

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Maestría en Estudios Ambientales



Proyecto piloto:

Evaluación de microorganismos comerciales en el compostaje de desechos sólidos orgánicos generados por la actividad agrícola desarrollada bajo invernadero

Trabajo de graduación presentado por

Jorge Alberto Menéndez Evans

para optar al grado de Master en Estudios Ambientales

Diciembre

2009

Proyecto piloto:

Evaluación de microorganismos comerciales en el compostaje de desechos sólidos orgánicos generados por la actividad agrícola desarrollada bajo invernadero

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Maestría en Estudios Ambientales



Proyecto piloto:

Evaluación de microorganismos comerciales en el compostaje de desechos sólidos orgánicos generados por la actividad agrícola desarrollada bajo invernadero

Trabajo de graduación presentado por

Jorge Alberto Menéndez Evans

para optar al grado de Master en Estudios Ambientales

Diciembre

2009

Vo.Bo. Asesores:

(f) _____

Dra. Margaret Dix

(f) _____

Dr. Rolando Cifuentes

Tribunal examinador:

(f) _____

Dra. Margaret Dix

(f) _____

Dr. Rolando Cifuentes

(f) _____

Dr. Edwin Castellanos

Fecha aprobación: 4 de Diciembre, 2009.

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi agradecimiento:

A Dios y la Virgen María: Por estar siempre conmigo y por darme el don de la vida.

A mis Padres y hermana: Por su amor y apoyo incondicional.

A mis abuelos: Aunque no estén físicamente con nosotros, lo están en nuestro pensamiento.

A mis profesores asesores: Dra. Margaret Dix y Dr. Rolando Cifuentes, por sus sabios consejos y aportes en este trabajo de graduación.

Al Dr. Francis Kwong, por sus sugerencias a este trabajo de graduación.

A las empresas: Floricultura & Cia Ltda. y Ball Horticultural Company, por patrocinar el costo de esta investigación, en especial al Ing. Roberto Lara por su apoyo en este proyecto.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	XI
CONTENIDO	XIII
LISTA DE CUADROS.....	XV
LISTA DE FIGURAS.....	XVII
LISTA DE ANEXOS.....	XIX
RESUMEN	XXI
ABSTRACT.....	XXIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. PROBLEMA	1
1.2. ANTECEDENTES.....	1
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.5. HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1. COMPOSTAJE.....	5
2.2. MICROORGANISMOS COMERCIALES UTILIZADOS EN COMPOSTAJE.....	15
III. MÉTODOS	21
3.1. IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS Y PASTOS	21
3.2. MEZCLA DE MATERIALES, FORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PILAS.....	23
3.3. EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS.....	30
3.4. MANEJO.....	34
3.5. MONITOREO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	37
3.6. EVALUACIÓN DEL COMPOST PRODUCIDO.....	43
3.7. VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	51

3.8	COSTOS.....	51
IV.	RESULTADOS.....	53
4.1	IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS Y PASTOS	53
4.2	MEZCLA DE MATERIALES, FORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PILAS.....	55
4.3	MONITOREO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	56
4.4	EVALUACIÓN DEL COMPOST PRODUCIDO.....	66
4.5	VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.....	77
4.6	COSTOS.....	78
V.	DISCUSIÓN	79
5.1	IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS Y PASTOS	79
5.2	MEZCLA DE MATERIALES, FORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PILAS.....	80
5.3	MONITOREO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE.....	80
5.4	EVALUACIÓN DEL COMPOST PRODUCIDO.....	85
5.5	COSTOS.....	88
VI.	CONCLUSIONES	91
VII.	LITERATURA CITADA	95
VIII.	ANEXOS	96

LISTA DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Proporciones de materia cruda y relación total C/N para una pila de compost.	25
Cuadro 2. Orden y volúmenes utilizados de cada material que integró cada unidad de compostaje o pila de compost.	27
Cuadro 3. Pesos húmedos de 7 combinaciones de peat y compost en kg para preparar 0.4 kg de material seco.	43
Cuadro 4. Tratamientos y control evaluados en la producción de biomasa a nivel maceta utilizando suelo-compost.	48
Cuadro 5: Pesos húmedos materiales suelo y compost en kg para preparar 34 kg de material seco.	50
Cuadro 6. Características de peso, volumen y densidad de los desechos sólidos orgánicos y pastos.	53
Cuadro 7. Resultado del análisis químico de los materiales usados para formar pilas de compostaje.	54
Cuadro 8. Composición de la mezcla para elaborar las pilas de compost.	55
Cuadro 9. Comparación de medias LSD de temperaturas según tratamientos en cada una de las fases de compostaje.	60
Cuadro 10. Comparación de medias LSD de pH según tratamientos en cada una de las fases de compostaje.	62
Cuadro 11. Suma de cuadrados del análisis de varianza para la variable propiedades físicas, a los 184 días de compostaje.	64
Cuadro 12. Resultados de C/N, % materia orgánica (M.O), pH, NH ₄ , NO ₃ y concentración de sales promedio tratamientos.	65
Cuadro 13. Suma de cuadrados del análisis de varianza para la variable % germinación.	66
Cuadro 14. Comparación de medias LSD en la variable porcentaje de germinación para la interacción tipo compost x mezclas peat: compost.	67

Cuadro 15. Suma de cuadrados del análisis de varianza para la variable pH y conductividad eléctrica (CE).....	68
Cuadro 16. Comparación de medias LSD variables pH y Conductividad Eléctrica (CE) entre combinaciones peat: compost.	68
Cuadro 17. Resultado de comparación de medias con prueba de diferencia mínima significativa (LSD) por sus siglas en inglés, variables pH y Conductividad Eléctrica (CE) interacción tipo compost x mezclas peat: compost.....	69
Cuadro 18. Suma de cuadrados del análisis de varianza de la variable altura.....	73
Cuadro 19. Comparación de medias LSD combinación suelo: compost y altura.....	73
Cuadro 20. Valor F del análisis de varianza para la variable bioacumulación de nutrientes.....	74
Cuadro 21. Comparación de medias LSD en la variable acumulación de nutrientes en biomasa aérea, tipos de compost.....	74
Cuadro 22. Comparación de medias LSD variable acumulación de nutrientes en biomasa aérea, combinación suelo: compost.....	75
Cuadro 23. Costos por pila diferentes tratamientos.....	78

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de flujo de un sistema de compostaje en pilas.....	10
Figura 2. Imágenes de recolección y picado de material en los cubículos.	24
Figura 3. Apariencia de los materiales al momento de ser mezclados en la pila.....	25
Figura 4. Preparación y apariencia final de la plataforma para colocar pilas de compostaje.	26
Figura 5. Secuencia en la formación de las pilas de compostaje.	29
Figura 6. Distribución aleatoria de las pilas de compost.	30
Figura 7. Presentación de EM.	32
Figura 8. Inoculación de EM al momento de formar las pilas.	33
Figura 9. Pilas durante un día soleado y de lluvia.	35
Figura 10. Volteo de pila.	36
Figura 11. Puntos donde se midieron temperaturas de núcleo y corteza en cada pila.....	37
Figura 12. Creación de perfil en el punto de muestreo.	38
Figura 13. Cristalería y equipo para medir pH y conductividad eléctrica.	39
Figura 14. Mojado y llenado de bandejas con material combinado.	44
Figura 15. Apariencia y distribución al azar de los diferentes tratamientos para la prueba de germinación en bandejas.	45
Figura 16. Siembra semillas, introducción a cámara germinación y aplicación de neblina.....	46
Figura 17. Distribución de los tratamientos al azar.	49
Figura 18. Perfiles de temperatura promedio diaria en núcleo (A), corteza (B) y pilas (C) de los diferentes tratamientos.....	58
Figura 19. Perfiles de humedad diaria en pilas de los diferentes tratamientos.	61
Figura 20. Perfiles de pH diaria en pilas de los diferentes tratamientos.....	62
Figura 21. Apariencia de los diferentes tratamientos y sus repeticiones (A,B).....	63
Figura 22. Apariencia plántulas a los 7 días de germinación.	71
Figura 23. Apariencia pilones germinados tras 21 días de siembra.....	72

Figura 24. Apariencia plantas híbrido Marigold a los 30 días de transplantadas, en los diferentes tratamientos y proporciones suelo: compost.	76
Figura 25. Gráfica promedio datos climáticos semanales en proceso de compostaje.	77

LISTA DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Análisis materiales que integraron las pilas de compost.....	96
Anexo 2. Resultados primer análisis de abono orgánico.	97
Anexo 3. Resultados segundo análisis de abono orgánico.	98
Anexo 4. Resultados tercer análisis de abono orgánico.....	99
Anexo 5. Resultados compost analizado como suelo.	100
Anexo 6. Resultado suelo testigo.....	101
Anexo 7. Análisis de nutrientes biomasa aérea (Tallo, hojas, flores).....	102
Anexo 8. Valores promedio de las propiedades físicas para los compost producidos.....	102

RESUMEN

Menéndez, J. 2009. Evaluación de microorganismos comerciales en el compostaje de desechos sólidos orgánicos generados por la actividad agrícola desarrollada bajo invernadero. Trabajo de Graduación. Universidad del valle de Guatemala. Guatemala, Guatemala. 127 p.

Palabras claves: Desechos sólidos orgánicos, compost, compostaje, microorganismos, Geranio, pastos, etapa termofílica, etapa mesofílica, madurez del compost, Marigold, acumulación de nutrientes.

Los microorganismos comerciales para compostaje *EM* o *Microorganismos Eficaces* por sus siglas en inglés y *Alibio Activador de Composta (AC)* fueron evaluados contra un control al cual no se le aplicaron microorganismos, en el compostaje de pilas de 8 m³ al aire libre conformadas en volumen por 18% desechos sólidos orgánicos del cultivo Geranio (*Pelargonium* sp) producido bajo invernadero, 40% pasto Napier (*Pennisetum* sp), 30% pasto Jaraguá (*Hyparrhenia* sp) y 12% de hojarasca de bosque de encino (*Quercus* sp).

Para la evaluación existieron tres tratamientos siendo ellos: Tratamiento 1 (Compost EM): Dos pilas o réplicas de compost a las cuales se les aplicó EM durante el ciclo de compostaje. Tratamiento 2 (Compost CO): Dos pilas de compost a las cuales no se les aplicó microorganismos comerciales. Tratamiento 3 (Compost AC): Dos pilas de compost a las que se les aplicó AC durante el ciclo de compostaje. Los tres tratamientos tuvieron un manejo similar en el ciclo de compostaje, la única variante fue la aplicación microorganismos en el tratamiento 1 y 3.

Durante 160 días se monitoreó temperatura, humedad y pH en todas las pilas. En el día 184 se evaluaron las propiedades físicas del compost de los tratamientos y al día 200 se realizó en laboratorio un análisis de nutrientes, determinándose la razón NH₄-N/NO₃-N para conocer la madurez del compost.

A nivel invernadero se evaluó el uso del compost producido de los tres tratamientos, en la germinación de semillas híbridas de Marigold (*Tagetes* sp), comparándose el porcentaje de germinación, pH y conductividad eléctrica de los diferentes compost mezclados con peat moss comercial según peso seco, en 7 combinaciones porcentuales de peat=P con compost=C, siendo (100P, 90P-10C, 70P-30C, 50P-50C, 30P-70C, 10P-90C y 100C).

También en los compost producidos se evaluó la altura y acumulación de nutrientes en la biomasa aérea de plantas del mismo híbrido crecidas en macetas, bajo tres combinaciones porcentuales en peso seco de suelo=S con compost =C, siendo (100S, 90S-10C y 100C).

Los porcentajes de los materiales en las pilas, fueron determinados en base a resultados de laboratorio de cada material, lográndose obtener una relación Carbono/Nitrógeno (C/N) total de 37.27, la cual está dentro de los límites razonables de 20 a 40 establecidos por Rynk *et al* (1992) para un adecuado proceso de compostaje.

Los resultados del monitoreo de temperatura mostraron que los tratamientos 1 y 3 permanecieron en la etapa termofílica (temperatura >45° C) 78 días, mientras el control tardó 23 días más en finalizar esta etapa. Sin embargo al analizar las temperaturas

correspondientes a cada tratamiento durante su respectiva etapa termofílica no existió diferencia estadística significativa ($P < 0.05$). La etapa mesofílica (temperatura $< 45^\circ$ y $> 25^\circ$ C) duró 82 días para los tratamientos con microorganismos comerciales y 59 días para el control, mostrándose una diferencia estadísticamente significativa en la temperatura del tratamiento 3 en comparación al tratamiento 1 y 2.

El porcentaje de humedad de los tratamientos tuvo un patrón similar durante el proceso de compostaje y se mantuvo en un rango razonable de acuerdo a los límites de 40-65% establecidos por Rynk *et al* (1992).

El pH de los tres tratamientos no mostró diferencia estadística significativa ($P < 0.05$) durante la etapa termofílica, mientras que en la etapa mesofílica el control tuvo un pH final de 8.1 en comparación al 7.88 del tratamiento 3 y 7.75 del tratamiento 1, notándose un efecto significativo de los microorganismos comerciales sobre el pH en comparación al control.

Las propiedades físicas de los tratamientos en el día 184 fueron estadísticamente similares ($P < 0.05$), y según la razón $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ del análisis de los compost en el día 200 los tratamientos 1 y 3 mostraron ser más maduros que el tratamiento 2, siendo el tratamiento 1 el más maduro de los tres tratamientos.

Estadísticamente ($P < 0.05$) se demostró que la germinación de la semilla de Marigold evaluada no se vio afectada por las 7 combinaciones de peat moss-compost en los tratamientos 1 y 2, mientras el compost del tratamiento 3 sí afectó la germinación en la proporción que contenía 100C.

Los resultados de pH en las 7 diferentes combinaciones de peat-compost, mostraron un efecto neutralizador estadísticamente significativo ($P < 0.05$) sobre la acidez del peat, conforme mayor cantidad de compost hubo en la mezcla. No existió diferencia significativa en la conductividad eléctrica de las combinaciones cuando las proporciones fueron inferiores a 30P-70C, pero sí existió cuando fueron superiores (10P-90C y 100C).

No existió diferencia estadística ($P < 0.05$) de altura entre las plantas de los 3 tratamientos debido al tipo de compost. Si existió en las 3 combinaciones de suelo-compost, las plantas más altas se obtuvieron al utilizar 100% compost, seguidas por utilizar 10% compost mezclado con 90% suelo. La altura más baja de plantas se obtuvo al utilizar 100% suelo.

En la evaluación de acumulación de nutrientes en biomasa aérea, existió diferencia estadística ($P < 0.05$) habiendo una mayor concentración de Nitrógeno en los tratamientos 1 y 3, en comparación al control debido al tipo de compost. Respecto a las combinaciones, la mayor acumulación de N, P, K, Ca, Mn y Zn en la biomasa aérea existió al utilizar 100% compost como sustrato para crecer las plantas. El crecer plantas en una mezcla de 90% suelo y 10% compost mostró una mayor concentración de los anteriores elementos que las plantas que crecieron en 100% suelo, notándose el efecto del compost como abono.

El costo del compost AC fue el más alto, en comparación con el compost EM y el compost CO. Debido a su costo y las ventajas mostradas es viable utilizar EM en el compostaje de los desechos evaluados.

ABSTRACT

Menéndez, J. 2009. Evaluation of commercial microorganisms in the composting of solid organic agricultural waste generated by the greenhouse horticulture activity. Graduation project. Del valle University. Guatemala, Guatemala. 127 p.

Key words: Solid organic waste, compost, composting, microorganisms, Geranium, grasses, thermophilic phase, mesophilic phase, compost maturity, Marigold, nutrient accumulation.

