VIII. | RECOMENDACIONES | 108 |
| IX | BIBLIOGRAFÍA | 109 |
| X. | ANEXO 1 | 125 |
| XI. | ANEXO 2 | 127 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 1 Producción mundial de turba (peat moss) en mina, reservas y reservas base (Jasinski, 2008) | 4 |
| Cuadro 2 Características de la turba (peat moss) en función del grado de descomposición (Schmilewski, 2008) | 5 |
| Cuadro 3 Parámetros físicos y químicos de la turba (peat moss) | 7 |
| Cuadro 4 Caracterización química de cachaza, según diferentes autores | 9 |
| Cuadro 5 Temperaturas y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes (Labrador, 2001) | 14 |
| Cuadro 6 Principales criterios de calidad para compost destinada a sustrato (Schmilewski, 2008) | 21 |
| Cuadro 7 Especificaciones físicas y químicas de vermicompost | 24 |
| Cuadro 8 Variables europeas de calidad de plántula (Markoviç <i>et al.</i> , 1995) | 33 |
| Cuadro 9 Descripción de tratamientos elaborados de seis mezclas con cachaza y estiércol vacuno, con y sin estabilización biológica | 39 |
| Cuadro 10 Dinámica poblacional bacteriana en los procesos de compostaje y vermicompostaje | 50 |
| Cuadro 11 Dinámica poblacional fúngica en los procesos de compostaje y vermicompostaje | 53 |
| Cuadro 12 Dinámica poblacional de actinomicetos en los procesos de compostaje y vermicompostaje | 54 |
| Cuadro 13 Índice de grosor (Ig) y diámetro medio ponderado (DMP) de tratamientos | 56 |
| Cuadro 14 Caracterización física de tratamientos | 63 |
| Cuadro 15 Caracterización química de tratamientos | 76 |

| | Página |
|--|---------------|
| Cuadro 16 Contenido y relación E4/E6 de ácidos húmicos en tratamientos, durante la siembra y momento de trasplante de las plántulas | 81 |
| Cuadro 17 Contenido y relación E4/E6 de ácidos fúlvicos en tratamientos, durante la siembra y momento de trasplante de las plántulas | 82 |
| Cuadro 18 pH del drenaje del riego en tratamientos durante la producción de plántulas de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) | 84 |
| Cuadro 19 Conductividad eléctrica (dS m ⁻¹) del drenaje de riego en tratamientos durante la producción de plántulas de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) | 86 |
| Cuadro 20 Calidad de plántulas de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) por tipo de tratamiento empleado | 95 |
| Cuadro 21 Caracterización de fases en tratamientos | 127 |
| Cuadro 22 Correlaciones entre variables agronómicas de las plántulas | 127 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | Página |
|------------------|---|
| Figura 1 | Rangos térmicos del compostaje (Labrador, 2001) 13 |
| Figura 2 | Temperaturas durante el proceso de compostaje de cachaza y bagazo de caña de azúcar (Meunchang <i>et al.</i> , 2005) 15 |
| Figura 3 | Cambios en la relación C:N durante el compostaje de cachaza y cachaza mas bagazo de caña (2:1) Meunchang <i>et al.</i> (2005) 16 |
| Figura 4 | Cambios de pH durante el compostaje de cachaza y cachaza mas bagazo de caña (2:1) Meunchang <i>et al.</i> (2005) 17 |
| Figura 5 | Temperaturas durante el proceso de compostaje y vermicompostaje 45 |
| Figura 6 | Contenido de humedad durante el proceso de compostaje y vermicompostaje en cuatro tratamientos 47 |
| Figura 7 | Distribución granulométrica en tratamientos (mm) 59 |
| Figura 8 | Caracterización de fases en tratamientos 67 |
| Figura 9 | Curvas de retención de humedad volumétrica (θ_v) 72 |
| Figura 10 | Temperaturas ambientales durante la germinación y desarrollo plántulas de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) bajo condiciones de invernadero 79 |
| Figura 11 | Porcentaje de germinación acumulado de semillas de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) en tratamientos 88 |
| Figura 12 | Porcentaje de germinación diario de semillas de tomate (<i>Lycopersicum esculentum</i> Mill.) en tratamientos 89 |
| Figura 13 | Altura de plántula (AP) en relación con el peso seco de la parte aérea (PA) por tipo de tratamiento 101 |
| Figura 14 | Área foliar (AF) en cm ² en relación con el número de hojas (NH) por tipo de tratamiento 103 |
| Figura 15 | Longitud de raíz (LR) en relación al volumen radical (VR) por tipo de tratamiento 106 |

I. INTRODUCCIÓN

Una de las agroindustrias más importantes del país es la producción de azúcar, junto con su distribución tanto nacional como internacional, se ha mantenido constante en los últimos años a pesar de su inestabilidad política y financiera. Los problemas ecológicos que enfrenta esta industria es la generación de residuos durante la extracción de azúcar a partir de la caña, debido a los residuos que se generan como la cachaza y el bagazo. Debido a los altos volúmenes de éstos residuos y su liberación al ambiente sin algún tratamiento previo, se han originado problemas de contaminación ambiental. Para la cachaza existen propuestas como la manipulación física, el compostaje o el vermicompostaje que son alternativas para su manejo y disposición.

En las últimas dos décadas, la producción de hortalizas en el país ha cambiado de sistemas de producción tradicional a sistemas tecnificados, en donde la calidad de plántula juega un papel crucial en la productividad. De forma natural los productores se han especializado en la producción intensiva de plántula para cultivo bajo invernadero o campo abierto; esto ha llevado a la búsqueda de alternativas para la producción en volumen del material necesario para trasplante, por lo cual el uso de charolas germinadoras provee de un mayor control productivo.

La producción de plántulas requiere de grandes cantidades de sustratos que en su mayoría son orgánicos. Y para una agricultura tecnificada, basada en el trasplante de plántulas producidas en invernadero mediante el uso de charolas con alvéolos llenos con sustratos orgánicos que por lo general es turba de *Sphagnum* (Peat moss) importada, que fomenta la dependencia y el aumento de los costos de producción.

El uso de sustratos orgánicos provenientes de turbas es común en la producción de plántula de jitomate. Por lo regular estos son mezclas de diferentes productos que tienden a mejorar las características físicas y químicas del mismo, con el fin de brindar a la planta un medio óptimo para su desarrollo. A nivel comercial las turbas presentan un problema referido con el conocimiento de sus características que no es proporcionada por el vendedor, además de su alto costo y la baja e inconstante disponibilidad en el mercado.

El sustrato tiene cuatro funciones importantes (Rodríguez, 2004):

- 1) proveer el agua suficiente a la plántula,
- 2) suministrar los nutrimentos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de la plántula,
- 3) permitir el buen intercambio gaseoso entre la atmosfera y el sustrato y
- 4) servir como soporte físico a la plántula.

Debido al uso de subproductos agroindustriales como materia prima, y los bajos costos de inversión, así como relativamente el corto tiempo de elaboración de productos y al empleo de mano de obra familiar, se ve a los procesos de biodegradación como una opción para la producción de sustratos orgánicos. Se puede ayudar a la solución de problemas tales como contaminación ambiental debida al mal manejo de residuos agroindustriales azucareros, además de apoyar a la disminución de costos de producción de plántulas de jitomate para trasplante.

El presente trabajo pretende utilizar cachaza como material de partida y su posterior utilización como sustrato alternativo para la producción de plántula jitomate, con la finalidad de fomentar la aplicación alternativa de este residuo agroindustrial.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Para la elaboración de un sustrato alternativo capaz de ser aprovechado para la producción de plántula, es fundamental tener presente las características físicas, químicas (nutrimentales) y biológicas que presenta el sustrato de mayor uso en la producción agrícola (turba), así como todos aquellos materiales que por su cantidad disponible en la región y su condición de residuo, tenga(n) el potencial de generar un material con características similares, que por sí misma adquiera mediante la manipulación física, o adquiera por la degradación por fermentación aerobia o la degradación por organismos benéficos (lombrices composteras), obteniendo condiciones apropiadas para permitir la germinación y el desarrollo vegetal técnicamente aceptable durante la etapa de desarrollo de plántula en la primera fase del proceso de producción agrícola vegetal del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.).

2.1 Turba (Peat moss)

La turba o peat moss es un material orgánico producido por la descomposición lenta de vegetales; es un sustrato que se extrae de depósitos de restos de vegetación acuática, pantanosa o de ciénega que se encuentran en regiones pantanosas con exceso de humedad y deficiencia de oxigenación, la mayoría de ellos de épocas geológicas remotas que han permanecido activos o congelados durante varios miles de años. Uno de los principales elementos que lo integran son los restos parcialmente descompuestos de musgo del género *Sphagnum moss*. (Bastida, 2002; Ansorena, 1994).

Según las especies vegetales y las condiciones ecológicas en las que se descomponga, se reconocen tres tipos de turba: 1) bajo, es de agua estancada con carrizos, cañas, sauces y otros, 2) alto, de regiones situadas a elevada altitud y clima frío, con alta precipitación con una gran proporción de musgo, siendo los más utilizados en la horticultura, 3) medianos, desarrollados en condiciones intermedias a las condiciones anteriores (Ansorena, 1994).

La turba de *Sphagnum* ha sido la materia orgánica más usada frecuentemente como un sustrato para la producción comercial de plántulas (De Grazia *et al.*, 2007). Sus

características físicas, químicas y biológicas permiten una excelente germinación y crecimiento de las plántulas, pero su costo elevado y explotación no sostenible, ha comenzado a restringir su uso (Fernández-Bravo *et al.*, 2006).

Jasinski (2008) reporta los principales países productores de peat moss durante 2006 y 2007, así como sus reservas y reservas base (Cuadro 1), donde se observa que los principales países productores de turba de todo el continente Americano son Canadá y Estados Unidos de América con una producción de 1250 y 615 (miles de toneladas métricas), respectivamente.

Cuadro 1. Producción mundial de turba (peat moss) en mina, reservas y reservas base (Jasinski, 2008).

| País | Producción en mina (miles de toneladas métricas) | | | |
|---------------------------|---|--------|------------|---------------|
| | 2006 | 2007 | Reservas | Reservas base |
| Estados Unidos de América | 551 | 615 | 150,000 | 10,000,000 |
| Bielorrusia | 2,500 | 2,500 | 400,000 | 4,000,000 |
| Canadá | 1,245 | 1,250 | 720,000 | 30,000,000 |
| Estonia | 1,100 | 1,100 | 60,000 | 2,000,000 |
| Finlandia | 9,100 | 9,000 | 6,000,000 | 6,400,000 |
| Irlanda | 4,300 | 4,500 | | |
| Letonia | 650 | 650 | 76,000 | 1,300,000 |
| Lituania | 550 | 550 | 190,000 | 300,000 |
| Moldova | 475 | 475 | | |
| Rusia | 1,500 | 1,500 | 1,000,000 | 6,000,000 |
| Suecia | 1,370 | 1,300 | | |
| Ucrania | 1,000 | 1,000 | | |
| Otros países | 1,460 | 1,450 | 1,400,000 | 6,000,000 |
| Total Mundial | 25,800 | 25,900 | 10,000,000 | 120,000,000 |

Las importaciones en México de turba (peat moss) en el 2008 fueron de 2,145,944 kilogramos con un valor de \$12,222,275 pesos; provenientes principalmente de Canadá, Letonia, Finlandia, Estonia y Holanda (INEGI, 2008).

Schmilewski (2008), reporto algunas características físicas y químicas de la turba (Cuadro 2), en función del grado de descomposición que ésta presenta, para la determinación de la calidad del sustrato más usado en la horticultura, mostrando que a mayor grado de descomposición aumenta la densidad aparente, su capacidad de retención de humedad y su conductividad eléctrica y por consecuencia disminuye su capacidad de aireación.

Durante los últimos años se han realizado diferentes estudios tanto físicos como químicos a la turba (Cuadro 3); reportando que en función de la densidad aparente de los materiales utilizados, éste se encuentra categorizado como material con una descomposición de media a alta según los rangos establecidos por Schmilewski (2008). La turba tiene una porosidad alta, lo que le permite una capacidad de retención de humedad también alta (477 mL L⁻¹); sin embargo de ésta agua retenida, alrededor del 40% se encuentra en forma de difícil disponibilidad para la planta.

Cuadro 2. Características de la turba (peat moss) en función del grado de descomposición (Schmilewski, 2008).

| Característica | Unidades | Grado de descomposición de peat moss | | | | |
|--|--------------------|--------------------------------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|
| | | Bajo | Bajo a moderado | Moderado | Moderado a alto | Alto |
| Densidad Aparente (Da) | Mg m ⁻³ | 0.05-0.08 | 0.06-0.1 | 0.08-0.13 | 0.12-0.17 | 0.16-0.22 |
| Porosidad Total | % (v/v) | 95-97 | 94-96 | 92-95 | 90-93 | 87-91 |
| Capacidad a Saturación de Humedad (Ww) | % (v/v) | 42-83 | 46-84 | 55-85 | 63-85 | 71-85 |
| Capacidad de Aireación (Av) | % (v/v) | 14-55 | 12-50 | 10-40 | 8-30 | 6-20 |
| Compresión | % (v/v) | 20-30 | 25-35 | 30-40 | 35-45 | 40-50 |
| pH | | | | 3.5-5.0 | | |
| Conductividad Eléctrica (CE) | dS m ⁻¹ | 1.0-3.0 | 1.5-4.0 | 2.0-5.0 | 2.5-6.0 | 3.0-7.0 |
| Materia Orgánica | % (m/m) | 98-99 | 94-99 | 94-99 | 94-99 | 94-99 |
| N | mg L ⁻¹ | | | Hasta 50 | | |
| P ₂ O ₅ | mg L ⁻¹ | | | Hasta 30 | | |
| K ₂ O | mg L ⁻¹ | | | Hasta 40 | | |

Las características químicas reportadas muestran que la turba (peat moss) tiene un pH ácido que oscila desde 3.5 a 5.0. Su conductividad eléctrica depende del grado de descomposición del material (Schmilewski, 2008), siendo la más común entre 0.2 y 0.7 dS m⁻¹, propias de un material moderadamente descompuesto. La turba (peat moss) es

un material con un alto contenido de materia orgánica y bajas concentraciones de nitrógeno lo que infiere que es un material químicamente estable (relación C:N igual a 31); la concentración de nutrientes presentes en el material es variable y depende principalmente del origen de éste (Bastida, 2002).

El objetivo de usar mezclas de sustratos en la producción de semilleros en especies hortícolas es para obtener plantas de calidad en el menor tiempo con los menores costos posibles. En un estudio realizado por Quesada y Méndez (2005a) a una mezcla de turba (peat moss) con vermiculita a proporción 3:1, encontraron que en su caracterización química la mezcla presento 0.28 ppm de N-NH₄, 0.03 ppm de N-NO₃, 0.65 ppm de Ca, 0.49 ppm de Mg, 5.30 ppm de K, 0.45 ppm de P, 0.95 ppm Fe, 0.40 ppm de Zn, 0.02 ppm de Cu, 0.17 ppm de Mn, 1.23 ppm de Na, 0.29 de CE mS/cm, pH de 6.42 y RAS de 2.16; la porosidad total, la capacidad de retención de humedad y la densidad aparente fueron de 81.80%, 53.80% y 0.09 Mg m⁻³ respectivamente como parámetros físicos.

Cuadro 3. Parámetros físicos y químicos de la turba (peat moss).

| Parámetro | Dede <i>et al.</i> , 2006 | Zamora <i>et al.</i> , 2005 | Sahin <i>et al.</i> , 2002 | Khayyat <i>et al.</i> , 2007 |
|--------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| Características físicas | | | | |
| Da | 0.26 Mg m ⁻³ | 0.11 Mg m ⁻³ | 0.86 Mg m ⁻³ | |
| Porosidad | 80% | 93% | | 87% |
| C.A. | 36.38% | | | |
| C.R.H. | 477 mL L ⁻¹ | | | 56% |
| ADD | | 37.11% | | |
| AR | | 13.46% | | |
| M.S. | | 7.05% | | |
| Características químicas | | | | |
| pH | 4.88 | 5.1 | 5.1 | |
| CE | 3.19 dS m ⁻¹ | 2.29 dS m ⁻¹ | 0.726 dS m ⁻¹ | |
| M.O. | 76% | 93.88% | 95% | |
| Nt | 1.5% | | | |
| P | 250 ppm | 4.30 ppm | | |
| K | 350 ppm | 131.77 ppm | | |
| R C/N | 31 | | | |
| Ca | | 22 ppm | | |
| Mg | | 40.11 pm | | |

2.2 Cachaza

Durante el año 2009 se reportó la molienda de 40,944,741 toneladas de caña en México, provenientes de 663,057 hectáreas, lo que produjo un total de 4,962,495 toneladas de azúcar comercializable, así como, 59,651 toneladas de cachaza como residuo del proceso de extracción (SAGARPA, 2009).

La cachaza es el conjunto de espumas e impurezas que sobrenadan en el jugo de la caña de azúcar al someterlo a la acción del fuego. Físicamente, es un material esponjoso, amorfo, de color oscuro a negro, que absorbe grandes cantidades de agua; se le conoce también como torta de filtro y es el principal residuo de la industria azucarera. Su composición varía con las características agroecológicas de la zona, cosecha, eficiencia de fábrica, método de clarificación empleado, entre otros factores. La cachaza representa un problema en los ingenios por las grandes áreas que se requieren para su almacenamiento, además que genera mal olor y en muchas

ocasiones, es un foco de infección y un riesgo para la conservación del ambiente (Arreola-Enríquez *et al.*, 2004).

Este residuo agroindustrial consiste en dos fracciones principales: una fracción de fácil descomposición pero pobre en nitrógeno y carbono; y una segunda fracción concentrada en nitrógeno pero mezclada con material orgánico recalcitrante. Es generalmente rica en fósforo, calcio y nitrógeno, y pobre en potasio debido a la gran solubilidad de éste elemento, el cual se pierde en los jugos y en el separado de la melaza. Los altos contenidos de nitrógeno se deben a la alta cantidad de materia orgánica. Su contenido de micronutrientes se deriva parcialmente de las partículas que se adhieren a la caña; también es fuente importante de magnesio y zinc (Torres *et al.*, 2005).

Presenta un alto contenido de humedad oscilando entre un 70 y un 80%; el pH es variable (de 7 a 8) y depende del origen del material, así como de su proceso de obtención; la conductividad eléctrica que presenta es baja (0.8 dS m^{-1}); su contenido de materia orgánica es alto (de 30 a 70%); la relación C:N oscila de 12 a 30 (Arreola-Enriquez *et al.*, 2004; Torres *et al.*, 2005; Torres *et al.*, 2007); y sus características nutrimentales varían en función del proceso de producción industrial del azúcar y la zona geográfica (Cuadro 4).

Cuadro 4. Caracterización química de cachaza, según diferentes autores.

| Parámetro | Rasul (2007) | Torres <i>et al.</i> (2005) | Meunchang <i>et al.</i> (2005) | Arreola-Enriquez <i>et al.</i> (2004) | Torres <i>et al.</i> (2007) | Osoom <i>et al.</i> (2009) |
|--------------------------|-------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------|--|--------------------------------|-------------------------------|
| Humedad | | 72.60% | | 75-80% | 72.60% | |
| pH | | 8 | 7.7 | | 8 | 7.98 |
| CE (dS m ⁻¹) | | | 0.8 | | | |
| Materia Orgánica | | 30.34% | 48% | 46-70% | | |
| Cenizas | | | 52% | | | |
| C | 13.30% | 17.60% | | | 17.60% | |
| N | 34 mg g ⁻¹ | 1.22% | 1.80% | 2.29% | 1.22% | 1.77% |
| P | 12.3 mg g ⁻¹ | 1.49% | 0.96% | 2.07% | 1.49% | 7.2 % |
| K | 11.7 mg g ⁻¹ | 0.21% | 0.39% | 0.56% | 0.21 | 0.6 % |
| Ca | 23.4 mg g ⁻¹ | 0.06% | 7.10% | 5.63% | | 0.02 % |
| Mg | 3.9 mg g ⁻¹ | | 0.40% | 0.47% | | 4.6 % |
| S | 3.9 mg g ⁻¹ | | | | | |
| SO ₄ | | | | 0.68% | | |
| C/N | 12.4 | 14.43 | 14 | 30 | 14.43 | |
| C/P | 34 | 11.81 | | | | |
| C/S | 108 | | | | | |
| Na | | 0.06% | | 0.07% | | |
| Fe | | 2.30% | 803 ppm | 0.25% | | |
| Cu | | 0.01% | 1.9 ppm | | | |
| Zn | | 0.09% | 51.0 ppm | | | |
| Mn | | 0.05% | 257 ppm | | | |
| B | | 0.01% | | | | |
| Si | | | | 13% | | |
| Cl | | | | 0.11% | | |
| Al | | | | 6.24% | | |

La cachaza genera calor intenso (65 °C) durante su compostaje, un olor de fuerte fermentación y toma mucho tiempo para su descomposición natural. Contiene una significativa fracción de materia orgánica y es un material rico en proteínas y nitrógeno (Sangwan *et al.*, 2008). Este subproducto ha sido usado como fuente de energía, pero también como fuente de nutrientes y como enmienda de suelos (Rasul, 2007). Fernández-Bravo *et al.* (2006) encontraron en un experimento de germinación de

semilla de tomate que el tratamiento con la mayor posibilidad de sustituir el uso de turba (peat moss), era la compost de cachaza y aserrín de coco en proporción 2:1; pero en el estudio solamente se cubre la parte de germinación de semillas hasta 10 días posteriores a la siembra, sin tocar aspectos relacionados con la caracterización física y química de sustratos o la calidad de plántula.

Elsayed *et al.* (2008) probaron el efecto de la cachaza en la germinación de caña de azúcar (*Saccharum spp.*), guar (*Cyamopsis tetragonoloba*), maíz (*Zea mays*), cacahuete (*Arachis hypogea*) y ajonjolí (*Sesamum indicum*) en proporciones de 1:1, 3:1, 1:1, 1:3 y 0:1 (cachaza:suelo), encontrando que la cachaza no mostro efectos adversos en la germinación y obtuvo estadísticamente el mayor porcentaje de germinación.

Las mezclas de vermicompost con cachaza en diferentes proporciones, así como mezclas de vermicompost de cachaza y turba en proporciones donde la turba no era mayor del 25%, presentaron una germinación en un periodo de 14 días mayor que aquellas mezclas a base de vermicompost y turba. También observaron que las plántulas con mayor calidad fueron producidas en sustratos a base de vermicompost, cascarilla de arroz y cachaza (en proporción 2:1:1 respectivamente), además observaron que la mezcla de sustratos con una proporción mayor del 50% de vermicompost producían un desbalance entre la altura y el desarrollo foliar; pero en el estudio no se hacen determinaciones a los sustratos de carácter físico, químico o biológico (Peña *et al.*, 2007).

2.3 Estiércol vacuno

La composición del estiércol es muy variable, ya que depende de muchos factores como la especie, edad y alimentación del ganado, así como el uso de camas, la inclusión o exclusión del excremento líquido y la magnitud de los procesos de descomposición y lavado que haya tenido lugar durante su almacenaje (Salazar-Sosa *et al.*, 2007).

El pH del estiércol tiene una condición alcalina, registrando valores de 7 a 9.9; presenta conductividades eléctricas altas (6.6 a 8.8 dS m⁻¹); alto contenido de materia orgánica y carbono (8 y 28% en promedio respectivamente); es rico en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre, zinc, sodio y aluminio (240 g kg⁻¹, 6.8 g kg⁻¹, 6.91 g kg⁻¹, 10 g kg⁻¹, 8.33 g kg⁻¹, 1.5 g kg⁻¹, 50 g kg⁻¹, 12.57 g kg⁻¹, 21 g kg⁻¹, 2.4 g kg⁻¹, 2 g kg⁻¹ y 3.3 g kg⁻¹ respectivamente); presenta un contenido de carbohidratos de 12.8 g kg⁻¹ y 0.06 g kg⁻¹ de polifenoles (Serrato *et al.*, 2002; Agbenin e Igbkowe, 2006; Clemente *et al.*, 2007; Suthar, 2008; Fuentes *et al.*, 2009).

2.4 Compostaje

El compostaje es un proceso bio-oxidativo que propicia la mineralización y la humificación parcial de la materia orgánica, permitiendo establecer un producto final, libre de fitotoxinas y patógenos, y con ciertas propiedades húmicas (Bernal *et al.*, 2009). Es un proceso biológico aerobio en que la materia orgánica sufre degradación bioquímica hasta dar lugar a un producto final estable. Es una alternativa de tratamiento para una amplia gama de residuos orgánicos, que permite reducir el volumen del material de desecho, disminuye olores desagradables, evita la presencia de insectos y vectores, elimina patógenos (gracias a las altas temperaturas que se generan dentro del proceso) y recicla nutrientes minerales para las plantas (Torres *et al.*, 2005; Petric y Selimbašić, 2008).

El proceso de compostaje constituye una forma viable para una mejor estabilización de biosólidos, principalmente cuando tiene limitaciones del tipo biológico para el uso benéfico, lo cual facilita su disposición final al poderlos aplicar directamente en áreas

de cultivo para incrementar la producción. Favorece la gestión de los biosólidos, disminuyendo los requerimientos de transporte y área para su disposición final (Torres *et al.*, 2005; Torres *et al.*, 2007).

En esencia, todos los procesos de compostaje se basan en el mismo principio y generan el mismo tipo de productos (dióxido de carbono, agua, minerales y materia orgánica estabilizada) a través de un proceso que imita la fermentación natural que ocurre normalmente en el suelo (pero acelerada, intensificada y dirigida) llevada a cabo por microorganismos como hongos, bacterias y actinomicetos (Torres *et al.*, 2005; Bernal *et al.* 2009).

En general con el uso de materiales composteados se permite el remplazo de recursos renovables (por ejemplo las turbas) y transforma los desechos orgánicos en sustratos útiles. Además, el crecimiento de plántulas se promueve por el suministro de micro y macronutrientes que de otra manera serían adicionados a través del riego (De Grazia *et al.*, 2007).

Desde el punto de vista químico, el compost ofrece grandes beneficios debido a que tiene una capacidad de intercambio catiónico mayor que cualquier arcilla; suministra nitrógeno, fósforo, potasio; aporta oligoelementos tales como hierro manganeso, zinc, boro, molibdeno y cobre (Torres *et al.*, 2005).

Bernal *et al.* (2009) consideran que los factores que afectan el proceso de compostaje se pueden dividir en dos grupos: 1) factores que dependen de la mezcla formulada tales como el balance nutricional, el pH, el tamaño de partícula, la porosidad y la humedad, 2) factores que dependen del manejo del proceso como la concentración del oxígeno, la temperatura y el contenido de agua.

2.4.1 Temperaturas durante el compostaje

La descomposición aeróbica es más eficiente que la descomposición anaeróbica. Bajo condiciones aeróbicas, la temperatura es el mayor factor que determina la variedad microbiológica y la intensidad de las actividades metabólicas. El compostaje pasa a través de un amplio rango de temperaturas en el periodo del curso del compostaje.

Como la temperatura varía, las condiciones se vuelven inadecuadas para algunos microorganismos, al tiempo que se convierte ideal para otros.

El compostaje tiene tres rangos de temperatura; éstos rangos son definidos por los tipos de microorganismos que dominan la pila durante esas temperaturas (Figura 1) y son llamadas psicofílica, mesofílica y termofílica. En la etapa psicofílica las temperaturas que se presentan son menores de 10 °C (50 °F), en la etapa mesofílica oscilan entre los 10 y 40 °C (50 y 105 °F) y durante la etapa termofílica arriba de los 40 °C (105 °F) (Labrador, 2001).

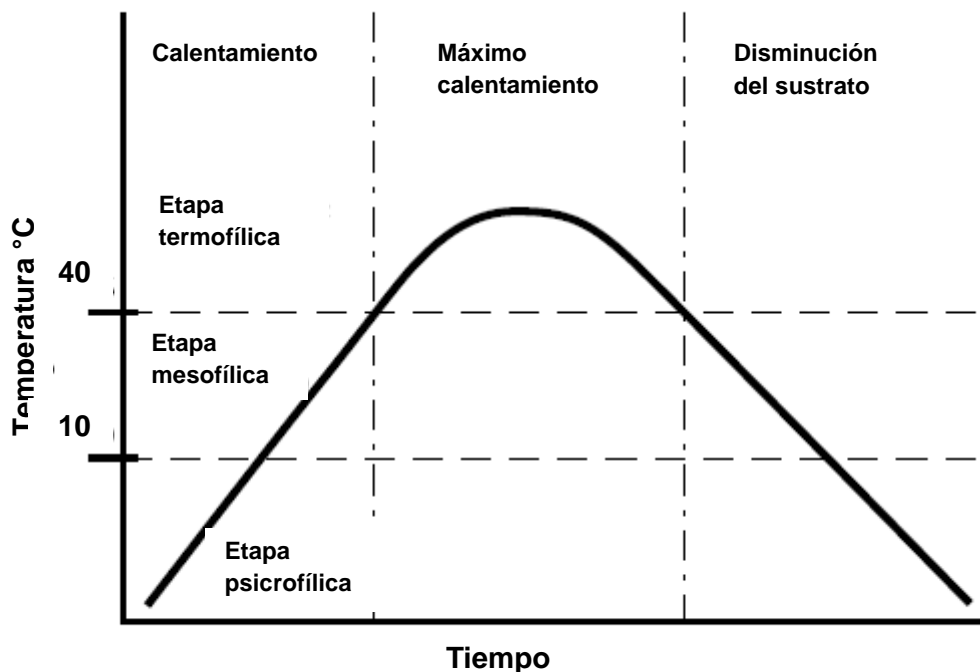


Figura 1. Rangos térmicos del compostaje (Labrador, 2001).

Un apropiado proceso de compostaje destruye eficientemente los patógenos y semillas, debido a las altas temperaturas que pueden alcanzar un máximo de 54-70 °C (130-160 °F) logradas a través del calor metabólico generado por los microorganismos (Petric y Selimbašić, 2008)

Gracias a la etapa termofílica es posible la esterilización del material de patógenos potenciales como lo son *Salmonella*, *Shigella*, *Escherchia coli*, entre otras (Cuadro 5). Una vez alcanzado este máximo, la actividad microbiana empieza a descender en

respuesta del agotamiento del material fácilmente degradable y de oxígeno, o de la excesiva temperatura que es detrimento a las funciones de los microorganismos (Labrador, 2001). La duración de la fase termofílica depende de la naturaleza de los materiales; por otro lado es proporcional a la duración de la fermentación (Saidi *et al.*, 2008).

Cuadro 5. Temperaturas y tiempo de exposición necesarios para la destrucción de los parásitos y patógenos más comunes (Labrador, 2001).

| Organismos | Temperatura y tiempo de exposición |
|--|--|
| <i>Salmonella typhosa</i> | 30 minutos de exposición a 55-60 °C. No se desarrolla a temperaturas superiores a 46 °C. |
| <i>Salmonella sp.</i> | 60 minutos de exposición a 55 °C ó 15-20 minutos a 60 °C |
| <i>Shigella sp.</i> | 60 minutos de exposición a 55 °C |
| <i>Escherchia coli</i> | 60 minutos de exposición a 55 °C ó 15-20 minutos a 60 °C |
| <i>Tenia saginata</i> | En pocos minutos a 60 °C |
| Larvas de <i>Trichinella spiralis</i> | Muere rápidamente a 55 °C ó instantáneamente a 60 °C |
| <i>Brucella abortus</i> | 3 minutos de exposición a 62-63 °C ó 55 °C por una hora |
| <i>Micrococcus pyogens</i> var. Aureus | 10 minutos de exposición a 50 °C |
| <i>Sterptpcoccus pyogens</i> | 10 minutos de exposición a 54 °C |
| <i>Mycobacterium tuberculosis</i> var. Hominis | 15-20 minutos de exposición a 66 °C ó instantáneamente a 67 °C |
| <i>Corynebacterium diphtheriae</i> | 45 minutos de exposición a 55 °C |
| Huevos de <i>Ascaris lumbricoles</i> | 30 minutos de exposición a 55 °C |

La cachaza genera calor intenso (65 °C) durante su compostaje, un olor fuerte y toma mucho tiempo para su descomposición natural (Sangwan *et al.*, 2008). Meunchang *et al.* (2005) al realizar compostajes de cachaza y comparándolo con la mezcla de cachaza más bagazo (2:1) encontraron que la temperatura del proceso en ambos casos durante los primeros 5 días alcanzo temperaturas mayores a 45 °C; llegando hasta los 55 °C de los 6 a los 10 días posteriores al inicio del proceso; es de notar que la cachaza mantiene una temperatura mayor a los 45 °C de los 5 a los 20 días de comenzado el proceso de compostaje, mismo que decrece de forma gradual hasta llegar a una temperatura de 30 °C a los 90 días (Figura 2).