The commercial microorganisms *EM* (*Effective microorganisms*) and the *Alibio Composting activator* (*CA*) were evaluated against a control without microorganisms in the outdoor composting of 8 m³ windrows or piles built by volume with 18% greenhouse Geranium (*Pelargonium* sp) organic waste, 40% Napier grass (*Pennisetum* sp), 30 % Jaragua grass (*Hyparrhenia* sp) and 12% oak leaf litter (*Quercus* sp) as raw materials.

Three treatments were established: Treatment 1(EM Compost): Two piles or replicas with EM applied during the composting cycle. Treatment 2 (CO Compost): Two piles without commercial microorganism. Treatment 3 (CA Compost): Two piles with CA added during the composting cycle. All piles had similar management throughout the composting cycle, with the exception of the commercial composting microorganism application to treatments 1 and 3.

For 160 days, the temperature, moisture and pH of all the piles were monitored. On day 184, the physical properties of the compost treatments were evaluated; and on day 200, the nutrient content was determined by a laboratory, using the ratio NH₄-N/NO₃-N as a measure of compost maturity.

Each compost treatment was evaluated inside a greenhouse to determine seed germination percentage of hybrid Marigold (*Tagetes* sp), comparing pH and electrical conductivity of the composts mixed with commercial peat moss under dry weight percentage basis, in 7 combinations of peat=P with compost=C (100P, 90P:10C, 70P:30C, 50P:50C, 30P:70C, 10P:90C and 100C).

The produced composts were also evaluated in terms of height and nutrient accumulation of aerial biomass in Marigold hybrid plants grown in pots, for three combinations under dry weight percentage basis of soil=S with compost=C (100S, 90S:10C and 100C).

The percentages of raw materials used to form the piles were determined based on the laboratory results for each material and produced a Carbon/Nitrogen (C/N) ratio of 37.27, which is between the reasonable limits of 20 to 40 suggested by Rynk *et al* (1992) for an adequate composting process.

The results of the temperature monitoring showed that treatments 1 and 3 remained in the thermophilic phase (temperature >45° C) for 78 days, while the control needed 23 more days to finish this phase. The temperature of each treatment during its corresponding phase did not show significant statistical difference (P<0.05). The mesophilic phase (temperature < 45° and > 25° C) lasted 82 days with commercial microorganisms and 59 days for the control, showing a statistical difference in the temperature of treatment 3, compared with treatment 1 and 2.

The moisture behavior of the treatments had a similar pattern during the composting process and was within the reasonable range (40-65%) according to the values defined by Rynk *et al* (1992).

The pH of the three treatments did not show significant statistical difference ($P < 0.05$) during the thermophilic phase, while for the mesophilic phase, the control had a final pH of 8.1 compared with 7.88 for treatment 3 and 7.75 for treatment 1, thus showing a significant effect of the commercial microorganisms on the pH compared with the control.

The physical properties of the treatments on day 184 were statistically ($P < 0.05$) similar, and according to the $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ ratio on day 200, treatments 1 and 3 were more mature than treatment 2. Treatment 1 showed the highest maturity.

Statistically ($P < 0.05$), it was shown that germination was not affected by the 7 peat moss-compost combinations in treatments 1 and 2, meanwhile the treatment 3 compost affected the germination in the proportion that had 100C.

With respect to pH, there was a significant ($P < 0.05$) acidity reduction in the 7 peat moss-compost mixes (increasing pH) when the proportion of compost was increased.

There was no significant difference in electrical conductivity when the proportions were under 30P-70C, but it was in 100C.

There was no statistically significant difference ($P < 0.05$) in height between the three treatments due to compost type; the highest plants were obtained using 100% compost, followed by 90% soil mixed with 10% compost. The lowest height was obtained in the 100% soil media.

In the nutrient accumulation of aerial biomass evaluation, treatments 1 and 3 showed a statistically ($P < 0.05$) higher concentration of Nitrogen compared with treatment 2 or the control due to compost type. In terms of proportions of soil-compost, 100% compost as media showed the highest accumulation of N, P, K, Ca, Mn and Zn in the aerial biomass. Plants grown in the mix 90% soil and 10% compost showed a superior accumulation of the mentioned nutrients, compared with 100% soil, showing the fertilizer effect of the produced composts.

The cost of producing the CA compost was highest, in comparison with EM compost and CO compost. Due to the cost and advantages shown, it is viable to use EM in the composting of the evaluated materials.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. PROBLEMA

Dentro de los sistemas de producción agrícola se generan desechos sólidos orgánicos de diferente índole. El tipo y características varían de acuerdo a condiciones donde se cultiven, por ejemplo invernadero o campo abierto. El manejo, tratamiento y/o disposición final de estos desechos debe estar enfocado a disminuir la contaminación ambiental y fomentar su aprovechamiento o re-utilización en el mismo u otro sistema.

1.2. ANTECEDENTES

Los cultivos bajo invernadero en macetas o “greenhouse potted crops” generalmente son de ciclo corto a mediano, variando su tiempo de producción de 3 a 6 meses. Durante este tiempo la planta genera material vegetal constituido por raíces, tallo, hojas, flores y frutos, lo cual representa materia orgánica y nutrientes. Generalmente, terminado el ciclo de cultivo a los residuos de material vegetal no se les da tratamiento o se realiza un tratamiento mínimo, siendo habitual como método de disposición final su acumulación o entierro en lugares aislados de las unidades de producción.

Actualmente se desconoce la cantidad total de desechos orgánicos que se genera en los diferentes invernaderos trabajados comercialmente en el país, sin embargo se reconoce que la cantidad es alta.

Una de las opciones de tratamiento y aprovechamiento de los desechos mencionados anteriormente es el compostaje, definido según Rynk *et al* (1992) como: «El proceso biológico en el cual los microorganismos aeróbicos transforman materiales orgánicos en un material con apariencia de suelo llamado compost».

En Guatemala, regularmente son pocos los procesos de compostaje que se realizan con parámetros de medición y monitoreo que aseguren la uniformidad o similitud del producto final (compost) bajo lineamientos de calidad establecidos, según su uso futuro. Esto es aplicable para la etapa activa de compostaje donde usualmente se monitorean parámetros como temperatura, humedad, pH y la fase de maduración donde se monitorean propiedades físicas, químicas, biológicas, fitotoxicidad, ensayos de biomasa,

entre otros. También es poco común el uso de microorganismos comerciales para acelerar o mejorar el proceso de descomposición.

Dentro de las producciones bajo invernadero con macetas, el medio o sustrato juega un papel esencial, puesto que este brinda soporte a la planta, retiene agua, nutrientes y permite el intercambio gaseoso de las raíces. Generalmente el medio está formado por la mezcla de varios componentes orgánicos e inorgánicos buscando formar en conjunto propiedades físicas, químicas y biológicas que permitan el buen desarrollo de los cultivos durante su ciclo. Dentro de algunos de los componentes orgánicos más utilizados en Guatemala están la broza de bosque, cascarilla de arroz, peat moss. Y como inorgánicos suelo mineral, piedra pómez, perlita y vermiculita. Es importante mencionar que no es común utilizar compost como componente orgánico en la mezcla o utilizar únicamente compost.

1.3. JUSTIFICACIÓN

Se desconocen las cantidades de desechos orgánicos agrícolas que genera un centro de producción con invernaderos y su potencial para ser utilizado como posible sustrato tras un tratamiento de compostaje manejado y monitoreado, empleando microorganismos comerciales.

Este trabajo buscó generar información detallada sobre un proceso de compostaje en pilas o windrows utilizando microorganismos comerciales para descomponer desechos sólidos orgánicos generados en una unidad de producción con varios invernaderos (finca) de plantas en maceta ubicada en Jalapa, con el objetivo de volver eficiente el tratamiento de los desechos y buscar su aprovechamiento dentro del ciclo de los cultivos, utilizando el compost como un posible componente del sustrato utilizado actualmente.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1 GENERAL

- Producir compost con buenas características físicas y químicas a través de un proceso de compostaje aeróbico manejado de los desechos sólidos orgánicos agrícolas generados por la finca, utilizando microorganismos descomponedores comerciales.

1.4.2 ESPECÍFICOS

- a. Identificar y cuantificar los desechos sólidos orgánicos agrícolas existentes en la unidad de producción (finca).
- b. Determinar a nivel finca y laboratorio las propiedades básicas de los materiales orgánicos a utilizar (Materia cruda) para diseñar composteras.
- c. Evaluar Microorganismos (MI) nativos (broza de bosque) y dos cócteles de MI comerciales en la producción de compost.
- d. Caracterizar física y químicamente el compost producido.
- e. Evaluar el uso del compost como sustrato para germinar semillas.
- f. Evaluar el uso del compost como un componente de un sustrato para crecer plantas en macetas.

1.5. HIPÓTESIS

Es posible la producción de compost que cumpla estándares para su uso en la producción de flores en maceta bajo invernadero, a partir de desechos sólidos agrícolas tras manejar y monitorear un proceso de compostaje con microorganismos comerciales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. COMPOSTAJE

2.1.1. Antecedentes. Según Stoffella y Kahn (2001) el proceso de compostaje ha sido reconocido por el hombre desde su evolución, cuando modificó su hábito de cazador a recolector. Los antepasados se daban cuenta que los cultivos podían crecer mejor cerca de pilas de vegetación en descomposición.

Durante los años 1905 y 1934 Sir Albert Howard, un agrónomo inglés radicado en India estudió con mayor detalle el proceso de compostaje, él reconocía que un suelo tenía que ser fértil para producir plantas sanas y que un suelo fértil debería tener una cantidad considerable de humus. Basándose en esto desarrolló un método de compostaje que nombró Indore (Stoffella y Kahn, 2001).

Howard colocó en un lugar diferentes capas de distintos materiales como paja, estiércol, suelo, hasta llegar a una altura de 5 pies (1.5 m) La pila se volteaba a mano varias veces durante un ciclo. Si la pila era muy grande, se le agregaban tubos perforados o chimeneas que llegaban hasta el centro de la pila. El tiempo de detención era de 120 a 180 días. El método Indore estableció y aportó dos conceptos usados actualmente en el compostaje: El primero empleó una receta de materiales y segundo, reconoció la importancia de procedimientos para una operación exitosa, situaciones que colaboran a la repetitividad de resultados (Haug, 1993).

Después de la segunda guerra mundial, se realizaron más esfuerzos científicos para saber que sucedía en la descomposición y/o en el actual proceso de compostaje (Stoffella y Kahn, 2001).

Con el aumento poblacional, los desechos orgánicos como biosólidos municipales, lodos industriales, desechos sépticos, estiércoles animales, desechos de jardín, desechos agrícolas, desechos de procesamiento de alimentos y la parte orgánica de los desechos sólidos municipales (DSM), se convirtieron en un gran problema para las municipalidades y gobiernos de los países desarrollados y subdesarrollados (Haug, 1993).

Gran parte del conocimiento y tecnología de compostaje se comenzó a desarrollar como una solución de manejo de desechos para los problemas mencionados con anterioridad a partir de los años 70's en Europa y Estados Unidos. Para los años 80's ya

existían y estaban en funcionamiento varios sistemas o tecnologías de compostaje industrializadas y no industrializadas (Stoffella y Kahn, 2001).

La mayoría de la literatura relacionada con compostaje hace énfasis en los desechos sólidos municipales (DSM) y a los biosólidos (municipales-industriales), mostrando el proceso como una forma de tratar desechos orgánicos y el producto final (compost) como un material “estable”, libre de patógenos, utilizable en varias aplicaciones.

Una parte muy reducida de la literatura se refiere al compostaje de desechos agrícolas, pecuarios, su uso y/o aprovechamiento dentro de los mismos sistemas.

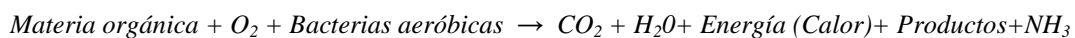
2.1.2. Conceptos. Existen varios conceptos de compostaje los cuales varían acorde a cada autor y el enfoque del material escrito:

Según Rynk *et al* (1992) el compostaje «Es la degradación biológica de la materia orgánica bajo condiciones aeróbicas a un material relativamente estable con aspecto de humus llamado compost»

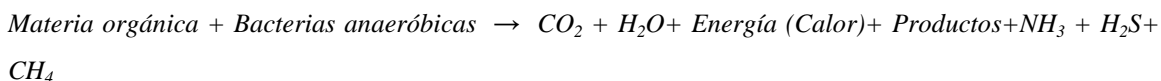
Stoffella y Kahn (2001) indican que «Compostaje es la masa de procesos biológicos interdependientes realizados por microorganismos aeróbicos o anaeróbicos esenciales para la descomposición de la materia orgánica»

Según Haug (1993) compostaje «Es la descomposición biológica y estabilización de sustratos orgánicos, bajo condiciones que permitan el desarrollo de temperaturas termofílicas, como resultado del calor producido biológicamente, para producir un producto final estable, libre de patógenos y semillas que pueda ser aplicado al suelo de una forma benéfica».

2.1.3. Proceso de compostaje. Stoffella y Kahn (2001) señalan que la mayoría de sistemas de compostaje son aeróbicos, lo cual implica a microorganismos que utilizan oxígeno (O₂) para la descomposición de la materia orgánica, sucediendo en resumen la siguiente ecuación bioquímica:



También puede suceder la siguiente ecuación en ausencia de oxígeno (O₂)



En el proceso biológico de compostaje los microorganismos consumen oxígeno para extraer energía y nutrientes de la materia orgánica, produciendo CO₂, agua, calor, productos (compost) y subproductos gaseosos misceláneos de la descomposición. La materia orgánica es perdida como compuestos de Carbono creando CO₂ y compuestos volátiles como amoníaco (NH₃), (Eptein, 1997 y Pincelot, 1975), citados por Stoffella y Kahn, (2001).

Rynk *et al* (1992), indican que las entradas del proceso de compostaje son: *Materia orgánica* (Carbono, proteína, energía química, agua, nutrientes), *Oxígeno* y *microorganismos*. Las salidas son: *Materia orgánica descompuesta* (compost, microorganismos), *CO₂*, *calor* y *agua*.

2.1.4. Métodos de compostaje. Existen numerosos métodos para realizar compostaje, básicamente ellos brindan condiciones para que los microorganismos transformen los materiales iniciales o desechos en compost, dando condiciones de aireación, contención y desplazamiento en el sistema.

Según Stoffella y Kahn (2001) hay varias clasificaciones de los métodos, siendo la más común el ambiente donde se realiza el compostaje: Abierto y cerrado (o en contenedores).

Dentro de los métodos abiertos se pueden mencionar: Pilas volteadas, pilas estáticas aireadas pasivamente. En los métodos cerrados se mencionan: Camas agitadas horizontalmente, contenedores aireados, silos o contenedores en torres.

También se puede clasificar según el modo de aireación (pasiva y forzada), según el modo de movimiento de los materiales en el proceso (lotes o continuo), según el tipo de agitación (estático y volteado).

El método de compostaje utilizado en este trabajo fue el de *pilas volteadas*, el cual es un método abierto que utilizó aireación pasiva (volteos), el movimiento de materiales en el proceso fue por lotes y la agitación se realizó también con los volteos. A continuación se describe el método con mayor detalle:

El método de pilas volteadas consiste en colocar los materiales mezclados sobre una superficie formando una pila regularmente larga, de más de 1 m de alto y más de 2 m de ancho, cuya forma puede variar de rectangular, trapezoidal y triangular conforme avance el proceso de descomposición (Haug, 1993).

La pila se voltea con la ayuda de un tractor de cargador frontal o con máquinas volteadoras especiales. En cada volteo los materiales se mezclan y homogenizan progresivamente. Durante el volteo se liberan gases, calor atrapado, se distribuyen agua, nutrientes, microorganismos. También existe intercambio del material y ambiente frío oxigenado externo en la superficie de la pila o corteza, con el material y ambiente menos oxigenado caliente interno de la pila o núcleo, lo cual expone el material a temperaturas altas internas y al aire disponible en la superficie.

La aireación se realiza de forma pasiva por convección y difusión gaseosa, la tasa de intercambio de aire depende en gran parte de la porosidad de la pila (Haug, 1993; Stoffella y Kahn, 2001).

Tras la mezcla y formación de las pilas, comienza la primera fase del proceso de compostaje o fase activa de compostaje donde existe gran actividad biológica.

Los microorganismos continuarán degradando progresivamente los materiales de las pilas transformándolos a materiales más simples, uniformes y estables, existiendo menos actividad biológica, a esta segunda fase se conoce como fase de maduración.

En la fase activa, los microorganismos presentes en la materia orgánica inician a trabajar y a multiplicarse en un medio acuoso, tomando oxígeno disuelto incorporado por la aireación en los volteos para la formación y aireación de las pilas. Los microorganismos comienzan a degradar las moléculas orgánicas más sencillas, por ejemplo azúcares, los cuales contienen bastante energía en sus enlaces químicos. La energía es liberada en forma de calor, agua y Dióxido de Carbono, producto de la respiración (Haug, 1993).

La fase de maduración es el resultado de la descomposición progresiva, hasta llegar a tener un material final estable o compost. Durante esta etapa la actividad microbiológica es menor, por lo tanto hay poca liberación de calor y temperaturas bajas dentro de las pilas, en comparación a la fase activa. La cantidad de agua de los materiales disminuye,

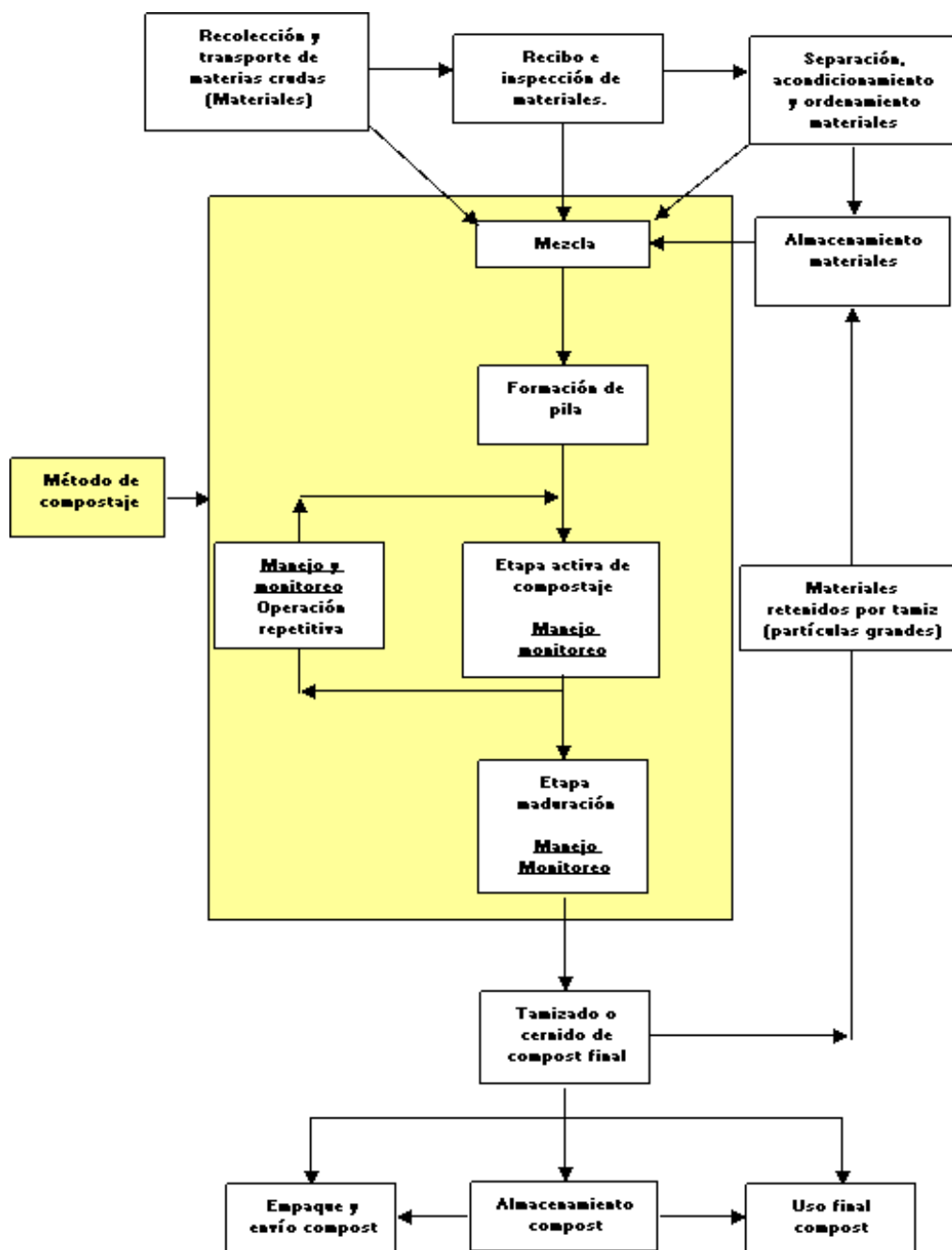
existiendo menos evaporación. Los materiales se asemejan más en color y tamaños (Stoffella y Kahn, 2001).

2.1.5. Sistema de compostaje. Para que el proceso de compostaje funcione bajo un método determinado es necesario visualizar el proceso compostaje como un sistema, que implica una sucesión de operaciones y mediciones para obtener un producto final (compost) de alta calidad.

El método de compostaje, que es un componente del sistema, corresponde al utilizado en este trabajo (pilas volteadas).

La Figura 1, muestra un diagrama de flujo general de un sistema de compostaje. Sobre el área color amarillo se indican las operaciones de manejo y monitoreo correspondientes al método de compostaje.

Figura 1. Diagrama de flujo de un sistema de compostaje en pilas.



Modificado de (Rynk *et al*, 1992).

Usualmente la materia cruda o materiales orgánicos para realizar compostaje consisten en desechos o sub-productos orgánicos.

Según Rynk *et al* (1992), para que un proceso adecuado suceda es necesario mezclar diferentes materiales de diferentes características, en diferentes proporciones, para alcanzar los parámetros adecuados, a esto se le conoce como formular la receta de compostaje.

Los parámetros claves para un adecuado compostaje son: La relación Carbono/Nitrógeno (C/N), el contenido de agua o humedad, los cuales deben medirse individualmente para cada material que compondrá la pila. Es importante también considerar el tamaño de partículas y el tipo de materiales orgánicos utilizados.

La mayoría de materiales orgánicos utilizados en compostaje deberían proporcionar los nutrientes necesarios para la permanencia y reproducción de los microorganismos, aunque difícilmente se logrará un balance de todos los nutrientes. Ordinariamente los nutrientes balanceados son el Nitrógeno y el Carbono (Brown *et al*, 1988), citado por Stoffella y Kahn, (2001).

Los microorganismos (MI) utilizan el Carbono como fuente de energía y crecimiento (oxidación del Carbono). El Nitrógeno lo emplean para formar proteínas y reproducción, en cierta literatura lo consideran como un activador del compostaje, que puede ser orgánico o artificial. Generalmente el material verde contiene más Nitrógeno y agua, que cuando el material está seco (más Carbono) (Rynk *et al*, 1992).

Cada material puede ser catalogado según sus propiedades en:

Ingrediente primario: Regularmente alto en contenido de humedad y Nitrógeno.

Agente incrementador de tamaño: Partículas de mayor tamaño, partículas carbonosas las cuales mejoran la porosidad y dan estructura (soporte) a pila, evitando compactación, aumentando la circulación de aire y movimiento de agua en la pila.

Enmiendas: Agrega características para mejorar la mezcla, por ejemplo más humedad, absorber humedad, aportar más Nitrógeno o más Carbono (Rynk *et al*, 1992).

La relación total C:N de los materiales mezclados puede estimarse a través de fórmulas, el resultado deberá estar preferiblemente entre 25:1 a 30:1 aunque un rango razonable es 20:1 a 40:1. Ratios arriba de 30 pueden ser limitantes por la falta de Nitrógeno y que a los MI les tomaría mucho tiempo utilizar el exceso de Carbono. Ratios

debajo de 20 indican que el exceso de Nitrógeno es convertido a NH_3 perdiéndose por volatilización y percolación. (Stoffella y Kahn, 2001).

Conforme el proceso de compostaje avanza la relación C:N disminuye debido a la pérdida de CO_2 de los materiales iniciales.

Es importante considerar la forma del Carbono de los materiales, por ejemplo materiales con cadenas de Carbono complejas (Ej. celulosa) serán más difíciles de descomponer que las cadenas de Carbono sencillas (Ej. azúcares). La degradabilidad hasta cierto punto puede ser mejorada reduciendo el tamaño de las partículas (picado materiales), lo cual aumenta el área superficial para los microorganismos quienes colonizan la superficie de las partículas donde exista agua y O_2 , con ello los MI pueden hidrolizar compuestos orgánicos a formas solubles más degradables (Golueke, 1972) citado por Stoffella y Kahn (2001).

En la mezcla es difícil contar con un tamaño específico de partículas, debido a las propiedades de los distintos materiales, su grado de madurez, su composición respecto a humedad, cantidad de Carbono etc. Es aconsejable contar con una mezcla de partículas gruesas y finas en un rango de 3 a 50 mm. (Stoffella y Kahn, 2001).

Respecto a la humedad puede estimarse con fórmulas, debiendo estar en un rango preferido de 50-60% y razonable de 40-65%. (Rynk *et al*, 1992).

La humedad es necesaria para el metabolismo de los MI. El agua es el medio para las reacciones químicas, transporte de nutrientes y movimiento de estos. Debajo de 40% el proceso de compostaje se vuelve lento, razón por la cual sería necesario aplicar agua. Si la humedad es superior a 65%, el agua ocupará muchos de los espacios porosos, corriéndose el riesgo de pudrición o descomposición anaeróbica, la cual vuelve lento el proceso, manifestándose con una reducción de la temperatura y mal olor. Ante ese escenario habrá que realizar volteos frecuentes con el objetivo de disminuir la cantidad de agua.

Es necesario reconocer que el agua en el material orgánico no proviene únicamente de la mezcla de los materiales iniciales, también puede provenir de agua metabólica producida por la actividad microbiana, según Finstein *et al* (1983), Haug (1993) y Naylor (1996) citados por Stoffella y Kahn (2001). 0.6 a 0.8 g de agua pueden ser producidos por gramo de material descompuesto en el proceso de compostaje.

Es importante considerar que los materiales orgánicos a utilizar estén lo más limpio, idealmente ausentes de materiales inorgánicos, patógenos, malezas, sustancias tóxicas como químicos, metales pesados, de manera de favorecer el proceso de compostaje y la calidad del producto final (compost).

2.1.6. Monitoreo del proceso de compostaje. A continuación se mencionan los parámetros básicos que se monitorearon en este trabajo, durante el proceso de compostaje:

A) Temperatura

El proceso de compostaje es una transformación, donde los microorganismos requieren de la energía contenida en los materiales orgánicos. Al romper los enlaces químicos los microorganismos consiguen energía para su crecimiento y reproducción, en ese proceso parte de la energía química es transformada en calor, lo que provoca que la temperatura de la pila suba y escape a los alrededores (Rynk *et al*, 1992), es por ello que al existir calor, la temperatura se convierte en un parámetro base para monitorear lo que sucede en el proceso de compostaje.

Durante el proceso de compostaje, existe una sucesión de microorganismos, pues estos solo pueden subsistir en ciertos rangos de temperaturas. Según Stoffella y Kahn (2001), se denomina a los microorganismos termófilos cuando pueden sobrevivir en temperaturas superiores a 45° C, Mesófilos cuando sobreviven de 25-45° C y Cryofilos o psicrófilos cuando viven de 0 a 25° C.

Otra literatura cita a los microorganismos termófilos como los que subsisten de 40 a 75° C, y los mesófilos que viven a temperaturas inferiores a 40° C (Sztern *et al*, 1999).

Según la literatura la temperatura en el proceso de compostaje tiene de 3 a 4 etapas, lo cual está estrechamente ligado con el tipo de microorganismos presente en cada etapa. Al inicio los microorganismos mesófilos son muy activos, comenzando a generar calor metabólico, la etapa donde esto comienza la denominan latencia, en ella no hay gran incremento de temperatura (Etapa 1). Conforme el aumento de la población mesófila la temperatura en la pila comienza a subir existiendo una etapa mesofílica o etapa 2, hasta que la temperatura alcanza los 45° C, situación que es menos favorable para la

subsistencia de los mesófilos, por lo cual los microorganismos termófilos comienzan su actividad pudiendo alcanzarse temperaturas de 60 hasta 70 ° C, ésta es la etapa termofílica o etapa 3, es importante mencionar que en esta etapa se lleva a cabo la eliminación de patógenos, insectos y semillas que puedan estar presentes en los materiales.

Debido a la disminución de alimento para los microorganismos termófilos, la actividad microbiana desciende, cayendo la temperatura de nuevo a un rango ideal para los organismos mesofílicos, o etapa 4. Generalmente la etapa 4 coincide con la etapa de maduración del proceso de compostaje, donde la temperatura tiende ser similar a la temperatura ambiente (Stoffella y Kahn, 2001).

B) pH

Según Rynk *et al*, 1992, el pH inicial está relacionado con las diferentes materias crudas o componentes de la pila. Los rangos de pH para realizar el proceso de compostaje pueden estar en un rango razonable de 5.5 a 9.0, pero es preferible si está de 6.5 a 8.0.

El pH durante el proceso de compostaje generalmente desciende en la etapa inicial debido a la producción de de ácidos orgánicos, para posteriormente volverse neutral (7.5-8.5) conforme los ácidos orgánicos son convertidos a metano y CO₂ (Poincelet,1977) citado por Stoffella y Kahn (2001).

Otros autores señalan que no existe el descenso inicial, solo únicamente un incremento gradual del pH hacia la neutralidad conforme se llega a la etapa de maduración. Durante el proceso deben evitarse pHs altos (>8.5), debido a que existe el riesgo de pérdida de Nitrógeno por volatilización como NH₃, lo cual está asociado a problemas de olores (Stoffella y Kahn, 2001).

C) Humedad

Durante el proceso de compostaje el porcentaje de humedad desciende debido a su pérdida por evaporación, a pesar de ello un contenido adecuado de humedad a mantener es 40%, situación que facilitará el proceso de mezcla, tamizado y empaque del futuro compost.

Según el método de compostaje o el clima predominante puede ser necesario aplicar agua al material en descomposición para mantener un % adecuado para la sobrevivencia de los microorganismos (Rynk *et al*, 1992).

2.1.7. Evaluación del compost. La evaluación del compost o producto final del proceso de compostaje es muy importante, pues en base a ello podrá conocerse si el compost cuenta con la madurez y estabilidad suficiente para un uso determinado.

Suele ser común pensar que un compost está listo para usarse cuando el color se torna oscuro y tiene un olor similar a tierra, lo cual no es una garantía de su madurez y estabilidad.