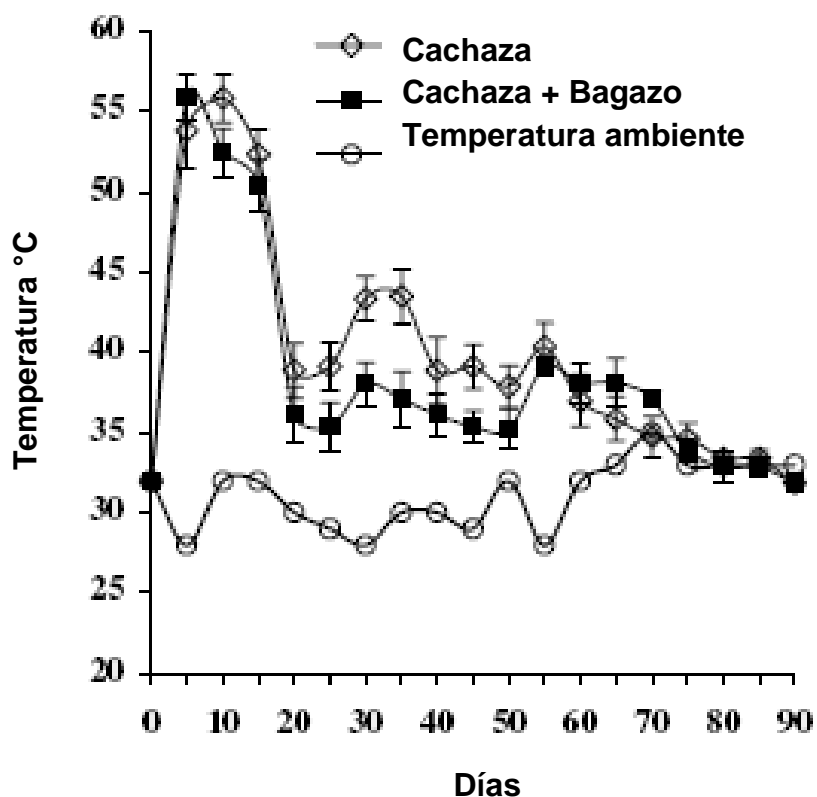


Figura 2. Temperaturas durante el proceso de compostaje de cachaza y bagazo de caña de azúcar (Meunchang *et al.*, 2005).

2.4.2 Relación C:N en el compostaje

El balance nutrimental es principalmente definido por la relación C:N. Los microorganismos requieren de una fuente de energía (C-orgánico degradable) y N para su desarrollo y actividad. La adecuada relación C:N para el compostaje es en el rango de 25 a 35, debido a que se considera que los microorganismos requieren 30 partes de C por unidad de N. Altas relaciones hacen el proceso muy lento, en cambio relaciones bajas existe exceso de N que puede ser perdido por volatilización en forma de amonio (Bernal *et al.*, 2009)

La relación carbono-nitrógeno es uno de los parámetros que caracteriza la calidad de una compost. Altos valores de la relación C:N indican que algunos materiales nitrogenados complejos son difíciles de ser consumidos por la microflora y como

consecuencia los microorganismos necesitan tiempo para su descomposición. Una relación C:N de 30 a 35 parece ser una condición óptima para un compostaje rápido. La disminución de la relación C:N se explica por la transformación de carbón en dióxido de carbono seguido por una disminución en la concentración de ácidos orgánicos; y corresponde a la formación estable de la materia orgánica, por lo que se considera como índice de madurez de la compost. Comúnmente el tomar en cuenta solo la relación C:N no es suficiente para determinar la madurez de una compost, por lo anterior es necesario asociar este parámetro con otros físico-químicos (Saidi *et al.*, 2008).

Según Meunchang *et al.* (2005) la relación C:N de la cachaza durante un compostaje de 90 días tiende a disminuir hasta niveles de 10 u 11, dándose el mayor cambio durante los primeros 30 días (Figura 3).

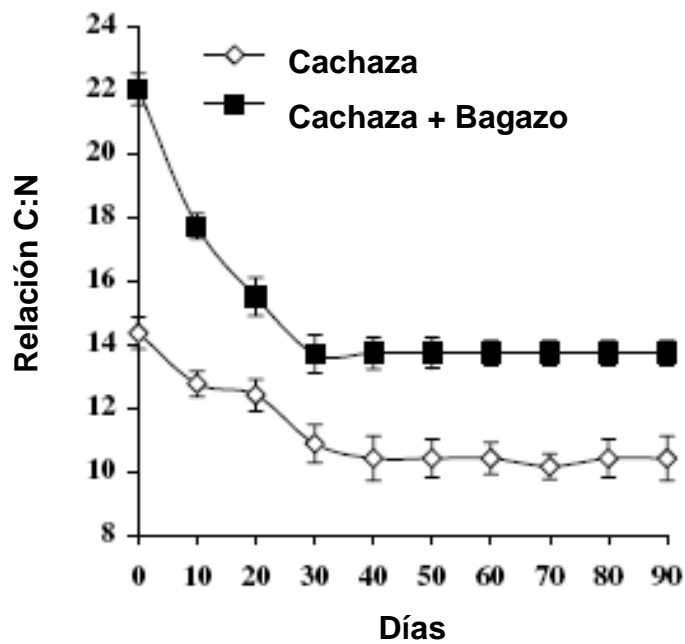


Figura 3. Cambios en la relación C:N durante el compostaje de cachaza y cachaza mas bagazo de caña (2:1) Meunchang *et al.* (2005).

2.4.3 pH en el proceso de compostaje

Bernal *et al.* (2009) consideran que el mejor pH durante el proceso de compostaje ocurre entre 6.7 y 9.0, teniendo los mejores valores entre 5.5 y 8.0. Por lo regular el pH no es un factor clave para el compostaje; como sea, este factor es relevante para el control de la pérdida de nitrógeno por volatilización en forma de amonio, siendo importante a pH mayor de 7.5.

El pH puede ser un parámetro indicador de la madurez de una compost (Saidi *et al.* 2008). Meunchang *et al.* (2005) reportaron una acidificación del pH durante el proceso de compostaje de cachaza y cachaza mezclada con bagazo de caña de azúcar (2:1), pasando de 7.7 al inicio del proceso a 6.6 después de 90 días (Figura 4).

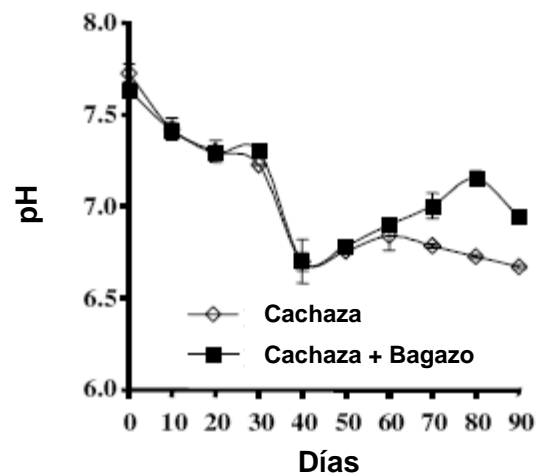


Figura 4. Cambios de pH durante el compostaje de cachaza y cachaza más bagazo de caña (2:1) Meunchang *et al.* (2005).

2.4.4 Humedad durante el proceso de compostaje

El contenido óptimo de humedad durante el proceso de compostaje varía con el tipo de materia a descomponer, pero generalmente la mezcla debe estar entre el 50 y el 60%, cuando la humedad excede el 60% se inhibe el movimiento del oxígeno y el proceso se convierte en anaeróbico (Bernal *et al.*, 2009).

El contenido de humedad permite al compostaje degradarse apropiadamente, ayudando a mediar la temperatura y previniendo de medios para la transportación de los

microorganismos. Idealmente, el contenido de humedad debería estar entre 40 y 60%. Bajos contenidos de humedad ayuda al aumento de la temperatura, la cual destruye bacterias benéficas y disminuye los niveles de descomposición. Cuando el contenido de humedad es mayor del 60%, puede causar carencia de oxígeno (anaerobiosis) en la pila de compostaje, lo cual disminuye la tasa de descomposición y causa olores desagradables (Higgins *et al.*, 2008).

2.4.5 Oxígeno en el proceso de compostaje

La oxigenación es un factor clave para el compostaje; una aireación apropiada puede controlar la temperatura, remueve el exceso de humedad y CO₂, y proporciona O₂ para los procesos biológicos. La concentración óptima de O₂ se encuentra entre el 15 y el 20%. Un método común de oxigenación es el volteo de las pilas de compostaje (Higgins *et al.*, 2008; Bernal *et al.*, 2009).

2.4.6 Microorganismos relacionados al compostaje

El compostaje de la materia orgánica es un proceso natural que consta de una fase de alta degradación y una de maduración, la primera se caracteriza por la acción de los microorganismos sobre las sustancias de menor complejidad como monosacáridos, almidón y lípidos; y la segunda, por la transformación de los componentes recalcitrantes en sustancias húmicas (Toumela *et al.*, 2000; Genevini *et al.*, 2002; Piccolo, 2002).

El proceso de descomposición de la materia orgánica es efectuado por varios grupos de microorganismos, éstos se desarrollan de acuerdo a la temperatura de la masa, la cual define las diferentes etapas del proceso. Las bacterias son las primeras en colonizar la pila de compostaje, los hongos están presentes durante todo el proceso, pero predominan cuando la cantidad de humedad es menor del 35% y no están activos a temperaturas mayores de 60 °C. Los actinomicetos predominan durante la estabilización y curado de la compost y junto con los hongos son capaces de degradar los polímeros resistentes (Bernal *et al.*, 2009).

Durante la fase mesofílica hay una dominancia de bacterias con una concentración de 10^4 microorganismos por gramo de materia seca; es la flora natural que coloniza el primer sustrato y degradan preferentemente la materia orgánica fresca. En esta etapa, se tiene la degradación de materiales de fácil descomposición como azúcares y proteínas simples (Saidi *et al.*, 2008).

2.4.7 Calidad del compost

El principal requerimiento de un compost es ser usado de forma segura, con una alta estabilidad o madurez, lo cual indica un contenido estable de materia orgánica y la ausencia de compuestos fitotóxicos y patógenos. La madurez de un compost puede ser definida en términos de nitrificación; cuando la concentración de amonio disminuye y los nitratos aparecen en la pila de compostaje (Bernal *et al.*, 2009).

La materia orgánica del suelo (MOS) incluye residuos vegetales y animales en diferentes estados de descomposición, tejidos y células de organismos que viven en el suelo y sustancias producidas por los habitantes del suelo". El concepto de materia orgánica es una categoría muy amplia que incluye tanto a materiales muy poco alterados como aquellos con profundos cambios. La composición química, estructura y formación de la MOS puede variar inmensamente dependiendo del origen y la edad de los materiales presentes en ella, encontrándose que los ácidos húmicos de diferentes fuentes han dado diferentes composiciones y estructuras químicas (Mosquera *et al.*, 2007).

Los ácidos húmicos son las fracciones más resistentes a la degradación microbiana, son ácidos orgánicos complejos con un amplio rango de pesos moleculares. Los ácidos húmicos son macromoléculas aromáticas complejas con aminoácidos, amino-azúcares, péptidos y compuestos alifáticos que están involucrados en las uniones entre los grupos aromáticos. La estructura hipotética para los ácidos húmicos contiene grupos fenólicos libres y enlazados, estructuras de quinonas, nitrógeno y oxígeno como puentes y grupos de ácidos carboxílicos en varios lugares de los anillos aromáticos con presencia de residuos de carbohidratos y proteínas. Además, el tamaño, la composición química, la estructura y el grupo funcional de los ácidos húmicos puede

variar grandemente, dependiendo del origen y edad del material (Chin *et al.*, 1998; Velasco *et al.*, 2004; Mosquera *et al.*, 2007).

Según Plaza *et al.* (2007), los ácidos húmicos y fúlvicos son los principales componentes de las sustancias húmicas y definen a los ácidos húmicos como fracciones húmicas solubles en agua a pH alcalino e insoluble a pH ácidos o neutro; y los ácidos fúlvicos como la fracción de las sustancias húmicas solubles en cualquier pH.

Los ácidos húmicos afectan la química, la física y las reacciones biológicas del suelo. Son una de la fracciones más activas de la materia orgánica, mejorando la absorción de nutrimentos por las plantas y los microorganismos edáficos, tienen un efecto positivo en la dinámica del nitrógeno y fósforo en el suelo, estimula la respiración vegetal y el proceso de fotosíntesis, además de promover la formación de agregados en el suelo (Hernández *et al.*, 2001). La calidad de una compost se define (entre otros parámetros) en función de su contenido de ácidos húmicos, considerando un mínimo de 75 g kg^{-1} de sólidos totales.

Un indicador de madurez de la compost es la relación E4/E6, la cual es la relación de las densidades ópticas de ácidos húmicos y fúlvicos a 460 y 660 nm, además de ser ampliamente considerado para reflejar el grado de condensación de los núcleos aromáticos del humus, indicando su madurez (Wong *et al.*, 2001).

La compost adquiere su madurez cuando su valor de CIC llega a ser mayor de $67 \text{ meq } 100 \text{ g}^{-1}$ (Venegas-González, 2005). Por su contenido de sustancias húmicas, las composts tienen alta CIC y algunos efectos específicos sobre el crecimiento de las plantas, debido a que la actividad de las sustancias húmicas es parecida al del ácido indolacético.

Schmilewski (2008) publicó los principales criterios de calidad para compost que se utilizan como sustrato incluidos en el Cuadro 6, de acuerdo a las normas emitidas por la Comisión Europea para la Estandarización (CEN).

Cuadro 6. Principales criterios de calidad para compost destinada a sustrato (Schmilewski, 2008)

| Características | Valores y Rangos | |
|------------------------------------|---|-----------------------------|
| | Tipo 1 | Tipo 2 |
| Salinidad | $\leq 2.5 \text{ g L}^{-1}$ | $\leq 5.0 \text{ g L}^{-1}$ |
| Nitrógeno (N) | $< 300 \text{ mg L}^{-1}$ | $< 600 \text{ mg L}^{-1}$ |
| Fosforo (P_2O_5) | $< 1200 \text{ mg L}^{-1}$ | $< 2400 \text{ mg L}^{-1}$ |
| Potasio (K_2O) | $< 2000 \text{ mg L}^{-1}$ | $< 4000 \text{ mg L}^{-1}$ |
| Cloro | $< 500 \text{ mg L}^{-1}$ | $< 1000 \text{ mg L}^{-1}$ |
| Sodio | $< 250 \text{ mg L}^{-1}$ | $< 500 \text{ mg L}^{-1}$ |
| Carbonatos | $< 10 \%$ (CaCO_3) de materia seca | |
| Materia Orgánica | $> 15 \%$ (m/m) de materia seca | |

En la norma chilena NCh 2880, la compost debe de tener contenidos de nitrógeno total, mayor o igual a 0.5%, expresado sobre materia seca; presentar olores característicos de éste, producto sin olores desagradables como por ejemplo, compuestos sulfurosos, amoniacales, mercaptanos y/o de azufre reducido, entre otros. Debe de presentar un contenido de humedad entre 30 y 45% de la masa del producto, en base húmeda. La compost Clase A según la norma chilena debe tener una conductividad eléctrica menor a 3 dS/m y una relación C:N menor o igual a 25. La compost Clase B, la conductividad eléctrica debe ser menor o igual a 8 dS m^{-1} y una relación C:N menor o igual a 30. Considera una compost madura a aquella que tenga una relación C:N menor o igual a 30. El pH debe de estar comprendido entre 5.0 y 8.5. La materia orgánica debe ser mayor o igual al 20%. El tamaño de partícula debe ser menor o igual a 16 mm. La densidad aparente debe ser menor o igual a 0.7 Mg m^{-3} (INN-Chile, 2004).

2.5 Vermicompostaje

El vermicompostaje ha sido utilizado para el manejo de desechos orgánicos industriales. La descomposición de desechos en vermicompost es de doble interés, por un lado el desecho se convierte en un producto de valor agregado, y por otro lado se minimiza la contaminación resultado de una creciente industrialización. Los estudios de desechos industriales tratados mediante vermicompostaje son pocos (Sangwan *et al.*, 2008).

El alimento básico de la lombriz son los microorganismos, razón por la cual solo consumen los líquidos que las contienen, absorbiendo las bacterias del ciclo del carbono y favoreciendo el desarrollo de las bacterias del ciclo del nitrógeno (Quintero-Lizaola *et al.*, 1998). Al no tener la lombriz dientes ni mandíbulas obtienen su alimento por succión al presionar sobre la superficie una pequeña estructura presente en la boca que se conoce como prostomio o lengua. Indistintamente de lo que come la lombriz la cantidad que excreta corresponde al 40% de lo que consume (Martínez, 2010).

La descomposición de la materia orgánica es un proceso en cascada donde se experimentan una sucesión de transformaciones físicas y químicas que conducen a la mineralización de una parte de la materia y al depósito de compuestos resistentes en forma de humus (Domínguez *et al.*, 2009). Los microorganismos producen las enzimas responsables de la descomposición bioquímica de la materia orgánica, siendo las lombrices el elemento clave que influye en procesos directos e indirectos. Las lombrices modifican la biomasa microbiana y su actividad de forma directa a través de la estimulación, digestión y dispersión de los microorganismos e interaccionan con otros componentes biológicos afectando en consecuencia a la estructura de las comunidades de la microflora y la microfauna (Domínguez *et al.*, 2003; Lores *et al.*, 2006). Los efectos indirectos derivan de los directos e incluyen procesos de envejecimiento y mezclado de materiales modificados por las lombrices con sustratos orgánicos no modificados por ellas. Como consecuencia la materia orgánica conforma una matriz espacial y temporalmente heterogénea (Moore, 2004).

La descomposición de la materia orgánica incluye dos fases diferentes en relación a la actividad de las lombrices, 1) una fase activa o directa, donde la lombrices procesan la materia orgánica, modificando sus propiedades físicas y su composición microbiana (Lores *et al.*, 2006) y 2) una fase de maduración o indirecta en la que los microbios aceleran la descomposición del material (Domínguez, 2004).

Las lombrices participan en la descomposición de la materia orgánica a través de los procesos asociados al paso a través de los intestinos, que incluyen todas las modificaciones que la materia orgánica y los microorganismos sufren durante ese tránsito. Estas modificaciones incluyen la reducción del tamaño de partícula tras el

paso por la molleja, la adición de azúcares y otras sustancias, la modificación de la actividad y de la diversidad microbiana, la modificación de las poblaciones de la microfauna, la homogenización del sustrato y los procesos intrínsecos de digestión y asimilación, incluyen también la generación de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que constituye una fuente de nutrimentos fácilmente asimilables para los microorganismos endosimbiontes que viven en el intestino de las lombrices. Estos microbios producen enzimas extracelulares que degradan la celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material. Otras modificaciones físicas producidas por las lombrices como la aireación y homogenización del sustrato, también favorece la actividad microbiana y la descomposición de la materia (Domínguez, 2004). La actividad directa de las lombrices aumenta la mineralización del carbono y del nitrógeno, siendo proporcionales a la densidad de lombrices (Aira *et al.*, 2008). El vermicompostaje provoca la bioconversión de los desechos en dos productos de utilidad: la biomasa de la lombriz y la vermicompost (Moreno *et al.*, 2005).

Un estudio realizado por Sangwan *et al.* (2008) reportaron que después de un proceso de vermicompostaje el pH se modificaba ligeramente, el contenido de nitrógeno, fósforo y calcio aumentaba significativamente y el contenido de potasio disminuía. Con respecto al proceso de vermicompostaje la relación C:N se mantuvo prácticamente sin cambio.

Peña *et al.* (2007) realizando estudios en vermicompost, utilizando cachaza, cascarilla de arroz y turba para la producción de plántulas de tomate, pepino y berenjena; encontraron que la germinación en un periodo de 14 días en cepellones que contenían el 100% de vermicompost tuvo una germinación del 94% en comparación con la turba al 100% y la cascarilla de arroz al 100% (79 y 72% respectivamente), además de lograr una alta homogeneidad. El vermicompost aceleró la germinación y el crecimiento uniforme de las plántulas lo que acortó el ciclo de producción. Según Peña *et al.* (2007) el vermicompost a partir de cachaza favoreció el desarrollo del sistema radical de las plántulas y la formación del cepellón.

2.5.1 Calidad de vermicompost

La norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 publica las características del vermicompost, donde se establecen como características físicas y químicas las que se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Especificaciones físicas y químicas de vermicompost. (NOTA: En la norma oficial mexicana las especificaciones se nombran como parámetros fisicoquímicos, cuando la forma correcta sería físicos y químicos)

| Característica | Valor |
|-------------------------|--|
| Nitrógeno Total | De 1 a 4% (Base seca) |
| Materia Orgánica | De 20 a 50% (Base seca) |
| Relación C/N | ≤ 20 |
| Humedad | De 20 a 40% (Materia húmeda) |
| pH | De 5.5 a 8.5 |
| Conductividad Eléctrica | $\leq 4 \text{ dS m}^{-1}$ |
| CIC | $> 40 \text{ cmol kg}^{-1}$ |
| Densidad Aparente | $0.4 \text{ a } 0.9 \text{ g mL}^{-1}$ |
| Materiales Adicionales | Ausente |

2.6 Sustratos

El término sustrato se aplica en la horticultura a todo material sólido diferente del suelo. El material que lo integra puede ser natural o de síntesis, residual, mineral u orgánico, en forma pura o mezclado, que se coloca en un contenedor, el cual permite el anclaje del sistema radical, y pueda intervenir (materiales activos químicamente) o no (inerte) en los procesos complejos de la nutrición mineral de las plantas (Díaz, 2004; Lao y Jiménez, 2004). Los sustratos son el medio para el cultivo de todo tipo de plantas, comúnmente usado en contenedores, entendiéndose por contenedor a cualquier recipiente que tenga una altura limitada y que su base se encuentra a presión atmosférica (Burés, 1998; Schmilewski, 2008).

El sustrato tiene cuatro funciones importantes: 1) proveer el agua suficiente a la planta, 2) suministrar los nutrimentos necesarios para el buen desarrollo y crecimiento de la planta, 3) permitir el buen intercambio gaseoso entre la atmósfera y el sustrato, y 4) servir como soporte físico a la planta (Rodríguez, 2004).

2.6.1 Características físicas de los sustratos

Las propiedades físicas como el espacio poroso efectivo, la densidad aparente y la distribución de tamaño de partículas describen al sustrato “*per se*”. Las propiedades hidráulicas, consecuencia de los parámetros físicos, influyen en la dinámica del agua en el sistema, y se ponen de manifiesto a través de las curvas de retención de agua y valores de la conductividad hidráulica. Las propiedades físicas del sustrato utilizado resultan de enorme importancia para el correcto desarrollo de la planta, situación difícil de ser corregida una vez comenzado la producción de los cultivos (Martínez *et al.*, 2006).

Los sustratos que sean usados para la producción de plántulas deben permitir buena disponibilidad y retención de agua, promover un eficiente intercambio de gases y servir como soporte físico para la plántula (De Grazia *et al.*, 2007).

Las características físicas vienen determinadas por la estructura interna de las partículas, su granulometría y tipo de empaquetamiento, siendo las más destacadas: la

densidad aparente, la distribución granulométrica, la porosidad, la aeración, la retención de humedad, la permeabilidad y distribución de tamaños de poros (Pastor, 1999; Pire y Pereida, 2003).

Michel (2008) considera que solo algunos parámetros físicos son suficientes para caracterizar un gran número de sustratos utilizados como medio de crecimiento hortícola; los parámetros que consideró fueron: la densidad aparente, el espacio poroso total, la resistencia al enraizamiento, la retención de humedad, la humectabilidad, la conductividad hidráulica y la difusibilidad.

2.6.1.1 Granulometría

La distribución de tamaños de partículas que componen un material se expresa mediante la granulometría, que puede caracterizarse a través del tamizado, siendo el tamaño absoluto de las partículas un concepto de difícil cuantificación con métodos convencionales.

Normalmente se determina por tamizado de muestras secas al aire o estufa utilizando una batería de tamices de diferente abertura de malla, ordenados sucesivamente por tamaño recogiendo las fracciones que quedan en cada tamiz y determinando la proporción de su peso correspondiente. La importancia de conocer el tamaño de las partículas residen en que estas definen a su vez el tamaño de los poros situados entre ellas (Bures, 1997).

Abad y Noriega (1998) mencionan que con una distribución de poros entre 30 y 300 μm (equivalente a una distribución del tamaño de partículas entre 0.25 mm y 2.5 mm) se retiene suficiente agua fácilmente disponible y un adecuado contenido de aire.

Los sustratos se clasifican en función de sus partículas en granulares, fibrosos y laminares. Los sustratos granulares son aquellos que presentan estructura suelta formadas por partículas tendientes a esféricas como la arena (la mayoría de los sustratos inorgánicos son granulares). Las partículas de la fibra de coco y la lana de roca son fibrosas, por otro lado, la vermiculita es el mejor ejemplo de partículas laminares. El tipo de partícula determina el empaquetamiento de las mismas en el

contenedor, así como algunas propiedades físicas como la porosidad total, la porosidad de retención de agua y la porosidad de aireación (Corres, 2006).

Un parámetro que permite la caracterización y correlación de la distribución del tamaño de partícula con las propiedades físicas, es el índice de grosor de partículas (I_g) que es el volumen de partículas mayores a 1 mm de diámetro expresado en porcentaje; otro parámetro que permite cuantificar el estado de agregación es el diámetro medio ponderado DMP (Richards *et al.*, 1986; Zhuo *et al.*, 2007; Castro *et al.*, 2002).

2.6.1.2 Porosidad

Las características de los poros del sustrato varían a causa de la frecuencia del riego y los ciclos de secado, así como de la compactación; pero es afectado principalmente por los componentes de tamaño de partícula y su geometría (Nkongolo y Caron, 2006). El contenido de agua y aire son complementarios y son de los factores de mayor importancia en el desarrollo de la raíz (Khayyat *et al.*, 2007).

La clasificación de los sistemas porosos realizada por la Unión Internacional de Química Pura y Aplicada (IUPAC por sus siglas en inglés), contempla la clasificación de los poros de acuerdo a su tamaño, considerando una amplitud w en: microporos ($w < 2\text{nm}$), mesoporos ($2\text{ nm} < w < 50\text{nm}$) y macroporos ($w > 50\text{nm}$) (Hernández *et al.*, 2005).

2.6.1.3 Espacio poroso total (EPT)

El espacio poroso total es el volumen total del sustrato de cultivo que no está ocupado por partículas sólidas; representa el volumen de aire del material, seco en estufa, expresado como un porcentaje del volumen total (Pire y Pereira, 2003; Pastor, 1999).

El espacio poroso total (% v/v), se calcula normalmente midiendo el volumen total menos el volumen ocupado por los sólidos (Michel, 2008). Se puede determinar a partir del volumen de agua drenado a capacidad de contenedor más el volumen de agua a capacidad de retención de humedad en relación al volumen del contenedor expresado

en porcentaje (Pire y Pereira, 2003), su valor óptimo oscila a porcentajes mayores del 85% (De Boodt y Verdonck, 1974; Pastor, 1999).

2.6.1.4 Porosidad de retención de agua

La porosidad de retención de agua (también identificada como retención de humedad) es la medida de la parte total del espacio poroso que se mantiene llena de agua, luego de que el medio de crecimiento es saturado con agua y se facilita el libre drenaje de ésta. Los poros que contienen agua son relativamente pequeños y son denominados microporos (Landis, 1990).

2.6.1.5 Curva de retención de agua

La curva de retención de agua es la relación entre la succión aplicada al sustrato y su contenido en agua y aire, definiéndose las cantidad de aire, agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua difícilmente disponible (ADD) y sólidos (Burés, 1997)

2.6.1.5.1 Capacidad de aireación (CA) ó porosidad de aireación (P_{air})

La porosidad de aireación es el volumen medio ocupado por aire a capacidad de retención de contenedor (Pire y Pereira, 2003). Se refiere a la proporción del volumen del sustrato que contiene aire después de que dicho sustrato ha sido llevado a saturación y dejado drenar libremente (normalmente coincide con una succión de 10 cm de columna de agua); sus valores óptimos oscilan entre 10 y 30% (Pastor, 1999).

2.6.1.5.2 Agua fácilmente disponible (AFD)

Es la cantidad de agua en proporción al volumen que se libera al aplicar una tensión al sustrato de entre 10 y 50 cm de columna de agua, siendo el valor óptimo entre 20 a 30% (Pastor, 1999).

2.6.1.5.3 Agua de reserva (AR)

Se refiere a la cantidad de agua en proporción al volumen, que se libera al aplicar una tensión de columna de agua de entre 50 y 100 cm, siendo el valor óptimo entre 4 y 10% (Pastor, 1999).

2.6.1.5.4 Agua difícilmente disponible (ADD)

Es la proporción de agua retenida en el sustrato después de aplicar una tensión de 100 cm de columna de agua y se expresa en % de volumen (Pastor, 1999).

2.6.1.5.5 Capacidad de retención de humedad

La capacidad de retención de humedad es el volumen de agua que se retiene después del riego y del drenaje (Pire y Pereira, 2003). La capacidad de retención de humedad está en función del espacio poroso total y una fuerza de succión aplicada (expresada en cm de columna de agua o kPa, Michel, 2008).

2.6.1.6 Densidad aparente (Da)

La densidad aparente expresada en Mg m^{-3} o en g cm^{-3} , se define como la relación de la masa del material sólido seco contenido en un volumen total. La Da se encuentra inversamente relacionada con la porosidad de un material; a mayor cantidad de sólidos se tendrá menor espacio poroso y viceversa. Para el cultivo en sustratos se prefiere utilizar materiales con Da baja ($<0.5 \text{ Mg m}^{-3}$), especialmente por el costo en el transporte y el manejo en el invernadero (Díaz, 2004).

Las características físicas de los sustratos son influenciados por la distribución del tamaño de partículas y la densidad aparente. La distribución de tamaño de partícula es importante para describir la calidad física del material y sus atributos para el desarrollo vegetal.

2.6.2 Características químicas

Las características químicas están definidas por la composición elemental de los materiales; éstas caracterizan la transferencia de materia entre el sustrato y la solución del mismo. Entre las que más destacan son la capacidad de intercambio catiónico (CIC), el pH, la capacidad tampón, el contenido de nutrimentos, la conductividad eléctrica y la relación carbono nitrógeno (C:N) (Pastor, 1999).

2.6.2.1 Capacidad tampón

La capacidad tampón mide el poder amortiguador del sustrato ante cambios rápidos de pH provocados por la adición de fertilizantes ácidos o básicos. Esta capacidad aumenta conforme aumenta la CIC. Por lo regular la capacidad tampón de los sustratos orgánicos es mayor que la de los inorgánicos debido a su contenido de sustancias húmicas (Bures, 1997).

2.6.2.2 pH

La movilidad de los nutrimentos disueltos en el agua de riego es afectada por el pH, afectando principalmente a los micronutrimentos. Cuando el pH es muy bajo (menor de 4) los micronutrimentos son más móviles y son absorbidos en exceso; en cambio, cuando el pH es alto (mayor de 9) los micronutrimentos son menos móviles, lo que se traduce en deficiencias (Pennisi y Thomas, 2009).

2.6.2.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

Los cationes son iones cargados positivamente y son retenidos por la materia orgánica a través de fuerzas electrostáticas; los cationes retenidos (como el H^+) son intercambiados por otros cationes (como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+), dando como resultado su disponibilidad para las plantas), por lo cual a mayor capacidad, mayor será el potencial de un sustrato para retener nutrimentos (Ketterings *et al.*, 2007).

2.6.2.4 Relación carbono:nitrógeno (C:N)

Es la relación entre la proporción de carbono y nitrógeno total; este valor se considera como indicador de origen, madurez y estabilidad que pueden tener los sustratos con un alto contenido orgánico. Relaciones inferiores a 20 es considerada como óptima,

recomendando valores de 10 a 12 (García, 1999). Venegas-González (2005) considera que una relación C:N entre 12 y 15 es sinónimo de un compost maduro.

2.6.2.5 Conductividad eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica ha sido correlacionada con importantes indicadores relacionados con la fertilidad, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, la concentración nutrimental y la salinidad (Martínez *et al.*, 2007). La CE es un estimador de la concentración total de sales (Carrasco *et al.*, 2007).

2.6.2.6 Nitrógeno

El nitrógeno es requerido en grandes cantidades por las plantas y es uno de los factores que limita el crecimiento de éstas. Es absorbido principalmente por las raíces. El nitrógeno es necesario en la síntesis de aminoácidos, proteínas, clorofila, enzimas, ácidos nucleicos, entre otros componentes que se encuentran en las membranas celulares. La principal función del nitrógeno es estimular el crecimiento y regular la cantidad de hormonas en la planta (Alcantar y Trejo-Téllez, 2007; Garnica *et al.*, 2009).

2.6.2.7 Fosforo

El fosforo es absorbido principalmente en forma de fosfatos inorgánicos; se localiza en los fosfolípidos de las membranas de las células, en los ácidos nucleicos, en el ATP y en otras enzimas. Participa en la síntesis de proteínas y en todos los procesos metabólicos de transferencia de energía (Amtmann *et al.*, 2005; Alcantar y Trejo-Téllez, 2007).

2.6.2.8 Potasio

El potasio es el elemento que se absorbe en mayor cantidad por las plantas, participa en el equilibrio iónico y en la regulación osmótica. Es un elemento indispensable en la fotosíntesis y en la activación de más de 50 sistemas enzimáticos del metabolismo de carbohidratos y proteínas (Amtmann *et al.*, 2005; Alcantar y Trejo-Téllez, 2007; Szczerba *et al.*, 2009).

2.6.2.9 Calcio

Las necesidades de calcio son bajas en comparación con el potasio, en la célula vegetal se distribuye de la siguiente forma: vacuola > pared celular > retículo endoplásmico > plasmalema > citoplasma. Es un elemento importante en la división celular, en la estabilidad de la membrana y pared celular, participa notablemente en el equilibrio electrostático. El calcio activa la elongación y multiplicación celular de los tejidos meristemáticos; el calcio desempeña sobretodo funciones estructurales (Marchner, 2002; Alcantar y Trejo-Téllez, 2007).

2.6.2.10 Magnesio

El magnesio es acumulado en la planta en cantidades menores al calcio y potasio, pero similares al fosforo. Participa en forma significativa en la regulación del pH celular y en la regulación anión-catión. Su función principal es constituir la molécula de clorofila; es un cofactor de acercamiento de todas las enzimas que actúan sobre sustratos fosforilados, siendo de gran importancia en el metabolismo energético (Alcantar y Trejo-Téllez, 2007).

Dentro de los sustratos orgánicos sobresale la compost y la vermicompost, debido a que sus procesos de elaboración transforman restos orgánicos en un producto relativamente estable, siendo ventajas de los sustratos orgánicos el no contaminar y satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos, reduciendo significativamente las aplicaciones de fertilizantes sintéticos (Rodríguez *et al.*, 2008; Cruz-Lazaro *et al.*, 2009).

2.7 Calidad de plántula

Comparado con la siembra directa, el trasplante es el método más confiable que asegura el apropiado establecimiento en campo de un gran número de cultivos hortícolas con valor económico, disminuye la cantidad y el costo de las semillas

La producción en contenedores es una actividad altamente competitiva; la rapidez, uniformidad de germinación y el rápido crecimiento son esenciales para una producción eficiente (Herrera *et al.*, 2008).

El trasplantar el material vegetal en un estado joven, reduce el estrés por trasplante; por otro lado, las plántulas viejas alcanzan un estado fisiológico tal, que el crecimiento reproductivo se inicia. Las floraciones prematuras provenientes de plántulas viejas resulta en cosechas prematuras pero con menores rendimientos debido a que se desarrollan plantas más pequeñas, por lo cual es recomendable trasplantar las plántulas de tomate a las 5 o 7 semanas de establecidas en semilleros (Schrader, 2000).

La velocidad y uniformidad de emergencia y la tasa de crecimiento inicial son esenciales para lograr una calidad de germinación en un razonable periodo (De Grazia *et al.*, 2007). Rui (1987) en un experimento donde comparo el medio de cultivo con densidades de siembra en la calidad de plántulas de tomate tomo como parámetros la altura de la planta, el grosor del tallo, el número de hojas, el peso seco y fresco de raíz y parte aérea, mismos parámetros que se consideraron para la evaluación de las plántulas. En el Cuadro 8 se consideran las variables de calidad en plántula que se aplican en Europa (Markoviç *et al.*, 1995).

Según Espinosa (2004) y Linares (2004) son aptas para el trasplante aquellas plántulas que tengan una altura entre los 10 y 15 cm. Con un sistema radical bien desarrollado para una adaptación rápida a las condiciones de estrés por trasplante y con seis o siete hojas bien desarrolladas (Villegas *et al.*, 2001).

Cuadro 8. Variables europeas de calidad de plántula (Markoviç *et al.*, 1995).

| Variable | Cantidades |
|-------------------|--------------------------------|
| Altura de planta | 20 a 30 cm |
| Numero de hojas | 6 a 7 hojas verdaderas |
| Peso parte aérea | 6 a 8 gramos |
| % de materia seca | 11 a 12 % |
| Peso fresco | 15 en invierno 30 en verano |

2.8 Conclusión de literatura

El sustrato más utilizado para la producción de semilleros es a base de musgo *Sphagnum moss*, llamado *Peat moss* proveniente principalmente de Canadá, Letonia, Finlandia, Estonia y Holanda. Al ser un recurso natural que requiere mucho tiempo para su renovación se ha limitado su explotación provocando una baja disponibilidad en los mercados y por consiguiente la alza de precios. Gracias a su baja densidad aparente, alta porosidad, alta retención de humedad, baja conductividad eléctrica y pH ácido han hecho de éste sustrato el más popular en la producción de plántulas, mezclándolo con otros materiales (como la vermiculita) para potencializar su uso.

La cachaza es un residuo agroindustrial de alto contenido de materia orgánica y humedad que se produce en grandes cantidades en nuestro país y es rica en fósforo, calcio, magnesio, zinc y nitrógeno; y al igual que el *peat moss*, registra una baja conductividad eléctrica, y ha demostrado ser eficiente en la germinación de semillas en mezcla con otros materiales al ser previamente composteado o vermicomposteado, por lo tanto tiene altas posibilidades de ser adoptado como un sustrato alternativo al *peat moss*, sin embargo no hay registros que fundamenten sus propiedades físicas en la producción de plántula.

El estiércol vacuno es rico en nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, hierro, manganeso, cobre y zinc; y puede aportar importantes cantidades nutrimentales al ser utilizado en mezcla para la elaboración de sustratos.

Durante el proceso de compostaje de los materiales para la elaboración de los diferentes tratamientos que se pretendieran realizar, se deberá cuidar durante la etapa termofílica la temperatura, el contenido de humedad y el contenido de oxígeno para evitar anaerobiosis por exceso de humedad ó en caso contrario combustión seca por exceso de temperatura. Ya en etapa mesofílica se deberá cuidar el nivel de humedad y de oxigenación de las pilas. Para el vermicompostaje es indispensable que los materiales hayan pasado por la etapa termofílica para evitar mortandad de lombrices por temperatura y cuidar los niveles de humedad de las pilas.

Los sustratos elaborados deberán ser estables, con un tamaño de partícula tal que le infiera una densidad aparente baja, con alta porosidad (> 80%), una baja CA (10-30%), un contenido de AFD entre 20 y 30%, bajo contenido de AR (10%) y bajo contenido de ADD como características físicas; por otra parte moderada CIC, pH de ligeramente ácido a neutro (ideal), relación C/N entre 10 y 12 (óptimo), CE menor de 1 dS m⁻¹ y contenido de minerales nutrimentales, principalmente.

Las plántulas de mayor calidad que crezcan en los sustratos deberán desarrollar un buen sistema radical que fomente el anclaje de la plántula, una altura de 10 cm y con un mínimo de 4 hojas bien desarrolladas.

III. OBJETIVO GENERAL

Generar un sustrato orgánico razonablemente estable a partir de cachaza, con características físicas, químicas y biológicas que permitan la germinación y el desarrollo vegetativo óptimo en la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill).

3.1 Objetivos particulares

Elaborar un sustrato a base de cachaza con características físicas, químicas y biológicas, que posibiliten su empleo como sustrato hortícola.

Determinar la eficiencia agronómica de los sustratos generados a partir de la cachaza, en la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill).

IV. HIPÓTESIS GENERAL

La cachaza es un subproducto agroindustrial rico en materia orgánica, la cual puede ser útil para la elaboración de sustratos mediante su estabilización, pudiéndose emplear eficazmente en la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill).

4.1 Hipótesis particulares

Mediante la manipulación física es posible la generación de sustratos a base de cachaza (en forma pura o en mezcla con otro material), que adquieran propiedades físicas, químicas y biológicas con posibilidades de uso como sustrato alternativo.

Al menos uno de los sustratos elaborados a base de cachaza tiene las propiedades físicas, químicas y biológicas que permiten la germinación y el óptimo desarrollo vegetativo de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

El proyecto se llevó a cabo en las instalaciones del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, municipio de Texcoco, Estado de México. Se utilizó como material experimental cachaza fresca recolectada de los tanques de filtrado de cachaza al término del proceso de extracción de azúcar del ingenio del Grupo Porres en Santa Clara, municipio de Los Reyes, Michoacán.

Para la realización de la investigación se llevaron a cabo 3 etapas:

5.1 Etapa I: Elaboración de tratamientos y dinámica poblacional microbiana en compost y vermicompost

A la cachaza obtenida del ingenio azucarero de Santa Clara se le determinó el contenido de humedad, densidad aparente por el método de la probeta (Ansorena, 1994), materia orgánica por combustión seca, nitrógeno total por el método de microKjeldahl (Horneck y Miller, 1998), fósforo por el método de Olsen, potasio por flamometría y magnesio por volumetría (Alcantar y Sandoval, 1999) utilizando acetato de amonio como extractante.

Con la cachaza recolectada se hicieron diferentes combinaciones que dieron origen a seis tratamientos (Cuadro 9):

Para la elaboración de los tratamientos T1 y T2 se tomaron 60 L de cachaza fresca; 30 L fueron lavados con agua a razón de 1:5 v/v (cachaza:agua) para la obtención del tratamiento T2; ambos tratamientos (T1 y T2) fueron secados al sol durante 15 días hasta obtener peso constante, se colocaron en bolsas de polietileno negro y se almacenaron en un lugar ventilado, fresco y seco, hasta su utilización en la etapa III.

Los tratamientos T3, T4, T5 y T6 fueron elaborados en contenedores de poliestireno de 30 L de capacidad.

Cuadro 9. Descripción de tratamientos elaborados de seis mezclas con cachaza y estiércol vacuno, con y sin estabilización biológica.

| Tratamiento | Descripción |
|--------------------|---|
| T1 | Cachaza seca (30 L) |
| T2 | Cachaza lavada (30 L) |
| T3 | Compost de cachaza (30 L) |
| T4 | Compost de la mezcla de cachaza (15 L) + estiércol vacuno (15 L) 1:1 (v/v) |
| T5 | Vermicompost de cachaza (30 L) |
| T6 | Vermicompost de la mezcla de cachaza (15 L) + estiércol vacuno (15 L) 1:1 (v/v) |
| T7 | Turba + agrolita 3:1 v/v (30 L) Testigo |

Los tratamientos T3 y T4 sufrieron procesos de fermentación aerobia durante el proceso de compostaje) que duró 120 días. Para la elaboración del tratamiento T3 se colocaron 30 L de cachaza fresca en un contenedor de poliestireno. En el compostaje del material se adiciono 250 mL de agua cada 7 días en las primeras ocho semanas y aumentando a un periodo de 15 días de la semana 9 hasta finalizar. Para fomentar la oxigenación de la pila de compostaje se realizaron 30 perforaciones al azar en el cuerpo del material cada 7 días durante todo el proceso. Al término del compostaje se dejó secar a la sombra

En la elaboración del tratamiento T4 se mezclaron 15 L de cachaza fresca y 15 L de estiércol vacuno de forma homogénea y se colocaron en un contenedor de poliestireno, siguiendo las mismas acciones que las descritas para el tratamiento T3.

Para producir el tratamiento T5 se colocaron 30 L de cachaza fresca en un contenedor de poliestireno, pasando un proceso de compostaje durante 30 días. Una vez que el material presento una temperatura inferior a los 30 °C se agregó agua hasta alcanzar una humedad del 80% y se inoculo adicionando 200 lombrices composteras adultas de

la especie *Eisenia fetida* (Velasco *et al.*, 1997). El material inoculado se mantuvo en lugar seco y sombreado a temperatura ambiente hasta los 120 días.

El tratamiento T6 se elaboró mezclando de forma homogénea 15 L de cachaza fresca y 15 L de estiércol vacuno, colocando la mezcla en un contenedor de poliestireno, permitiendo su compostaje durante los primeros 30 días. Posteriormente se adiciono agua hasta alcanzar el 80% de humedad en la pila y se inoculo con 200 lombrices composteras de la especie *Eisenia fetida* (Velasco *et al.*, 1997). Este proceso se efectuó en lugar seco y sombreado a temperatura ambiente hasta los 120 días. El tratamiento T7 considerado en la presente investigación como testigo, debido a que es muy frecuente su uso en diversos trabajos de investigación y comercialmente aceptado. Este fue elaborado mediante la mezcla de 30 L de peat moss con 10 L de agrolita a proporción de 3:1.

Durante la etapa de elaboración de tratamientos se tomó diariamente la temperatura; el contenido de humedad se determinó dos veces por semana, secando 10g de tratamiento a 70 °C hasta alcanzar peso constante una vez que las temperaturas fueron inferiores a los 40 °C la temperatura fue medida una vez por semana y una vez por quincena cuando las temperaturas estuvieron por debajo de los 30 °C hasta finalizar los procesos.

Durante la elaboración de los tratamientos se cuantifico la dinámica poblacional de bacterias, hongos y actinomicetos exclusivamente de los tratamientos T3, T4, T5 y T6; colectando muestras a los 30, 60, 90 y 120 días de la siguiente manera: se tomaron 10 submuestras de 10 g en forma aséptica y al azar, para formar una muestra compuesta por cada tratamiento, de la cual se tomaron 10 g que se suspendieron en 90 mL de agua destilada estéril durante 15 minutos y se realizaron disoluciones decimales seriadas. Al final se tomó una alícuota de 0.1 mL de las diluciones 10^{-2} a 10^{-8} para cada grupo microbiano (hongos, bacterias y actinomicetos), los cuales se depositaron en cajas Petri con medio de cultivo (Anexo 1) por quintuplicado (Wollum, 1982); se incubaron a 26 °C durante 3 días y se evaluaron mediante el recuento de unidades formadoras de colonias (ufc).

5.2 Etapa II: Caracterización de propiedades físicas y químicas de tratamientos

Los propiedades físicas que se evaluaron fueron: granulometría, mediante el método propuesto por Martínez (1993), con tamices de 0.25, 0.5, 1, 2, 3.36 y 4.75 mm; densidad aparente (Da) utilizando el método de la probeta (Ansorena, 1994); se determinó el porcentaje de porosidad total, capacidad de retención de humedad (Ansorena, 1994); y la curva de retención de humedad por el método de la columna colgante propuesta (De Boodt y Verdonck, 1974).

Las propiedades químicas que se determinaron fueron: pH y conductividad eléctrica (CE) en extracto de pasta a saturación (Warncke, 1986); contenido de materia orgánica por calcinación a 550 °C (Ansorena, 1994); carbono orgánico (Alcantar y Sandoval, 1999); nitrógeno total por el método de microKjeldahl (Horneck y Miller, 1998); la relación C:N (Alcantar y Sandoval, 1999); fósforo por el método Olsen (Olsen y Dean, 1965) para los tratamientos elaborados y Bray-1 (Bray y Kurtz, 1945) para el tratamiento testigo; se determinó la CIC, calcio, magnesio, potasio y sodio mediante acetato de amonio 1N a pH 7 (Rhoades, 1982), determinando el calcio y magnesio por volumetría y potasio y sodio por flamométría.

5.3 Etapa III: Producción de almácigos, estabilidad de tratamientos y plántulas en producción

Los seis tratamientos resultantes de la etapa de elaboración de tratamientos fueron evaluados en la producción de plántula. De cada tratamiento elaborado se tomó una muestra de 2 kg, misma que fue tamizada para obtener un tamaño de partícula menor a 2 mm. De éstos se recolectó 50 g, mismos que fueron secados a la estufa a 75 °C. Se evaluó el contenido de ácidos húmicos y fúlvicos de los tratamientos antes y después de la producción de semilleros de acuerdo a la metodología de Kononova (1982). La relación E4/E6 se obtuvo al dividir la absorbancia de los ácidos húmicos y fúlvicos a la longitud de onda de 465 nm entre la absorbancia a 665 nm (Chen *et al.*, 1977).

Para la evaluación de los tratamientos en el crecimiento de plántulas se utilizaron charolas germinadoras de poliestireno comerciales de 200 cavidades, llenando 50

cavidades por cada tratamiento (previamente humedecido) de forma manual y compactado mediante un golpe ligero y sólido en contra del suelo para dejar aproximadamente 0.5 cm entre la superficie de la charola y la superficie del sustrato. Posteriormente se colocó una semilla de tomate por celda (antes, las semillas de tomate fueron sumergidas en agua acidulada pH 5.5 durante 12 horas) tapando con el mismo tratamiento hasta llenar las cavidades de las charolas. Los tratamientos fueron colocados bajo condiciones de invernadero. Los semilleros fueron regados con agua una vez al día, estribados en columnas y cubiertos con plástico para mantener la humedad interna hasta la emergencia de las plántulas. Una vez emergidas las plántulas y hasta el término del experimento se regó dos veces por día con agua. Se sustituyó el riego por una solución Steiner al 25% (Steiner, 1984) desde la aparición de los primordios foliares hasta el momento del trasplante; los riegos fueron proporcionados de forma manual. Una vez por semana se regaron los tratamientos con agua destilada hasta saturar los tratamientos, recolectando el drenaje al cual se le determinó pH y conductividad eléctrica (CE).

Durante el crecimiento de las plántulas se registró el porcentaje y la tasa de germinación de cada tratamiento. Se realizó una colecta de plántulas a los 35 días después de la emergencia tomando al azar diez plántulas de la parte central de cada tratamiento; el material recolectado fue lavado con agua corriente y finalmente enjuagado con agua destilada; posteriormente se determinó la altura de plántula midiendo desde la base hasta la punta apical, diámetro de tallo utilizando un vernier analógico, número total de hojas, área foliar usando un integrador de área (modelo LI-3000, LI-COR, Lincoln, NE), longitud y volumen radical, peso seco de la parte aérea y de la raíz. Se realizaron relaciones altura de plántula con peso seco aéreo, área foliar con número de hojas y longitud radical con volumen radical.

El diseño experimental fue mediante bloques completamente al azar con siete tratamientos, cuatro bloques y cuatro repeticiones de 50 celdas.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Etapa I: Elaboración de tratamientos y dinámica poblacional microbiana en compost y vermicompost

Para la elaboración de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 se recurrió al compostaje y al vermicompostaje; estos procesos tuvieron en común una fase inicial de 30 días, donde se presentó la etapa termofílica, la cual se caracteriza por el aumento en la temperatura de la pila a niveles por arriba de los 40°C (Labrador, 2001), lo anterior se realizó con la finalidad de establecer las condiciones óptimas para el establecimiento de las lombrices composteras (*E. fetida*). Debido a lo anterior, se tomó un periodo de 90 días posteriores para la valoración del efecto entre el proceso de compostaje y vermicompostaje.

6.1.1 Temperaturas en el proceso de compostaje y vermicompostaje

Durante el proceso de compostaje del tratamiento T3 (Figura 5) se observó que al tercer día se alcanzaron temperaturas superiores a los 40°C (adquiriendo una etapa termofílica, Labrador, 2001); registrando un máximo de 60°C (la etapa termofílica en éste tratamiento tuvo una duración de 15 días). A partir del día 16 de iniciado el proceso de compostaje del tratamiento T3, las temperatura descendieron por abajo de los 40°C, comenzando una etapa mesofílica o de enfriamiento (Labrador, 2001); esta etapa fue lenta y tomo 60 días para su estabilización. Se observó que el tiempo total para el compostaje de éste tratamiento fue de 105 días en condiciones de aislamiento.

En el proceso de compostaje del tratamiento T4 bajo condiciones aisladas se observó, que se alcanzaron temperaturas superiores a los 40°C a partir del segundo día, registrando una temperatura máxima de 58°C al tercer día (Figura 5); teniendo una duración de 8 días en etapa termofílica (8 días menos en comparación al tratamiento T3). A partir de día 9 las temperaturas registradas descendieron por debajo de los 40°C, ubicando a la pila de compostaje en una etapa mesofílica o de enfriamiento; ésta etapa tuvo una duración de 112 días.

En el tratamiento T5 la etapa termofílica tuvo una duración de 13 días, alcanzando la máxima temperatura (59 °C) a los cuatro días de iniciado el proceso. A partir del día 13 de iniciado el compostaje las temperaturas de la pila descendieron a una etapa mesofílica al registrar valores menores de 38°C, disminuyendo de forma gradual hasta 28°C al día 31; en éste día el contenido de humedad se elevó para la inoculación de las lombrices en la pila de compostaje y como consecuencia hubo una disminución de temperatura hasta 22°C, a partir del día 31 y hasta los 120 días las temperaturas oscilaron entre los 18° y los 25° C.

El tratamiento T6 alcanzo temperaturas superiores a los 40°C al segundo día de iniciado el proceso de compostaje, llegando a registrar 50°C al quinto día y descendiendo gradualmente hasta llegar a una temperatura de 35°C al doceavo día, por lo anterior, la etapa termofílica tuvo una duración de 10 días, del día 12 al 30 las temperatura oscilaron entre los 30 y 35°C. El día 31 se aumentó el contenido de humedad en la pila y se inoculo con las lombrices, lo que provoco descenso de la temperatura a niveles de 22° C. Desde el momento de inoculación de las lombrices hasta los 120 días las temperaturas oscilaron entre los 20° y los 25° C (Figura 5).

Labrador (2001) reporta que a temperaturas mayores de 50°C por un periodo mayor a una hora, son suficientes para la eliminación de los parásitos y patógenos más comunes. Todos los tratamientos tuvieron una etapa termofílica mayor de 24 horas con temperaturas superiores a los 50°C.

El tiempo de duración de la etapa termofílica de los tratamientos coinciden con lo observado por Petric y Selimbašić (2008), donde la duración máxima de ésta etapa es menor de los 15 días, siendo la capacidad aislante del contenedor el factor de que se produjera tal fenómeno, lo cual Meunchang *et al.* (2005) comprueban al realizar compostajes en contenedores de concreto, al aumentar la etapa termofílica a 30 días pero con menores temperaturas.

Higgins *et al.* (2008) y Bernal *et al.* (2009) mencionan que la disminución del oxígeno en la pila de compostaje provoca una disminución en la actividad microbiana y por consiguiente el descenso de la temperatura; al realizar una aireación las

concentraciones de oxígeno aumentan al igual que la actividad microbiana, favoreciendo el aumento de la temperatura. Lo anterior explica los descensos en al temperatura registrados durante la etapa termofílica de los tratamientos y su posterior aumento al realizarse la oxigenación de la pila (Figura 5).

Los tratamientos T5 y T6 presentaron a partir del día 1° de iniciado el proceso de vermicompostaje (día 31) temperaturas que oscilaron entre los 18 y los 25°C, siendo éstas óptimas para el desarrollo de las lombrices composteras (Ministerio de Agricultura, 2006)

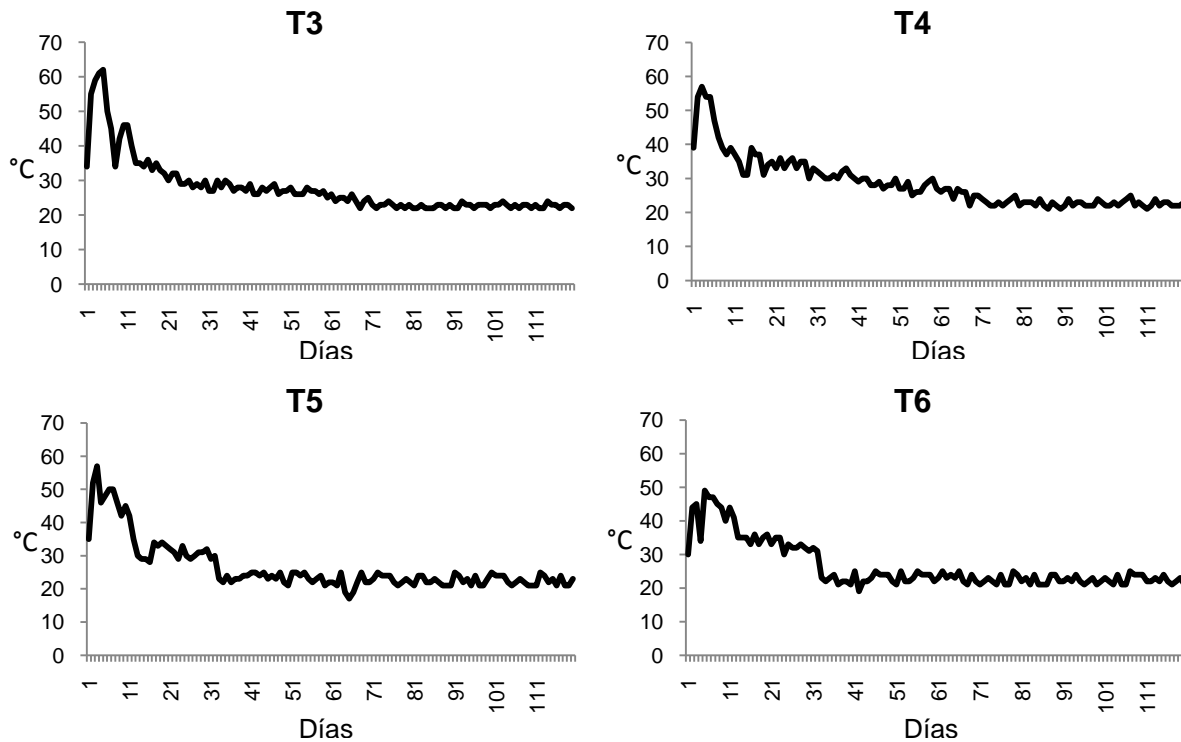


Figura 5. Temperaturas durante el proceso de compostaje y vermicompostaje en cuatro de los siete tratamientos.

6.1.2 Contenido de humedad durante el proceso de compostaje y vermicompostaje

Durante el primer mes de compostaje el control de la humedad en las pilas fue complicado debido a la evaporación causada por las altas temperaturas presentes en éstas, por lo que se adicionó agua continuamente. A pesar de la adición de agua los niveles de humedad se mantuvieron entre el 50 y el 30% (Figura 6).

Higgins *et al.* (2008) recomiendan que los niveles óptimos de humedad en compostaje oscilen entre el 60 y el 40%, por lo que al compararlo con los datos obtenidos, la humedad en las pilas de compostaje tuvieron en promedio de 35% de humedad, 5% por debajo de lo recomendado.

A partir del día 31 después de iniciado el proceso de estabilización se hizo la distinción entre los procesos de compostaje y el vermicompostaje. Para los procesos de compostaje (tratamientos T3 y T4) los niveles de humedad que se mantuvieron, oscilaron entre el 40 y el 30% (Figura 6).

Para los procesos de vermicompostaje (tratamientos T5 y T6) los niveles de humedad que se registraron a partir del día 31, oscilaron entre el 90 y el 70%. El Ministerio de Agricultura (2006) recomienda que la pila de vermicompostaje tenga una humedad del 70%, para facilitar la ingestión del alimento y el deslizamiento de las lombrices por el material. Considerando lo anterior con lo registrado en los tratamientos T5 y T6 (Figura 6) se observó contenidos hídricos fueron superiores en las pilas.

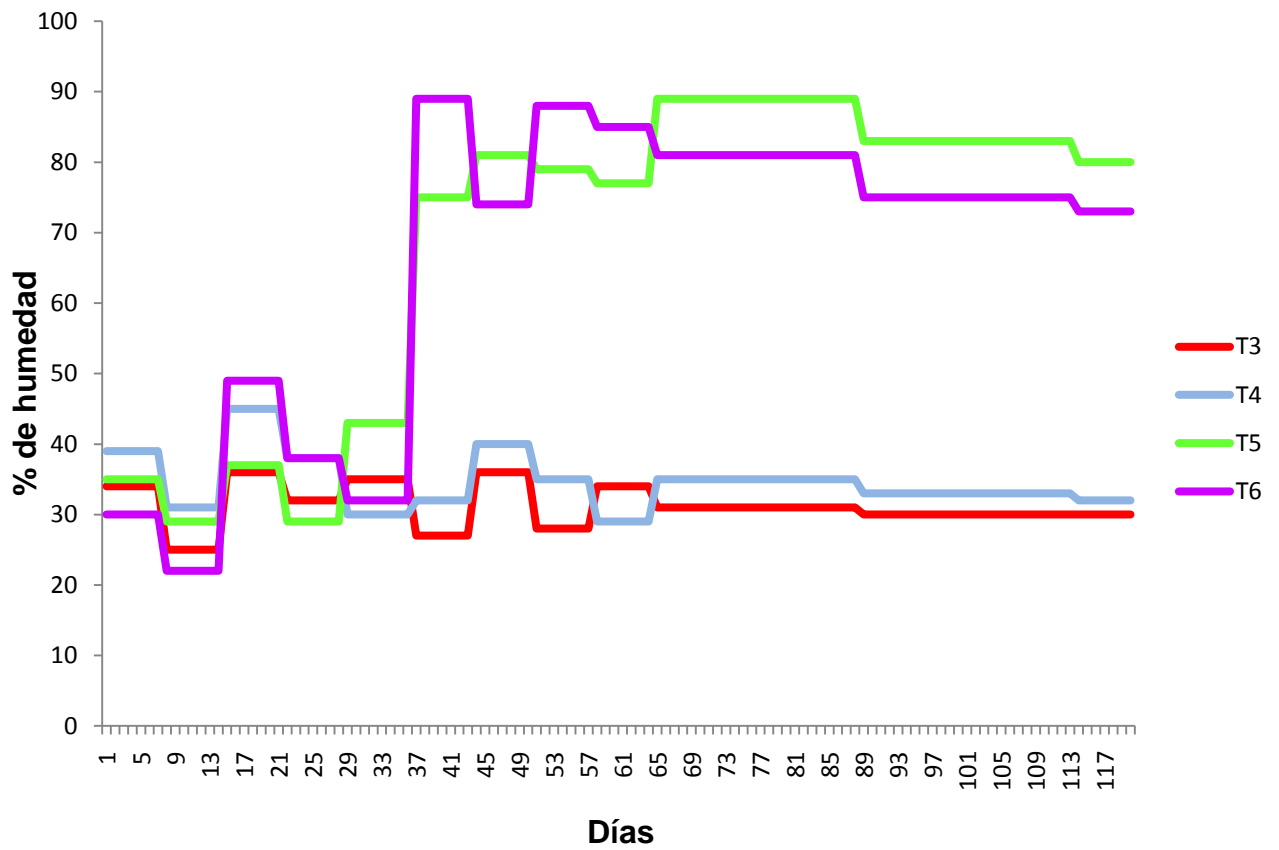


Figura 6. Contenido de humedad durante el proceso de compostaje y vermicompostaje en cuatro tratamientos.

6.1.3 Dinámica microbiana durante el proceso de compostaje y vermicompostaje

Se valoró la dinámica microbiana de los tratamientos T3, T4, T5 y T6 del día 30 al día 120, cuantificando las poblaciones de bacterias, hongos y actinomicetos; y considerando que las mayores poblaciones de bacterias y hongos han degradado la mayor parte de sustancias de menor complejidad como azúcares simples en la etapa termofílica del proceso (Genevini *et al.*, 2002; Piccolo, 2002), dando como resultado la reducción de la pila. En caso de los tratamientos T3 y T5, la reducción fue de aproximadamente 30% del volumen original; y en los tratamientos T4 y T6 la reducción fue del 60% en comparación al volumen inicial.

6.1.3.1 Bacterias

En general las poblaciones bacterianas se presentaron a niveles promedio de 10^6 UFC g^{-1} de materia seca. El primer muestreo se realizó a los 30 días después de iniciado el proceso de elaboración de los tratamientos. Es en este día cuando se inocularon los tratamientos T5 y T6 con lombrices composteras rojas californianas de la especie *E. fetida*. Se observó en todos los muestreos diferencias significativas entre tratamientos (α 0.05).

En el primer muestreo la mayor población bacteriana se presentó en el tratamiento T6 con 46×10^6 UFC g^{-1} de materia seca. Los tratamientos T3 y T4 mostraron las menores poblaciones con 14×10^6 y 13×10^6 UFC g^{-1} de materia seca respectivamente (Cuadro 10).

Goyal *et al.* (2005) en un estudio realizado en contenedores de cemento, registraron a los 30 días después de iniciado el compostaje de cachaza, una población bacteriana de 38×10^7 UFC g^{-1} de materia seca; este dato es significativamente mayor a lo registrado en el presente estudio (14×10^6 UFC g^{-1} de materia seca).

Rodríguez (2004) encontró que en el compostaje y el vermicompostaje de bagazo de agave tequilero, ya sea solo o en combinación con estiércol vacuno, las poblaciones bacterianas se presentaron alrededor de 10^6 UFC g^{-1} de materia seca; Quintero *et al.*

(2000) encontraron en su estudio realizado a compostas y vermicompostas de paja de avena niveles de 10^6 UFC g^{-1} de materia seca; en ambos casos las pilas destinadas al proceso de vermicompostaje presentaron las mayores poblaciones microbianas, al igual que en el presente estudio.

Comparando los datos absolutos entre los diferentes experimentos vistos en literatura y la presente investigación, se observó que a los 30 días de compostaje, todos los tratamientos presentaron poblaciones bacterianas a niveles de 10^6 g^{-1} .

En el segundo muestreo, los tratamientos T4, T5 y T6 registraron las mayores poblaciones bacterianas con 13×10^6 , 28×10^6 y 46×10^6 UFC g^{-1} respectivamente; el tratamiento T3 registró la menor población con 6×10^6 UFC g^{-1} de materia seca (Cuadro 10).

Goyal *et al.* (2005) reportan un descenso de la población bacteriana en el compostaje de cachaza a los 60 días de compostaje, lo cual coincide con el comportamiento del tratamiento T3.

En éste muestreo se pudo apreciar diferencias en función del proceso de estabilización del material fuente; ya que el tratamiento T3 proveniente del compostaje, presentó la menor población de bacterias en comparación con el tratamiento T5 el cual proviene de un proceso de vermicompostaje.

Además se pudo apreciar una diferencia en el proceso de compostaje en función del material fuente (tratamientos T3 y T4), donde el compostaje de la mezcla de cachaza con estiércol (tratamiento T4) mostró las mayores poblaciones bacterianas, éste fenómeno también se pudo apreciar en el experimento realizado por Rodríguez (2004) utilizando bagazo de agave, donde al estar en combinación con estiércol presentó mayores poblaciones bacterianas.

Comparando los datos obtenidos en el segundo muestreo con los datos del primero muestreo (Cuadro 10) se observó un aumento en las poblaciones de los tratamientos T3 y T4, y por otra parte la población disminuyó en el tratamiento T3.

En el tercer muestreo el tratamiento T4 presento la mayor población bacteriana con 4854×10^6 UFC g^{-1} materia seca, el tratamiento T6 registro 692×10^6 UFC g^{-1} materia seca. Las menores poblaciones se observaron en los tratamientos T3 y T6 con 74×10^6 y 66×10^6 UFC g^{-1} materia seca respectivamente (Cuadro 10).