La madurez, especifica si el compost producido es adecuado o idóneo para un uso final determinado, por ejemplo cultivo en macetas, paisajismo, frutales, viveros etc, mientras la estabilidad se refiere a la resistencia de la materia del compost a seguirse descomponiendo (Stoffella y Kahn, 2001). Según Rynk *et al* (2001) la estabilidad es la tasa de cambio o resistencia del compost a seguirse descomponiendo, un compost maduro tiene una tasa muy baja de demanda de oxígeno y descomposición.

Para confirmar o rechazar la madurez y/o estabilidad de un compost existen varios parámetros establecidos en la literatura, así como pruebas de campo, por ejemplo bioensayos para observar fitotoxicidad y análisis físicos, químicos, biológicos de laboratorio. La información anterior debe analizarse como un todo, no de forma aislada. También es importante hacer la relación de la información con los materiales iniciales o componentes de las pilas y el manejo de las mismas durante el proceso de compostaje.

2.2 MICROORGANISMOS COMERCIALES UTILIZADOS EN COMPOSTAJE

El proceso de compostaje se lleva a cabo por diferentes tipos de microorganismos, debido a que el estado del material orgánico y condiciones fisicoquímicas cambian constantemente a través del tiempo, desde la fase activa hasta la fase de maduración. En términos generales, los mayores grupos que participan en el proceso de compostaje son las bacterias, hongos y actinomicetos, cuyas especies pueden subsistir en condiciones mesofílicas y termofílicas (Stoffella y Kahn, 2001).

Poincelet (1977 citado por Stoffella y Kahn, 2001), indica que las bacterias están presentes en cantidades considerables en todo el período de compostaje, y que son las especies microbianas responsables de la mayor parte del proceso de compostaje. Situación que concuerda con Golueke (1977 citado por Stoffella y Kahn, 2001), quien estima que al menos 80 a 90% de la actividad microbiana del compostaje se debe a las bacterias.

Corominas *et al* (1987 citado por Stoffella y Kahn, 2001), identificó especies pertenecientes a los géneros *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Arthrobacter* en la etapa mesofílica en el compostaje de desechos agrícolas y Strom (1985) identificó un 87% de bacterias del género *Bacillus* en la etapa termofílica.

Los hongos son organismos con más tolerancia a baja humedad y bajo pH, en comparación con las bacterias, pero son más sensibles a niveles bajos de oxígeno. La función de los hongos es degradar los compuestos más complejos como lignina y celulosa. Según Bhardwaj (1995, citado por Stoffella y Kahn, 2001), las especies más comunes observadas de hongos celulolíticos son *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma* y *Chaetomium*. Epstein (1997 citado por Stoffella y Kahn, 2001) indica que los Basidiomycetos cumplen una función importante en la degradación de la lignina.

Los hongos pueden vivir en temperaturas termofílicas y mesofílicas, por ejemplo *Aspergillus fumigatus* un degradador de celulosa y hemicelulosa, puede subsistir a 60° C (Fisher *et al*, 1998 citado por Stoffella y Kahn, 2001).

Los actinomicetos, pertenecen al orden de los Actinomycetales. Algunos géneros encontrados en el proceso de compostaje son: *Streptomyces*, *Actinomyces* y *Micromonospora*. Las colonias de actinomicetos pueden apreciarse a simple vista como a los 5 a 7 días del comienzo del proceso de compostaje, mostrando una apariencia grisácea, blanquecina que puede verse distribuida en la parte interna de la pila. Ellos juegan un papel de degradación de los componentes como celulosa y lignina, y se dice que son los que aportan el olor a tierra en el compost conforme el proceso va finalizando Golueke, (1977, citado por Stoffella y Kahn, 2001).

Además se ha documentado que ciertos microorganismos tienen propiedades supresoras o funcionan como agentes biocontroladores, contra organismos patógenos. Según Chung y Hoitink, (1990), Hadar y Gorodecki (1991); Hardy y Sivasithamparam,

(1991), Hhoitink y Fahy (1986); Nelson *et al*, (1983); Phae *et al* (1990), citados por Stoffella y Kahn 2001, microorganismos como *Enterobacter* spp, *Flavobacterium balustinum*, *Pseudomonas* spp, *Bacillus* spp y *Streptomyces* spp, *Penicillium* spp, *Trichoderma* spp y *Gliocladium virens* han sido identificados como agentes de biocontrol en sustratos de compost.

2.2.1. Effective microorganism (EM). Effective microorganism (EM) o microorganismos eficaces en español, es una mezcla de varios microorganismos benéficos aeróbicos y anaeróbicos los cuales combinados cumplen diversas funciones.

EM es un líquido concentrado, el cual se produce con unas 80 especies de microorganismos, que pertenecen a diez géneros de cinco familias distintas de especies aeróbicas e anaeróbicas facultativas (Higa, 1993).

El EM fue desarrollado en Japón por el Dr. Teruo Higa en 1981 en la universidad de Ryukyus, inicialmente se desarrolló como un inoculante microbiano para aumentar la cantidad de organismos benéficos en los suelos. Posteriormente, se encontraron varias aplicaciones relacionadas con manejo de desechos y manejo de aguas residuales.

Dentro de los microorganismos en EM se encuentran bacterias ácido lácticas, fotosintéticas o fototrópicas, levaduras, actinomicetos y hongos fermentadores. Gran parte de los microorganismos presentes en EM se utilizan para alimentos. Los microorganismos presentes en EM no son genéticamente modificados (Shintani, 1999).

El principio del EM es que existen diferentes tipos de microorganismos viviendo en diferentes ambientes (sanos y dañados), los microorganismos estarán balanceándose según los factores externos que influyen el ambiente, pero ellos también estarán influyendo el ambiente, por ejemplo algunos microorganismos segregan sustancias las cuales pueden hacer más favorable el ambiente para que otros microorganismos vivan o prosperen en él. En ambientes donde las condiciones son propicias para la presencia y prosperidad de microorganismos degenerativos o patógenos (por ejemplo suelos desgastados o contaminados, aguas contaminadas), será necesario introducir microorganismos benéficos regenerativos o anabióticos, para tornar el ambiente progresivamente a favor de la presencia y prosperidad de los microorganismos benéficos,

hasta lograr un balance o exista co-existencia de microorganismos en el ambiente (EMRO, 2008), (Higa, 1993).

Bacterias ácido lácticas

Las bacterias ácido lácticas (*Lactobacillus* sp), es un término genérico de las bacterias que convierten grandes cantidades de azúcares a ácido láctico, a través de la fermentación acidó láctica. Mediante la producción de ácido láctico, las bacterias ácido lácticas pueden inhibir el crecimiento de microorganismos patógenos, y otros microorganismos benéficos al bajar el pH (EMRO, 2008). Algunas bacterias ácido lácticas presentes en el EM son: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Lactococcus lactis* (Shintani, 1999).

Levaduras:

Usualmente las levaduras son microorganismos iniciadores de fermentación, viven en ambientes ricos en azúcares, como néctares y superficies de frutas. La función de las levaduras es producir agentes activos biológicos como amino ácidos y polisacáridos (EMRO, 2008) Algunas levaduras presentes en EM son: *Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis* (Shintani, 1999).

Bacterias fototrópicas:

Las bacterias fototrópicas o fotosintéticas, existen desde cuando la tierra carecía de un ambiente con oxígeno. Este tipo de bacterias utilizan la energía solar para metabolizar sustancias orgánicas e inorgánicas. Las bacterias fototrópicas existen en lugares anegados, por ejemplo campos de arroz, lagos. La función de estas bacterias en el EM, es jugar un papel en el ciclo del Nitrógeno y Carbono, así como favorecer la coexistencia de otros microorganismos (EMRO, 2008). Algunas bacterias fototrópicas presentes en EM son: *Rhodopseudomonas palustres*, *Rhodobacter sphaeroides* (Shintani, 1999).

Los actinomicetos presentes en EM son. *Streptomyces albus*, *Streptomyces griseus*.

Algunos hongos fermentadores son: *Aspergillus oryzae*, *Mucor hiemalis*.

(Shintani, 1999).

2.2.2. Alibio C.A. Alibio Composting activator (C.A) o activador de composta en español (A.C), es una mezcla sinérgica de múltiples cadenas de microorganismos, específicamente cultivados para el composteo rápido de residuos orgánicos y vegetativos.

El activador de composta tiene billones de bacterias facultativas, la cuales tienen la propiedad de poder desarrollarse en condiciones aeróbicas o anaeróbicas.

Algunos microorganismos presentes en AC y sus propiedades son:

Bacillus licheniformis: Produce amilasa, enzimas de celulosa, especialista en ambientes limitados por oxígeno.

Bacillus polimyxa: Produce proteasa, amilasa, celulasa, en ambientes limitados por oxígeno.

Bacillus subtilis: Produce amilasas, proteasas, lipasas y celulasa, requiere condiciones aeróbicas.

Bacillus sp: Productor de diferentes enzimas.

Bacillus stearothermophilus: Especie termófila de *Bacillus*.

Aspergillus oxyzae: Hongo descomponedor de ligninas, y eliminador de patógenos, por liberar sustancias antibióticas.

Características físicas:

Apariencia: Polvo color gris.

Gravedad específica: 1.0 a 1.025

pH: 7.2-7.8

Rango efectivo de pH: 5.9 a 9.0

Rango efectivo temperatura: 7.2 a 65° C

Estabilidad: 2 años.

Vehículo fijación microorganismos: Diatomeas.

III. MÉTODOS

3.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS Y PASTOS

3.1.1. Identificación y caracterización de los desechos sólidos orgánicos agrícolas

Mediciones de material invernadero

Dentro de los cultivos que se producen en la finca se identificó y seleccionó el Geranio debido a que es el cultivo que ocupa el 85% de los invernaderos, generando la mayor cantidad de desechos sólidos orgánicos frescos, como hojas y botones, los cuales son removidos periódicamente para formar la estructura de las plantas.

Para cuantificar y caracterizar cuanto material genera un invernadero se realizó lo siguiente:

1. Se colectó el material verde (Hojas, botones de desecho) en un área de 22 m² de un invernadero de geranio.
2. Se determinaron el peso y volumen del material fresco entero/m².
3. Se determinaron el peso y volumen del mismo material picado /m².
4. Se estableció la densidad del material fresco picado (kg/m³).
5. Se determinó el porcentaje de pérdida de volumen y peso.
6. Se estimó la cantidad de material verde producido por todos los invernaderos de Geranio por temporada.

Es importante mencionar que el material se midió en fresco por fines prácticos, pues fue de esta manera que se utilizó para armar las pilas de compostaje.

Mediciones de laboratorio:

Se envió un kg de Geranio (*Pelargonium* sp) fresco picado al Laboratorio de la Asociación Nacional Del Café (ANALAB) para ser analizado como abono orgánico y determinar las siguientes propiedades químicas:

1. Relación C:N (% C orgánico y % N total)
2. % Materia orgánica y cenizas.

3. pH
4. Contenido total de nutrientes (N, P₂O₅, K₂O, CaO, MgO, Cu, Fe, Mn, Zn,)

3.1.2 Identificación y caracterización del material orgánico disponible en el área de pastos. En la finca se identificaron y seleccionaron los pastos Jaraguá (*Hyparrhenia* sp) y Napier (*Pennisetum* sp), debido a su cantidad y disponibilidad.

Para cuantificar y caracterizar los pastos se siguieron los siguientes pasos:

1. Se marcó 1 m² en los diferentes tipos de pasto disponibles.
2. Se cortó o cosechó lo existente en dicha área.
3. Se determinaron el peso y volumen del material fresco entero.
4. Se determinaron el peso y volumen del material fresco picado.
5. Se estableció la densidad fresca para ambos (kg/m³).
6. Se determinó el porcentaje de pérdida de volumen y peso.

Es importante mencionar que el material se midió en fresco por fines prácticos, pues fue de esta manera que se utilizó para armar las pilas de compostaje.

Mediciones laboratorio:

1. Se envió un kg. picado de cada material a ANALAB para ser analizados como abono orgánico y determinar las propiedades químicas indicadas en el apartado 3.1.1.

3.1.3. Identificación y caracterización del material orgánico disponible en área de bosque. Se identificó y seleccionó broza u hojarasca de bosque (*Quercus* sp) de encino como una fuente de material orgánico y microorganismos nativos. La hoja estaba bastante descompuesta y tenía un tamaño inferior a 2 cm, por lo cual no se picó.

1 Kg de material fue enviado a ANALAB para ser analizado como abono orgánico y determinar las propiedades químicas mencionadas en el apartado 3.1.1.

3.2 MEZCLA DE MATERIALES, FORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PILAS

3.2.1. Mezcla de materiales.

Previo a mezclar los componentes o materiales fue indispensable conocer e interpretar las propiedades individuales, con el objetivo de estimar los diferentes volúmenes y lograr los rangos adecuados en los factores de compostaje (recetas) para que el proceso de compostaje iniciara y se mantuviera funcionando.

Cada pila de compost estuvo constituida por cuatro materiales sólidos orgánicos (materia cruda) los cuales se describen a continuación.

A) Geranio (*Pelargonium sp*):

Desechos del cultivo consistentes en hojas, pecíolos y botones florales. La función del geranio fue ser la principal fuente de Nitrógeno y agua en la mezcla.

B) Napier (*Pennisetum sp*):

Pasto maduro con caña lignificada y hoja verde.

El Napier fue la fuente secundaria de Nitrógeno, la primaria de Carbono y Carbohidratos (azúcares).

C) Jaragua (*Hyparrhenia sp*):

Pasto en etapa fenológica avanzada, caña y hoja lignificada. Fue una fuente intermedia de Carbono en la mezcla.

D) Hoja bosque Encino (*Quercus sp*):

Hojarasca colectada en bosque. Fuente terciaria de Carbono y Nitrógeno.

Fuente nativa de microorganismos descomponedores.

La recolección y corte (pastos) de la materia cruda entera se inició el día 29 de enero del 2008. El proceso de picado inició el día 31 de enero y finalizó el día 2 de febrero. Para realizar el picado se utilizó una picadora forrajera marca Cremasco modelo EC-4000

con un motor Diesel marca Luthian de 6 caballos. La relación entre engranajes fue la más pequeña, donde la picadora según el material, produjo partículas de 4 mm a 1 cm.

Previo al picado de cada material se acondicionaron cubículos específicos forrados con plástico para evitar en lo posible la pérdida de material y facilitar la carga de materiales en el tractor con cargador frontal. La picadora se movió frente a cada cubículo según cada material a picar (Ver Figura 2).

Figura 2. Imágenes de recolección y picado de material en los cubículos.



Con base a la disponibilidad de material se estableció que el tamaño de cada pila de compost debería tener un volumen de 8m^3 nominales de material total picado y mezclado menor a un 1 cm, queriéndose una relación Carbono/Nitrógeno (C/N) razonable no mayor de 40.

Para determinar cuánto de cada componente debería ir por pila se realizó una estimación basándose en la densidad fresca (kg/m^3), tras picarse los materiales y análisis previos de Carbono/Nitrógeno (C/N).

La fórmula para la estimación de C/N utilizada fue la citada por Rynk *et al* (1992).

$$\text{Relación C:N: } \frac{(\text{Peso seco de Carbono en ingrediente A}) + (\text{Peso seco de Carbono ingrediente B}) \dots}{(\text{Peso seco de Nitrógeno en ingrediente A}) + (\text{Peso seco de Nitrógeno ingrediente B}) \dots} \times 100$$

El resultado estimado de las proporciones de los materiales a utilizar para ajustar la relación C/N se muestra en el siguiente cuadro:

Cuadro 1. Proporciones de materia cruda y relación total C/N para una pila de compost.

Material	Proporción (%)	Volumen fresco (m ³)	Peso fresco (Kg)	Peso seco (Kg)	Contenido N (%)	Kg N	Contenido C (%)	Kg C	C/N	Humedad (%)	Kg H ₂ O	Humed ad pilas (%)
Geranio	18	1.44	702.16	74.92	3.14%	2.35	46.11%	34.55	14.68	89.33%	627.24	
Napier	40	3.20	907.18	302.36	1.19%	3.60	48.89%	147.83	41.08	66.67%	604.82	
Jaragua	30	2.40	217.72	95.80	0.80%	0.77	47.78%	45.77	59.73	56.00%	121.93	
Hoja bosque	12	0.96	228.61	128.02	1.48%	1.89	44.44%	56.89	30.03	44.00%	100.59	
Sumatoria	100	8	2055.68	601.11		8.61		285.04	33.10		1454.57	70.76

El 1/2/2008 se enviaron muestras compuestas frescas de cada materia cruda a ANALAB para determinar el contenido real de nutrientes, incluyendo la relación Carbono/Nitrógeno. Asimismo se tomaron muestras frescas para determinar el % de humedad en cada pila con la siguiente fórmula citada por Rynk *et al*, (1992)

$$\text{Humedad: } \frac{(\text{Peso de agua ingrediente A}) + (\text{Peso de agua ingrediente B}) + \dots \text{etc.}}{\text{Peso total de todos los ingredientes}} \times 100$$

El porcentaje de humedad promedio de cada pila fue de 70.76%, lo cual se indica con mayor detalle en la sección de resultados.

En la Figura 3 se muestra la apariencia de los materiales picados al momento de armar las pilas de compost.

Figura 3. Apariencia de los materiales al momento de ser mezclados en la pila.

De izquierda a derecha: Geranio, Napier, Jaragua y Hoja de bosque.

3.2.2. Formación de pila. Por factores económicos no se pudo tener una base o superficie impermeabilizada para colocar las seis pilas de compost. Ante ello se acondicionó una plataforma de 1307 m² la cual fue nivelada con un Patrol y compactada con una aplanadora, dejando una pendiente de 1%. También se construyeron drenajes perimetrales con el objetivo de evitar el ingreso de agua de escorrentía a la plataforma y futuras pilas (Figura 4).

Figura 4. Preparación y apariencia final de la plataforma para colocar pilas de compostaje.



Para construir cada unidad de compostaje o pila de compost se marcó en la plataforma un área de 3 metros de ancho por cuatro metros de largo. En dicha área se armó por capas cada una de las seis pilas, tomando el volumen nominal total de 8 m³. Las capas se colocaron en el orden y cantidades, mostradas de abajo hacia arriba en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Orden y volúmenes utilizados de cada material que integró cada unidad de compostaje o pila de compost.

No. capa	Materiales	No. Cucharonadas tractor 0.46 m ³	M ³ Reales	Alto capas Cm	Objetivo
8	Jaragua	2	0.92	8	Partículas finas de Carbono, absorción de agua.
7	Geranio	2	0.92	8	Aportar la mayor cantidad de Nitrógeno, Nutrientes y Agua.
6	Jaragua	3	1.38	12	Partículas finas de Carbono, absorción de agua.
5	Hoja de bosque	1	0.46	4	Partículas pequeñas de Carbono, absorción de agua, y microorganismos descomponedores nativos.
4	Geranio	1	0.46	4	Aportar la mayor cantidad de Nitrógeno, Nutrientes y Agua.
3	Napier	1	0.46	4	Aportar la mayor cantidad de Carbono, partículas carbonosas grandes (Porosidad + estructura) y carbohidratos.
2	Hoja de bosque	1	0.46	4	Partículas pequeñas de Carbono, absorción de agua, y microorganismos descomponedores nativos.
1	Napier	6	2.76	23	Aportar la mayor cantidad de Carbono, partículas carbonosas grandes (Porosidad + estructura) y carbohidratos.
Total		17	7.86	65	

BASE PILA

El día 3 de febrero 2008, en el área marcada, el tractor depositó una a una las cucharadas de los diferentes materiales. Entre cucharadas dos personas con tridentes se encargaron de distribuir el material, dejando las capas a una altura uniforme.

Para cada material o componente, cada cucharada fue descargada lentamente de modo que con la caída se formara una cortina constante desde el cucharón hacia la capa, la cual fue asperjada con agua pura sin cloro, con el objetivo de incorporar agua entre partículas y al momento de mezclar tener una mejor movilidad entre materiales por parte de los microorganismos. Ya distribuida la capa se aplicó agua a los materiales que no se mojaron.

Finalizada la descarga y distribución de materiales, cada pila tuvo una forma rectangular, la cual posteriormente fue mezclada quedando en forma de trapecio, característica de cuando se realizan volteos con cargador frontal. Se estableció como altura fija para las pilas 1.20 m, 4 m de largo, quedando aproximadamente 2.5 m de ancho (Figura 5).

Figura 5. Secuencia en la formación de las pilas de compostaje.

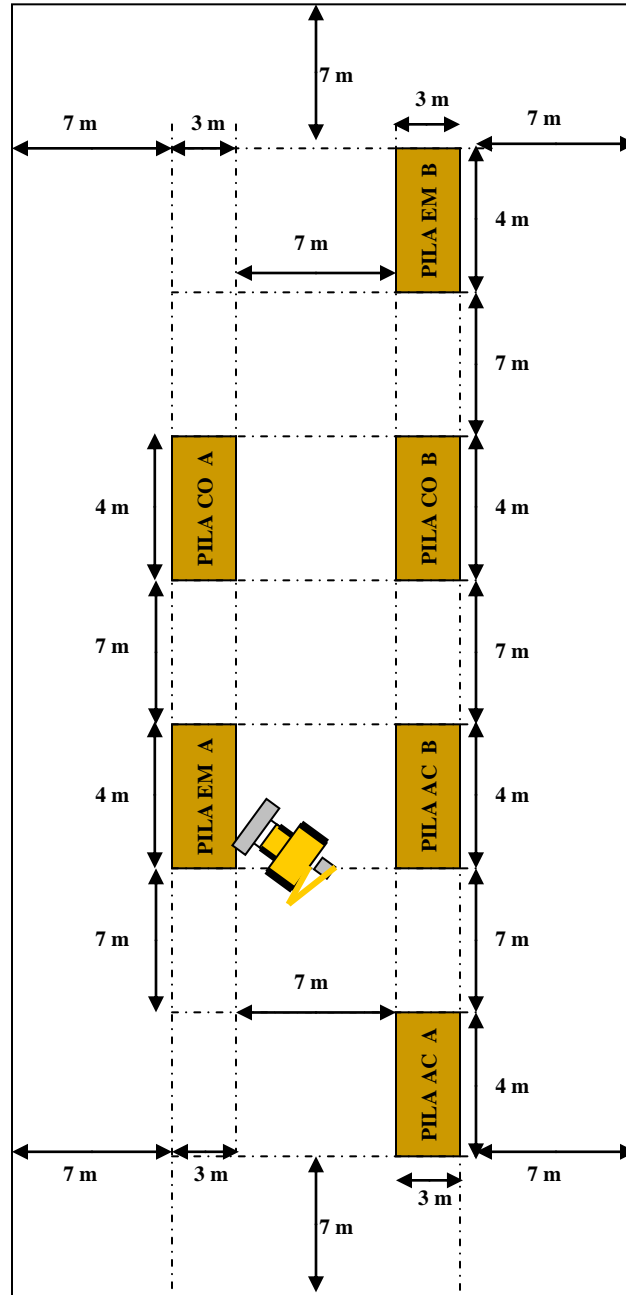


3.2.3. Distribución de pilas. Entre cada una de las seis pilas existió una separación de 7 metros, con el propósito de dejar una distancia para la operación del tractor con cargador frontal.

3.3 EVALUACIÓN DE MICROORGANISMOS

Se evaluaron dos cócteles comerciales de microorganismos o tratamientos contra un control sin microorganismos comerciales. En cada tratamiento se utilizaron dos pilas o unidades de compostaje las cuales se distribuyeron aleatoriamente como lo muestra la Figura 6.

Figura 6. Distribución aleatoria de las pilas de compost.



3.3.1. Control (CO). Consistió en dos pilas que representan dos réplicas con la mezcla de materiales seleccionados y formados bajo las metodologías descritas anteriormente, identificándose como CO A y CO B respectivamente.

A estas pilas no se le agregaron cócteles de microorganismos comerciales. Los microorganismos que actuaron venían presentes en los diferentes materiales.

3.3.2. Tratamiento 1 (EM). Dos pilas o dos réplicas con la mezcla de materiales seleccionados y formados bajo las metodologías descritas anteriormente (Igual a control), a las cuales se les inoculó microorganismos eficaces o EM por sus siglas en inglés. Estas pilas se identificaron con el nombre de EM A y EM B.

El EM utilizado se compró a la empresa EMTEC, S.A, representante y distribuidor de EM para Guatemala. El EM venía en 1 galón de presentación líquida inactiva (ver Figura 7), en donde los microorganismos estaban en latencia. Para poder utilizar el producto fue necesaria la activación de los microorganismos:

A) Preparación de EM (Activación)

El 26 de enero, 8 días antes de su aplicación se procedió a la activación de EM, la metodología seguida fue la descrita por Shintani (1999):

Se utilizaron 8 L de melaza, la cual se puso a hervir con agua para eliminar posibles patógenos. La melaza es fuente de carbohidratos para activar los microorganismos latentes.

A la solución anterior se le agregaron 100 L de agua sin cloro, y se depositó la solución resultante en un tonel plástico nuevo, el cual había sido previamente esterilizado con agua hirviendo. Se esperó un tiempo prudente para que la temperatura se redujera a 20° C para agregarle a la solución anterior 5 litros de EM (Figura 7).

Se mezcló toda la solución para posteriormente trasvasarla a canecas plásticas color azul oscuro de 20 L esterilizadas con agua hirviendo, el objetivo de estas canecas fue mantener la condición anaeróbica necesaria para la activación.

Las canecas se llenaron hasta su rosca con el propósito de no dejar aire dentro del recipiente, cada día la tapadera se desroscaba ligeramente para permitir la salida de gases, posteriormente se volvía a enroscar.

Figura 7. Presentación de EM.



Las canecas se almacenaron en un cuarto oscuro por dos días, posteriormente se almacenaron en otro cuarto oscuro a la par de una caldera, para mantener una temperatura superior a 20° C.

En los siguientes días se monitoreó el pH con un medidor electrónico. El EM activado está listo para ser usado cuando el pH tiene un valor menor de 3.5 manifestando un olor agridulce.

El EM activado se almacenó en el transcurso del experimento en la misma condición.

B) Aplicación de EM activado en las pilas de compostaje

La dosis usada fue de 1 L de EM activado por tonelada métrica, tal como indicaba el protocolo para uso EM en el manejo de sólidos- EM-compost de EMTEC S.A (EMTECSA, 2007).

Cada pila fue inoculada con 2 litros de EM activado, combinados con 40 litros de agua pura sin cloro.

Para la inoculación se rotuló y utilizó una bomba de mochila nueva de 21 L, con una boquilla cónica. En el área marcada para cada pila se comenzó asperjando EM sobre el suelo, seguidamente se asperjó EM sobre la cortina de cada uno de los materiales formada en la caída del cucharón hacia las capas y sobre cada capa ya formada (Figura 8). El operador que realizó la inoculación trabajó únicamente en las pilas inoculadas con

EM, previo a iniciar la inoculación se desinfectó las botas de hule con un desinfectante a base de yodo, con el objetivo de evitar la contaminación de las pilas.

Figura 8. Inoculación de EM al momento de formar las pilas.



Las pilas fueron volteadas 22 veces durante el proceso compostaje. En 18 volteos se asperjaron cada vez 2 L de EM activado por pila. A partir del tercer volteo se asperjaron los 2 litros con la ayuda de un sifón de relación 1:16 (EM:Agua).

Es importante mencionar que se destinaron e identificaron tres mangueras de 25 m de largo, el sifón y la pistola aspersora para aplicar el EM, con el objetivo de evitar riesgo de contaminación para las pilas de los otros tratamientos.

En cada volteo se aplicó EM con agua al piso del área a donde se movía la pila, luego a la cortina de material en descomposición formada entre el cucharón y el piso, a cada capa y a la parte exterior ya armada la pila.

El pH del EM activado fue revistado cada semana, este permaneció en un valor menor a 3.5.

3.3.3. Tratamiento 2 (AC). Consistió de dos pilas (réplicas), de una mezcla de materiales seleccionados y formados bajo las metodologías descritas anteriormente (Igual a control y tratamiento 1).

A cada pila se le aplicó un coctel de microorganismos de Alibio CA (Composting Accelerator) o acelerador de composta (AC). Las pilas tratadas se identificaron con el nombre de AC A y AC B.

El Alibio AC en presentación sólida de 1Kg fue comprado a Agropecuaria el Éxito S.A.

A) Preparación de Alibio AC

Ocho horas antes de la inoculación se mezcló 500 g de AC y 165 g de Alibio Bio Nutrients en 40 L de agua pura sin cloro, en un tonel de plástico nuevo, para formar una solución que se aplicó a cada pila.

La función del Alibio Bio Nutrient fue aportar nutrientes para aumentar la población de microorganismos.

B) Aplicación Alibio AC

Para inocular el AC se rotuló y empleó una bomba nueva de mochila de 21 L y una boquilla cónica.

En el área marcada para colocar las pilas, se inició aplicando AC sobre el suelo, posteriormente se aplicó AC sobre la cortina de cada uno de los materiales formada en la caída del cucharón hacia las capas y sobre cada capa ya formada. El operador que realizó la inoculación trabajó únicamente en las pilas inoculadas con AC, previo a iniciar la inoculación se desinfectó las botas de hule.

Las pilas fueron volteadas 22 veces durante el ciclo de compostaje. En 18 volteos en se aplicaron cada vez 125 g de AC con 41.25 g de Bionutrients, mezclados en 40 L de agua, con la misma bomba de mochila descrita anteriormente. Es importante mencionar que antes de verter la solución a la bomba de mochila, fue necesario el filtrado con un mesh fino, pues el AC contiene Diatomeas, las cuales tapaban la boquilla.

La aplicación del AC con agua en cada volteo, se realizó al piso del área a donde se movía la pila, luego a la cortina de material en descomposición formada entre el cucharón y el piso, a cada capa y a la parte exterior ya armada la pila.

3.4 MANEJO

3.4.1. Pila. Las pilas estuvieron expuestas al aire libre. Existen factores ambientales que pueden afectar el proceso de compostaje, siendo estos: Bajas temperaturas, altas temperaturas, viento y lluvia, los cuales están vinculados a la época del año, en este caso el experimento se realizó mayoritariamente en la época seca del año. A continuación se describe cual fue el manejo de las pilas, ante los escenarios existentes:

Días calurosos-soleados: Las pilas permanecieron expuestas al ambiente. Dos veces por semana se determinó el % de humedad. Por medio de lo anterior se estableció cuando era necesario aplicar agua a las pilas (Ver humedad en sección monitoreo).

Días lluviosos y viento excesivo: Para evitar que el agua de lluvia ingresara a las pilas y el viento redujera la temperatura y removiera material, se colocó un cobertor plástico que cubría toda la pila y 1 m del suelo a partir de la base de la pila, el cual se fijó con bloques de concreto, como se muestra en la Figura 9.

Noche: Por las bajas temperaturas y humedad relativa alta predominante durante la noche, aunado a lluvia inesperada, las pilas se cubrieron con un plástico durante todas las noches, con el propósito de evitar la pérdida de calor e ingreso de humedad en la corteza de la pila.

Figura 9. Pilas durante un día soleado y de lluvia.