Según Goyal *et al.* (2005), reportaron un descenso en la actividad microbiana en el compostaje de cachaza a los 90 días; lo anterior contrasta con los datos observados en el tratamiento T3, ya que en éste aumenta la población.

Se observó que los tratamientos en mezcla con estiércol (tratamiento T4 y T6) presentaron las mayores poblaciones en comparación de los tratamientos donde el único material presente fue la cachaza; por otra parte, se vio una diferencia significativa en entre los procesos de compostaje y el vermicompostaje de los tratamientos en mezcla (tratamientos T4 y T6), viéndose en el vermicompostaje (tratamiento T6) menor población bacteriana.

En el cuarto muestreo, el tratamiento T3 presento la mayor población bacteriana con 7887×10^6 UFC g^{-1} de materia seca; el resto de los tratamientos fueron menores y significativamente similares entre sí (Cuadro 10). En este muestreo se observó que las poblaciones bacterianas de los tratamientos en vermicompostaje (tratamientos T5 y T6) sin importar la fuente del material fueron similares. En cambio en el proceso de compostaje hubo diferencia significativa entre el material en mezcla con estiércol (tratamiento T4) y la pila donde la cachaza fue el único material (tratamiento T3), siendo mayor éste último.

Cuadro 10. Dinámica poblacional bacteriana en los procesos de compostaje y vermicompostaje.

| Tratamiento | 1 ^{er} muestreo | 2 ^o muestreo | 3 ^{er} muestreo | 4 ^o muestreo |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| BACTERIAS (UFC $\times 10^6$ g^{-1} materia seca) | | | | |
| T3 | 13.78b | 6.35b | 74.00c | 7887.40a |
| T4 | 13.26b | 51.71a | 4854.00a | 25.60b |
| T5 | 27.55ab | 51.08a | 66.00c | 20.50b |
| T6 | 45.98a | 41.88a | 692.00b | 15.40b |

Medias por tratamiento y fecha de muestreo con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.1.3.2 Hongos

En el caso de los hongos presentes en los diferentes tratamientos después de los 30 días de iniciado los procesos de estabilización, se observó que las pilas destinadas a los tratamientos T3 y T4 fueron diferentes a las pilas de los tratamientos T5 y T6 (Cuadro 11). En todos los muestreos se observó diferencia estadística significativa (α 0.05) entre tratamientos. Es de notar que en el primer muestreo, los tratamientos T6 y T5 tuvieron una población fúngica de 4×10^2 y 3×10^2 UFC g^{-1} de materia seca respectivamente; el tratamiento T3 registró 0.52×10^2 UFC g^{-1} de materia seca y el tratamiento T4 no presentó poblaciones fúngicas. En general las poblaciones de hongos que se registraron estuvieron alrededor de 10^2 UFC g^{-1} de materia seca; comparando los resultados con lo reportado en literatura (Quintero *et al.*, 2000; Rodríguez, 2004; Goyal *et al.*, 2005). Se observó que las poblaciones fueron menores, debido a que los materiales con que se elaboraron los diferentes tratamientos presentaron pH de ligeramente básico a moderadamente básico (de 7.6 a 8.6) siendo estas condiciones menos favorables para el desarrollo de los hongos (Toumela, 2000).

En el segundo muestreo, los tratamientos T4 y T5 presentaron las mayores poblaciones fúngicas con 34×10^2 y 22×10^2 UFC g^{-1} de materia seca; el tratamiento T6 registró 9.22×10^6 UFC g^{-1} y la menor población se registró en el tratamiento T3 (Cuadro 11).

En éste segundo muestreo se observó el efecto de las lombrices composteras (tratamiento T5) en la estabilización de la cachaza, que en comparación con el compostaje de cachaza (tratamiento T3) se registraron mayores poblaciones fúngicas.

En el caso de los tratamientos en mezcla también se observó una diferencia significativa entre los procesos de compostaje (tratamiento T4) y vermicompostaje (tratamiento T6), donde el compostaje promovió el desarrollo poblacional fúngico.

Comparando los datos del segundo muestreo con el primer muestreo se registró en general un aumento en las poblaciones de hongos presentes en las pilas de compostaje y vermicompostaje.

Goyal *et al.* (2005) reportaron una población fúngica a niveles de 10^7 UFC g^{-1} materia seca a los 60 días para compost de cachaza y su mezcla con estiércol, que comparado con lo registrado en los tratamientos T3 y T4, los cuales tuvieron niveles de 10^2 UFC g^{-1} materia seca, fueron significativamente diferentes.

En el tercer muestreo el tratamiento T5 registro las mayores poblaciones de hongos con 475×10^2 UFC g^{-1} de materia seca, significativamente mayor al resto de los tratamientos, los cuales registraron poblaciones 1×10^2 , 11×10^2 y 14×10^2 UFC g^{-1} de materia seca (tratamientos T3, T4 y T6 respectivamente).

En éste muestreo los tratamientos en compostaje no mostraron diferencia en función del material fuente, caso contrario con el proceso de vermicompostaje donde la cachaza (tratamiento T5) registro las mayores poblaciones en comparación con la mezcla de cachaza más estiércol (tratamiento T6). Además se observo una diferencia significativa entre el proceso de compostaje y vermicompostaje de la cachaza (tratamientos T3 y T5) en el desarrollo de las poblaciones fúngicas, donde fueron mayores en el vermicompostaje (tratamiento T5) con 475×10^2 UFC g^{-1} de materia seca, coincidiendo con Rodríguez (2004) en un proceso de vermicompostaje a los 90 días.

En el cuarto muestreo, el tratamiento T5 registro las mayores poblaciones fúngicas con 572×10^2 UFC g^{-1} de materia seca; los tratamientos T6 y T3 registraron 138×10^2 y 54×10^2 UFC g^{-1} de materia seca; la menor población de hongos se registro en el tratamiento T4 con 2×10^2 UFC g^{-1} de materia seca.

A los 120 días es notoria la diferencia en el nivel poblacional de hongos entre los tratamientos T3 y T5, viéndose un efecto significativo de la acción de las lombrices composteras, mismas que fomentaron el crecimiento de las poblaciones fúngicas.

Comparando los resultados obtenidos con lo reportado por Saidi *et al.* (2008), Rodríguez (2004) y Quintero *et al.* (2000), quienes reportan una tendencia a disminuir la población fúngica a través del tiempo y contrastándolos con los datos obtenidos (Cuadro 11), se aprecia un fenómeno contrario, donde la tendencia es el aumento de

las poblaciones fúngicas, tanto en compostas como en vermicompostas, a excepción del tratamiento T4.

Cuadro 11. Dinámica poblacional fúngica en los procesos de compostaje y vermicompostaje.

| Tratamiento | 1 ^{er} muestreo | 2 ^o muestreo | 3 ^{er} muestreo | 4 ^o muestreo |
|--|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| HONGOS (UFC x10 ² g ⁻¹ materia seca) | | | | |
| T3 | 0.52bc | 0.70c | 1.34b | 54.29bc |
| T4 | 0c | 34.08a | 10.84b | 2c |
| T5 | 3.33ab | 22.56ab | 474.96a | 572.39a |
| T6 | 4.46a | 9.22bc | 13.59b | 137.71b |

Medias por tratamiento y fecha de muestreo con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.1.3.3 Actinomicetos

En general las poblaciones de actinomicetos registraron durante la fase de elaboración de tratamientos niveles poblacionales de 10⁶ UFC g⁻¹ materia seca y diferencias entre tratamientos con una significancia del 95% en los muestreos. En el primer muestreo, el tratamiento T5 registro la mayor población con 5 x10⁶ UFC g⁻¹ materia seca. Los tratamientos T3, T4 y T6 fueron menores pero similares entre sí (Cuadro 12), registrando 0.15 x 10⁶, 0.02 x 10⁶ y 0.03 x 10⁶ UFC g⁻¹ materia seca.

Rodríguez (2004) encontrando las mayores poblaciones de actinomicetos a los 30 días en tratamientos con presencia de estiércol; comparando la información anterior se puede observar que en el caso de la cachaza en mezcla con estiércol (tratamientos T4 y T6), no se observó tal fenómeno, en cambio, las mayores poblaciones se observaron cuando el tratamiento tuvo el 100% de cachaza.

En el segundo muestreo se observó que las mayores poblaciones de actinomicetos las presentaron los tratamientos T3 y T6 con 5 x 10⁶ y 6 x 10⁶ UFC g⁻¹ de materia seca respectivamente, viéndose un crecimiento significativo con respecto a la población registrada en el primer muestreo (Cuadro 12). Los tratamientos T4 y T5 registraron 0.02 x 10⁶ y 0.25 x 10⁶ UFC g⁻¹ respectivamente.

Al tercer y cuarto muestreo el tratamiento T3 registro la mayor población de actinomicetos con 1.19×10^6 UFC g⁻¹ materia seca; en los tratamientos T4, T5 y T6 se registraron poblaciones de 0.02×10^6 , 0.8×10^6 y 0.2×10^6 UFC g⁻¹ de materia seca respectivamente, observándose en los tratamientos T4 y T6 las menores poblaciones. En éste muestreo los tratamientos a base de cachaza (tratamientos T3 y T5) mostraron las mayores poblaciones de actinomicetos en comparación a los tratamientos en mezcla, observándose la mayor población en el compostaje a diferencia del vermicompostaje. En cambio, los tratamientos en mezcla (tratamientos T4 y T6) no registraron diferencia en función del proceso de estabilización (Cuadro 12).

En general la dinámica poblacional de actinomicetos en los diferentes muestreos mostraron que en las pilas donde el material fuente era la cachaza, las lombrices composteras limitaron el desarrollo poblacional de los actinomicetos. Este fenómeno también se presentó en el caso de la elaboración de tratamientos a base de bagazo de agave (Rodríguez, 2004).

Cuadro 12. Dinámica poblacional de actinomicetos en los procesos de compostaje y vermicompostaje.

| Tratamiento | 1 ^{er} muestreo | 2 ^o muestreo | 3 ^{er} muestreo | 4 ^o muestreo |
|---|--------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|
| ACTINOMICETOS (UFC x10 ⁶ g ⁻¹ materia seca) | | | | |
| T3 | 0.15b | 5.03a | 1.19a | 1.19a |
| T4 | 0.02b | 0.02b | 0.02c | 0.02c |
| T5 | 4.79a | 0.25b | 0.78b | 0.78b |
| T6 | 0.03b | 6.24a | 0.22c | 0.22c |

Medias por tratamiento y fecha de muestreo con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.2 Etapa II: Caracterización de propiedades físicas y químicas de tratamientos

6.2.1 Caracterización física de tratamientos

6.2.1.1 Granulometría de tratamientos

En el tamizado de los tratamientos, se registró en el tratamiento T7 (testigo) que las partículas en mayor proporción fueron las de un diámetro medio de 0.5, 1 y 2 mm, representado el 23, 20 y 18% respectivamente del material sólido (Figura 7). El índice de grosor (Ig) y el diámetro medio ponderado (DMP) para el tratamiento T7 (testigo) fueron del 58% y 1.56 mm respectivamente, siendo éstos los valores más altos de los tratamientos en estudio (Cuadro 13).

Fernandes y Corá (2004) reportaron para el peat moss los siguientes datos granulométricos: 8%(<0.125mm), 9%(0.125mm), 18%(0.25mm), 21%(0.5mm), 18%(1mm), 17%(2mm) y 4%(>4mm); con un Ig de 39% de partículas mayores a 1 mm y un DMP de 0.85 mm. Anicua-Sánchez *et al.* (2008) reportaron para la turba los siguientes porcentajes granulométricos: 27%(<0.25mm), 0.62%(0.25mm), 13%(0.5mm), 8%(1mm), 8%(2mm) y 44%(>3.36mm); con un Ig de 59% de partículas mayores de 1 mm y un DMP de 1.84 mm.

Los datos obtenidos en el tratamiento T7 (testigo) se asemejan con lo reportado por Anicua-Sánchez *et al.* (2008), debiéndose las variaciones por tipo de material y/o al método empleado; pero difieren significativamente con lo reportado por Fernandes y Corá (2004), debiéndose tales diferencias al origen del material principalmente.

En los tratamientos elaborados se observó diferencia significativa ($\alpha 0.05$) en relación al tratamiento T7 (testigo). El tratamiento T1 no presentó partículas mayores a 4.75 mm; las partículas con un diámetro de 0.5 mm representó la mayor proporción (35%), seguida de partículas de 1 y 2 mm (24 y 19% respectivamente); la proporción de partículas menores de 0.25 mm fue del 18% (Figura 7). El tratamiento T1 presentó la mayor proporción de partículas de 0.5 mm entre los diversos tratamientos. Éste tratamiento presentó un índice de grosor y un diámetro medio ponderado (42% y 0.94 mm respectivamente) menor al tratamiento T7 (testigo).

En el caso del tratamiento T2 la mayor proporción de partículas registradas se obtuvieron en los diámetros de 2, 1 y 0.5 mm con el 29, 27 y 27 %, siendo el 83 % del total del material sólido presente; las partículas mayores a 4.75 mm fueron del 1% y 14% de partículas menores de 0.25 mm. El índice de grosor del tratamiento T2 fue del 59%, similar a lo presentado por el tratamiento T7 (testigo); y el DMP de 1.16 mm, menor a lo presentado por el tratamiento T7 (testigo).

Al hacer el lavado de la cachaza para la obtención del tratamiento T2, disminuyeron las partículas menores de 0.5 mm; las partículas de un diámetro medio de 2 mm aumento al igual que las partículas de un milímetro y mayores de 4.75 mm. Las partículas de 2, 1 y 0.5 mm se encontraron relativamente proporcionales y representaron el 86% del total del material, siendo ésta proporción ligeramente mayor en comparación con el tratamiento T1 y alto en comparación con el tratamiento T7 (testigo).

La cantidad de partículas mayores de 4.75 mm en el tratamiento T3 represento el 0.03%; éste tratamiento registro las mayores proporciones de partículas en diámetros medios de 1, 0.5 y 2 mm (30, 30 y 21 % respectivamente), en comparación con los tratamientos T1, T2 y T7 (testigo). El índice de grosor del tratamiento T3 fue del 52% que fue similar al testigo; y el diámetro medio ponderado (DMP) fue de 0.97 mm, siendo menor al registrado por el tratamiento T7 (testigo).

Cuadro 13. Índice de grosor (Ig) y diámetro medio ponderado (DMP) de tratamientos.

| Tratamiento | Ig (%) | DMP (mm) |
|--------------------|---------------|-----------------|
| T1 | 41.93 bc | 0.94 bc |
| T2 | 58.81 a | 1.16 b |
| T3 | 52.36 ab | 0.97 bc |
| T4 | 56.96 a | 1.7 a |
| T5 | 35.32 c | 0.7 c |
| T6 | 52.23 ab | 1.08 b |
| T7 | 58.23 a | 1.56 a |

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

El compostaje de la cachaza para la obtención del tratamiento T3 provocó: la disminución de las partículas de 0.5 y 0.25 mm; el aumento de las partículas de un milímetro; las partículas de 2 mm no presentaron modificación en su proporción; sin embargo, en comparación con los tratamientos T1 y T2, las partículas comprendidas entre 2 y 0.5 mm representaron el 83% del material, ubicándose en los mismos niveles, pero alto en comparación con el tratamiento T7 (testigo).

El tratamiento T4 tuvo la mayor proporción de partículas mayores de 4.75 mm (19%) y menores de 0.25 mm (12%), en comparación con el resto de los tratamientos. Las mayores proporciones de partículas obtuvieron diámetros medios de 1 y 0.5 mm (24 y 23 % respectivamente) y registro la proporción más baja de partículas de 2 mm de diámetro (5%) (Figura 7). El índice de grosor (I_g) y el diámetro medio ponderado (DMP) que presentó el tratamiento T4, fueron de 57% y 1.7 mm respectivamente (Cuadro 13), no encontrándose diferencia significativa en comparación con el tratamiento T7 (testigo).

El compostaje de cachaza más estiércol para la generación del tratamiento T4 provocó el aumento de partículas mayores a 3.36 mm; y la disminución significativa de partículas de 2 y 0.5 mm de diámetro; la proporción de partículas menores de 0.25 mm no varió de forma significativa. La proporción de partículas comprendidas entre 2 y 0.5 mm que presentó el tratamiento T4 fue del 48%, significativamente menor a la presentada por el tratamiento T7 (testigo) que fue del 61%.

El tratamiento T5 tuvo el 32% de partículas con un diámetro medio de 0.5 mm; 28% de partículas de 1 mm y 23% de partículas menores de 0.25 mm; presentando un DMP de 0.7 mm y un índice de grosor del 35%, siendo éstos datos los menores en comparación al resto de los tratamientos en estudio.

El uso de lombrices composteras para el vermicompostaje de la cachaza para la elaboración del tratamiento T5 provocó la disminución significativa de las partículas de 2 mm al registrar 7%, pero no afectó significativamente la proporción de partículas de 1 y 0.5 mm, ya que registraron 28 y 32% respectivamente. Sin embargo el vermicompostaje provocó el aumento de partículas menores a 0.25 mm en

comparación al material inicial (Figura 7). Las partículas comprendidas entre 2 y 0.5 mm representaron el 66% del material, comparable con lo presentado por el tratamiento T7 (testigo).

Al comparar el proceso de vermicompostaje con el proceso de compostaje del mismo material (tratamiento T3) se pudo observar que disminuyeron las partículas de 2 mm y aumentaron aquellas menores de 0.25 mm; observándose el efecto de las lombrices composteras en la granulometría del material (Figura 7).

Al cribar el tratamiento T6 por medio diferentes tamices se observó que la mayor proporción de partículas presentes se encontraron en diámetros de 2 mm (30%), seguido de 0.5 y 1 mm (25 y 21% respectivamente); éste tratamiento tuvo la mayor proporción de partículas menores de 0.25 mm con el 15% (Figura 7). El índice de grosor que presentó el tratamiento T6 fue del 52%, siendo similar al tratamiento T7 (testigo); y su diámetro medio ponderado fue de 1.08 mm, siendo menor al tratamiento T7 (testigo, Cuadro 13).

El uso de lombrices composteras en la estabilización de la mezcla de cachaza más estiércol para la producción del tratamiento T6 provocó la disminución significativa de partículas mayores de 3.36 mm (sí lo comparamos con el proceso de compostaje, tratamiento T4); además, se observó un aumento en la proporción de partículas de 2 mm y aquellas menores de 0.25 mm, atribuyendo lo anterior al efecto de las lombrices (Figura 7).

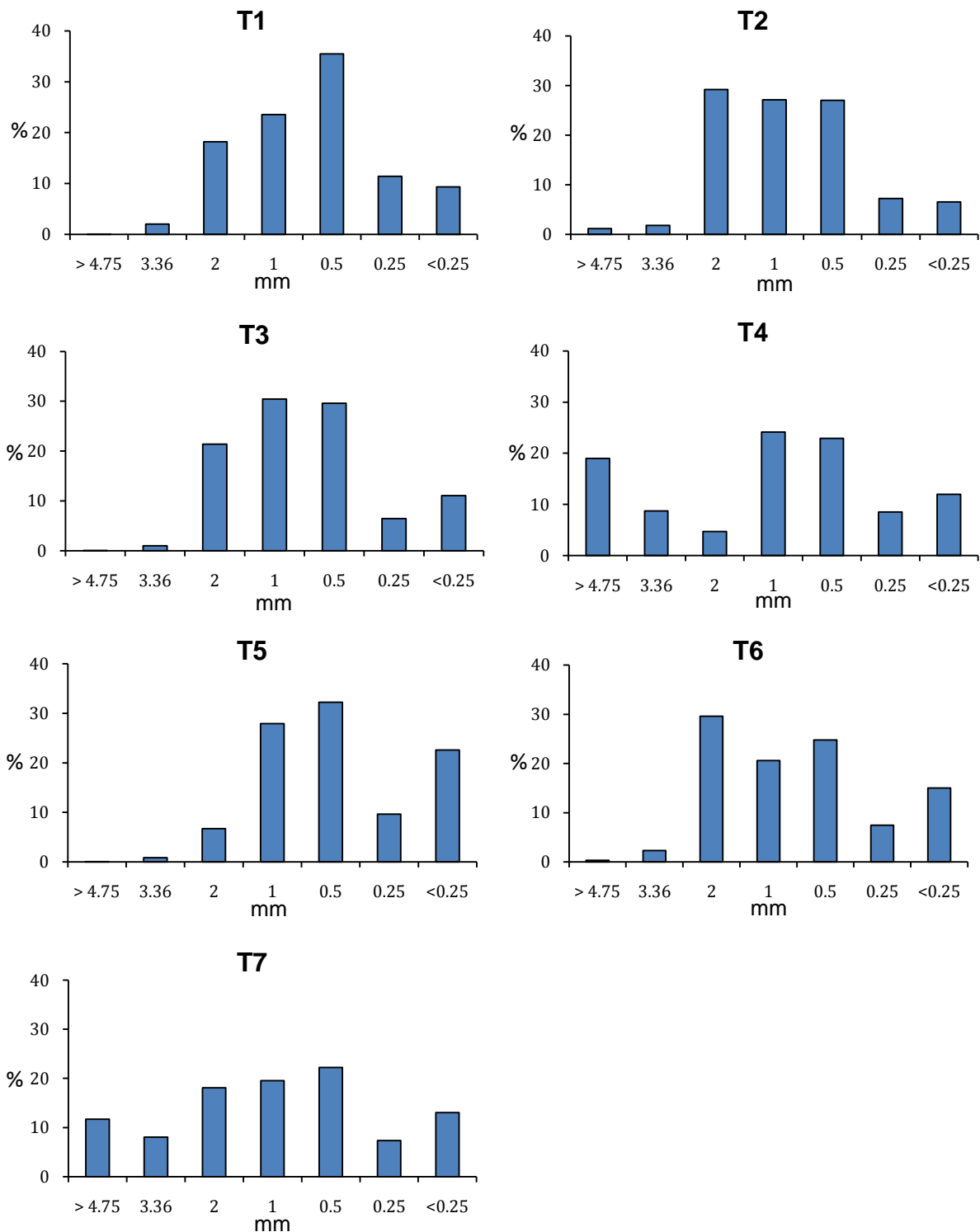


Figura 7. Distribución granulométrica en tratamientos (mm).

6.2.1.2 Densidad aparente (Da) de tratamientos

Estadísticamente la mayor densidad aparente se registró en el tratamiento T4 con 0.63 Mg m^{-3} ($\alpha 0.05$), seguido de los tratamientos que sufrieron un proceso de vermicompostaje (tratamientos T5 y T6 con 0.4 Mg m^{-3}), el tratamiento T3 (0.36 Mg m^{-3}) y finalmente los tratamientos T1, T2 y T7 (testigo) con 0.17 , 0.17 y 0.15 Mg m^{-3} respectivamente (Cuadro 14).

Quesada y Méndez (2005a) encontraron una densidad aparente de 0.09 Mg m^{-3} para una mezcla de turba:agrolita 3:1 v/v; contrastando con el dato obtenido en la presente investigación, la turba utilizada fue más pesada, lo anterior se puede explicar ya que tomando en cuenta los parámetros establecidos por Schmilewski (2008) (Da entre 0.12 y 0.17 Mg m^{-3}) éste material tuvo una descomposición de moderada a alta. Con los datos obtenidos se pudo apreciar el efecto del compostaje y de las lombrices composteras en el aumento de la Da de los materiales a base de cachaza (tratamientos T3 y T5), además de que los tratamientos T1 y T2 mostraron similitud con el tratamiento T7 (testigo).

6.2.1.3 Porosidad de tratamientos.

Con un nivel de significancia del 95%, las mayores porosidades se registraron en los tratamientos T1, T2, T3 y T7 con 85, 86, 86 y 86% respectivamente, seguidos por los tratamientos T5 y T6 con 76 y 77%; y la menor porosidad se registró en el tratamiento T4 con el 69%.

El tratamiento T7 (testigo) presentó una porosidad del 86%, concordando con lo reportado en investigaciones realizadas por Khayyat *et al.* (2007), Quesada y Méndez (2005a) y Zamora *et al.* (2005). Observando los resultados, se apreció que los tratamientos T1, T2 y T3 tuvieron una porosidad similar al testigo. Además no se observó pérdida del espacio poroso total debido lavado (tratamiento T2) o compostaje (tratamiento T3) de la cachaza (Cuadro 14).

Se observó que en un proceso de vermicompostaje (sin importar la fuente de las materias primas) la proporción de porosidad vario al disminuir en comparación a los

materiales a base de cachaza (tratamientos T1, T2 y T3), evidenciando la acción de las lombrices composteras en la pérdida de la porosidad total (tratamientos T5 y T6) (Cuadro 14). De Boodt y Verdonck (1974) y Pastor (1999) consideran que la porosidad óptima de un sustrato debe de ser mayor del 85%; por lo anterior, los tratamientos T1, T2, T3 y T7 registraron proporciones de porosidad total óptimas.

6.2.1.4 Contenido de humedad en tratamientos

Al agregar agua a los diferentes tratamientos para obtener su punto de saturación se registró que el tratamiento T7 (testigo) tuvo un 86%, los tratamientos T3, T2 y T1 registraron los puntos más altos de saturación con 86, 86 y 85% respectivamente, teniendo similitud estadística (α 0.05) con el tratamiento T7 (testigo, Cuadro 14), por otra parte, los tratamientos T6, T5 y T4 registraron las menores proporciones con 77, 76 y 69% respectivamente.

Se observó que el lavado (tratamiento T2) o el compostaje (tratamiento T3) de la cachaza no afectó la proporción de saturación en comparación al material inicial (tratamiento T1). Por otra parte se observó que el proceso de vermicompostaje provocó la disminución significativa de la proporción de saturación, sin importar el material fuente (tratamientos T5 y T6, Cuadro 14).

Al someter los diferentes tratamientos en estudio a una presión de 10 cm de columna de agua (cca), se evidenció la capacidad de aireación y la capacidad de retención de humedad, siendo estas dos inversamente proporcionales. El tratamiento T7 (testigo) registró una capacidad de retención de humedad a los 10 cca del 46% (θ_v), Las mayores retenciones de humedad las presentaron los tratamientos T2, T1, T4 y T6 con 62%, 57%, 57% y 56% respectivamente, las menores retenciones de humedad las registraron los tratamientos T5 y T3 con 54.7% y 31%.

En la literatura se ha reportado que la capacidad de retención de humedad en el peat moss oscila entre el 47% y el 56% (Quesada y Méndez, 2005a; Dede *et al.*, 2006; Khayyat *et al.*, 2007; Chavez *et al.*, 2008), existiendo casos tan altos reportados mayores del 64% (García *et al.*, 2001), que comparado con el tratamiento T7 (testigo),

la capacidad de retención de humedad registrada fue similar a las menores proporciones vistas en teoría.

En comparación al tratamiento T7 (testigo) los tratamientos T1, T2, T4, T5 y T6 fueron significativamente mayores (Cuadro 14). Se observó que los procesos de compostaje (tratamiento T3) y vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza afectaron la retención de humedad en comparación al potencial del material inicial (tratamiento T1).

Con una presión de succión de 50 cca el tratamiento T7 (testigo) tuvo una proporción de humedad del 31%, los tratamientos T4, T2, T6, T5 y T1 fueron mayores a éste, al registrar 57, 45, 45, 40 y 35% respectivamente, donde el tratamiento T4 mostró la mayor proporción entre los tratamientos en estudio. El tratamiento T3 tuvo la menor proporción de humedad al registrar 22%.

Se observó que la cachaza al sufrir un lavado (tratamiento T2) o vermicompostaje (tratamiento T5) aumento su contenido de humedad a los 50 cca, pero al sufrir un compostaje (tratamiento T3) la proporción disminuye en comparación al material inicial (tratamiento T1).

Fue también de notarse que al mezclar la cachaza con estiércol y efectuar procesos de compostaje (tratamiento T4) y vermicompostaje (tratamiento T6) las proporciones de humedad a los 50 cca aumentan (Cuadro 14).

A una succión de 100 cca el tratamiento T7 (testigo) retuvo un volumen del 25%, los tratamientos T4, T6, T2, T5 y T1 fueron mayores al tratamiento T7 (testigo), registrando 49, 42, 37, 36 y 33% respectivamente y el tratamiento T3 registró la menor proporción con 20%.

Se observó que al someter a la cachaza a un proceso de compostaje (tratamiento T3) la proporción de humedad a los 100 cca disminuyo pasando de 33 a 20% (Cuadro 14); por otro lado, al mezclar la cachaza con estiércol y pasar por un proceso de compostaje y vermicompostaje las proporciones de humedad a los 100 cca aumentaron.

Teniendo en cuenta que en un sustrato coexisten tres fases (sólida, líquida y gaseosa) en diferentes proporciones, la cantidad de materia sólida registrada que tuvo el tratamiento T7 (testigo) fue del 14%. Los tratamientos T4, T5 y T6 tuvieron mayor cantidad de sólidos al registrar 31, 24 y 23%; y por otro lado, los tratamientos T1, T2 y T3 mostraron similitud en el contenido de sólidos con el testigo al registrar 15, 14 y 14% respectivamente.

Se observó que el proceso de vermicompostaje de la cachaza (tratamiento T5) favoreció el aumento del material sólido, así como el mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por procesos de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6). El lavado (tratamiento T2) o compostaje (tratamiento T3) de la cachaza no alteró la proporción de sólidos.

Ya que el contenido de espacio poroso es responsable del almacenamiento de agua y aire, e inversamente proporcional al contenido de materia del sustrato se observó que los tratamientos T4, T5 y T6 al tener menor capacidad de saturación hídrica presentaron la mayor proporción de sólidos, en cambio los tratamientos T1, T2, T3 y T7 (testigo) tuvieron mayor capacidad de saturación y por ende su contenido de material sólido fue menor.

Cuadro 14. Caracterización física de tratamientos.

| Tratamiento | Da Mg m ⁻³ | Porosidad (%) | -----Humedad volumétrica (θ _v) en %----- | | | | |
|-------------|--------------------------|------------------|--|----------|---------------|---------------|----------------|
| | | | SÓLIDO | Saturado | 10 cm c.a. | 50 cm c.a. | 100 cm c.a. |
| T1 | 0.17d | 84.77a | 15.23c | 84.77a | 56.97ab | 35.18d | 32.95c |
| T2 | 0.17d | 85.78a | 14.22c | 85.78a | 61.68a | 44.95b | 37.38c |
| T3 | 0.36c | 86.28a | 13.73c | 86.28a | 30.84d | 22.33f | 19.75e |
| T4 | 0.63a | 69.40c | 30.60a | 69.40c | 56.68ab | 49.81a | 49.34a |
| T5 | 0.40b | 75.77b | 24.23b | 75.77b | 54.70b | 40.14c | 35.90c |
| T6 | 0.41b | 76.94b | 23.06b | 76.94b | 56.32ab | 44.95b | 42.38b |
| T7 | 0.15d | 85.69a | 14.31c | 85.69a | 45.95c | 31.13e | 25.00d |

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.2.1.5 Fases en tratamientos

Los tratamientos con las mayores proporciones estadísticas (α 0.05) de sólidos fueron T4, T5 y T6; los tratamientos T1, T2, T3 y T7 (testigo) fueron iguales entre sí (Cuadro 14 y Figura 8). Íñiguez *et al.* (2006) reportaron 17% de material sólido en el peat moss, que comparado con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo) con 14%, se tuvo similitud entre los datos. De Boodt y Verdonck (1974) y Pastor (1999) consideraron que el contenido de material sólido óptimo debe ser igual o menor del 15%, por tanto, al ser los tratamientos T1, T2 y T3 similares al testigo, éstos tratamientos presentaron la proporción óptima de sólidos para ser utilizados como sustratos hortícolas.

La capacidad de aireación (CA) refleja el contenido de macroporos que son incapaces de retener agua entre sus paredes por adhesión. En esta investigación se encontró que el tratamiento T3 registro la mayor proporción (55%); seguida del tratamiento T7 (testigo) con 40%; los tratamientos T1, T2, T5, T6 y T4 registraron las menores proporciones de CA con 28, 24, 21, 21 y 13% respectivamente (Figura 8).

La CA del peat moss reportada en literatura es variable, encontrándose datos desde el 12% hasta el 39%, ubicando el resultado obtenido dentro de los parámetros reportados por algunos investigadores (Dede *et al.*, 2006; Íñiguez *et al.*, 2006; Gruda y Schnitzler, 2004; Bohne, 2004; García *et al.*, 2001; Verdonck y Demeyer, 2004; Cotxarrera *et al.*, 2002).

Considerando los parámetros óptimos establecidos por Pastor (1999) donde un sustrato debe tener entre 10 y 30% de CA, los tratamientos T7 (testigo) y T3 tuvieron una CA significativamente mayor a lo óptimo. Por otro lado, el compostaje de la cachaza (tratamiento T3) provoco el aumento de su CA y el vermicompostaje (tratamiento T5) la disminuyo.

La mayor proporción de agua fácilmente disponible (AFD) fue observada en los tratamientos T1 y T2 con 21.8 y 17%, mayor a lo presentado por el tratamiento T7 (testigo, 15%). Los tratamientos que presentaron las menores cantidades fueron los tratamientos T5, T6, T4 y T3 con 15, 11, 9 y 7% (Figura 8).

La cantidad de AFD reportada en literatura para el peat moss es variable, encontrándose reportes que oscilan entre el 12 y 33% (Íñiguez *et al.*, 2006; Gruda y Schnitzler, 2004; Verdonck y Demeyer, 2004; Chavez *et al.*, 2008; Cotxarrera *et al.*, 2002), observándose que el tratamiento T7 (testigo) se ubicó en proporciones bajas (según lo reportado en literatura citada anteriormente).