3.4.2. Volteo (Aireación, aplicación agua y/o microorganismos). En el ciclo de compostaje se voltearon 22 veces las pilas, procurándose que fuese una vez por semana, dependiendo la condición climática. Cada día que había volteo se volteaban todas las pilas del experimento con una retroexcavadora Caterpillar modelo 416 C, para homogenizar el material, mezclar la parte interna o núcleo con la parte externa o corteza, aplicar el agua y los microorganismos (EM, AC) de una forma adecuada.

En la plataforma se establecieron puntos que indicaban la línea donde deberían estar las pilas. Al momento de los volteos se unían los puntos para marcar el área a donde se movería completamente cada pila.

Antes de comenzar el volteo, las ruedas, el chasis y el cucharón del tractor se desinfectaban con Vannodine a una concentración de 5cc/ L para evitar contaminación externa de las pilas. Posteriormente, se lavaba el cucharón con agua pura para evitar que quedaran restos de desinfectante que afectasen la primera pila.

En cada volteo el operario del tractor acercaba el cucharón a uno de los 4 extremos de cada una de las pilas, asentando la base del cucharón, para luego mover hacia arriba su ángulo, de manera que el material en descomposición entrara a la cuchara encima de los dientes, con lo cual se aseguraba que no ingresara suelo de la plataforma al material. Al tener el cucharón lleno de material se trasladaba al área marcada, para subir los brazos del cucharón a una altura de aproximadamente 1.5 m, con el propósito de que el material se soltara y oxigenara. Al completar el traslado de material, se acomodaba la pila, dejándola a una altura fija de 1.20 m (Ver Figura 10).

Figura 10. Volteo de pila.



El orden al realizar el volteo fue primero las dos pilas de AC, luego las dos pilas control (CO) para finalizar con las pilas de EM. Al finalizar de voltear la pila de AC el cucharón se lavaba a presión para limpiar residuos de material orgánico, evitando así contaminar la pila control con microorganismos de AC. El mismo procedimiento se siguió en el control para evitar contaminación de las pilas tratadas con EM.

3.5 MONITOREO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

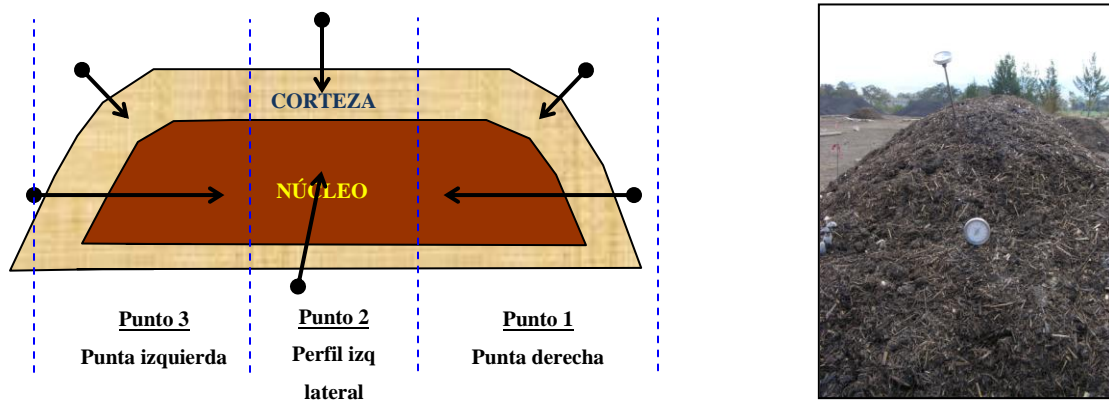
3.5.1. Fase activa del proceso de compostaje

3.5.1.1. Temperatura. Para monitorear la temperatura se utilizaron dos termómetros de reloj o análogos, marca REOTEMP, especiales para monitorear temperaturas en composteras. Se utilizó un termómetro para medir la temperatura en el núcleo, este tenía una longitud de 1.5 m o 60". El otro termómetro el cual se utilizó para medir la temperatura en la corteza, tenía una longitud de 0.6 m o 24".

Antes de medir la temperatura en el núcleo, se perforaba el agujero donde entraría el termómetro con una varilla de hierro de 3/4" con longitud similar al termómetro, para evitar el doblamiento y reducción de la vida útil del termómetro.

En cada pila se midió la temperatura diariamente de lunes a sábado. Cada día se midió la temperatura del núcleo y la corteza en 3 puntos (Figura 11).

Figura 11. Puntos donde se midieron temperaturas de núcleo y corteza en cada pila.



Para medir la temperatura del núcleo, el termómetro se insertaba completamente en cada punto en la parte central de la pila, a aproximadamente 60 cms del suelo. Para la temperatura externa se utilizaron los mismos tres puntos, pero en la parte alta el termómetro se insertaba únicamente una distancia de 30 cm.

3.5.1.2. Humedad. Dos veces por semana, regularmente los días martes y viernes, se muestreó cada pila con el propósito de formar una muestra compuesta para medir varios parámetros dentro de ellos el % de humedad del material.

En pila se establecieron 3 puntos de muestreo (los mismos usados para medir temperatura), en cada punto con la ayuda de un tridente, se creó un perfil del cual se tomaron 4 submuestras desde la base hasta la parte alta del perfil (Figura 12).

Las 12 submuestras fueron depositadas en una bolsa debidamente identificada con el nombre del tratamiento, para posteriormente ser homogenizadas y llevadas a un lugar a realizar las mediciones de humedad, pH.

Figura 12. Creación de perfil en el punto de muestreo.



Con números se indica los lugares donde se tomaron sub-muestras en el perfil.

En el laboratorio de la finca, se identificó un plato de aluminio para cada uno de los tres tratamientos y sus réplicas, estos platos fueron los mismos todo el tiempo, cada uno con peso conocido en g el cual se sustrajo al peso total (material + plato) húmedo y seco. Cada plato se colocó sobre una balanza electrónica, agregándoles 100 g de material (peso húmedo). Al completar las 6 muestras, los platos fueron introducidos a un horno eléctrico para su secado. Durante el tiempo de secado se chequeaba el peso de cada muestra y anotaba en un registro, para retirarlas del horno cuando alcanzaban un peso seco constante o peso de estabilización. Las muestras tardaron en llegar a peso seco en aproximadamente 20 horas a 140° C.

El porcentaje de humedad se determinó utilizando la fórmula descrita por Rynk *et al*, (1992).

$$\% \text{ Humedad} = \frac{\text{Peso húmedo} - \text{Peso seco}}{\text{Peso húmedo}}$$

Los valores de humedad de cada muestreo durante la fase activa de compostaje fueron introducidos a una hoja electrónica, ordenándose por tratamiento y por fecha para ser graficados.

3.5.1.3. pH (Adición volumen). De la muestras mencionadas en el inciso 3.5.1.2 se colocó un volumen de 300 mL en un Beaker para destinado para cada tratamiento y su réplica. A cada Beaker se le agregaron 150 mL de agua desmineralizada para tener una relación 2:1 (compost : agua). Cada muestra fue mezclada con un agitador de vidrio por 5 minutos.

La solución acuosa agitada se dejó reposar por una noche y fue nuevamente agitada previa a ser leída al siguiente día, con un medidor de pH marca Hanna, modelo 9813-6 (Figura 13).

Figura 13. Cristalería y equipo para medir pH y conductividad eléctrica.



El electrodo fue lavado con agua desmineralizada entre muestras, asegurándose que no hubiese material entre el electrodo y el bulbo plástico.

3.5.1.4. Apariencia del material en descomposición en el tiempo. Antes de introducir al horno los platos de los diferentes tratamientos descritos anteriormente, se fotografiaron con el propósito de realizar un perfil de imágenes a través de la etapa activa de compostaje.

3.5.2 Fase de maduración y compost final

3.5.2.1. Temperatura. Se continuó midiendo la temperatura después de la fase activa de compostaje. La metodología seguida fue la indicada en 3.5.1.1.

Con la información de la fase activa y de maduración se generó una gráfica o perfil diario de temperaturas de todo el proceso de compostaje, estableciendo la duración de la etapa termofílica y mesofílica.

Para cada tratamiento, se analizó la totalidad de los datos del proceso de compostaje, los datos separados de la etapa termofílica y mesofílica, siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio.

Se realizó un análisis estadístico por medio de un análisis de varianza (AOV por sus siglas en inglés) con el del programa Statistix versión 9.0. También se compararon las medias través de la prueba la diferencia mínima significativa o LSD por sus siglas en inglés.

3.5.2.2. Humedad. Se monitoreó la humedad después de la fase activa de compostaje, la metodología utilizada fue la misma indicada en el inciso 3.5.1.2.

Se realizó un perfil o gráfica diaria con los porcentajes de humedad recolectados en todo el proceso de compostaje. No se analizó la humedad estadísticamente debido a es una variable relacionada con el manejo y condiciones ambientales.

3.5.2.3. pH (Adición volumen). Se dio continuidad a las mediciones de pH de las muestras con la metodología descrita en el inciso 3.5.1.3.

Con la información recolectada de la fase activa y de maduración se generó un perfil diario para mostrar el comportamiento del pH durante el proceso de compostaje.

Para cada tratamiento, se analizó la totalidad de los datos de pH en el proceso de compostaje, los datos separados de la etapa termofílica y mesofílica, siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio.

Se realizó un análisis estadístico por medio de un análisis de varianza (AOV por sus siglas en inglés) con el del programa Statistix versión 9.0. También se compararon las medias través de la prueba la diferencia mínima significativa o LSD por sus siglas en inglés.

3.5.2.4. Apariencia del material en descomposición en el tiempo. Se fotografiaron las muestras después de la fase activa de compostaje. Se continuó utilizando la metodología descrita en el inciso 3.5.1.4.

Se elaboró un perfil de imágenes para mostrar la apariencia del material a través del tiempo en todo el proceso de compostaje.

3.5.2.5. Propiedades físicas. Se determinaron las propiedades físicas de muestras compuestas del compost final entero (sin cernir) de cada tratamiento y sus réplicas (A-B), utilizando el siguiente procedimiento citado por Reed, (1999):

1. En un recipiente o contenedor plástico se colocaron 500 mL de volumen de compost (*Volumen sustrato*). El recipiente tenía el extremo superior abierto para agregar el material y agua, en el extremo inferior tenía un orificio con tapadera roscada para drenar el agua.
2. Se añadió agua al compost hasta saturarlo, dejando que la muestra se equilibrara por 10 minutos, añadiendo más agua si era necesario.
3. Se anotó el volumen de agua añadido (mL).
4. Se retiró la tapadera roscada del recipiente y se dejó drenar por 1 hora a otro recipiente o contenedor ubicado en la parte de abajo.
5. Se midió el agua drenada (mL), (*Volumen drenado*)
6. Se pesó el compost en g (*peso mojado*).
7. La muestra se secó en un horno por 20 horas a una temperatura de 140°C. Se pesó hasta encontrar peso estabilización seco (*peso seco*).

8. Con las siguientes fórmulas se determinaron: % porosidad, % retención de agua, espacio aéreo y densidad de masa.

% Porosidad (v/v)= {(peso mojado-peso seco)+volumen drenado} x 100/volumen sustrato.

% Retención (v/v)= {Peso mojado-peso seco} x 100 /volumen sustrato.

% Espacio aéreo= {Volumen drenado/ volumen sustrato} x 100.

Densidad de masa= {Peso seco g/ volumen sustrato mL}.

Para cada muestra, se realizaron tres repeticiones del anterior método. La información anterior fue analizada siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio con dos repeticiones, donde el factor fue el tipo de compost. La anterior información fue analizada a través de un análisis de varianza con el software MSTAT-C.

3.5.2.6 Análisis maduración

A) Relación Carbono/Nitrógeno, pH y materia orgánica

Después de tres semanas de haber armado las pilas se envió una muestra inicial compuesta de 1 kg de cada uno de los tratamientos y repeticiones al laboratorio de la Asociación Nacional del Café (ANALAB) para su análisis como abono orgánico, midiendo: Relación C/N (% C orgánico y % N total), % Materia orgánica y pH.

Al mismo laboratorio se enviaron muestras en la misma forma a las 13 semanas (muestra media) y a las 26 semanas (muestra final).

B) Relación Nitrato/Amonio y Sales Solubles

A las 28 semanas de armadas las pilas se enviaron muestras de cada uno de los tratamientos y repeticiones a ANALAB, para ser analizado bajo la metodología para suelo, con el objetivo de determinar: pH, concentración de sales, materia orgánica, NO₃, NH₄. Con estos datos se estableció la relación o ratio NH₄-N y NO₃-N, el cual es otro indicador de madurez del compost.

3.6 EVALUACIÓN DEL COMPOST PRODUCIDO

3.6.1 Uso del compost para germinar semillas

A) Evaluación de germinación

El compost maduro obtenido de los tres tratamientos (EM, CO, AC) y sus respectivas réplicas (A, B) fue cernido a 1/8" para ser mezclado en siete diferentes proporciones o combinaciones con Peat Moss acondicionado, marca Farfard Growing mix No.2. La mezcla de las proporciones se hizo en base a peso seco, con el objetivo de evitar el sesgo por el contenido variable agua de cada material, por tanto se determinaron el porcentaje de humedad del compost y del Peat Moss utilizados.

Se prepararon 400g de material seco de cada tratamiento, con el propósito de tener suficiente material húmedo para llenar las celdas de las bandejas plásticas donde se sembró la semilla, determinar el pH y conductividad eléctrica de cada mezcla o combinación.

La cantidad usada en Kg húmedos de cada material se indica en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Pesos húmedos de 7 combinaciones de peat y compost en kg para preparar 0.4 kg de material seco.

PESO HÚMEDO EN KG														
Trat	Peso seco KG	Comb 1		Comb 2		Comb 3		Comb 4		Comb 5		Comb 6		Comb 7
		Peat	Copst.	Peat	Copst.	Peat	Copst.	Peat	Copst.	Peat	Copst.	Peat	Copst.	Copst.
		100%	90%	10%	70%	30%	50%	50%	30%	70%	10%	90%	100%	
EM A	0.4	0.909	0.818	0.054	0.636	0.162	0.455	0.270	0.273	0.378	0.091	0.486	0.541	
EM B	0.4	0.909	0.818	0.056	0.636	0.167	0.455	0.278	0.273	0.389	0.091	0.500	0.556	
CO A	0.4	0.909	0.818	0.053	0.636	0.158	0.455	0.263	0.273	0.368	0.091	0.474	0.526	
CO B	0.4	0.909	0.818	0.054	0.636	0.162	0.455	0.270	0.273	0.378	0.091	0.486	0.541	
AC A	0.4	0.909	0.818	0.061	0.636	0.182	0.455	0.303	0.273	0.424	0.091	0.545	0.606	
AC B	0.4	0.909	0.818	0.054	0.636	0.162	0.455	0.270	0.273	0.378	0.091	0.486	0.541	

Peat: Peat Moss.

Copst: Compost.

Las siete diferentes combinaciones de material húmedo se colocaron en bolsas plásticas nuevas debidamente identificadas con la combinación y tratamientos. Luego fueron selladas y llevadas al invernadero de propagación para realizar el llenado de bandejas.

Para el llenado de bandejas, se trabajó una combinación a la vez de la siguiente manera:

Se colocaron sobre una mesa desinfectada las seis bolsas de los seis tratamientos de la combinación seleccionada, luego se acomodaron e identificaron recipientes plásticos con el nombre de cada tratamiento y combinación.

En ellos se colocó el material correspondiente a cada uno con el objetivo de humedecerlo con agua pura sin cloro hasta capacidad de campo, para lo que se utilizó una manguera con un aspersor de neblina.

A continuación se identificaron dos bandejas de 200 celdas, con una calcomanía y dos etiquetas amarradas con alambre a las celdas por cada tratamiento. En cada bandeja se colocaron tres tratamientos, abarcando 25 celdas cada uno.

Antes y durante el llenado de bandejas, el operario entre tratamientos se desinfectó las manos con el objetivo de no contaminar el material de un tratamiento a otro. También para llenar las 25 celdas de cada tratamiento se emplearon dos cartones que limitaban el acceso a material a las celdas designadas (Figura 14).

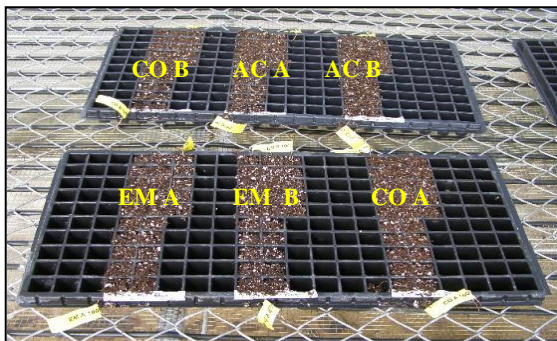
Figura 14. Mojado y llenado de bandejas con material combinado.



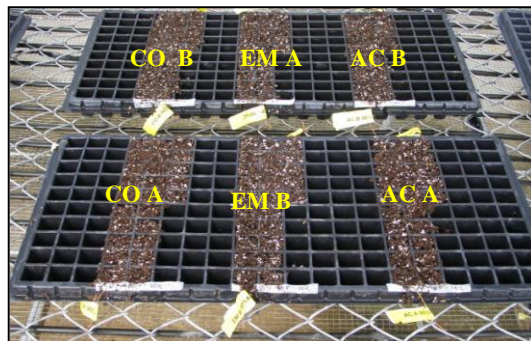
A continuación se muestran las bandejas llenas con las siete diferentes combinaciones de Peat Moss - compost de los tres diferentes tratamientos (EM, CO, AC), sus réplicas (A, B) y su distribución aleatoria en cada bandeja (Figura 15).

Figura 15. Apariencia y distribución al azar de los diferentes tratamientos para la prueba de germinación en bandejas.

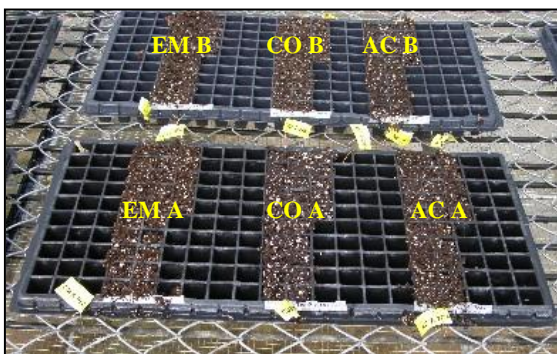
Combinación 1: 100 % PEAT – 0% COMPOST



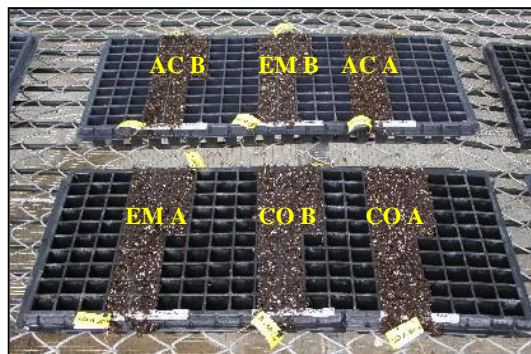
Combinación 2: 90 % PEAT – 10% COMPOST



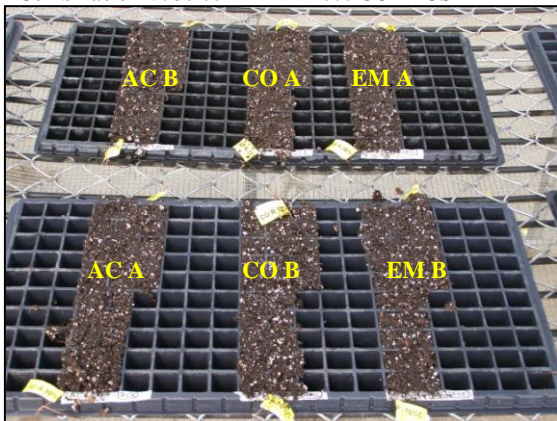
Combinación 3: 70 % PEAT – 30% COMPOST



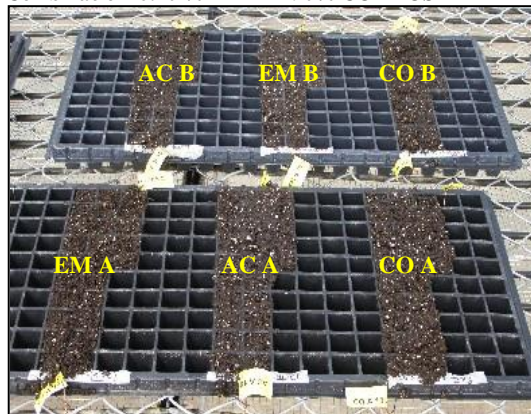
Combinación 4: 50 % PEAT – 50% COMPOST



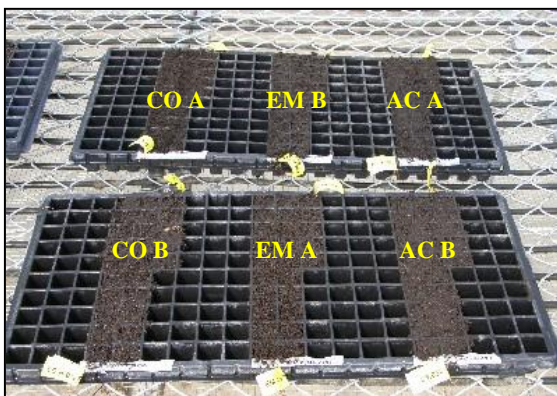
Combinación 5: 30 % PEAT – 70% COMPOST



Combinación 6: 10 % PEAT – 90% COMPOST



Combinación 7: 0 % PEAT – 100% COMPOST



Cada bandeja llena se sembró con semillas híbridas de Marigold (*Tagetes* sp), tras la siembra las bandejas fueron colocadas en un carro que se introdujo a una cámara de germinación con 26 °C y 95 % de HR. Las bandejas permanecieron en la cámara por dos días, para luego ser trasladadas a bancas de alambre tensado y 30% de sombra.

Diariamente las bandejas fueron regadas de una a dos veces por día con rocío de agua pura sin cloro, evitando que saliera percolado de las celdas. A las plántulas no se les aplicó ningún tipo de fertilizante al sustrato, ni al follaje (Figura 16).

Figura 16. Siembra semillas, introducción a cámara germinación y aplicación de neblina.



Se realizaron lecturas de germinación a los 4 y 7 días después de la siembra determinando el porcentaje de germinación.

Para cada tratamiento la variable evaluada fue el porcentaje de germinación al séptimo día, siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio en parcelas divididas con dos repeticiones, donde el factor 1 fue el tipo de compost (EM, CO, AC), el factor 2 fue la mezcla peat-compost (7 mezclas o combinaciones). Posteriormente se analizó la información a través de un análisis de varianza o ANOVA en sus siglas en inglés, y una comparación de medias utilizando la prueba de la diferencia mínima significativa o LSD por sus siglas en inglés. El software utilizado fue MSTAT-C de la Universidad de Michigan.

B) Evaluación de pH y conductividad eléctrica de los sustratos

Para cada tratamiento con sus dos réplicas y siete combinaciones peat - compost, se tomaron muestras para determinar valores de pH y Conductividad eléctrica (CE). Cada muestra estuvo constituida por 50 g de sustrato mezclado con 100 mL de agua

desmineralizada. Las lecturas fueron tomadas con un medidor de marca Hanna, modelo 9810-6.

En cada tratamiento se evaluaron las variables pH y CE, siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio en parcelas divididas con dos repeticiones, donde el factor 1 fue el tipo de compost (EM, CO,AC), y el factor 2 fue la mezcla peat-compost (7 mezclas o combinaciones). También se analizó la información a través de un análisis de varianza, y una comparación de medias utilizando la prueba de la diferencia mínima significativa, con MSTAT-C.

3.6.2. Uso del compost en macetas para crecer plantas. El compost maduro cernido a $\frac{3}{4}$ ", obtenido de los tres tratamientos (EM, CO, AC) y sus 2 réplicas (A, B) fue mezclado de forma homogénea con suelo en una proporción de 90% suelo y 10% compost, según base seca. La mezcla anterior se colocó en macetas, existiendo diez réplicas por cada tratamiento, para un total de sesenta macetas. Como control absoluto se tuvieron diez réplicas que consistieron en 100% suelo (mismo lote que suelo mezclado con compost), igualmente colocados en macetas, para un total de 60 macetas testigo.

Asimismo para cada tratamiento (EM, CO, AC) y sus réplicas (A, B), se colocó en macetas 100% de compost maduro cernido a $\frac{3}{4}$ ", existiendo cinco réplicas por tratamiento, para un total de treinta macetas. La cantidad de replicas fue limitada debido al factor espacio.

El Cuadro No. 4 explica lo anterior con mayor detalle.

Cuadro 4. Tratamientos y control evaluados en la producción de biomasa a nivel maceta utilizando suelo-compost.

Nombre Tratamiento	Mezcla componentes	No. Macetas
EM A s-c	10% compost pila EM A y 90% suelo	10
T1 s-c	100 % suelo y 0% compost	10
EM B s-c	10 % compost pila EM B y 90% suelo	10
T2 s-c	100 % suelo y 0% compost	10
CO A s-c	10% compost pila CO A y 90% suelo	10
T3 s-c	100 % suelo y 0% compost	10
CO B s-c	10% compost pila CO B y 90% suelo	10
T4 s-c	100 % suelo y 0% compost	10
AC A s-c	10% compost pila AC A y 90% suelo	10
T5 s-c	100 % suelo y 0% compost	10
AC B s-c	10% compost pila AC B y 90% suelo	10
T6 s-c	100 % suelo y 0% compost	10
EM A c	100% compost pila EM A	5
EM B c	100% compost pila EM B	5
CO A c	100% compost pila CO A	5
CO B c	100 % compost pila CO B	5
AC A c	100% compost pila AC A	5
AC B c	100% compost pila AC B	5

S-C: Suelo – compost.

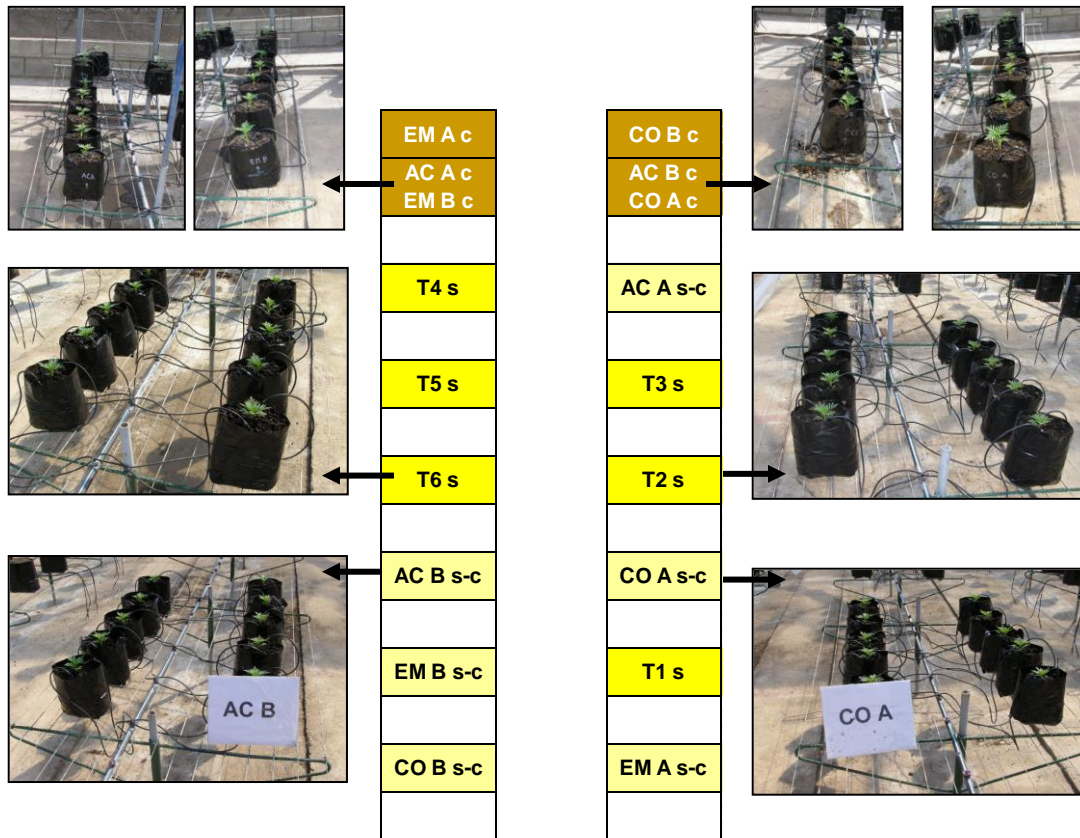
C: Compost.

Las macetas consistieron en bolsas plásticas negras de 10” x 10” con agujeros en la parte media y baja. En cada maceta se plantaron pilones híbridos de Marigold de la misma edad, crecidos bajo las mismas condiciones.

Todas las macetas se regaron con agua pura a través un sistema de riego por goteo, desde el momento de plantado hasta su fecha de eliminación. Se aplicaron 100 mL de agua por día cuando había días nublados y 200 mL de agua cuando había días soleados. En los 30 días se aplicaron 3,100 mL por planta. No se aplicó ningún tipo de fertilizante en el riego, ni vía foliar (Figura 17).

Las bolsas de cada tratamiento se colocaron completamente al azar sobre dos bancas de alambre tensado dentro de un invernadero de producción, la Figura 17 indica la forma en que quedó distribuido cada parcela:

Figura 17. Distribución de los tratamientos al azar.



T: Control.
s-c: 90% suelo-10% compost.
C: 100% compost.

Para la evaluación, se prepararon 34 Kg de material seco base para cada tratamiento y sus respectivas réplicas, las cantidades en peso húmedo se muestran el Cuadro 5.

Cuadro 5: Pesos húmedos materiales suelo y compost en kg para preparar 34 kg de material seco.

Tratamiento	Peso seco kg	Pesos húmedos en kg			
		Suelo (100%)	Suelo (90%) - Compost (10%)	Compost (100%)	
EM A	34	45.33	40.80 - 4.99	49.92	
EM B	34	45.33	40.80 - 4.85	48.46	
CO A	34	45.33	40.80 - 4.61	46.14	
CO B	34	45.33	40.80 - 4.70	47.00	
AC A	34	45.33	40.80 - 5.13	51.25	
AC B	34	45.33	40.80 - 4.73	47.34	

A) Evaluación de altura

A los 30 días de plantado, se midió la altura en cm de cada planta desde la base del tallo hasta la punta de la primera flor en toda la población de los tratamientos y sus réplicas. La información se evaluó, siguiendo un diseño experimental completamente aleatorio en parcelas divididas con dos repeticiones, donde el factor 1 fue el tipo de compost (EM, CO, AC), el factor 2 fue la mezcla suelo-compost (3 mezclas o combinaciones). Posteriormente se analizó la información a través de un análisis de varianza o ANOVA en sus siglas en inglés, y una comparación de medias utilizando la prueba de la diferencia mínima significativa o LSD por sus siglas en inglés. El software utilizado fue MSTAT-C de la Universidad de Michigan.