La cantidad de AFD que retiene un sustrato, es la cantidad de agua que una planta puede absorber de forma tal, que no se observa una competencia con el sustrato por ésta. Pastor (1999) estableció un rango óptimo entre 20 y 30%, donde el tratamiento T1 fue el único tratamiento en ubicarse en éste rango.

El compostaje (tratamiento T3) y el vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza disminuyó la proporción de AFD en comparación al material inicial (tratamiento T1). El mezclar la cachaza con el estiércol y pasar la mezcla por procesos de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T5) fomentó la pérdida de la proporción de AFD en comparación al resto de los tratamientos en estudio.

El tratamiento T7 (testigo) registró un contenido de agua de reserva (AR) del 6%, los tratamientos T2 y T5 registraron las mayores cantidades de AR de los tratamientos en estudio, siendo éstas proporciones similares al testigo, al registrar 8 y 4% respectivamente. Los tratamientos T3, T6 y T1 registraron 3, 3 y 2%; y la menor proporción observada la tuvo el tratamiento T4 con 0.5%.

Teóricamente la cantidad de agua de reserva (AR) para el peat moss oscila entre 5 y 14% (Zamora *et al.*, 2005; Íñiguez *et al.*, 2006; Gruda y Schnitzler, 2004; Cotxarrera *et al.*, 2002), lo cual coincide con lo visto en el tratamiento T7 (testigo). Pastor (1999) considera un valor óptimo entre 4 y 10% de AR, estando los tratamientos T2, T5 y T7 (testigo) dentro de éste rango óptimo. El lavado de la cachaza (tratamiento T2) provocó el aumento de la proporción de AR.

La cantidad de agua totalmente disponible (ATD) en un sustrato es la suma de AFD con AR (De Boodt y Verdonck, 1974). El tratamiento T7 (testigo) registró 21% de ATD; los tratamientos T1, T2 y T5 tuvieron las mayores proporciones de ATD (siendo éstas similares al tratamiento T7 (testigo) al registrar 24, 24 y 19% respectivamente. Las

menores proporciones de ATD se registraron en los tratamientos T6, T3 y T4 con 14, 11 y 7%.

Gruda y Schnitzler (2004) reportaron un 50% de ATD para el peat moss, contrastando con el 21% encontrado. Se observó que el proceso de compostaje de la cachaza (tratamiento T3) disminuyó la cantidad de ATD, contrastando con el vermicompostaje de la cachaza (tratamiento T5), el cual mantuvo la proporción de ATD. El mezclar la cachaza con estiércol y poner la mezcla bajo un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6) promovió una menor retención de ATD en comparación al resto de los tratamientos en estudio (solo siendo semejante al compostaje de la cachaza, tratamiento T3) (Figura 8).

La cantidad de ATD es la cantidad de agua presente en un sustrato de la cual una planta puede disponer, por lo anterior los tratamientos T1, T2, T5 y T7 (testigo) al contener las mayores proporciones, tienen la capacidad de albergar y liberar agua suficiente para un buen desarrollo vegetal.

La cantidad de agua difícilmente disponible (ADD) que presentó el tratamiento T7 (testigo) fue del 25%; los tratamientos T4, T6, T2, T5 y T1 registraron proporciones significativamente mayores al tratamiento T7 (testigo) con 49, 42, 37, 36 y 33%. El tratamiento T3 fue el único tratamiento que presentó menor proporción de ADD en comparación al tratamiento testigo al registrar 20%.

Íñiguez *et al.* (2006), Gruda y Schnitzler (2004) y Cotxarrera *et al.* (2002) reportan en sus investigaciones cantidades de ADD en el peat moss que oscilan entre el 20 y 37%, por lo que el 25% registrado en el tratamiento T7 (testigo) se encuentra dentro de lo visto en la teoría. Se observó que el compostaje de la cachaza (tratamiento T3) fue el único proceso que afectó la proporción de ADD provocando su disminución. También se observó que al mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6) se promovió el aumento significativo de las proporciones de ADD en dichas mezclas.

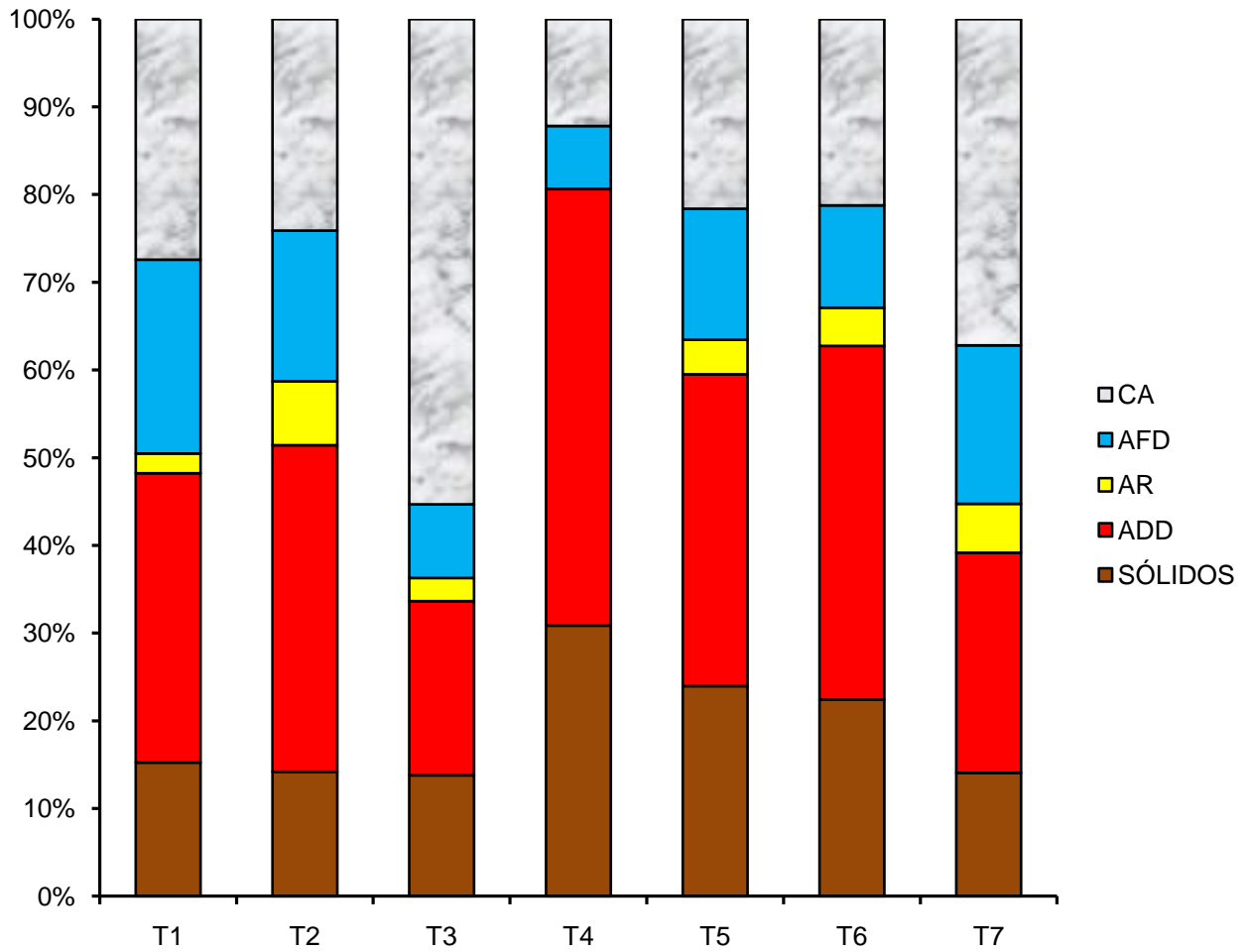


Figura 8. Caracterización de fases en tratamientos. ADD: Agua difícilmente disponible; AR: Agua de reserva; AFD: Agua fácilmente disponible; CA: Capacidad de aireación.

6.2.1.6 Curvas de retención de humedad.

Para la descripción de éste capítulo se analizará primero la curva de retención de humedad volumétrica del tratamiento T7 (testigo) (Figura 9). Éste presentó el mayor porcentaje de espacio poroso total (EPT) con el 86%; ya que porcentajes superiores del 85% son óptimos (De Boodt y Verdonck, 1974; Pastor, 1999), reafirma el por qué las turbas han sido los sustratos de mayor éxito en la producción agrícola.

El tratamiento T7 presentó una alta capacidad de aireación (CA) (40% registrado en el estudio); Pastor (1999) establece un rango óptimo entre el 10 y el 30% de CA, por lo tanto el tratamiento usado como testigo tuvo una CA significativamente alta, evidenciándose en la curva de retención de humedad con una caída del 37% (θ_v) entre el punto de saturación y los 10 cca (Figura 9).

El valor óptimo para el porcentaje de agua fácilmente disponible (AFD) en un sustrato ideal oscila entre 20 y 30% (θ_v) (Pastor, 1999), contrastando con lo registrado en el presente estudio (15%); se observó que éste tratamiento se encontró por debajo de lo óptimo recomendado, viéndose en la curva una caída del 18% (θ_v) entre los puntos de 10 y 50 cca. Se registró un contenido de agua de reserva (AR) del 6%, encontrándose en parámetros óptimos (Pastor, 1999), viéndose una caída del 6% (θ_v) en la curva entre los puntos de 50 y 100 cca (Figura 9). La cantidad de humedad difícilmente disponible (ADD) que se registró en el testigo fue del 25%.

Para el caso del tratamiento T1, su punto de saturación fue similar (85% θ_v) al tratamiento testigo; se observó una caída de su curva entre el punto de saturación y los 10 cca del 27% ubicándolo en niveles hídricos mayores al testigo, pero con una CA menor que éste (28%), clasificándolo dentro de los parámetros óptimos establecidos por De Boodt y Verdonck (1974) y Pastor (1999). Su capacidad de retención de AFD fue mayor (22%) al tratamiento T7 (testigo), observándose en la curva una caída del 22% entre los 10 y 50 cca, y comparándolo con lo establecido en literatura se encuentra dentro de parámetros óptimos. Con una caída en la curva del 2% (θ_v) entre los 50 y 100 cca, el tratamiento T1 presentó similitudes con el testigo en el contenido de AR, pero lo ubica por debajo de los parámetros establecidos por Pastor (1999); éste

tratamiento a base de cachaza tuvo un contenido de ADD mayor al tratamiento T7 (testigo) y significativamente mayor a los parámetros establecidos por De Boodt y Verdonck (1974).

El lavado de la cachaza para la obtención del tratamiento T2 no vario el contenido de humedad a saturación ($86\% \theta_v$), siendo esta proporción similar al tratamiento T1 y al testigo (tratamiento T7), pudiéndose observar en su curva de retención de humedad (Figura 9), por lo cual éste tratamiento se encontró en parámetros óptimos según Pastor (1999). La CA presentada por éste tratamiento fue del 24%, menor que la presentada por el testigo (tratamiento T7) y similar a la registrada por el tratamiento T1, encontrándose dentro de los parámetros óptimos establecidos por Pastor (1999), por lo que se puede apreciar en su curva de retención de humedad un descenso del 24% entre el punto de saturación y los 10 cca; en cambio presento una de las mayores proporciones de AFD (junto con el tratamiento T1), significativamente mayor al tratamiento T7 (testigo), lo que se puede observar en su curva al tener un descenso del 17% (θ_v) entre los 10 y 50 cca: aunque fue similar al tratamiento T1, T2 se encuentro por debajo de los parámetros óptimos para un sustrato, establecido por Pastor (1999). Su contenido de AR fue similar a la registrada por el testigo y mayor en comparación al tratamiento T1, por lo que se puede observar en su curva de retención de humedad un descenso del 53% (θ_g) entre los 50 y 100 cca, siendo este dato significativamente diferente al comportamiento del tratamiento T1, donde el descenso fue menor ($2\% \theta_v$); comparando lo anterior con lo establecido por Pastor (1999) se encuentra dentro de los parámetros óptimos. Su contenido de ADD fue similar al tratamiento T1 y mayor al testigo, pero se encontró fuera de lo óptimo para sustratos (De Boodt y Verdonck, 1974).

El compostaje es un proceso biológico aerobio en el que la materia orgánica sufre una degradación bioquímica hasta dar lugar a un producto final estable (Torres *et al.*, 2005; Torres *et al.*, 2007), por lo que al estabilizar los tratamientos mediante éste procedimiento se observo lo siguiente:

El tratamiento T3 tuvo su punto de saturación fue del $86\% (\theta_v)$, siendo éste valor similar al presentado por el tratamiento T7 (testigo), al igual que el EPT, encontrándose

en rangos óptimos (Pastor, 1999). Su curva de retención de humedad presento una caída importante del 55% (θ_v) entre el punto de saturación y los 10 cca, por lo que demostró la mayor CA de los tratamientos en estudio (Figura 9); aunque su EPT se encuentre en rango óptimo, no sucedió así con su CA que es significativamente mayor a lo establecido en teoría. El contenido de AFD fue similar al testigo observándose en la curva una caída del 8% entre los 10 y 50 cca (Figura 9). La proporción de AR (3%) fue menor en comparación al tratamiento testigo, observándose en la curva una caída del 3% entre los 50 y 100 cca. La cantidad de ADD fue inferior a la registrada por el tratamiento testigo.

El tratamiento T4 sufrió una degradación muy intensa y se observo claramente en el comportamiento de su curva de retención de humedad (Figura 9), mostrando la menor cantidad de humedad (69% θ_v) a saturación; la menor CA (13%) al registrar una caída en la curva del 12% entre el punto de saturación y los 10 cca; la menor cantidad AFD (7%) al registrar en la curva una caída del 7%; la menor cantidad de AR (0.5%) al mostrar una caída del 0.1% entre los 50 y 100 cca; y la mayor cantidad de ADD (49%) de los tratamientos estudiados. Tomando en cuenta los parámetros establecidos por Pastor (1999), el EPT, el AFD y el AR ésta por debajo de lo óptimo, su CA esta en el límite inferior óptimo; en cambio la cantidad de ADD es significativamente superior a los parámetros establecidos como óptimos.

Mediante el empleo de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*), se acelera la descomposición de la materia orgánica, modificando las propiedades físicas y químicas del material consumido, produciendo el compostaje, mediante el cual se oxida y estabiliza el sustrato (Moreno *et al.*, 2005), por lo anterior se observo que:

El tratamiento T5 tuvo un punto de saturación inferior al testigo (76% θ_v), así como la cantidad de EPT; su CA (21%) fue menor al testigo, observándose en la curva una caída entre el punto de saturación y los 10 cca del 22%. Su contenido de AFD (15%) fue similar a la presentada por el tratamiento testigo al tener una caída en la curva del 15% entre los 10 y 50 cca; el AR (4%) fue similar al testigo, donde el descenso de la curva entre los 50 y 100 cca fue del 4% (Figura 9). El contenido de ADD (36%) que presento el tratamiento T5 fue mayor en comparación al tratamiento T7 (testigo). Al

comparar los datos anteriormente mencionados con los parámetros establecidos por Pastor (1999) y De Boodt y Verdonck (1974) se tuvo que la CA y el AR fueron óptimos, el EPT y la AFD menores a lo establecido como parámetros óptimos; y el ADD fue significativamente mayor.

En el caso del tratamiento T6 su punto de saturación fue del 77% (θ_v), similar al tratamiento T5 pero menor al testigo (tratamiento T7). Con una CA del 21% se observó un descenso en su curva del 21% entre el punto de saturación y los 10 cca, similar al tratamiento T5 y menor a lo que presentó el testigo. El contenido de AFD (11%) fue similar al testigo, viéndose en su curva un descenso del 12% entre los 10 y 50 cca (Figura 9). Su contenido de AR (3%) fue similar al tratamiento T7 (testigo) viéndose en la curva un descenso entre los 50 y 100 cca del 4%. En cambio presentó una cantidad de ADD (42%) mayor en comparación al tratamiento T7. Pastor (1999) determinó los parámetros óptimos para sustratos empleados en la horticultura; el tratamiento T6 fue un tratamiento en el cual, el único parámetro dentro de lo óptimo fue la CA.

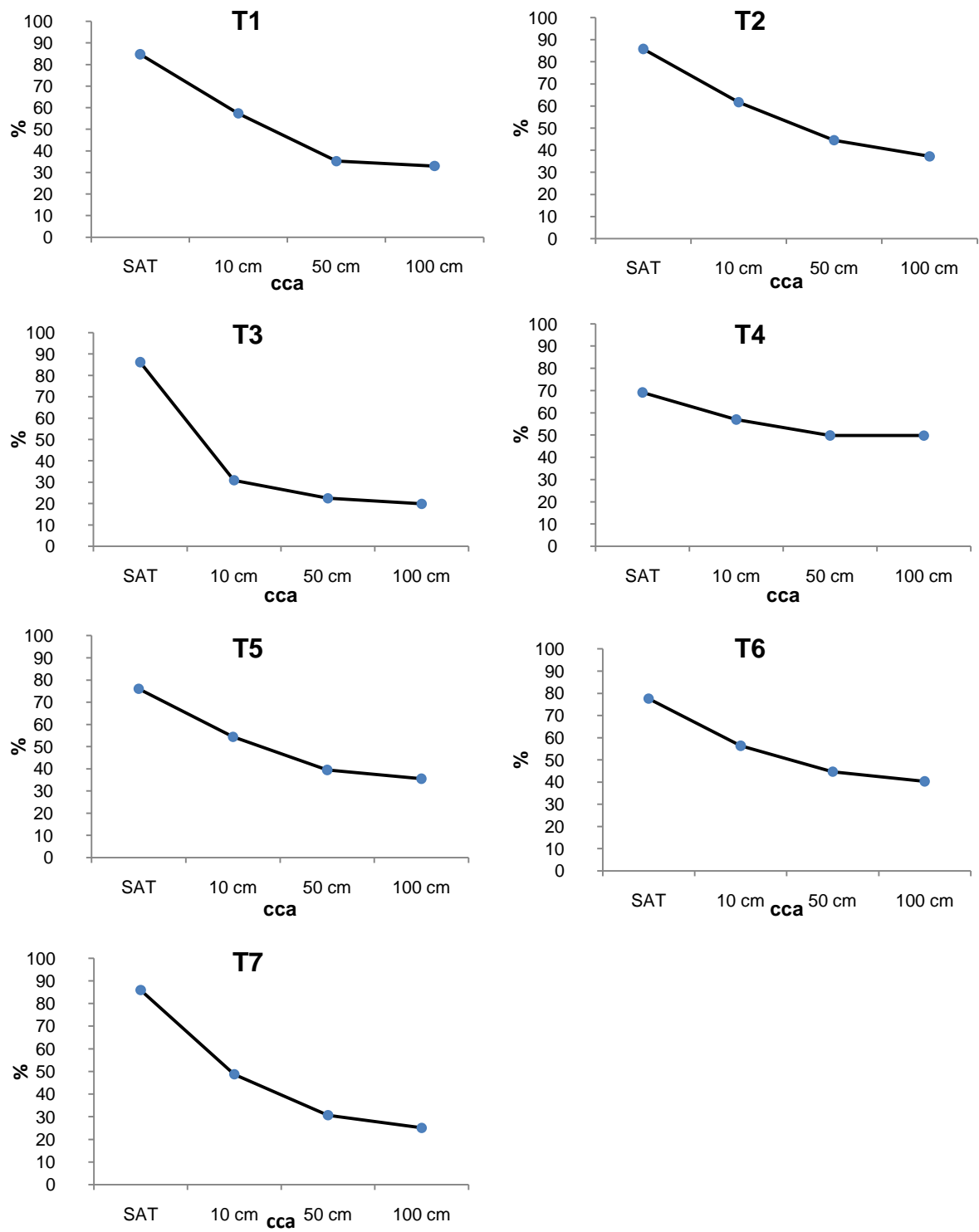


Figura 9. Curvas de retención de humedad volumétrica (θ_v) SAT= punto de saturación; cca= succión en centímetros de columna de agua.

6.2.2 Caracterización química de tratamientos

6.2.2.1 pH de tratamientos

Todos los tratamientos presentaron diferencia significativa (α 0.05) en pH (Cuadro 15); en general se pueden clasificar como ligeramente alcalinos a los tratamientos T1, T2 y T3, con valores de pH 7 a 8; alcalinos a los tratamientos T4, T5 y T6, los cuales se encontraron comprendidos entre pH 8.3 y 8.7; el tratamiento T7 (testigo) presentó un pH de 4.6 considerado como ácido (Cuadro 15).

En el caso del peat moss, Schmilewski (2008) reportó un rango de pH de 3.5 a 6.4, coincidiendo con otras investigaciones (Chavez *et al.*, 2008; Ostos *et al.*, 2008; Dede *et al.*, 2006; Quesada y Méndez, 2005a; Zamora *et al.*, 2005; y Sahin *et al.*, 2002). Por lo que la lectura del tratamiento T7 (testigo) se encontró dentro del rango establecido en teoría. Meunchang *et al.* (2005) reportaron un pH de 7.7 en cachaza, coincidiendo con registrado en el tratamiento T1. Las vermicompost presentaron pH alcalinos coincidiendo con Gutiérrez-Miceli *et al.* (2007) que registraron un pH de 8.6 en su investigación.

6.2.2.2 Conductividad eléctrica (CE) de tratamientos

Todos los tratamientos presentaron conductividades eléctricas diferentes con un nivel de significancia del 95%; el tratamiento T7 (testigo) registró una CE de 0.2 dS m⁻¹, siendo la menor de los tratamientos en estudio. Los tratamientos T1 y T2 registraron 3.8 y 2.4 dS m⁻¹; los tratamientos T3 y T4 (composts) registraron 6.4 y 18.2 dS m⁻¹; y los tratamientos T5 y T6 (vermicomposts) tuvieron 3.2 y 12.2 dS m⁻¹.

Según los datos presentados por Chavez *et al.* (2008), Ostos *et al.* (2008), Dede *et al.* (2006), Quesada y Méndez (2005a), Zamora *et al.* (2005) y Sahin *et al.* (2002), la CE presente en el peat moss es variable, desde niveles de 0.1 dS m⁻¹ hasta niveles de 0.3 dS m⁻¹; por lo que la CE encontrada en el testigo coincide con lo visto en teoría. Meunchang *et al.* (2005) reportaron en su investigación que la cachaza registró una CE de 0.8 dS m⁻¹, menor en comparación al registrado en el tratamiento T1.

El lavado (tratamiento T2) y el vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza disminuyó la CE en comparación al material inicial (tratamiento T1), por otro lado el compostaje de la cachaza (tratamiento T3) provocó su aumento (Cuadro 15). El mezclar estiércol a la cachaza provocó el aumento de la CE sin importar el proceso de estabilización (compostaje o vermicompostaje) que haya sufrido el material (tratamientos T4 y T6).

6.2.2.3 Materia orgánica (MO) de tratamientos

El tratamiento T7 (testigo) registró una proporción de materia orgánica (MO) del 67%, los tratamientos T1 y T2 registraron una proporción del 70 y 74% respectivamente, caracterizándose por ser los tratamientos con las mayores proporciones estadísticas (α 0.05) de los tratamientos en estudio. Los tratamientos T6, T4, T5 y T3 registraron una proporción de MO de 62, 61, 60 y 59% respectivamente, siendo éstos valores similares al registrado por el tratamiento T7 (testigo).

La proporción de MO registrada en el tratamiento T7 (testigo) coincide con lo reportado por Chavez *et al.* (2008). La literatura reporta diferentes contenidos de MO en cachaza, en rangos desde 30% hasta niveles tan altos como 70% (Rasul, 2007; Arreola-Enriquez *et al.*, 2004), donde la proporción de MO presente en el tratamiento T1 fue congruente con el conocimiento teórico. Se observó que los procesos de compostaje (tratamientos T3 y T4) y vermicompostaje (tratamientos T5 y T6) provocaron la disminución del contenido de MO sin importar el material fuente, obteniendo proporciones semejantes al tratamiento T7 (testigo, Cuadro 15).

6.2.2.4 Contenido de nitrógeno en los tratamientos

Los mayores contenidos estadísticos (α 0.05) de nitrógeno lo presentaron los tratamientos T1, T4 y T6 con 2.4, 2.2 y 2.3% respectivamente; el tratamiento T3 registró 2.1% y las menores proporciones se registraron en los tratamientos T2, T5 y T7 (testigo) con 1.8, 1.8 y 0.7 %.

En la literatura se reporta que el peat moss contiene contenidos de nitrógeno menores del 1.5% (Quesada y Méndez, 2005a; Dede *et al.*, 2006; Chavez *et al.*, 2008; Ostos *et*

al., 2008), por lo tanto el contenido de nitrógeno registrado en el tratamiento T7 (testigo) es congruente con el conocimiento teórico. En el caso de la cachaza la literatura reporta datos diversos, encontrando concentraciones hasta 3.2% de nitrógeno (Goyal *et al.*, 2005; Elsayed *et al.*, 2008; Venegas-González *et al.*, 2005; Sangwan *et al.*, 2008), por lo que la cachaza empleada en el estudio fue rica en nitrógeno y significativamente (α 0.05) mayor al tratamiento T7 (testigo).

El lavado (tratamiento T2) o vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza provocó la pérdida de nitrógeno en comparación a la proporción inicial (tratamiento T1). Meunchang *et al.* (2005) reportaron un incremento en la concentración de nitrógeno en cachaza debido a un proceso de compostaje, pasando de 18% a 19%, sin embargo en el presente estudio se evidencia una pérdida de nitrógeno del 13% bajo el mismo proceso (tratamiento T3). Se observó que al mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6), la proporción de nitrógeno registrada fue similar en comparación al visto en el tratamiento T1 (Cuadro 15).

6.2.2.5 Relación carbono:nitrógeno

El tratamiento T7 (testigo) registró la mayor relación C:N con 57, que comparado con otros reportes (Dede *et al.*, 2006; y Ostos *et al.*, 2008), la lectura fue mayor. Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 mostraron relaciones C:N similares entre sí, y significativamente (α 0.05) menores en comparación al tratamiento T7 (testigo), al registrar un rango de entre 15 a 24 (Cuadro 15).

6.2.2.6 Fósforo y magnesio en tratamientos

El tratamiento T7 (testigo) registró una concentración de fósforo de 2 ppm y 1.78 meq 100 g⁻¹ de magnesio, siendo éstos valores significativamente (α 0.05) menores en comparación al resto de los tratamientos en estudio (Cuadro 15), los cuales registraron concentraciones entre 418 y 627 ppm en fósforo y entre 19.6 y 29.9 meq 100 g⁻¹, siendo en todos los casos estadísticamente similares entre sí (Cuadro 15). Los niveles de fósforo y magnesio encontrados en el tratamiento T7 (testigo) fueron similares a los

reportados por Quesada y Méndez (2005a), Zamora *et al.* (2005) y Chavez *et al.* (2008).

Cuadro 15. Caracterización química de tratamientos.

| TRATAMIENTO | pH | CE | M.O. -----%----- | N | C:N | P (ppm) | K | Ca | Mg | Na | CIC -----meq 100g ⁻¹ ----- |
|-------------|-------|------------|---------------------|------------|--------|-------------|--------|---------|--------|--------|--|
| T1 | 7.69e | 3.76d | 70.01a b | 2.42a | 16.84b | 418.25 a | 0.015b | 55.89a | 20.11a | 0.002c | 21.28b |
| T2 | 7.76d | 2.36f | 73.60a | 1.78c | 24.15b | 579.85 a | 0.010b | 42.72bc | 25.63a | 0.004b | 28.32b |
| T3 | 7.57f | 6.44c | 59.33c | 2.11b | 16.46b | 627.38 a | 0.012b | 46.99ab | 29.90a | 0.002c | 46.24a |
| T4 | 8.54b | 18.24 a | 61.17c | 2.23 ab | 16.09b | 465.78 a | 0.084a | 34.53cd | 21.89a | 0.021a | 32.72a b |
| T5 | 8.38c | 3.22e | 59.81c | 1.79c | 19.57b | 475.29 a | 0.015b | 32.04d | 22.61a | 0.004b | 33.12a b |
| T6 | 8.67a | 12.23 b | 61.85c | 2.29 ab | 15.74b | 560.84 a | 0.081a | 49.48ab | 19.58a | 0.021a | 21.92b |
| T7 | 4.57g | 0.17g | 66.94c | 0.69c | 57.08a | 2.11b | 0c | 6.23e | 1.78b | 0.001c | 50.96a |

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). CE : Conductividad eléctrica en dS m⁻¹.

La cachaza contiene grandes cantidades de fósforo por el método de extracción de azúcar empleado en la industria (Arreola-Enriquez *et al.*, 2004), por lo anterior se explica las altas concentraciones vistas en los tratamientos elaborados en el presente estudio. La cachaza empleada para la elaboración de los tratamientos presento una concentración menor de magnesio que lo reportado en teoría (Elsayed *et al.*, 2008; Osoom *et al.*, 2009; Meunchang *et al.*, 2005; Arreola-Enriquez *et al.*, 2004).

6.2.2.7 Potasio en tratamientos

El tratamiento T7 (testigo) no registro presencia de potasio en el análisis, lo que ubica a éste tratamiento como el menor de los tratamientos en estudio. Los tratamientos T4 y T6 registraron las mayores concentraciones al registrar 0.08 meq 100 g⁻¹; los tratamientos T1, T2, T3 y T5 registraron concentraciones de potasio de 0.02, 0.01, 0.01 y 0.02 meq 100 g⁻¹ y no fueron significativamente (α 0.05) diferentes entre sí (Cuadro 15).

Son pocos los trabajos que registran un contenido mínimo de potasio en la turba como en el caso de Quesada y Méndez (2005a) quienes reportaron 5.3 ppm, que comparándolo con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo), se consideró posible la

ausencia del elemento en la turba. En los tratamientos elaborados se observó que la adición de estiércol a la cachaza y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6) incrementó significativamente los niveles de potasio en relación al resto de los tratamientos en estudio.

6.2.2.8 Calcio en tratamientos

Los tratamientos que presentaron las mayores concentraciones estadísticas (α 0.05) de calcio fueron los tratamientos T1, T3 y T6 con 55.4, 47 y 49 meq 100g^{-1} respectivamente; los tratamientos T2, T4 y T5 registraron un contenido de Ca de 42.7, 35 y 32 meq 100g^{-1} ; el tratamiento T7 (testigo) presentó la menor concentración con solo 6.2 meq 100g^{-1} .

Zamora *et al.* (2005) y Quesada y Méndez (2005a) reportaron niveles inferiores de 0.2 meq 100g^{-1} de calcio en peat moss, 6 meq 100g^{-1} menor en comparación con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo).

Según la literatura se considera a la cachaza rica en el contenido de calcio (Meunchang *et al.*, 2005; Arreola-Enriquez *et al.*, 2004), confirmándose en el tratamiento T1. Se observó que el lavado (tratamiento T2) y el vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza provocó la disminución de las proporciones de Ca; también se observó, que al realizar una mezcla de cachaza con estiércol y pasar la mezcla a través de un proceso de compostaje (tratamiento T4) provocó la disminución de las concentraciones de Ca, no ocurriendo el mismo fenómeno al sufrir la mezcla un proceso de vermicompostaje (tratamiento T6).

6.2.2.9 Sodio en tratamientos

El tratamiento T7 (testigo) registró la menor concentración estadística (α 0.05) de sodio con 0.001 meq 100g^{-1} . Los tratamientos T1 y T3 registraron 0.002 meq 100g^{-1} cada uno, siendo ésta concentración similar a la registrada por el tratamiento T7 (testigo). Los tratamientos T2 y T5 registraron un contenido de sodio de 0.004 meq 100g^{-1} cada uno. Las mayores concentraciones de sodio se observaron en los tratamientos T4 y T6 con 0.021 meq 100g^{-1} cada uno.

Quesada y Méndez (2005a) encontraron 1 ppm de sodio en el peat moss, asemejándose a lo registrado en el tratamiento T7 (testigo); por otra parte, Elsayed *et al.* (2008) reportaron 1 ppm en cachaza, viéndose semejanza con el tratamiento T1. Se observó que el lavado (tratamiento T2) y el vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza provocó el aumento de las concentraciones de sodio en comparación al material inicial (tratamiento T1, Cuadro 15). También se observó que al mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6) las concentraciones de sodio aumentaron significativamente ($\alpha 0.05$).

6.2.2.10 Capacidad de intercambio catiónico (CIC) en tratamientos

Los tratamientos que presentaron las mayores capacidades de intercambio catiónico fueron los tratamientos T3, T4, T5 y el T7 (testigo) con 46.2, 32.7, 33.1 y 51 meq 100g⁻¹ respectivamente; los tratamientos T1, T2 y T6 registraron las menores capacidades con 21.3, 28.3 y 22 meq 100 g⁻¹.

Olivo y Buduba (2006) reportaron una CIC de 48.9 meq 100g⁻¹ para el peat moss, siendo similar a lo registrado en el tratamiento T7 (testigo). Por otra parte, Villanueva *et al.* (1998) reportaron una capacidad de intercambio catiónico en la cachaza de 36.2 meq 100 g⁻¹, 15 meq 100g⁻¹ más que lo registrado en el tratamiento T1. Se observó que el compostaje (tratamiento T3) y el vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza provocó el aumento de la CIC; también se observó que, al mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6) se fomentó el aumento de la CIC (Cuadro 15).

6.3 Etapa III: Producción de almácigos, estabilidad de tratamientos y plántulas en producción

6.3.1 Temperatura ambiental

Durante el periodo de germinación del material vegetal que comprendió los primeros 16 días, la temperatura mínima que se presentó fue de 12 °C y la máxima de 42 °C; en general las temperaturas medias oscilaron entre los 24° y los 28°C. Thompson (1974) estableció un rango térmico óptimo para la germinación del tomate entre los 26° y los 32 °C, la mínima de 8 y la máxima de 38 °C. Por lo anterior, en el proceso de germinación de las semillas de tomate, las temperaturas que se presentaron no fueron un factor determinante que pudiera alterar el proceso germinativo, al mantenerse en una estabilidad térmica dentro de los rangos óptimos según la teoría (Figura 10). Durante el crecimiento vegetativo de las plántulas (últimos 16 días) se observó que la temperatura media ambiental se mantuvo entre los 21° y los 24°C, que a diferencia de la etapa de germinación, fueron temperaturas más frescas.



Figura 10. Temperaturas ambientales durante la germinación y desarrollo plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo condiciones de invernadero.

6.3.2 Contenido de ácidos húmicos y fúlvicos en tratamientos

6.3.2.1 Ácidos húmicos

El tratamiento T7 (testigo) presentó un contenido de ácidos húmicos durante la siembra del 1% con una relación E4/E6 de 5.52; al final de la etapa de semillero (trasplante) el contenido de ácidos húmicos disminuyó (0.8%), así como su relación E4/E6 (5.47). Kalmykova *et al.* (2008) reportaron un contenido de ácidos húmicos en el peat moss del 78% contrastando con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo). Por otro lado, Gao *et al.* (1999) y Blanco y Almendros (1995) reportaron una relación E4/E6 para el peat moss entre 5.4 y 5.7, siendo estos datos similares a lo registrado en el tratamiento T7 (testigo) (Cuadro 16).

Al momento de la siembra los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 registraron una proporción de ácidos húmicos de 2, 1.9, 1.1, 2, 0.8, y 1.5% respectivamente, siendo en todos los casos estadísticamente similares al tratamiento T7 (testigo) con una significancia del 95%; pero en su relación E4/E6 los tratamientos T3, T4, T5, T6 y T7 (testigo) registraron los mayores valores con 5.1, 6.4, 5.1, 6.1 y 5.5 respectivamente; las menores relaciones las registraron los tratamientos T1 y T2 con 4.4 y 4.2.

Al trasplante los tratamientos T1, T2, T3 y T6 presentaron las mayores proporciones de ácidos húmicos con 1.4, 2.1, 1.4 y 1.4% respectivamente; las menores proporciones se registraron en los tratamientos T4, T5 y T7 (testigo) con 1.2, 1 y 0.8%. Las relaciones E4/E6 que se registraron en los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 fueron de 5, 5.4, 5.6, 6.1, 5.1, 6.1 y 5.5 respectivamente, siendo en todos los casos estadísticamente similares con una significancia del 95% (Cuadro 16).

Venegas-González *et al.* (2005) reportaron en su estudio donde aprovecharon la cachaza como enmienda edáfica una proporción de ácidos húmicos del 2% con una relación E4/E6 de 4.3, coincidiendo con lo registrado en el tratamiento T1. En la literatura se reportan cantidades variables de ácidos húmicos en compost de cachaza observándose un rango entre 0.004% hasta 14.7% (Goyal *et al.*, 2005; Satisha y Davarajan, 2005); por lo anterior, el tratamiento T3 tuvo proporciones bajas de ácidos húmicos.

Al final del proceso de producción de plántulas, la proporción de ácidos húmicos entre los tratamientos varió, observándose que la compost de la mezcla de cachaza con estiércol (tratamiento T4) y la vermicompost de cachaza (tratamiento T5) perdieron cantidades significativas (α 0.05) de ácidos húmicos. Ya que la relación E4/E6 es la relación de las densidades ópticas entre compuestos alifático y aromáticos de las sustancias húmicas (Venegas-González *et al.*, 2005), se observó que la cachaza (tratamiento T1) y la cachaza lavada (tratamiento T2) presentaron un contenido significativamente mayor (α 0.05) de compuestos aromáticos al momento de la siembra.

Cuadro 16. Contenido y relación E4/E6 de ácidos húmicos en tratamientos, durante la siembra y momento de trasplante de las plántulas.

| Tratamiento | % Ácidos Húmicos | | (E4/E6) Ácidos Húmicos | |
|-------------|------------------|-------------|------------------------|-------------|
| | Siembra | Transplante | Siembra | Transplante |
| T1 | 2.0a | 1.4ab | 4.35bc | 4.95a |
| T2 | 1.9a | 2.1a | 4.15c | 5.39a |
| T3 | 1.1a | 1.4ab | 5.08abc | 5.59a |
| T4 | 2.0a | 1.2b | 6.36a | 6.06a |
| T5 | 0.8a | 1.0b | 5.14abc | 5.05a |
| T6 | 1.5a | 1.4ab | 6.18a | 6.12a |
| T7 | 1.0a | 0.8b | 5.52ab | 5.47a |

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.3.2.2 Ácidos fúlvicos

En la determinación del contenido de ácidos fúlvicos y su relación E4/E6, el tratamiento T7 (testigo) registró en la siembra una concentración de ácidos fúlvicos del 0.06% con una relación E4/E6 de 7.8, aumentando a 0.09% con una relación E4/E6 de 12 al final de la producción de almácigos (transplante). Según Kalmykova *et al.* (2008) el peat moss tiene una concentración de ácidos húmicos del 22%, lo cual contrasta con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo).

En la siembra, las mayores concentraciones de ácidos fúlvicos se registraron en los tratamientos T1, T2, T3 y T5 con 0.5, 0.4, 0.4 y 0.4% respectivamente; los tratamientos T4, T6 y T7 (testigo) presentaron las menores proporciones con 0.03, 0.02 y 0.06 %, en

cambio en Las relaciones E4/E6 que registraron los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 (testigo) en la siembra fueron de 7.8, 7.8, 10.2, 10.8, 9.3, 11 y 7.8 respectivamente; siendo los tratamientos estadísticamente similares entre sí con un nivel de significancia del 95% (Cuadro 17).

Al término de la etapa de producción de almácigos (trasplante), las proporciones de ácidos fúlvicos que se registraron fueron de 0.3, 0.1, 0.3, 0.2, 0.3, 0.3 y 0.1 para los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 (testigo) respectivamente; con relaciones E4/E6 de 9.2, 9.3, 13.5, 9.8, 10, 8.8 y 12. En todos los tratamientos no se observó diferencia significativa (α 0.05) tanto en la proporción de ácidos fúlvicos, como en el contenido de compuestos alifáticos.

Goyal *et al.* (2005) y Satisha y Davarajan (2005) en trabajos donde emplearon compost de cachaza reportaron concentraciones de ácidos fúlvicos entre 0.002% hasta 14.8%, por lo anterior, la lectura obtenida del tratamiento T3 fue baja según el rango visto en teoría. Solamente durante la siembra de almácigos se observó diferencia significativa (α 0.05) entre tratamientos, viéndose las menores proporciones en la compost (tratamiento T4) y la vermicompost (tratamiento T6) de la mezcla de cachaza más estiércol, además del tratamiento testigo.

Cuadro 17. Contenido y relación E4/E6 de ácidos fúlvicos en tratamientos, durante la siembra y momento de trasplante de las plántulas.

| Tratamiento | % Ácidos Fúlvicos | | (E4/E6) Ácidos Fúlvicos | |
|-------------|-------------------|-------------|-------------------------|-------------|
| | Siembra | Transplante | Siembra | Transplante |
| T1 | 0.5ab | 0.3a | 7.75a | 9.17a |
| T2 | 0.4a | 0.09a | 7.75a | 9.25a |
| T3 | 0.4ab | 0.3a | 10.17a | 13.5a |
| T4 | 0.03b | 0.2a | 10.75a | 9.75a |
| T5 | 0.4ab | 0.3a | 9.25a | 10.0a |
| T6 | 0.02b | 0.03a | 11.0a | 8.75a |
| T7 | 0.06b | 0.09a | 7.75a | 12.0a |

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.3.3 pH del agua del drenaje de riego de tratamientos

El agua empleada en el riego de los diferentes tratamientos durante la etapa de elaboración de semilleros presento un valor de pH de 8.3 (moderadamente alcalino).

El agua drenada proveniente del tratamiento T7 (testigo) registro durante toda la etapa de producción de semilleros un pH ácido, oscilando de 4 a 4.7 (Cuadro 18); por lo anterior se observo el efecto del tratamiento en la acidificación del medio acuoso, coincidiendo con lo reportado por Schmilewski (2008), siendo el único tratamiento que presento pH ácido.

En el primer muestreo los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 (testigo) registraron un pH de 7.7, 7.8, 7.6, 8.5, 8.4, 8.7 y 4.6 respectivamente, siendo todos los tratamientos significativamente (α 0.05) diferentes entre sí; observándose que los tratamientos a base de cachaza (tratamientos T1, T2 y T3) acidificaron el medio acuoso mostrándose en el drenaje comparado con el agua con que fueron regados (Cuadro 18), también se observo que los tratamientos provenientes del vermicompostaje (tratamientos T5 y T6) y del compostaje de la mezcla de cachaza más estiércol (tratamiento T4) fomentaron la alcalinización del medio acuoso.

En el segundo muestreo los mayores pH se registraron en los tratamientos T4 y T6 con 8.4 unidades cada uno; el tratamiento T5 con 7.9, los tratamientos T1 y T2 con 7.6 y 7.5; y los menores registros se encontraron en los tratamientos T3 y T7 con 6.7 y 4. Se observo que los tratamientos provenientes de una mezcla de cachaza más estiércol (tratamientos T4 y T6), no variaron el pH del medio acuoso (al comparar el riego con el drenaje colectado); el resto de los tratamientos estudiados acidificaron el medio acuoso de forma significativa (α 0.05, Cuadro 18).

En el tercer muestreo los mayores valores de pH se registraron en los tratamientos T1, T2, T4, T5 y T6 con 8.4, 8.6, 9.1, 8.9 y 9.3 respectivamente; los menores valores se registraron en los tratamientos T3 y T7 (testigo) con 7.6 y 4.1. Se observo que a la tercera semana de producción de almácigos el tratamiento donde se lavo la cachaza (tratamiento T2) fomento la alcalinización del drenaje, viéndose el mismo fenómeno en los tratamientos provenientes de vermicompostaje (T5 y T6) y del compostaje de la

mezcla de cachaza más estiércol (T4). En cambio la compost de la cachaza (tratamiento T3) fomento la acidificación del medio acuoso.

Al cuarto muestreo del percolado de los diferentes tratamientos en estudio se registro un pH de 8.6, 8.7, 7.8, 9.1, 8.8, 8 y 4.7 (tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 respectivamente). No se observo un efecto significativo de los tratamientos elaborados en el pH del medio acuoso. El tratamiento T7 (testigo) fue el único tratamiento que afecto el pH del drenaje al acidificar el medio (Cuadro 18).

Cuadro 18. pH del drenaje del riego en tratamientos durante la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.).

| Tratamiento | Muestreo | | | |
|---------------|----------|-------|--------|------|
| | 1° | 2° | 3° | 4° |
| T1 | 7.7f | 7.6c | 8.4bc | 8.6a |
| T2 | 7.8e | 7.5c | 8.6abc | 8.7a |
| T3 | 7.6g | 6.7d | 7.6d | 7.8a |
| T4 | 8.5b | 8.4a | 9.1ab | 9.1a |
| T5 | 8.4c | 7.9bc | 8.9abc | 8.8a |
| T6 | 8.7a | 8.4ab | 9.3a | 8.0a |
| T7 | 4.6h | 4.0e | 4.1e | 4.7b |
| Agua de Riego | 8.3d | 8.3ab | 8.3c | 8.3a |

6.3.4 Conductividad eléctrica (CE) del drenaje de riego de tratamientos

Para la producción de plántulas en los tratamientos en estudio se empleo agua de riego con una conductividad eléctrica de 0.4 dS m^{-1} durante la etapa de germinación, variando ligeramente (0.01 dS m^{-1}) una vez que se agregaron las sales para generar la solución nutritiva (Cuadro 19).

En la colecta del drenaje, el tratamiento T7 (testigo) presento una CE eléctrica de 0.31 dS m^{-1} , durante los primeros 14 días del establecimiento de los semilleros, a partir del día 15 y hasta finalizar la etapa de semilleros se rego con solución nutritiva, alcanzando valores en el drenaje de riego de 0.5 dS m^{-1} en los últimos 7 días, aumentando en 0.2 unidades, coincidiendo con lo reportado por Quesada y Méndez (2005a), Ostos *et al.*

(2008) y Chavez *et al.* (2008); fue el único tratamiento que no registro perdida de sales en el percolado ó ganancia de sales por el riego.

En los dos primero muestreos se registraron las mayores CE del percolado en los tratamientos T1, T3, T4, T5 y T6 (0.6, 0.62, 0.76, 0.61 y 0.78 dS m⁻¹ respectivamente); las menores CE significativas (α 0.05) se registraron en los tratamientos T2 y T7 (testigo) con 0.39 y 0.31 dS m⁻¹. Ya que la conductividad eléctrica es un estimador de la concentración total de sales (Carrasco *et al.* 2007), se observo que el tratamiento a base de cachaza (tratamientos T1), las compost (tratamientos T3 y T4) y las vermicompost (tratamientos T5, T6) liberaron sales de forma significativa (α 0.05) en relación a las sales que se les aportaba en el riego.

Al tercer muestreo las mayores CE registradas en el percolado de los semilleros se registraron en los tratamientos T4, T5 y T6 con 7.51, 1.29 y 2.82 dS m⁻¹; las menores CE se registraron en los tratamientos T1, T2, T3 y T7 (testigo) con 0.89, 0.7, 0.88 y 0.43 dS m⁻¹ respectivamente. Se observo que las vermicompost (tratamientos T5 y T6) y la compost de la mezcla de cachaza con estiércol, liberaron sales de forma significativa, viéndose reflejado en la alta CE vista en el percolado en comparación a la cantidad de sales agregadas en el riego. Los tratamientos a base de cachaza (tratamientos T1 y T2), la compost de cachaza (tratamiento T3) y el tratamiento T7 (testigo) no mostraron algún efecto sobre la CE del medio acuoso.

En el cuarto muestreo los tratamientos T1, T3, T4, T5 y T6 registraron las mayores conductividades eléctricas en el drenaje con 0.83, 0.83, 5.9, 1.07 y 1.93 dS m⁻¹. Los tratamientos T2 y T7 (testigo) registraron 0.72 y 0.54 dS m⁻¹ y fueron significativamente menores (α 0.05) en comparación al resto de los tratamientos en estudio. Se observo que el tratamiento a base de cachaza lavada (T2) y el testigo no adsorbieron ó liberaron sales, caso contrario con el resto de los tratamientos en estudio, los cuales liberaron sales de forma significativa.

Cuadro 19. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹) del drenaje de riego en tratamientos durante la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.).

| Tratamiento | Muestreo | | | |
|---------------|----------|--------|--------|--------|
| | 1° | 2° | 3° | 4° |
| T1 | 0.60ab | 0.60ab | 0.89dc | 0.83bc |
| T2 | 0.39bc | 0.39bc | 0.70dc | 0.72c |
| T3 | 0.62ab | 0.62ab | 0.88dc | 0.83bc |
| T4 | 0.76a | 0.76a | 7.51a | 5.90a |
| T5 | 0.61ab | 0.61ab | 1.29c | 1.07bc |
| T6 | 0.78a | 0.78a | 2.82b | 1.93b |
| T7 | 0.31c | 0.31c | 0.43d | 0.54c |
| Agua de riego | 0.42 bc | 0.42bc | 0.43d | 0.43c |

6.3.5 Germinación

Se considero un periodo de 16 días para evaluar la germinación de tomate en los diferentes tratamientos en estudio. Las germinaciones que se registraron fueron 82, 71, 84, 68, 71, 61 y 93% en los tratamientos T1, T2, T3, T4 , T5, T6 y T7 (testigo) respectivamente. No se observó diferencias estadísticas significativas (α 0.05) entre tratamientos, esto fue a que éstos tuvieron las condiciones adecuadas para la germinación y la emergencia además del que el material vegetal en estado latente fue viable, por lo que los diversos tratamientos tuvieron suficiente agua para fomentar la imbibición de éstas y su posterior emergencia (Cuadro 20).

Cuando se usa peat moss como sustrato se reporta en la literatura rangos de germinación y emergencia del tomate entre el 66 y el 98% (Santana *et al.*, 2006; Fernández-Bravo *et al.*, 2006; Quesada y Méndez, 2005b), comparando lo anterior con lo registrado, la germinación y emergencia observada en el testigo se ubico en la parte alta del rango de germinación visto en teoría.

Santana *et al.* (2006) germinaron semillas de tomate en un sustrato a base de vermicompost, con un total 83% de emergencias, éste parámetro fue ligeramente mayor en comparación a lo registrado por el tratamiento T5 (70.5%), pero significativamente mayor a lo registrado en el tratamiento T6 (61%).

La mayor curva de germinación acumulada que se registro correspondió al tratamiento T7 (testigo), seguida de los tratamientos T1, T3 y T2; las menores curvas registradas la presentaron los tratamientos T5, T4 y T6 (Figura 11).

En el tratamiento T7 (testigo) se pudo observar que la curva acumulada de germinación se desarrollo en 16 días (Figura 11), teniendo las mayores emergencias en los días 10° y 14° con 18 y 15% respectivamente (Figuras 12), emergiendo en promedio 8.1% plántulas por día. Fernández-Bravo *et al.* (2006) reportaron una curva acumulada de germinación y emergencia de 8 días, donde la mayor emergencia de plántulas se registro al sexto día, tomando solo la mitad de tiempo en comparación con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo), también registraron que en el porcentaje diario de germinación de tomate en peat moss, el pico de germinación (70% de las semillas germinadas) se presentó al cuarto día; a diferencia del tratamiento T7 (testigo) que presento dos picos de germinación.

En la curva de germinación diaria del tratamiento T1 se observaron dos picos de emergencia, presentándose al 9° y 14° día (Figura 12) con 18 y 12% respectivamente, similar al tratamiento T7 (testigo), afectando la germinación promedio diaria (7% de plántulas por día).

Las curvas de germinación acumulada registradas en los tratamientos T2 y T3 fueron similares entre sí (Figura 11), pero menores en relación al tratamiento T7 (testigo). Los tratamientos T2 y T3 tuvieron sus picos de germinación diario en los días 8° y 9° (tratamiento T3 y T2 respectivamente) con 20 y 18% (Figura 12). Los tratamientos T2 y T3 tuvieron una germinación promedio diaria de 6 y 7%, menor a lo presentado por el testigo.

Los tratamientos T4 y T5 mostraron el mayor pico de germinación diaria al octavo día con 11 y 9 %; el tratamiento T6 registro la mayor germinación diaria al noveno día con 11% (Figura 12). Por otra parte, el promedio de germinación diario de estos tratamientos fue de 6, 6 y 5% de plántulas diarias para los tratamientos T4, T5 y T6 respectivamente.

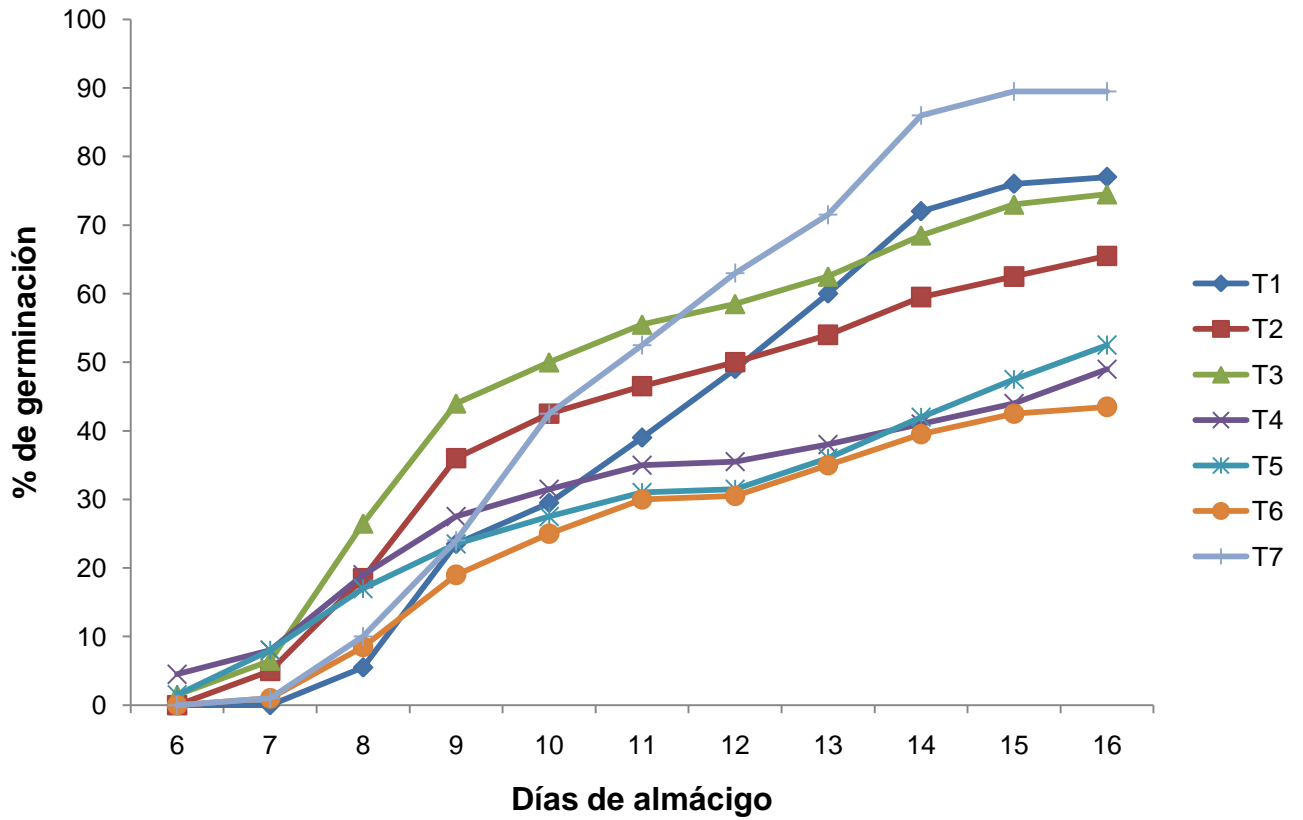


Figura 11. Porcentaje de germinación acumulado de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en tratamientos.

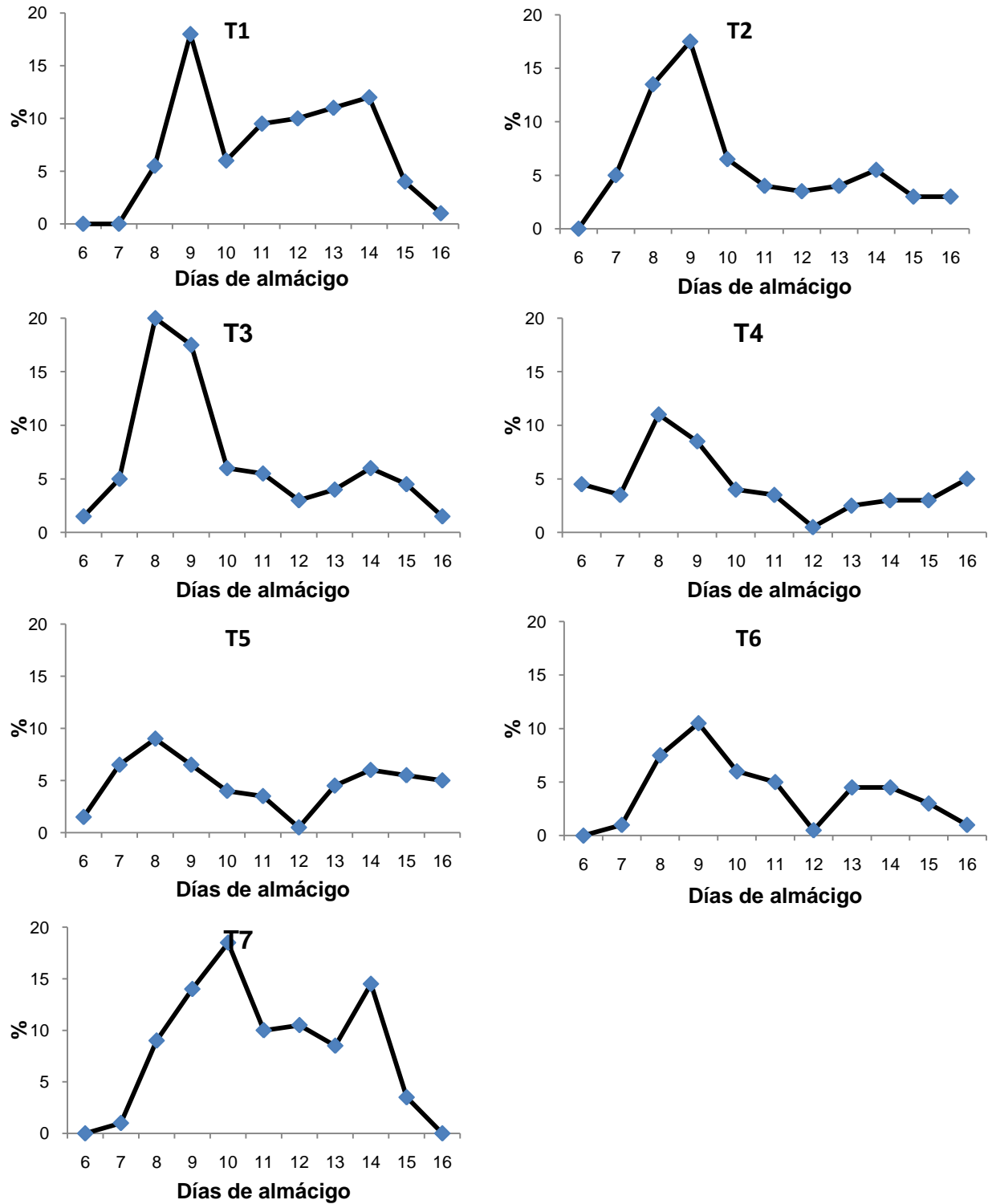


Figura 12. Porcentaje de germinación diario de semillas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) en tratamientos.

6.3.6 Calidad de plántula

Al término de la producción de plántulas en semilleros se evidencio grandes diferencias entre los tratamientos en estudio (Cuadro 20), mismas que a continuación se describen:

6.3.6.1 Altura de planta

Las plántulas más altas se registraron en los tratamientos T1, T3 y T4 con un promedio de 5.8, 5 y 4.5 cm respectivamente; los tratamientos T6 y T7 (testigo) registraron plántulas con 4.4 y 4.1 cm de altura. Las menores alturas estadísticas (α 0.05) se registraron en los tratamientos T2 y T5 con un promedio de 2.8 y 2.7 cm.

Santana *et al.* (2006), Fernández-Bravo *et al.* (2006) y Quesada y Méndez (2005b) en estudios de producción de plántulas de tomate en semilleros reportaron en promedio que la altura del material vegetal en peat moss fue superior a los 4 cm, coincidiendo con el tratamiento T7 (testigo), el cual presento plántulas con una altura promedio de 4.14 cm.

Santana *et al.* (2006) reportaron en promedio 6.5 cm de altura en plántulas desarrolladas en vermicompost, difiriendo significativamente con lo reportado en los tratamientos T5 y T6 (2.7 y 4.4 cm respectivamente); observándose la principal diferencia en el material fuente con que fue elaborado la vermicompost.

Se observo que el tratamiento a base de cachaza (T1) fomento el desarrollo de las plántulas más altas de los tratamientos en estudio. En cambio en el tratamiento T2 el crecimiento de las plántulas fue significativamente menor, observándose que el lavado realizado para su elaboración disminuyo significativamente el contenido de nitrógeno (1.8%) y calcio (43 meq 100g⁻¹) disponible, reflejándose en menor CE en el drenaje durante la fase de almácigos y por tanto menor disponibilidad de sales disponibles, lo que se reflejo en la altura final del material vegetal.

La compost (tratamiento T3) y la vermicompost (tratamiento T5) de cachaza registraron plántulas significativamente menores en comparación al tratamiento a base de cachaza (T1); se observo que éstos procesos provocaron la disminución de nitrógeno, calcio y la

cantidad de agua totalmente disponible, lo que repercutió en el desarrollo de la altura de las plántulas que crecieron en éstos tratamientos.

Las plántulas que se desarrollaron en los tratamientos provenientes del compost (tratamiento T4) y vermicompost (tratamiento T6) de la mezcla de cachaza con estiércol fueron significativamente menores en relación con el tratamiento a base de cachaza (T1), viéndose afectadas por la menor disposición de agua fácilmente disponible, la alta CE y las menores cantidades de calcio presentes.

6.3.6.2 Diámetro de tallo

Se registraron diámetros de tallo de 4.5, 1.5, 1.7, 1.5, 1.2, 1.6 y 1.2 mm en los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6 y T7 (testigo) respectivamente, encontrándose diferencias significativas (α 0.05) entre tratamientos.

En la literatura se ha reportado un diámetro de tallo que oscila entre 1.3 y 3.3 mm al término del proceso de producción de semilleros de plántulas de tomate; caracterizándose los semilleros donde el sustrato utilizado fue el peat moss, un crecimiento oscilante entre 1.3 y 2.1 mm (Santana *et al.*, 2006; Fernández-Bravo *et al.*, 2006; Quesada y Méndez, 2005b; Herrera *et al.*, 2008; Shibuya *et al.*, 2006). Por lo anterior, el diámetro de tallo observado en el tratamiento T7 (testigo) fue ligeramente menor a lo visto en teoría.

El tratamiento en el cual se desarrollaron las plántulas con el mayor diámetro de tallo fue el tratamiento T1, donde el diámetro de tallo fue mayor en comparación a lo visto en teoría (3.3 mm, Quesada y Méndez, 2005b; Santana *et al.*, 2006; Fernández-Bravo *et al.*, 2006; Herrera *et al.*, 2008; Shibuya *et al.*, 2006). Santana *et al.* (2006) reportaron un diámetro de 2.1 mm en plántulas de tomate al utilizar vermicompost, lo cual difiere significativamente al crecimiento del tallo visto en los tratamientos T5 y T6 donde los grosores fueron de 1.2 y 1.6 mm respectivamente.

Las plántulas que crecieron en el tratamiento a base de cachaza (T1) desarrollaron un diámetro de tallo significativamente mayor al resto de los tratamientos fomentado por la cantidad de agua fácilmente disponible (22%), los altos contenidos de N (2%) y Ca

(56%) presentes en el tratamiento. El resto de los tratamientos fueron similares entre sí y significativamente menores al desarrollo del tallo de las plántulas del tratamiento T1 (Cuadro 20).

6.3.6.3 Número de hojas

La mayor cantidad de hojas se registró en el tratamiento T1 con 7 hojas; los tratamientos T4, T6 y T7 (testigo) registraron en promedio plántulas con 5 hojas; los tratamientos T2, T3 y T5 registraron los menores promedios estadísticos (α 0.05) de hojas con 3, 4 y 4 hojas respectivamente.

En un periodo de producción de semilleros de tomate (de 28 a 35 días), se ha registrado que la cantidad de hojas verdaderas que se han desarrollado oscilan entre 2 y 6 (Fernández-Bravo *et al.*, 2006; Herrera *et al.*, 2008; Piñon y Casanova, 2002; Said, 2008), que comparando con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo) donde el promedio fue de 5 hojas, mostró que las plántulas que crecieron en éste tratamiento estuvieron dentro de los parámetros normales de desarrollo vegetal.

El tratamiento a base de cachaza T1 al tener mayor cantidad de agua fácilmente disponible (22%), altas concentraciones de N (2.4%) y Ca (56 meq 100g⁻¹) y presentar pH ligeramente alcalino (8) y una CE menor de 0.9 meq 100g⁻¹, fomentó el desarrollo foliar significativo. El realizar el lavado (tratamiento T2) o el compostaje (tratamiento T3) o vermicompostaje (tratamiento T4) a la cachaza, fomentó la pérdida de agua fácilmente disponible, nitrógeno y calcio, lo que repercutió en el desarrollo foliar observándose una disminución significativa del número de hojas en comparación al tratamiento T1 y aun menor en comparación al tratamiento T7 (testigo, Cuadro 20).

El mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6), aumentó el contenido de nitrógeno, el cual al absorberse por las plántulas fomentó el desarrollo foliar a niveles mayores en comparación al testigo, pero significativamente menores en comparación con el tratamiento a base de cachaza (tratamiento T1).

6.3.6.4 Área foliar

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) registraron en promedio un área foliar de 2.7 cm². En el tratamiento T1 se desarrollaron las plántulas con el mayor promedio estadístico (α 0.05) de área foliar, registrando 10.6 cm². Los tratamientos T4 y T6 también tuvieron plántulas que registraron mayor área foliar (3.8 y 5 cm² respectivamente) en comparación al tratamiento T7 (testigo), pero menores a las vistas en el tratamiento T1. El tratamiento T3 registro plántulas con un área foliar de 3.1 cm², siendo su crecimiento similar al testigo. En los tratamientos T2 y T5 se observaron plántulas con los menores promedios de área foliar de los tratamientos en estudio con 0.8 y 1 cm² respectivamente.

El área foliar desarrollado por las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) difirió con lo reportado en literatura donde en general las plántulas de tomate para transplante han registrado áreas entre 23 y 158 cm² (Quesada y Méndez, 2005b; Shibuya *et al.*, 2006; Herrera *et al.*, 2008).

El desarrollo foliar presentado por las plántulas que crecieron en el tratamiento T1 se favoreció por el contenido de agua totalmente disponible (22%), pH (8), CE (menor de 0.9 meq 100g⁻¹) presente en el medio acuoso y el contenido de nitrógeno (2%) y calcio (56 meq 100g⁻¹) principalmente, al igual que lo ocurrido en el caso del número de hojas.

Al realizar un lavado (tratamiento T2) o vermicompostaje (tratamiento T5) a la cachaza se perdió nitrógeno y calcio, que al estar en menor concentración en el medio no favoreció el desarrollo del área foliar, expresando las menores áreas vistas en los tratamientos en estudio.

El compostaje de la cachaza (tratamiento T2) provoco la pérdida de nitrógeno (0.3 meq 100g⁻¹), por lo cual el desarrollo foliar de las plántulas que crecieron en éste tratamiento desarrollaron áreas foliare comparables a las registradas en el tratamiento T7 (testigo), pero significativamente menores en comparación a las vistas en el material inicial (tratamiento T1).

El mezclar la cachaza con estiércol y pasar la mezcla por un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6), aumento el contenido de nitrógeno en los tratamientos, lo cual favoreció el desarrollo del área foliar, siendo ésta significativamente mayor a la registrada en el tratamiento T7 (testigo, Cuadro 20).

6.3.6.5 Peso seco parte aérea

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) desarrollaron un peso seco de la parte aérea de 17 mg. Los mayores pesos de la parte aérea se registraron en los tratamientos T1, T3 y T6 con 52.2, 27.2 y 22.7 mg respectivamente, siendo las plántulas del tratamiento T1 las que presentaron el mayor peso estadístico (α 0.05) de los tratamientos en estudio. Las plántulas que crecieron en los tratamientos T2, T4 y T5 registraron los menores pesos aéreos con 4.4, 13.7 y 5 mg respectivamente.

Al término de producción de semilleros, la literatura reporta pesos de la parte aérea del tomate muy variable, oscilando entre los 71 y los 590 mg (Quesada y Méndez, 2005b; Shibuya *et al.*, 2006; Herrera *et al.*, 2008; Ostos *et al.*, 2008), en función del material vegetal. Considerando lo anterior en el tratamiento T7 (testigo) se desarrollaron plántulas con un peso aéreo significativamente inferior a lo mínimo reportado en teoría.

De los tratamientos en estudio en el tratamiento T1 se registró el mayor peso aéreo, ubicándose como el mejor tratamiento que fomento la generación de materia seca en las plántulas de tomate, muy superior a lo registrado en el testigo; observándose que el desarrollo fue promovido principalmente por las características físicas y químicas que presentó éste tratamiento en estudio.

El compostaje de la cachaza (tratamiento T3) provoco la perdida de nitrógeno, pero mantuvo los niveles de calcio en comparación al tratamiento testigo, lo que fomento la generación de materia seca significativamente mayor en comparación al tratamiento T7 (testigo), pero menor en comparación a la vista en el tratamiento a base de cachaza (tratamiento T1). La vermicompost de la mezcla de cachaza con estiércol (tratamiento T6) tuvo concentraciones de nitrógeno y calcio similares al tratamiento a base de cachaza (tratamiento T1) lo que favoreció la generación de masa significativamente

mayor al visto en el testigo, pero al tener menor cantidad de agua fácilmente disponible (11%) la generación de masa disminuyó en comparación al visto en el tratamiento T1.

Los tratamientos T2, T4 y T5 desarrollaron plántulas que en promedio fueron más ligeras que las desarrolladas en el tratamiento T7 (testigo); afectando negativamente la generación de masa, las bajas concentraciones de N y Ca en el caso de los tratamientos T2 y T5; y la alta conductividad eléctrica del sustrato ($5.9 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$) en el caso del tratamiento T4.

CUADRO 20. Calidad de plántulas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por tipo de tratamiento empleado.

| TRATAMIENTO | AP (cm) | DT (mm) | NH | AF (cm ²) | PA (mg) | LR (cm) | VR (cm ³) | PSR (mg) | GER -----%----- | PF | PP |
|-------------|------------|------------|------|--------------------------|------------|------------|--------------------------|-------------|--------------------|-------|-------|
| T1 | 5.84a | 4.51a | 6.5a | 10.57a | 52.15a | 9.90a | 0.87a | 26.58a | 81.5a | 77.0a | 4.5a |
| T2 | 2.78d | 1.45b | 3.4d | 0.81d | 4.35e | 6.71bc | 0.11c | 1.42e | 71.0a | 62.5a | 8.5a |
| T3 | 5.02b | 1.66b | 3.9d | 3.12c | 27.20b | 3.28d | 0.17c | 5.71cd | 83.5a | 72.0a | 7.0a |
| T4 | 4.52bc | 1.50b | 5.3b | 3.82bc | 13.72d | 1.96e | 0.11c | 1.84de | 67.5a | 57.0a | 10.5a |
| T5 | 2.65d | 1.21b | 3.7d | 1.06d | 5.00e | 2.57de | 0.09c | 1.17e | 70.5a | 61.0a | 9.5a |
| T6 | 4.36c | 1.58b | 5.3b | 4.98b | 22.67bc | 6.11c | 0.42b | 9.48c | 61.0a | 54.0a | 7.0a |
| T7 | 4.14c | 1.21b | 4.6c | 2.73c | 17.03cd | 7.76b | 0.34b | 14.05b | 93.0a | 85.5a | 7.5a |

AP: Altura de Plántula; DT: Diámetro de Tallo, NH: Número de Hojas, AF: Área Foliar, PA: Peso Seco Parte Aérea, LR: Longitud Raíz, VR: Volumen Raíz, PSR: Peso Seco Raíz, GER: Germinación; PF: Plántulas Finales; PP: Pérdida de Plántulas.

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%)

6.3.6.6 Longitud de raíz

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) desarrollaron una longitud de raíz de 7.8 cm. En el tratamiento T1 se desarrollaron raíces con una longitud significativamente mayor ($\alpha 0.05$) en comparación al testigo, alcanzando una longitud de 9.9 cm. Solamente las raíces desarrolladas en el tratamiento T2 presentaron similitud con el testigo al tener una longitud de 6.7 cm. Los tratamientos T3, T4, T5 y T6 tuvieron plántulas con las menores longitudes de raíces (3.3, 2, 2.6 y 6.11 cm respectivamente) de los tratamientos en estudio (Cuadro 20).

De los registros encontrados en literatura se señala que el crecimiento longitudinal de las raíces de tomate provenientes de semilleros pueden oscilar entre los 5.1 y 8.1 cm (Piñon y Casanova, 2002; Shibuya *et al.*, 2006; Said, 2008). Las plántulas desarrolladas en el tratamiento T7 (testigo) tuvieron en promedio una longitud de raíz de 7.8 cm, que al comparar con los reportes se observó un desarrollo normal dentro de los parámetros vistos en los reportes de literatura.

De los tratamientos en estudio en el tratamiento T1 se registró el mayor crecimiento longitudinal de raíces; observando que el contenido de humedad aprovechable (24%) y la cantidad de nutrimentos disponibles para la planta en el tratamiento fomentaron el desarrollo radical.

El lavado de la cachaza (tratamiento T2) provocó la pérdida de nitrógeno y calcio en el tratamiento, lo que afectó el crecimiento radical de las plántulas, al desarrollar raíces significativamente menores en comparación con la cachaza inicial (tratamiento T1) a niveles similares a lo registrado en las plántulas del tratamiento T7 (testigo).

La compost (tratamiento T3) y la vermicompost (tratamiento T5) de la cachaza registraron contenidos significativamente menores de nitrógeno y agua fácilmente disponible en comparación al tratamiento T1, lo que influyó en el menor desarrollo radical de las plántulas que crecieron en éstos tratamientos, registrando longitudes radicales menores a las presentadas en el tratamiento T7 (testigo, Cuadro 20). La compost (tratamiento T4) y la vermicompost (tratamiento T6) de la mezcla de cachaza con estiércol provocaron la disminución del espacio poroso total y la cantidad de agua fácilmente disponible, y por otro lado el aumento en la conductividad eléctrica del medio acuoso del tratamiento lo que influyó significativamente en el crecimiento radical al desarrollar raíces cortas.

6.3.6.7 Volumen radical

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) desarrollaron un volumen radical promedio de 0.3 cm^3 . De los tratamientos en estudio solamente las plántulas que crecieron en el tratamiento T6 desarrollaron un volumen radical similar al tratamiento T7 (testigo) con 0.4 cm^3 . Con un volumen radical promedio de 0.9 cm^3 , las plántulas que crecieron en el tratamiento T1 fueron las de mayor volumen. El volumen radical de las plántulas de los tratamientos T2, T3, T4 y T5 fue de 0.1, 0.2, 0.1 y 0.1 cm^3 respectivamente, viéndose un volumen radical significativamente ($\alpha 0.05$) menor en comparación al registrado en el testigo.

Laguna *et al.* (2001) y Santana *et al.* (2006) reportaron que el volumen radical de plántulas de tomate al termino de la etapa de semillero oscila entre 0.2 y 0.5 cm^3 , comparando lo anterior con los 0.3 cm^3 registrados en el tratamiento T7 (testigo), mostraron un crecimiento acorde a lo visto en teoría

El mayor volumen radical registrado se presento en las plántulas que crecieron en el tratamiento T1, Debido al alto contenido de agua fácilmente disponible y a las concentraciones de macronutrientes presentes en el tratamiento, se favoreció el crecimiento vegetal.

El lavado (tratamiento T2), el compostaje (tratamiento T3) y el vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza disminuyó el contenido de nitrógeno y calcio, lo que afecto significativamente el desarrollo volumétrico radical de las plántulas que crecieron en éstos tratamientos, a niveles menores que los vistos en las plántulas desarrolladas en el tratamiento T7 (testigo).

La compostaje de la mezcla de cachaza con estiércol (tratamiento T4) disminuyo la cantidad de agua fácilmente disponible a 7%, al igual que el contenido de calcio ($34.5 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$) en el tratamiento; por otro lado, durante la producción de semilleros, éste tratamiento registró altas concentraciones de sales (mayores de 5 dS m^{-1}) en el drenaje; por lo anterior mencionado, el desarrollo del volumen radical se vio afectado, expresando plántulas con menor volumen radical en comparación al tratamiento testigo.

El vermicompostaje de la mezcla de cachaza más estiércol (tratamiento T6) afectó la porosidad total y el contenido de agua totalmente disponible en el tratamiento, además de presentar alta CE durante la etapa de producción de semilleros; lo anterior afectó el desarrollo del volumen radical de las plántulas, expresando raíces con volúmenes menores al visto en el tratamiento T7 (testigo, Cuadro 20).

6.3.6.8 Peso seco de raíz

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) registraron en promedio un peso seco de raíz de 14 mg. Las raíces que se desarrollaron en el tratamiento T1 registraron un peso seco de 26.6 mg, siendo mayores en comparación al tratamiento testigo y al resto de los tratamientos en estudio. El peso seco radical de los tratamientos T2, T3, T4, T5 y T6 fue de 1.4, 5.7, 1.8, 1.1 y 9.5 mg respectivamente, siendo significativamente menores (α 0.05) al registrado en el tratamiento T7 (testigo).

En la literatura se reportan variaciones significativas en el peso seco radical en plántulas de tomate para trasplante, oscilando desde 4 hasta 160 mg, en función de la variedad (Quesada y Méndez, 2005b; Díaz-Pérez *et al.*, 2008; Herrera *et al.*, 2008; Ostos *et al.*, 2008). Por lo que el peso seco radical desarrollado en el tratamiento T7 (testigo) se ubicó en la parte baja del rango reportado en teoría.

El peso seco radical registrado por las plántulas que crecieron en el tratamiento T1 fue el mayor registrado de los tratamientos en estudio, favorecido por las características físicas y químicas que presentó el tratamiento, lo que permitió la absorción de mayor cantidad de agua y nutrientes que fueron aprovechados por las plántulas en la generación de materia seca. En el resto de los tratamientos, el peso seco radical de las plántulas fue menor comparado con el tratamiento T7 (testigo), viéndose afectado la generación de materia seca principalmente por la menor disponibilidad de agua totalmente disponible (tratamientos T3, T4 y T6); la alta conductividad eléctrica en los drenajes (tratamientos T4 y T6) y el bajo contenido de nitrógeno (tratamiento T2, T3 y T5) y calcio (tratamientos T2, T4 y T5) en los tratamientos.

6.3.6.9 Plántulas finales y pérdida de plántulas

Al término de la etapa de producción de semilleros, el tratamiento T7 (testigo) registro un contenido de plántulas del 86% respecto al total sembrado, perdiendo 8% del material vegetal durante el proceso de producción de plántulas (Cuadro 20). Los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5 y T6 registraron 77, 63, 72, 57, 61 y 54 % de plántulas respectivamente, con respecto al total sembrado; registrando perdidas del 5, 9, 7, 11, 10 y 7 % de plántulas. En relación al porcentaje de plántulas finales y en la pérdida de material vegetal no se observó diferencias significativas entre tratamientos (α 0.05, Cuadro 20).

Quesada y Méndez (2005b) reportaron que del total de semillas germinadas, sólo el 87.8% estuvo en condiciones de transplante al final del establecimiento de semilleros donde el sustrato utilizado fue el peat moss, teniendo una pérdida de plántulas del 12.2%. Comparado lo encontrado en la literatura con el 85.5% de plántulas finales registradas en el tratamiento T7 (testigo), se considero dentro del parámetro, ya que solamente se perdió el 7.5% de plántulas.

6.3.6.10 Altura de plántula en relación con el peso seco de la parte aérea

La relación entre la altura y el peso seco aéreo de las plántulas tuvo un coeficiente de correlación significativo de 0.8 (Cuadro 22, Anexo 2), indicando la influencia entre éstos dos parámetros en el desarrollo vegetal, ya que si aumenta la altura, aumentaría el peso seco de la plántula en una proporción del 80% y viceversa.

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T7 (testigo) registraron un peso seco de 17 mg y una altura de 4.1 cm. Las mayores relaciones entre altura de plántula y peso seco de la parte aérea se registraron en los tratamientos T1 (5.8 cm de alto y 52.2 mg de peso) y T3 (5 cm de altura y 27.2 mg de peso). Los tratamientos T4 y T6 mostraron similitud con el tratamiento T7 (testigo) al registrar una altura de 4.5 y 4.4 cm, con un peso de 13.7 y 22.7 mg respectivamente. Las menores relaciones entre la altura y el peso seco de la parte aérea se vieron en los tratamientos T2 y T5 al registrar una altura de 2.8 y 2.7 cm y un peso de 4.4 y 5 mg respectivamente.

En la literatura se reporta para plántulas con una edad de entre los 28 y 35 días, una altura mayor de 4 cm con un peso seco que puede oscilar entre los 71 y 590 mg (Quesada y Méndez, 2005b; Shibuya *et al.*, 2006; Santana *et al.*, 2006; Fernández-Bravo *et al.*, 2006; Ostos *et al.*, 2008; Herrera *et al.*, 2008), que comparado con las plántulas que se desarrollaron en el tratamiento T7 (testigo), se observó un crecimiento en altura normal, pero con un peso significativamente menor a lo visto en los reportes.

En el tratamiento T1 favoreció el crecimiento en altura y la generación de materia seca, debido al alto contenido de macronutrientes, agua totalmente disponible (24%), y baja CE durante la producción de almácigos (menor de 1 dS m^{-1}), expresándose en la altura y el peso seco final del material vegetal.

El compostaje de la cachaza para la elaboración del tratamiento T3 provocó la disminución significativa de la capacidad de retención de humedad (31%). Sin embargo, a pesar de contener baja humedad, en éste tratamiento se desarrollaron plántulas con mayor peso y altura en relación al tratamiento T7 (testigo, Figura 13), promovidas principalmente por las concentraciones de nitrógeno (2.11%) contenido en el tratamiento.

En los tratamientos T4 y T6 se desarrollaron plántulas con altura y peso seco similares al tratamiento T7 (testigo, Figura 13). Se observó que la mezcla de cachaza con estiércol, al sufrir un proceso de compostaje (tratamiento T4) o vermicompostaje (tratamiento T6), es capaz de generar un sustrato con capacidad de promover el crecimiento de plántulas de tomate con una altura y peso seco similar a las plántulas que se produjeron en peat moss.

El lavado (tratamiento T2) y vermicompostaje (tratamiento T5) de la cachaza, repercutió en el crecimiento de las plántulas al mostrar menor desarrollo en altura y peso seco aéreo (Figura 13), reduciéndose significativamente a niveles menores al visto en el tratamiento T7 (testigo). Al realizar un lavado a la cachaza para la elaboración del tratamiento T2, se perdieron cantidades significativas de nitrógeno y calcio; por otro lado, las lombrices composteras provocaron un cambio en la distribución granulométrica durante la elaboración del tratamiento T5, afectando significativamente

el contenido del tipo de humedad, al aumentar la cantidad de agua difícilmente disponible (36%), siendo éste factor la principal causal del bajo desarrollo en altura y peso de las plántulas que crecieron en éste tratamiento.

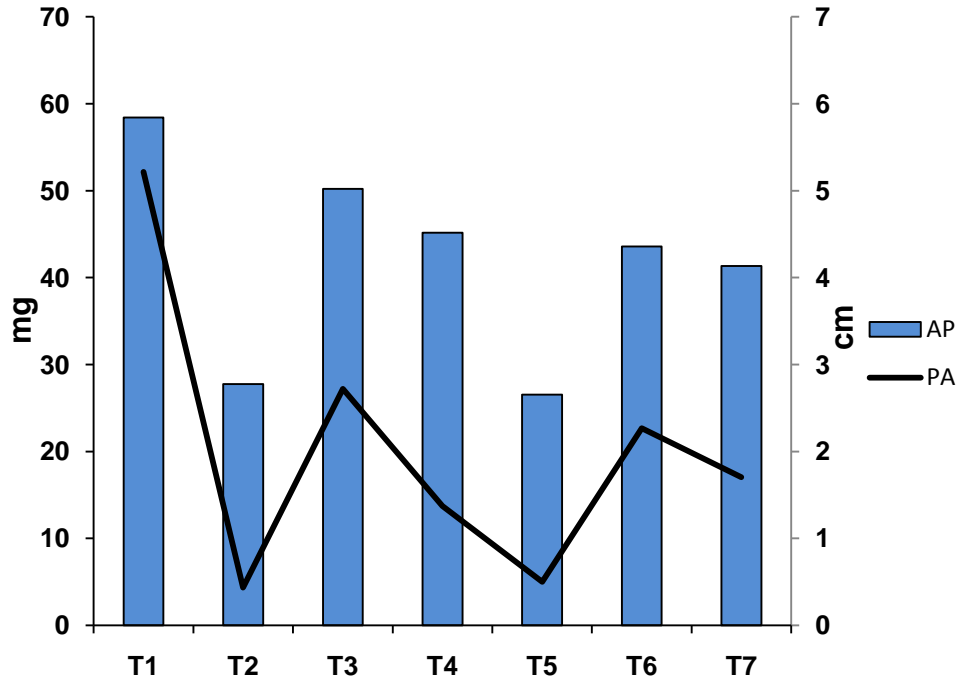


Figura 13. Altura de plántula (AP) en relación con el Peso seco de la parte aérea (PA) por tipo de tratamiento. T1: Cachaza; T2: Cachaza lavada; T3: Compost de cachaza; T4: Compost de cachaza mas estiércol 1:1 v/v; T5: Vermicompost de cachaza; T6: Vermicompost de cachaza mas estiércol 1:1 v/v; T7: Testigo.

6.3.6.11 Área foliar en relación con el número de hojas

La relación entre el área foliar y el número de hojas de las plántulas tuvo un coeficiente de correlación significativo de 0.8 (Cuadro 22, Anexo 2), indicando la influencia entre éstos dos parámetros en el desarrollo vegetal, ya que si aumenta el número de hojas, aumentaría el área foliar de la plántula en una proporción del 80% y viceversa.

En el tratamiento T7 (testigo) se desarrollaron plántulas que en promedio registraron 5 hojas con un área foliar total de 2.7 cm² al término de la etapa de producción de semilleros. En el tratamiento T1 crecieron plántulas que desarrollaron un total 7 hojas con un área foliar total de 10.6 cm², ubicándolo como el mejor tratamiento de los tratamientos en estudio. Los tratamientos T4 y T6 promovieron el desarrollo de plántulas con mayor número de hojas (5 en cada caso) en comparación con el tratamiento T7 (testigo), pero en el tratamiento T6 el área foliar que se desarrolló fue de 5 cm² (mayor al tratamiento testigo), en comparación del tratamiento T4 que fue de 3.8 cm² (similar al tratamiento testigo). Los tratamientos T2, T3 y T5 fomentaron el crecimiento de plántulas con un número de hojas de 3, 4 y 4 hojas respectivamente, con un desarrollo del área foliar de 0.8, 3.1 y 1 cm², siendo menores en comparación al tratamiento T7 (testigo).

En la literatura se reporta para plántulas producidas en semilleros con una edad entre 28 y 32 días un número de hojas mayor a 4, con un área foliar entre 23 y 158 cm² (Quesada y Méndez, 2005b; Fernández-Bravo *et al.*, 2006; Shibuya *et al.*, 2006; Herrera *et al.*, 2008; Piñon y Casanova, 2002 ; Said, 2008). Comparado lo anterior con lo registrado por el tratamiento T7 (testigo), las plántulas que crecieron en éste tratamiento tuvieron un número normal de hojas pero con un área foliar significativamente menor.

El tratamiento T1 fue el tratamiento donde se desarrollaron el mayor número de hojas, con el promedio mayor de área (Figura 14), observándose que la cantidad de agua fácilmente disponible (22%), el contenido mineral nutrimental y el pH y CE (Cuadros 17 y 18) que presentó éste tratamiento durante la producción de semilleros fueron los factores que fomentaron el desarrollo vegetal visto.

La adición de estiércol en la elaboración de los tratamientos T4 y T6, fue el principal factor que ocasiono el aumento en las concentraciones de nitrógeno en éstos tratamientos; lo cual promovió el mayor desarrollo foliar en comparación con el tratamiento T7 (testigo), pero al retener menor cantidad de agua fácilmente disponible el crecimiento foliar no se desarrollo a niveles comparables con el tratamiento a base de cachaza (T1).

Los tratamientos T2, T3 y T5 produjeron plántulas con menor número de hojas y área foliar en comparación al tratamiento T7 (testigo, Figura 14). El escaso desarrollo de las plántulas de éstos tratamientos fue afectado por la menor concentración de nitrógeno y la baja cantidad de agua totalmente disponible.

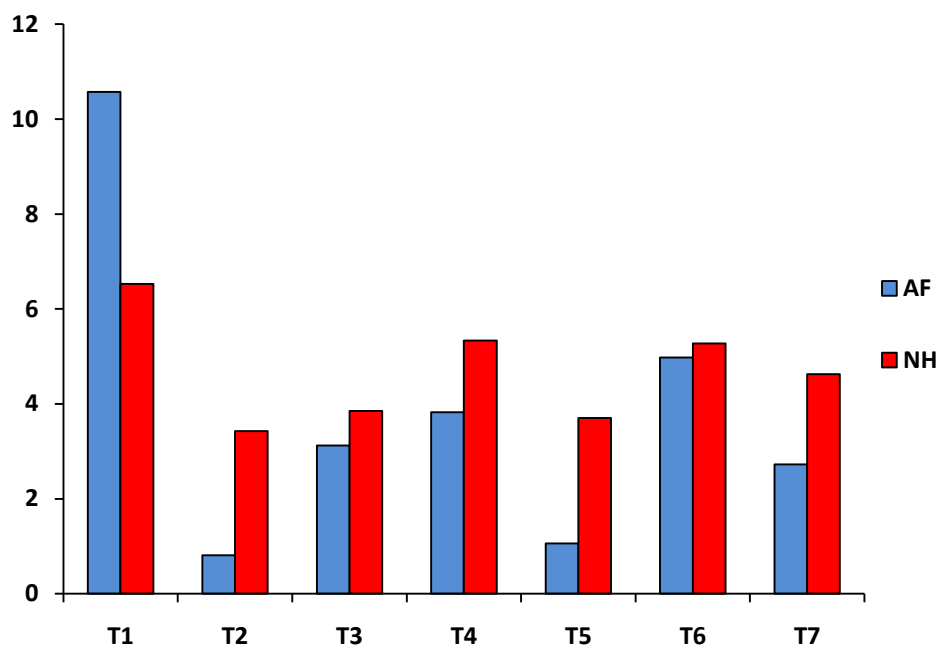


Figura 14. Área foliar (AF) en cm² en relación con el número de hojas (NH) por tipo de tratamiento. T1: Cachaza; T2: Cachaza lavada; T3: Compost de cachaza; T4: Compost de cachaza mas estiércol 1:1 v/v; T5: Vermicompost de cachaza; T6: Vermicompost de cachaza mas estiércol 1:1 v/v; T7: Testigo.

6.3.6.12 Longitud de raíz en relación con el volumen radical

La relación entre la longitud de raíz y el volumen radical de las plántulas tuvo un coeficiente de correlación significativo de 0.85 (Cuadro 22, Anexo 2), indicando la influencia entre éstos dos parámetros en el desarrollo vegetal, ya que si aumenta la longitud de la raíz, aumentaría también el volumen radical de las plántula en una proporción del 85% y viceversa.

Las raíces que se desarrollaron en el tratamiento T7 (testigo) crecieron con una longitud promedio de 7.7 cm y un volumen de 0.3 cm³. En cambio en el tratamiento T1 se desarrollaron raíces con una longitud de 9.9 cm y un volumen de 0.9 cm³, siendo mayores en comparación a las raíces desarrolladas en el tratamiento testigo. En el tratamiento T2 se desarrollaron raíces con una longitud similar al tratamiento testigo con 6.7 cm, pero con menor volumen radical (0.1 cm³) que éste. El tratamiento T6 albergó raíces con un volumen radical similar al tratamiento testigo (0.4 cc), pero con menor longitud (6.1 cm). Los tratamientos T3, T4 y T5 fomentaron el desarrollo de las menores longitudes radicales (3.3, 2, y 2.6 cm respectivamente), así como de volumen (0.17, 0.11 y 0.09 cm³ respectivamente) de los tratamientos en estudio (Figura 15).

Las plántulas producidas en semilleros donde el sustrato empleado fue a base de peat moss, entre los 28 y 32 días generaron una longitud de raíz de entre 5.1 y 8.1 cm (Piñon y Casanova, 2002; Shibuya *et al.*, 2006; Said, 2008), con un volumen radical entre 0.2 y 0.5 cc (Laguna *et al.*, 2001; Santana *et al.*, 2006). Comparado lo anterior con lo registrado en el tratamiento T7 (testigo), se observó que el desarrollo radical de las plántulas fue acorde a lo visto en teoría, confirmándolo al momento de extraer la plántula de la charola germinadora, ya que las raíces invadieron la mayor parte del cepellón, facilitando su extracción parcial (en la mayoría de los casos) al término de la etapa de producción de semilleros.

La cantidad de agua fácilmente disponible (22%) y el contenido mineral nutrimental que tuvo el tratamiento T1 fueron los principales factores que fomentaron el mayor crecimiento en volumen y longitud del sistema radical de las plántulas que se

desarrollaron en éste tratamiento, permitiendo la exploración de las raíces en el cepellón y facilitando su extracción completa al término del experimento (Figura 15).

Las raíces que crecieron en el tratamiento T2 se caracterizaron por ser largas (similares al tratamiento testigo) y con poco volumen (0.1 cm^3), observándose que su desarrollo fue afectado por la disminución de las concentraciones de nitrógeno (1.8%) en el tratamiento principalmente. Las características morfológicas de las raíces que crecieron en éste tratamiento permitieron que al término de la fase de producción de semilleros, éstas raíces salieran dejando la mayor parte del cepellón en la charola germinadora, fenómeno indeseable.

Las plántulas que crecieron en el tratamiento T6 desarrollaron un volumen radical similar al registrado en el tratamiento T7 (testigo) pero de menor longitud (Figura 15), donde el factor que limitó su desarrollo fue la alta conductividad eléctrica presente durante la producción de las plántulas (2.8 dS m^{-1}). Al tener un sistema radical corto y con volumen similar al presentado por el tratamiento T7 (testigo), la mayoría de las plántulas se extrajeron con el cepellón incompleto al término de la etapa de producción de semilleros.

Las plántulas que crecieron en los tratamientos T3, T4 y T5 desarrollaron las raíces con las menores longitudes y volúmenes (Figura 15) de los tratamientos en estudio, donde los factores que limitaron su desarrollo fueron: el bajo contenido de agua totalmente disponible; las bajas concentraciones de calcio (tratamiento T4 y T5 con 35 y 32 meq 100g^{-1}) y la alta conductividad eléctrica (7.5 dS m^{-1}) del percolado en el caso del tratamiento T4. Debido a las características que presentaron las raíces de las plántulas que crecieron en éstos tratamientos al término del experimento, las plántulas fueron extraídas con solo una porción pequeña del cepellón, dejando gran parte del tratamiento dentro de la charola germinadora, fenómeno indeseable al término de la etapa de producción de semilleros.

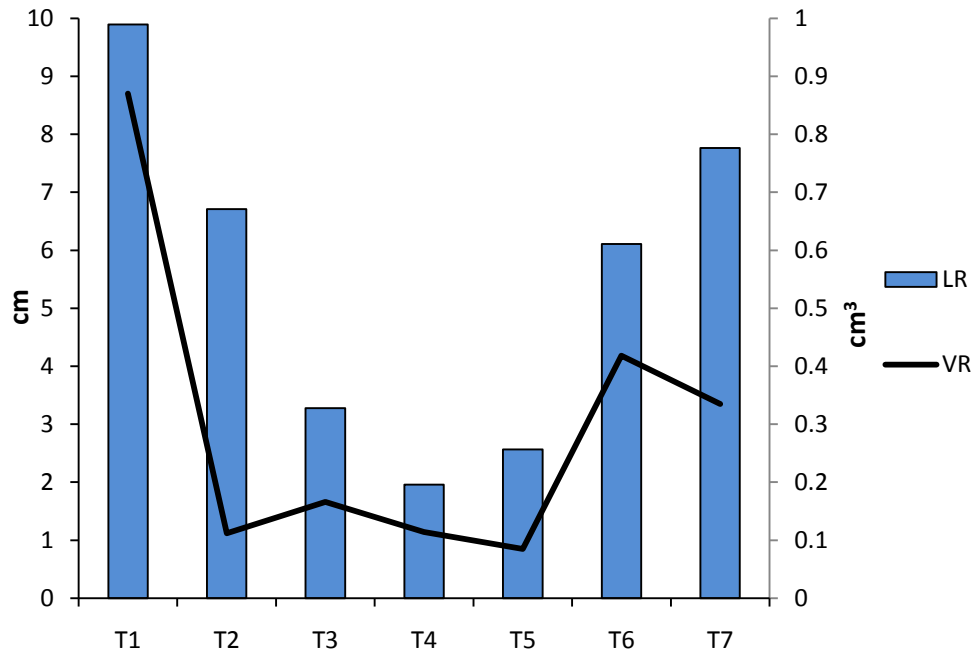


Figura 15. Longitud de raíz (LR) en relación al volumen radical (VR) por tipo de tratamiento. T1: Cachaza; T2: Cachaza lavada; T3: Compost de cachaza; T4: Compost cachaza mas estiércol 1:1 v/v; T5: Vermicompost de cachaza; T6: Vermicompost de cachaza mas estiércol 1:1 v/v; T7: Testigo.

VII. CONCLUSIONES

El secado de la cachaza provoco que se originara un sustrato estable con optima capacidad de aireación, así como de agua totalmente disponible y de nutrimentos, lo que hizo factible su utilización como sustrato para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.).

El lavado y secado de la cachaza aumentó la capacidad de retención de humedad,, pero mermó el contenido nutrimental, a pesar de lo anterior se hace posible su uso como sustrato.

El compostaje de la cachaza género un sustrato estable con una alta capacidad de aireación, pero con baja capacidad de retención de humedad.

La adición de estiércol vacuno al compostaje de la cachaza dio origen a un sustrato estable con poco espacio poroso y con la menor capacidad de retención de humedad de los sustratos elaborados en el presente estudio.

El proceso de vermicompostaje generó sustratos estables pero con poco espacio poroso total, sin importar sí el material fuente fue la cachaza o su combinación con estiércol vacuno, lo cual se tradujo en bajos contenidos de humedad aprovechable para las plantas.

Todos los sustratos elaborados tuvieron las condiciones físicas, químicas y biológicas que permitieron la germinación de las semillas de tomate.

En la producción de semilleros, el tratamiento elaborado con cachaza seca fue el sustrato en el cual se desarrollaron las plántulas con las mejores características agronómicas.

VIII. RECOMENDACIONES

La cachaza seca mostro ser un sustrato con alto potencial para producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.), por lo cual se recomienda la prueba de dicho sustrato en la producción de plántulas en otras especies vegetales para medir su potencial.

La cachaza lavada fue un sustrato estable con altos niveles de humedad aprovechable pero que aporta pocos minerales nutrimentales, por lo anterior se recomienda realizar experimentaciones variando la concentración nutrimental, así como variaciones en el contenido de cada nutrimento mineral en específico para la producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) y su posterior prueba en otras especies hortícolas.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- Abad M. y P. Noriega. 1998. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación. *In:* Cadahia, C. Fertirrigación: Cultivos hortícolas y ornamentales. Ed. MundiPrensa, Madrid, España.
- Agbenin J. O. and Igbokwe S. O. 2006. Effect of soil-dung manure incubation on the solubility and retention of applied phosphate by a weathered tropical semi-arid soil. *Geoderma (USA)* 133: 191-203.
- Aira M., Sampedro L., Monroy F., and Domínguez J. 2008. Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry (USA)* 40: 2511-2516.
- Alcantar G. G. y V. M. Sandoval. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación análisis e interpretación. Publicación especial numero 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A. C. Centro Edafología. Colegio de Postgraduados. México.
- Alcantar G. G. y L. Trejo-Téllez. 2007. Nutrición de cultivos. Ed. Mundiprensa, México. 454 pp.
- Amtmann A., Hammond J. P., Armengaud P. and White P. J. 2005. Nutrient sensing and signalling in plants: potassium and phosphorus. *Advances in Botanical Research (USA)* 43: 209-257.
- Anicua-Sánchez R., Gutiérrez-Castorena M. C. and Sánchez-García P. 2008. Physical and micromorphological properties of organic and inorganic materials for preparing growing media. *Acta Hort.(USA)* 779: 577-582.
- Ansorena M. 1994. Sustratos: Propiedades y caracterización. Ediciones MundiPrensa. Madrid, España.
- Arreola-Enríquez J., Palma-López D. J., Salgado-García S., Camacho-Chiu W., Obrador-Olan J. J., Juaréz-Lopez J. F. y L. Pastrana-Aponte. 2004. Evaluación de abono orgánico-mineral de cachaza en la producción y calidad de la caña de azúcar. *Terra Latinoamericana. (México)* 22(3): 351-357.

- Bastida T. A. 2002. Sustratos hidropónicos. Serie de Publicaciones Agribot. Universidad Autónoma Chapingo. México. 72 pp.
- Bernal M. P., Albuquerque J.A. and Moral R. 2009. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. *Bioresource Technology* (Great Britain) 100: 5444-5453.
- Blanco M. J. and Almendros G. 1995. Evaluation of parameters related to chemical and agrobiological qualities of wheat-straw compost including different additives. *Bioresource Technology* (Great Britain) 51: 125-134.
- Bohne H. 2004. Growth of nursery crops in peat-reduced and in peat-free substrates. *Acta Hort.* (USA) 644: 103-106.
- Bray R. and L. Kurtz. 1945. Determination of total, organic and available forms of phosphorus in soil. *Soil Science* (USA) 59: 39-45.
- Burés S. 1997. Sustratos. Ed. Agrotecnias. F. L. Madrid, España. 341 p.
- Burés, S. 1998. Introducción a los sustratos. Aspectos Generales. *In: Tecnología de sustratos. Aplicación a la producción viverística, ornamental, hortícola y forestal.* Narciso Pastor Sáez. Coordinador. Ediciones de la Universidad de Lleida. España. p19.
- Carrasco G.; Ramírez P. y H. Vogel. 2007. Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. *IDESIA* (Chile) 25(2): 59-62.
- Castro F. C., Lourenço A., Guimarães M. F. and Fonseca I.C.B. 2002. Aggregate stability under different soil management systems in a red latosol in the state of Parana, Brazil. *Soil & Tillage Research* (USA) 65: 45-51.

- Chavez W., Benedetto A. D., Civeira G, and Lavado R. 2008. Alternative soilless media for growing *Petunia x hybrida* and *Impatiens wallerana*: Physical behavior, effect of fertilization and nitrate losses. *Bioresource Technology (Great Britain)* 99: 8082-8087.
- Chen Y., Senesi N. and Schnitzer M. 1977. Information provided on humic substances by E4/E6 ratios. *Soil Sci. Soc. Am. J. (USA)* 41: 352-358.
- Chin, Y. P., S. J. Traina, C. R. Swank and D. Backhus, 1998. Abundance and properties of dissolved organic-matter in pore waters of a fresh-water wetland. *Limnol. Oceanography (USA)* 43(6): 1287 –1296.
- Clemente R., Paredes C. and Bernal M. P. 2007. A field experiment investigating the effect of olive husk and cow manure on heavy metal availability in a contaminated calcareous soil from Murcia (Spain). *Agriculture, Ecosystems and Environment (USA)* 118: 319-326.
- Corres A. D. 2006. Efecto del fertirriego en la propagación sexual y asexual de la pitahaya (*Helyocereus undatus*) bajo cultivo sin suelo. Instituto Politécnico Nacional. Tesis de Maestría. 106 p.
- Cotxarrera L., Trillas-Gay M. I., Steingerg C. and Alabouvette C. 2002. Use of sewage sludge compost and *Trichoderma asperellum* isolates to suppress Fusarium wilt of tomato. *Soil Biology and Biochemistry (USA)* 34: 467-476.
- Cruz-Lazaro E., Estrada-Botello M. A., Robledo-Torres V., Osorio-Osorio R., Márquez-Hernández C. y Sánchez-Hernández R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia (México)* 25(1): 59-67.
- Dede Ö. H., Köseoğlu G., Özdemir S. and Çelebí A. 2006. Effects of organic waste substrates on the growth of impatiens. *Turk J. Agric. For Turkey (Turkey)* 30: 375-381.

- De Boodt M. and O. Verdonck. 1974. Method for measuring the water release curve of organic substrates. *Acta Hort. (USA)* 37:2054-2062.
- De Grazia J., P. A. Tuttonell, and Chiesa A. 2007. The effect of substrates with compost and nitrogenous fertilization on photosynthesis, precocity and pepper (*Capsicum annuum*) yield. *Cien. Inv. Agr. (Chile)* 34(3): 151-160.
- Díaz S. F. R. 2004. Selección de sustratos para la producción de hortalizas en invernadero. 44-68 p. *In: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Coahuila, México.*
- Díaz-Pérez J. C., Silvoy J., Phatak S. C., Pitchay D. S. and Morse R. 2008. Organic tomato transplant production in compost-amended substrate. *Acta Hort. (USA)* 782:241-244.
- Domínguez J., Aira M. y Gómez-Brandon M. 2009. El papel de las lombrices de tierra en la descomposición de la material organica. *Ecosistemas (España)* 18(2): 20-31.
- Domínguez J., Bohlen J.P. and Parmelee, R.W. 2004. Earthworms increase nitrogen leaching to greater soil depths in row crop agroecosystems. *Ecosystems (USA)* 7:672-685.
- Domínguez J., Parmelee R. W. and Edwards C. A. 2003. Interaction between *Eisenia andrei* and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia (USA)* 47: 53-60.
- Elsayed M. T., Babiker M. H., Abdelmalik M. E., Mukhtar O. N. and Montange D. 2008. Impact of filter mud applications on germination of sugarcane and small-seeded plants on soil and sugarcane nitrogen contents. *Bioresource Technology (Great Britain)* 99: 4164-4168.
- Espinosa Z. C. 2004. Producción de tomate en invernadero. 19-43 p. *In: Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Coahuila, México.*

- Fernandes C. and Corá J. E. 2004. Bulk density and relationship air/wáter of horticultural substrate. *Sci. Agric. (Piracicaba, Brazil.)*, 61(4): 446-450.
- Fernández-Bravo C., N. Urdaneta, W. Silva, H. Poliszuk y M. Marín. 2006. Germinación de semillas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv `Río Grande sembradas en bandejas plásticas, utilizando distintos sustratos. *Rev. Fac. Agron. (LUZ) (Venezuela)* 23(2): 188-195.
- Fuentes B., Jorquera M. and Mora M. de la L. 2009. Dynamics of phosphorus and phytate-utilizing bacteria during aerobic degradation of dairy cattle dung. *Chemosphere (USA)* 74: 325-331.
- Gao K., Pearce J., Jones J., Taylor C. and Taylor C. 1999. Interaction between peat, humic acid and aqueous metal ions. *Environmental Geochemistry and Health (Netherlands)* 21: 13-26.
- García C. O., Alcántar G. G., Cabrera R. I., Gavi R. F. y H. V. Volke. 2001. Evaluación de sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maceta. *Terra Latinoamericana (Montecillo, México)* 19(3): 249-258.
- García O. 1999. Materiales orgánicos como sustratos para la producción de *Epipremnum aureum* y *Spathiphyllum wallisii* cultivadas en maseta. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados Montecillos, Texcoco, México.
- Garnica M., Houdusse F. and Yvin J. C. 2009. Nitrate supply induces changes in polyamine content and ethylene production in wheat plants grown with ammonium. *Journal of Plant Physiology (USA)* 166: 363-374.
- Genevini P., F. Adani, A.H.M Veeken and Scaglia B. 2002. Evolution of humic acid-like and core-humic acid-like during high-rate composting of pig faeces amended with wheat straw. *Soil. Sci. Plant Nutr. (Japan)* 48: 135-141.

- Goyal S., Dhull S. K. and Kapoor K. K. 2005. Chemical and biological changes during composting of different organic wastes and assessment of compost maturity. *Bioresource Technology* (Great Britain) 96: 1584-1591.
- Gruda N. and Schnitzler W. H. 2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetables transplants. I. Physical properties of wood fiber substrates. *Scientia Horticulturae* (USA) 100: 309-322.
- Gutiérrez-Miceli F. A., Santiago-Borraz J., Montes M. J. A., Carlos N. C., Abud-Achila M., Oliva L. M. A., Rincón-Rosales R. and Dendooven L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology* (Great Britain) 98: 2781-2786.
- Hernández, T., C. García, J.A., Pascual and J.L. Moreno J. L. 2001. Humic acids from various organic wastes and more traditional organic matter: Effect on plant growth and nutrient absorption. *Understanding and Managing Organic Matter in Soils, Sediments and Waters. Proceeding of the 9th International Conference of the International Humic Substances Society University of Adelaide, Adelaide, Australia, 21st – 25st September 1998.* Editors R.S. Swift and K.M. Spark.
- Hernández M. A., González A. I., Rojas F., Asomoza M., Solís S., Lara V. H., Salgado M. A., Portillo R. y V. Petranovskii. 2005. Adsorción de hidrocarburos clorados en sustratos de microporos: clinoptilolitas desaluminizadas y SiO₂. *Rev. Int. Contam. Ambient.* (UNAM, México) 21(4): 183-191.
- Herrera F., Castillo J. E., Chica A. F. and López B. L. 2008. Use of municipal solid waste compost (MSWC) as a growing médium in the nursery production of tomato plants. *Bioresource Technology* (Great Britain) 99: 287-296.
- Higgins S.; S. Workman; V. N. Gallagher; D. J. Stamper; Biosystems and Agricultural Engineering; R. Coleman; Animal and Food Sciences. 2008. Composting horse muck. Cooperative Extension Service. College of Agriculture. University of Kentucky. Technical Note ID-168. (USA) 4 p.

- Horneck D. A. and Miller R O. 1998. Determination of total nitrogen in plant tissue. Pp 75-84 In: Y. P. Karla (Ed). Handbook of reference methods for plant analysis tissue. Left plants speak. Soil and Plant Analysis Council. CRC Press, Boca Raton. FL. USA.
- INEGI. 2008. Anuario estadístico del comercio exterior de los Estados Unidos Mexicanos 2008. Importación en dólares. INEGI. 528 p. México.
- INN-Chile. 2004. Compost- Clasificación y requisitos. Norma Chilena Oficial NCh 2880.Of2004. (Chile) 27 pp.
- Íñiguez G., Parra J. y P. A. Velasco. 2006. Utilización de subproductos de la industria tequilera. Parte 8. Evolución de algunos constituyentes de la mezcla de biosólidos-bagazo de agave durante el compostaje. Rev. Int. Contam. Ambient. (México) 22(2): 83-93.
- Jasinski S. M. 2008. PEAT. U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summaries, 703: 648-7711 p. <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/peat/mcs-2008-peat.pdf>
- Kalmykova Y., Strömvall A. and Steenari B. 2008. Adsorption of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn on *Sphagnum* peat from solutions with low metal concentrations. Journal of Hazardous Materials (USA) 152: 885-891.
- Ketterings Q., Reid S. and Rao R. 2007. Cation exchange capacity (CEC). Fact sheet 22. Agronomy Fact Sheets Series, Department of Crop and Soil Sciences, Cornell University. USA. 2 p.
- Khayyat M., F. Nazari and H. Salehi. 2007. Effects of different pot mixtures on pothos (*Epipremnum aureum* Lindl. and Andre 'Golden Pothos') growth and development. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., (France) 2(4): 341-348.

- Kononova M. M. 1982. Materia orgánica del suelo: Su naturaleza, propiedades y métodos de investigación. Ed. Oikos-Tau, Barcelona, España. 364 p.
- Labrador, J., 2001. La materia orgánica en los agrosistemas. Ed. Mundiprensa, (2ed), Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España, pp. 152–180.
- Laguna L. J., Zavaleta M. E., Osada K. S., Aranda O. S., Luna R. I. y H. Vaquera H. 2001. *Bacillus firmus* como agente de control biológico de *Phitophthora capsici* Leo. en jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Revista Mexicana de Fitopatología. (México) 19(1):57-65.
- Landis T. D. 1990. Containers: Types and Functions. In: Landis T. D., Tinus R. W., McDonald S. E. and Barnett J. P. The container tree nursery manual. Volume 2. Agric. Handbk. 674. Washington, DC, USA. U.S. Department of Agriculture, Forest Service: 41-89.
- Lao M.T. and Jiménez S. 2004. Evaluation of almond shell as a culture substrate for ornamental plants. I. Characterization. International Journal of Experimental Botany. 53rd Anniversary. Argentina. 69-78 p.
- Linares O. H. 2004. El cultivo del tomate en invernadero. Manual del participante. Curso teórico práctico. 47 p.
http://www.sra.gob.mx/internet/informacion_general/programas/fondo_tierras/manuales/Cultivo_Jitomate_Invernadero.pdf
- Lores M., Gómez-Brandón M., Pérez-Díaz D. and Domínguez J. 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposting. Soil Biology and Biochemistry (USA) 38: 2993-2996.
- Marchner H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. Second Edition. Academic Press. London, U. K. 889 p.
- Markoviç, V.; A. Takac and Ilin Z. 1995. Enriched zeolite as a substrate component on the production of pepper and tomato seedling. Acta Hort. (USA) 396: 321-328.

- Martínez C. C. 2010. Lombricultura. Lombricultura Técnica Mexicana. Sistema de Agronegocios de Traspatio. Colegio de Posgraduados SAGARPA. México. 8 p. <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Lombricultura.pdf>
- Martínez F. X. 1993. Propuesta de metodología para la determinación de las propiedades físicas de los sustratos. *Actas de Horticultura*. (España) 11: 55-66.
- Martínez R. A.; Ramos C. E.; Gaskins E. B.; Guerra M. y J. Díaz S. 2007. Simulación de un campo magnético en el suelo por el método de los elementos finitos. *Revistas Ciencias Técnicas Agropecuarias (Cuba)* 16(3): 57-60.
- Martínez D. A.; Landini A. M.; H. Svartz; L. Vence; L. Bottini; L. Mascarini; S. Orden y F. Vilella. 2006. Propiedades físicas e hidráulicas de perlita en cultivos de rosas y sus variaciones temporales. *Ci. Suelo (Argentina)* 24(2): 177-182.
- Meunchang S., S. Panichsakpatana and Weaver R. W. 2005. Co-composting of filter cake and bagasse; by-products from a sugar mill. *Bioresource Technology (Great Britain)* 96: 437–442.
- Michel J.C. 2008. Experience with selected physical methods to characterize the suitability of growing media for plant growth. *Acta Hort. (USA)* 779: 239-250.
- Ministerio de Agricultura. 2006. Lombricultura. Cuaderno de Divulgación Técnica. Ministerio de Agricultura. Gobierno de Chile. Chile. 14p.
- Moore J. C., Berlow E.L., Coleman D.C., de Ruiter P.C., Dong Q., Johnson N.C., McCann K.S., Melville K., Morin P.J., Nadelhoffer K., Rosemond A.D., Post D.M., Sabo J.L., Scow K.M., Vanni M.J. and Wall, D.H. 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters (USA)* 7:584-600.

- Moreno R. A., Teresa M., Perez G. V. y T. Zarate L. 2005. Desarrollo de tomate en sustratos de vermicompost/arena bajo condiciones de invernadero. *Agricultura Técnica (Chile)* 65(1): 26-34.
- Mosquera C S.; Bravo I. y W. Hansen E. 2007. Comportamiento estructural de los ácidos húmicos obtenidos de un suelo andisol del departamento de la Cauca. *Rev. Colomb. Quím. (Colombia)* 36(1): 31-41.
- Nkongolo N. V. and Caron J. 2006. Pore space organization and plant response in peat substrates: I. *Prunus x cistena* and *Spiraea japonica*. *Scientific Research and Essay (USA)* 1(3): 77-89.
- NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba. Secretaria de Comercio y Fomento Industrial. México. www.sagarpa.gob.mx/agricultura/info/comp/it/normas/noti/PROY_NMX_HUMUS_24072007_DGN.pdf.
- Olivo V. B. y C. G. Buduba. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosques (Chile)* 27(3): 267-271.
- Olsen S. R. and Dean L. A. 1965. Phosphorus. *In: Methods of Soil Analysis. Part 2.* American Society of Agronomy. Black, C. A. (Ed.) Madison, Wisconsin, USA. pp: 1035-1049.
- Ostos J. C., López-Garrido R., Murillo J. M. and López R. 2008. Substitution of peat for municipal solid waste- and sewage sludge-based composts in nursery growing media: Effects in growth and nutrition of the native shrub *Pistacia lentiscus* L. *Bioresource Technology (Great Britain)* 99: 1793-1800.
- Osoom E. M., Rhykerd R. L. and Tfwala C. 2009. Influence of filter cake on agronomic characteristics of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) in Swaziland. *World Journal of Agricultural Sciences (Swaziland)* 5(2): 228-236.
- Pastor S. J. N. 1999. Utilización de sustratos en viveros. *Terra Latinoamericana (México)* 17(3):231-235.

- Pennisi V. B. and Thomas P. A. 2009. Essential pH management in greenhouse crops. Part I. pH and Plant nutrition. Bulletin 1256. Cooperative extension. University of Georgia. USA. 11 p.
- Peña T. E., Companioni C. N., González B. R. y A. A. Navarro. 2007. El humus de lombriz: su impacto en la producción de posturas orgánicas en cepellón para la agricultura urbana en Cuba. *Rev. Bras. Agroecologia*, (Brasil) 2(1):459-462.
- Petric I. and Selimbašić V. 2008. Composting of Poultry Manure and Wheat Straw in a Closed Reactor: Optimum Mixture Ratio and Evolution of Parameters. *Biodegradation (Netherlands)* 19: 53–63.
- Piccolo A. 2002. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science. *Adv. Agron. (USA)* 75: 57-134.
- Pire R. y Pereira A. 2003. Propiedades físicas de componentes de sustratos de uso común en la horticultura del Estado de Lara, Venezuela. *Propuesta metodológica . Bioagro (Venezuela)* 15(1): 55-64.
- Piñon M. y A. Casanova. 2002. Comparación de sistemas para la producción de plántulas de tomate frente al complejo moscas blancas-geminivirus. *Manejo Integrado de Plagas (Costa Rica)* 63:64-70.
- Plaza C., Senesi N., Brunetti G. and Mondelli R. 2007. Evolution of the fulvic acid fraction during co-composting of olive soil mil wastewater sludge and tree cuttings. *Bioresource Technology (Great Britain)* 98: 1964-1971.
- Quesada R. G. y S. C. Méndez. 2005a. Análisis fisicoquímico de materias primas y sustratos de uso potencial en almácigos de hortalizas. *Rev. Agr. Trop. (Costa Rica)* 35: 01-13.
- Quesada R. G. y S. C. Méndez. 2005b. Evaluación de sustratos para almácigos en hortalizas. *Agronomía Mesoamericana (Costa Rica)* 16(2): 171-183.

- Quintero L. R., Ferrera-Cerrato R., Etchvers B. J. D., García C. N. E., Rodríguez-Kabana R., Alcantar G. G. y Aguilar S. A. 2000. Vermicomposteo y su dinámica microbiana. 417-428. *In*: Quintero-Lizaola R., Reyna-Trujillo T., Corlay Chee L., Ibañez-Huerta A. y García-Calderón (Eds). La Edafología y sus Perspectivas al Siglo XXI. Tomo I. Colegio de Postgraduados en Ciencias Agrícolas, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma Chapingo, México.
- Quintero-Lizaola, R., Ferrera-Cerrato, J., Etchevers-Barra, D., Aguilar, A., Garcia, N.E. & Rodriguez-Kabana, R. 1998. Microorganisms from carbon and nitrogen cycles during the vermicomposting process. *Abstracts 6th International Symposium on Earthworm Ecology*. Vigo. España.
- Rasul. G. 2007. Salinity-induced changes in the microbial use of sugarcane filter cake added to soil. Doctoral Tesis. Department of Soil Biology and Plant Nutrition. Faculty of Organic Agricultural Sciences University of Kassel. Witzenhausen. Pakistan. 87 p.
- Rhoades J. 1982. Cation exchange capacity. *In*: A. L. Page (Ed.). Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy monograph N° 9. ASA & SSSA. Madison, WI. USA. pp. 178-190.
- Richards D., Lane M. and Beardsell D. V. 1986. The influence of particle-size distribution in pinebark:sand:Brown coal poating mixes on water supply, aeration and plant growth. *Scientia Horticulturae* (Amsterdam, Holanda) 29: 1-14.
- Rodríguez M. R. 2004. Desarrollo y caracterización de sustratos orgánicos a partir del bagazo de agave tequilero. Tesis de Doctorado. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Texcoco. México. 134 p.

- Rodríguez D. M., Cano R. P., Figueroa M. U., Palomo G. A., Favela C. E., Álvarez R. V., Márquez H. C. y Moreno R. A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. *Rev. Fitotec. Mex. (México)* 31(3): 265-272.
- Rui J. Z. 1987. Densities and media effect on tomato seedling quality. ARC Training. [http://www.arc-avrdc.org/pdf_files/Zhouruinun\(5-N\).pdf](http://www.arc-avrdc.org/pdf_files/Zhouruinun(5-N).pdf)
- SAGARPA. Secretaria de Agricultura, Ganaderia, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. 2009. Resumen histórico zafra 2009. México. [http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/salidaPDF.php?reporte=47&tipooorden=ASC&Columna=&Zafras\[\]=2009&corridaSemana=semanas&recorrersemanas=1&Sector\[\]=0&Consortio\[\]=0&Estados\[\]=0&enviar=Ver+reporte&tipo=2&origen=CIERRE&usrlogeado=0](http://www.campomexicano.gob.mx/azcf/reportes/salidaPDF.php?reporte=47&tipooorden=ASC&Columna=&Zafras[]=2009&corridaSemana=semanas&recorrersemanas=1&Sector[]=0&Consortio[]=0&Estados[]=0&enviar=Ver+reporte&tipo=2&origen=CIERRE&usrlogeado=0)
- Sahin U., O. Anapali and Ercisli S. 2002. Physico-chemical and physical properties of some substrates used in horticulture. *Gartenbauwissenschaft, (Germany)* 67(2):55–60, ISSN 0016–478X.
- Said D. H. A. 2008. Effect of cadmium and zinc on growth parameters of tomato seedlings. *Academic Journal of Plant Science (France)* 1(1): 05-11 ISSN 1995-8986
- Saidi N., M. Chérif, N. Jedidi, M. Mahrouk, M. Fumio, A. Boudabous and Hassen A. 2008. Evolution of biochemical parameters during composting of various wastes compost. *American Journal of Environmental Sciences (USA)* 4(4): 332-341.
- Salazar-Sosa, H. I. Trejo-Escareño, C. Vázquez-Vázquez y J. D. López-Martínez. 2007. Producción de maíz bajo riego por cintilla, con aplicación de estiércol bovino. *International Journal of Experimental Botany PHYTON (Argentina)* 76: 169-185.
- Sangwan P., C.P. Kaushik and Garg V. K. 2008. Feasibility of utilization of horse dung spiked filter cake in vermicomposters using exotic earthworm *Eisenia foetida*. *Bioresource Technology (Great Britain)* 99: 2442–2448.

- Santana B. Y., Aguiar G. I., León S. L. E., Busto C. A. A. y L. R. Cruz. 2006. Comportamiento de las plántulas de tomate en sustratos elaborados a partir de humus, turba y cascarilla de arroz. Universidad de Pinar del Rio, Cuba. <http://www.buscagro.com/www.buscagro.com/biblioteca/Yoerlandy-Santana/Sustrato-para-tomate.pdf>
- Satisha G. C. and Davarajan L. 2005. Humic substances and their complexation with phosphorous and calcium during composting of pressmud and other biodegradables. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* (London, United Kingdom) 36: 805-818.
- Schmilewski G. 2008. The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*. Vol. 3. Germany.
- Schrader W. L. 2000. Using transplants in vegetable production. UC Cooperative Extension Farm Advisor, San Diego County, Publication 8013. USA. <http://ucanr.org/freepubs/docs/8013.pdf>
- Serrato S. R., Ortiz A. A., Dimas L. J. y P. S. Berúmen. 2002. Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en La Comarca Lagunera, México. *Terra Latinoamericana* (México) 20(3): 329-336.
- Shibuya T., Tsuruyama J., Kitaya Y. and Kiyota M. 2006. Enhancement of photosynthesis and growth of tomato seedling by force ventilation within the canopy. *Scientia Horticulturae* (USA) 109: 218-222.
- Steiner A. A. 1984. The Universal Nutrient Solution. Sixth Int. Congr. On Soiles Culture. ISOSC. Proceedings. The Netherlands. Pp 633-649.

- Suthar S. 2008. Bioremediation of Aerobically Treated Distillery Sludge Mixed with Cow Dung by Using an Epigeic Earthworm *Eisenia fetida*. Environmentalist (Netherlands) 28:76–84.
- Szczerba M. W., Britto D. T. and Kronzucker H. J. 2009. K⁺ transport in plants: Physiology and molecular biology. Journal of Plant Physiology (USA) 166(5): 447-466.
- Thompson P. A. 1974. Characterization of the germination responses to temperature of vegetable seeds. I. Tomatoes. Scientia Horticulturae (USA) 2: 35-54.
- Torres P., Pérez A., Escobar J. C., Uribe I. E. y R. Imery. 2007. Compostaje de biosólidos de plantas de tratamiento de aguas residuales. Eng. Agríc. (Jaboticabal, Brazil) 27(1): 267-275.
- Torres L. P., Escobar J. C., Pérez V. A., Imery V. R., Nates P., Sánchez G., Sánchez M. y A. Bermúdez. 2005. Influencia del material de enmienda en el compostaje de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR). Revista Ingeniería e Investigación (Colombia) 25(2): 53-61.
- Toumela M., Vikman M., Hatakka A. and Itävaara M. 2000. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. Bioresource Technology (Great Britain) 72: 169-183.
- Velasco M. I.; Campitelli S. B. and Havel J. 2004. Analysis of humic acid from compost of urban wastes and soil by fluorescence spectroscopy. AGRISCIENTIA (Argentina) 21(1): 31-38.
- Velasco V., J.; R. S. Santamaria y R. Ferrera-Cerrato. 1997. *Eisenia andrei* “comercial” y *Eisenia andrei* “CP-L1” en el vermicomposteo de paja. pp. 153-158. In: Memorias III Simposio Internacional y IV Reunión Nacional Sobre Agricultura Sostenible: Un Futuro Agrícola Sostenible. Guadalajara, Jalisco.

- Venegas-González J., Cajuste J. L., Trinidad-Santos A., Gavi-Reyes F. y P. Sánchez-García. 2005. Análisis químico de compost y efecto de su adición sobre la producción de biomasa en zarzamora. *Terra Latinoamericana (México)* 23(3): 285-292.
- Verdonck O. and Demeyer P. 2004. The influence of the particle sizes on the physical properties of growing media. *Acta Hort. (USA)* 644: 99-101.
- Villanueva R. E., Sánchez G. P., Rodríguez M. N., Villanueva N. E., Ortiz M. E., y J. A. Gutiérrez E. 1998. Efecto de reguladores del crecimiento y tipo de sustrato en el enraizamiento de Kalanchoe. *Terra Latinoamericana (México)* 16(1): 33-41.
- Villegas T. O. G., Rodríguez M. M. N., Trejo T. L. I. y Alcantar G. G. 2001. Potencial de la miel de abeja en la nutrición de plátulas de tomate. *Terra Latinoamericana (México)* 19(1): 97-102.
- Warncke D. D. 1986. Analyzing greenhouse growth media by the saturation extraction method. *HortScience (USA)* 21: 223-225.
- Wollum II, A. G. 1982. Cultural methods for soil microorganisms. 781-802. *In*: Page, A. L. (Ed). *Methods of Soil Analysis. Agronomy 9 Part 2.* Soil Science Society of America, Inc. Publisher. Madison, WI., USA.
- Wong J. W. C., Mak K. F., Chan N. W., Lam A., Fang M., Zhou L. X., Wu Q. T. and Liao X. D. 2001. Co-composting of soybean in residues and leaves in Hong Kong. *Bioresource Technology (Great Britain)* 76: 99-106.
- Zamora M. B. P., Sánchez G. P. y V. H. Volke H. 2005. Formulación de Mezclas de Sustratos Mediante Programación Lineal. *INCI (Venezuela)* 30(6): 69-81. ISSN 0378-1844.
- Zhuo H., Lü Y., Yang Z. and Li B. 2007. Influence of conservation tillage on soil aggregates features in North China plain. *Agricultural Science in China (China)* 6(9): 1099-1106.

X. ANEXO 1

Composición química de los medios de cultivo microbiano y metodología empleados en la identificación y cuantificación de grupos microbianos.

Todos los medios de cultivo utilizados se esterilizaron en autoclave a 121° C durante 15 minutos.

1. Bacterias totales (Wollum, 1982)

Para su determinación se usó Agar nutrient como medio de cultivo, cuya composición se enlista a continuación:

| | |
|-------------------|--------|
| Peptona | 5.0 g |
| Extracto de carne | 3.0 g |
| Agar | 15.0 g |
| Agua destilada | 1 L |
| pH | 7.0 |

La cuantificación de bacterias se realizó con base en sus características morfológicas macroscópicas (coloniales) típicas.

2. Hongos (Wollum, 1982)

Para su cuantificación se contaron las colonias con características morfológicas macroscópicas típicas desarrolladas en el medio de cultivo Martin, cuya composición química se describe enseguida:

| | |
|---------------------------------|--------|
| KH ₂ PO ₄ | 1.0 g |
| MgSO ₄ | 0.5 g |
| Peptona | 5.0 g |
| Dextrosa | 10.0 g |
| Rosa de Bengala al 1% | 3.3 mL |

| | |
|----------------|--------|
| Agar | 20.0 g |
| Agua destilada | 1 L |
| pH | 6.4 |

Cuando el medio de cultivo estuvo estéril y tibio (fundido), se adicionaron 30 mg L⁻¹ de Estreptomicina. Después de homogenizar suavemente se distribuyó en cajas de Petri estériles para formar las placas.

3. Actinomicetos (Wollum, 1982)

Para su determinación se cuantificaron las colonias desarrolladas en placas de medio de cultivo comercial Czapek, con base en las características morfológicas coloniales típicas. A continuación se presenta su composición típica:

| | |
|-----------------------------|--------|
| Sacarosa | 30.0 g |
| Nitrato Sódico | 3.0 g |
| Sulfato de Magnesio | 0.5 g |
| Cloruro Potásico | 0.5 g |
| Sulfato de Hierro | 0.01 g |
| Hidrogenofosfato dipotásico | 1.0 g |
| Agar-Agar | 13.0 g |
| Agua destilada | 1 L |
| pH | 7.3 |

XI. ANEXO 2

Cuadro 21. Caracterización de fases en tratamientos.

| Tratamiento | % ----- | | | | | | |
|-------------|---------|---------|----------|---------|---------|--------|---------|
| | EPT | CA | AFD | AR | ATD | ADD | Sólidos |
| T1 | 84.77a | 27.80c | 21.80a | 2.23bc | 24.03a | 32.95c | 15.23c |
| T2 | 85.78a | 24.11cd | 16.73ab | 7.57a | 24.30a | 37.38c | 14.22c |
| T3 | 86.28a | 55.43a | 8.52cd | 2.578c | 11.09c | 19.75e | 13.73c |
| T4 | 69.40c | 12.72e | 6.87d | 0.47c | 7.34c | 49.34a | 30.60a |
| T5 | 75.77b | 21.08d | 14.55bc | 4.25abc | 18.80ab | 35.90c | 24.23b |
| T6 | 76.94b | 20.62d | 11.37bcd | 2.57bc | 13.94bc | 42.38b | 23.06b |
| T7 | 85.69a | 39.74b | 14.82bc | 6.13ab | 20.96a | 25.00d | 14.31c |

Medias por tratamiento con misma letra son estadísticamente iguales (Tukey 5%). EPT= Espacio poroso total; CA= Capacidad de aireación; AFD= Agua fácilmente disponible; AR= Agua de reserva; ATD= Agua totalmente disponible; ADD= Agua difícilmente disponible

Cuadro 22. Correlaciones entre variables agronómicas de las plántulas.

| | DIAMETRO | HOJAS | ALTURA | LRAIZ | VRAIZ | AFOLIAR | PSRAIZ | PSAEREO |
|----------|----------|-------|-----------|-----------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| DIAMETRO | 1 | NS | 0.26332** | 0.21918* | 0.35351** | 0.30873** | 0.25698** | 0.28630** |
| HOJAS | | 1 | 0.55254** | 0.37** | 0.60025** | 0.76364** | 0.55419** | 0.59995** |
| ALTURA | | | 1 | 0.32492** | 0.59462** | 0.76713** | 0.62991** | 0.80353** |
| LRAIZ | | | | 1 | 0.72452** | 0.50801** | 0.72616** | 0.46680** |
| VRAIZ | | | | | 1 | 0.78330** | 0.84849** | 0.70215** |
| AFOLIAR | | | | | | 1 | 0.80160** | 0.91799** |
| PSRAIZ | | | | | | | 1 | 0.80405** |
| PSAEREO | | | | | | | | 1 |

**Altamente significativo

*Significativo

NS No significativo