B) Evaluación acumulación de nutrientes en biomasa aérea

A los 31 días se colectaron cinco plantas por parcela de la comparación 100% suelo y 90% suelo - 10% compost, así como dos plantas e la comparación 100% compost, para cada tratamiento y su repetición.

En cada uno se determinaron el peso húmedo y seco por planta en g, con el objetivo de determinar cuál fue la biomasa aérea.

En el día 32 después del plantado se enviaron cuatro plantas de cada tratamiento de la comparación 100% suelo y 90% suelo: 10% compost, así como dos plantas de cada parcela de la comparación 100% compost, al laboratorio de ANALAB para efectuar un análisis de la concentración de nutrientes. Previo al análisis en el laboratorio se picó y molió la totalidad del material (plantas) de cada tratamiento. Conociendo la concentración de nutrientes, se procedió a multiplicar esta por la cantidad de gramos en peso seco de la biomasa aérea, para determinar la acumulación de nutrientes por planta. La información se evaluó estadísticamente de forma similar a la variable altura.

3.7 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS

A través de una estación meteorológica marca Davis modelo Vantage Pro, se colectaron datos de temperatura, humedad relativa, precipitación y velocidad del viento cada 15 minutos durante la etapa de monitoreo tanto en la fase activa como en la fase de maduración. Se realizó un promedio diario de las anteriores variables para posteriormente generar una gráfica semanal durante todo el tiempo de monitoreo.

3.8 COSTOS

Todos los costos relacionados con los tratamientos fueron recolectados para determinar el costo final de cada tratamiento.

IV. RESULTADOS

4.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS Y PASTOS

En el Cuadro 6 se muestran los resultados de peso y volumen por m² de los componentes orgánicos utilizados en el proceso de compostaje, siendo el Geranio el que generó menor material entero (sin picar) por m², en comparación al Jaraguá y Napier el cual generó la mayor cantidad de material entero/m².

El pasto Napier entero y picado fue el material con mayor densidad (kg/m³), seguido por el Geranio, mientras el pasto Jaraguá tuvo la menor densidad.

El geranio tuvo un aumento de densidad tras ser picado de 84.75 %, el Napier de 103.40 % y el Jaraguá de 260.91 % en comparación a la densidad entera o sin picar.

Para la hoja de bosque, que fue el cuarto componente en las pilas de compostaje no se determinaron las anteriores características, debido a que por su tamaño inferior a 2 cm no fue necesario picarla.

Cuadro 6. Características de peso, volumen y densidad de los desechos sólidos orgánicos y pastos.

Material	Material entero			Material picado para compostar			% reducción promedio de volumen	% reducción promedio de peso
	Kg / m ²	Volumen m ³ / m ²	Densidad húmeda (kg/m ³)	Kg/m ²	Volumen m ³ / m ²	Densidad húmeda (kg/m ³)		
Geranio	0.900	0.015	60.00	0.776	0.007	110.85	53.33	13.77
Napier	51.710	0.489	105.75	43.021	0.200	215.10	59.10	16.80
Jaragua	5.100	0.269	18.96	4.106	0.060	68.43	77.70	19.49

Los tres materiales redujeron su volumen después de ser picados, siendo el Jaraguá el que redujo el mayor porcentaje 77.70 %, seguido por el Napier 59.10% y el geranio 53.33 %.

Asimismo existió una reducción del peso en la que el pasto Jaraguá fue el material que más perdió peso, seguido del Napier y Geranio.

Se estima que la finca tiene el potencial de generar 1, 137 toneladas de desechos orgánicos de geranio entero en un año (18,950 m³). Picando el material se podrían obtener 980 toneladas equivalentes a 8,843 m³ anuales.

En el Cuadro 7, se muestran los resultados de las propiedades químicas determinadas en laboratorio para los componentes orgánicos utilizados en las pilas de compostaje:

Cuadro 7. Resultado del análisis químico de los materiales usados para formar pilas de compostaje.

Material	pH	Contenido total (%)					Contenido total (ppm)				Contenido total (%)			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cu	Fe	Mn	Zn	Ceniza	M.O	C. Org.	C/N
Geranio	5.80	4.21	1.33	2.89	2.11	0.40	15.25	305.90	275.20	55.12	12.00	88.00	48.89	11.61
Napier	4.80	0.90	0.32	1.81	0.22	0.22	2.93	45.55	20.64	10.27	6.00	94.00	52.22	58.02
Jaragua	2.00	0.35	0.12	0.52	0.43	0.18	0.10	50.36	58.48	18.50	10.00	90.00	50.00	142.86
Hoja Bosque	5.30	1.70	0.18	0.16	3.78	0.38	9.89	1642.40	833.60	24.29	1.33	98.67	54.82	32.25

Según los resultados, los desechos de Geranio provenientes de invernaderos tuvieron el mayor contenido total de N, P, K, Mg, Cu, Zn, en comparación con el resto de materiales que constituyeron las pilas.

El pasto Jaraguá crece a campo abierto sin manejo agronómico y depende de las condiciones edafoclimáticas locales, lo que influye en un contenido menor total de nutrientes, además que el material utilizado estaba en una etapa fenológica avanzada indicado por la alta relación C/N.

El pasto Napier crece también a campo abierto, pero este es regado por gravedad reutilizando el agua residual proveniente de los invernaderos de Geranio. Es importante mencionar que este pasto también estaba en una etapa fenológica avanzada con cantidad considerable de hoja verde, pero con tallo lignificado.

El pH de la materia cruda utilizada para la construcción de composteras fue bajo, indicando una alta acidez, particular de cada material y su estado fenológico.

4.2 MEZCLA DE MATERIALES, FORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PILAS

El Cuadro 8 presenta los cálculos para la elaboración de las pilas en base a las propiedades químicas de los materiales utilizados.

Cuadro 8. Composición de la mezcla para elaborar las pilas de compost.

Material	Proporción (%)	Volumen fresco (m ³)	Peso fresco (Kg)	Peso seco (Kg)	Contenido N (%)	Kg N	Contenido C (%)	Kg C	C/N	Humedad (%)	Kg H ₂ O	Humedad pilas (%)
Geranio	18	1.44	702.16	74.92	4.21	3.15	48.89	36.63	11.61	89.33	627.24	
Napier	40	3.20	907.18	302.36	0.90	2.72	52.22	157.89	58.02	66.67	604.82	
Jaragua	30	2.40	217.72	95.80	0.35	0.34	50.00	47.90	142.86	56.00	121.93	
Hoja bosque	12	0.96	228.61	128.02	1.70	2.18	54.82	70.18	32.25	44.00	100.59	
	100	8	2055.68	601.11		8.39		312.60	37.27		1454.57	70.76

El volumen total para el diseño de cada pila fue de 8 m³, donde el pasto Napier y Jaragua tuvieron los mayores volúmenes y proporciones, en comparación con el Geranio y la hoja de bosque.

Debido al alto contenido de Nitrógeno y humedad (la mayor de los materiales), la proporción de Geranio fue bastante baja para no afectar de forma negativa el proceso de compostaje.

La estimación de la relación Carbono/Nitrógeno fue de 37.27 y de la humedad 70.76%.

4.3 MONITOREO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

4.3.1. Temperatura. La Figura 18 muestra en forma de perfiles el comportamiento de la temperatura promedio (repetición A y B) del núcleo, corteza y pila de cada tratamiento durante el proceso de compostaje. La franja color amarillo indica los rangos de la etapa termofílica, la cual es superior a 45° C, mientras que franja celeste indica la etapa mesofílica que abarca de 45° a 25° C. Las líneas rojas verticales indican los días del proceso donde se voltearon las pilas.

Según Bollen y Farrell (1993) citados por Stoffella y Kahn (2001), la temperatura en el proceso de compostaje tiene tres fases. La fase 1 sucede en el primero y segundo día donde las sustancias fácilmente biodegradables, como por ejemplo azúcares son destruidas, resultando en un incremento de temperatura de 40 a 50° C. El promedio de temperaturas en las pilas de los diferentes tratamientos en el día 1 estuvo en un rango de 55-57° C, lo cual indica que los tratamientos iniciaron en la fase termofílica del proceso de compostaje, que es la fase 2, la cual es dominada por microorganismos termofílicos. En esta fase imperan temperaturas altas en el rango de 55 a 70° C, destruyéndose pocas sustancias con celulosa, que es menos biodegradable. También se destruyen semillas de malezas, larvas de insectos y patógenos, debido a la acción del calor generado por los microorganismos previamente mencionados.

A partir del día 2 la temperatura de las pilas comenzó a incrementarse alcanzando un rango de 60-68° C para el día 8. En el día 9 existió un volteo el cual colaboró a que el rango promedio de temperatura en las pilas descendiera, lo cual es normal tras cada volteo. Puede notarse que la temperatura de la superficie o corteza de las pilas fue la que tuvo un mayor descenso, en comparación a la parte interna o núcleo la cual se vio ligeramente afectada por el volteo. Esto se debe a que en los días 11 y 12 hubo bastante viento, en promedio de 3.30- 3.70 km/h más que el día 9 y 10, situación que provocó un descenso en temperatura de las pilas a un rango de 56 a 60° C.

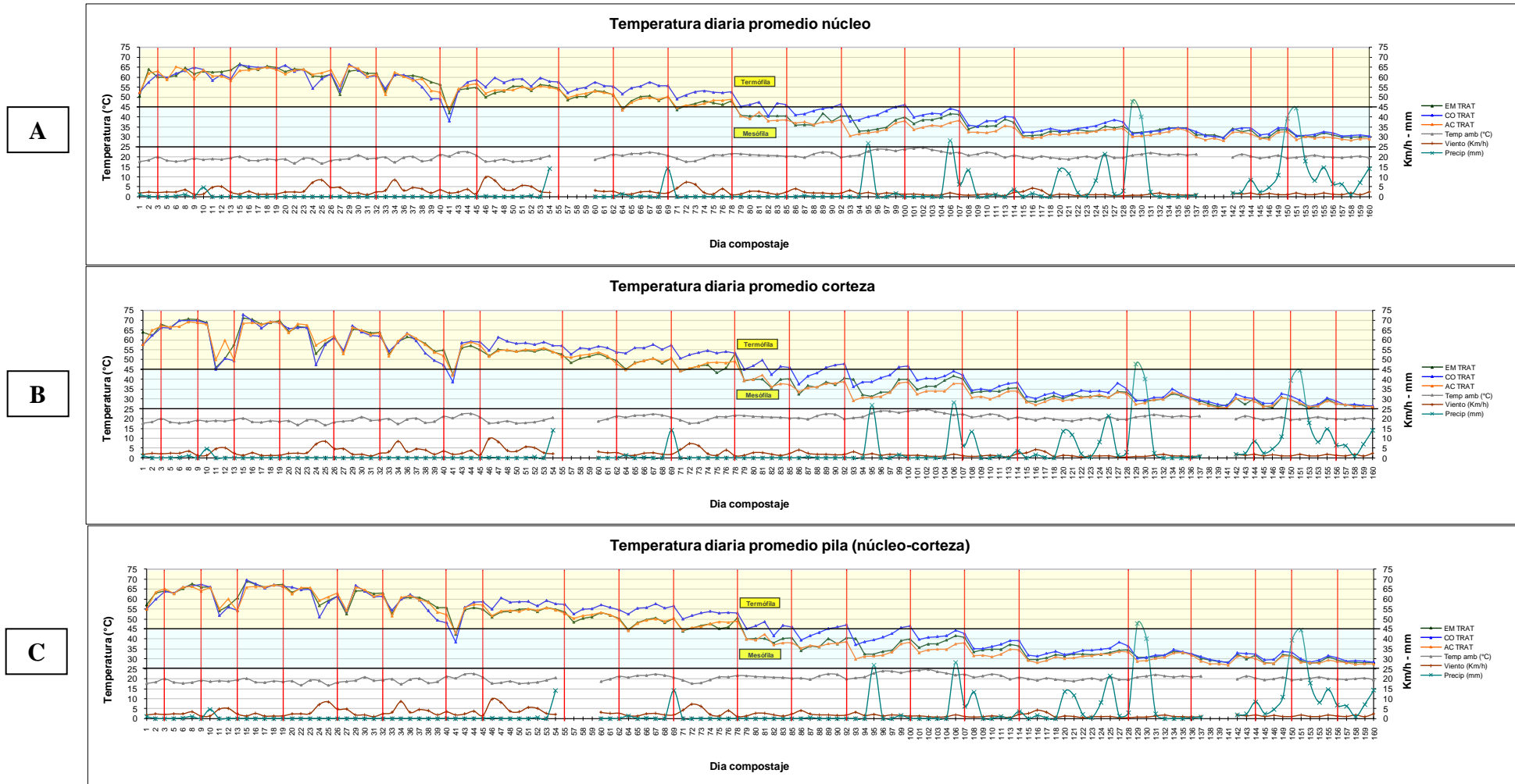
Stoffella y Kahn, (2001) cita a Canet y Pomares, (1995), Fischer *et al*, (1998) y Kochtitzky *et al*, (1969), indicando que en varios estudios con desechos sólidos municipales las temperaturas tendieron a bajar de 5 a 10° C a causa del volteo, y que la

temperatura tiende a restablecerse más rápido en las áreas cercanas al centro de la pila, esto puede notarse al comparar el perfil del núcleo con el de la corteza.

La función de los volteos es mezclar y homogenizar los materiales en la pila, intercambiar materiales al ambiente frío y oxigenado de la superficie o corteza por el material caliente y bajo en oxígeno cercanos al núcleo. Asimismo en el volteo existe liberación de calor, gases atrapados, distribución de agua, microorganismos y nutrientes (Stoffella y Kahn, 2001).

Trautmann *et al* (1996) indican que tras los volteos las pilas generan un nuevo pico de temperatura, debido a la reposición de oxígeno y la exposición de la materia orgánica no descompuesta. Esto puede verse reflejado en que el rango de temperaturas incrementó en el día 15 entre 66 y 70° C, continuando en un rango alto hasta el día 23 donde la temperatura descendió abruptamente en la corteza, debido al viento excesivo que hubo en el día 24 y 25, 4.5 a 5.8 Km/h más que el día 23, a pesar que las pilas se cubrieron con un cobertor plástico durante el día.

Figura 18. Perfiles de temperatura promedio diaria en núcleo (A), corteza (B) y pilas (C) de los diferentes tratamientos.



Del día 29 al día 32 el rango de temperaturas en las pilas permaneció entre 54 a 66° C, iniciándose un período de transición hacia la etapa mesofílica, donde la temperatura empezó a declinar progresivamente.

En el día 40 las pilas alcanzaron temperaturas mesofílicas (menores a 45° C) por primera vez tras un volteo, incrementándose de nuevo y regresando a la etapa termofílica en el día 43.

A partir del día 44, el comportamiento del núcleo y la corteza comenzaron a ser similares en todos los tratamientos, mostrando una tendencia descendente inmediatamente después del volteo y luego ascendente, hasta el próximo volteo. Sin embargo se comenzó a notar una reducción gradual en la temperatura de las pilas.

La fase 3 del proceso de compostaje, o fase de maduración comienza cuando la concentración de sustancias biodegradables comienza a disminuir, reduciéndose la tasa de descomposición, el calor generado y por ende las temperaturas. En esta etapa los microorganismos mesófilos que crecen en la capa externa o corteza recolonizan la parte interna de la pila, habiendo supresión de patógenos y enfermedades debido a que los agentes de biocontrol recolonizan la pila tras el pico de alta temperatura o etapa termofílica (Stoffella y Kahn, 2001).

Los tratamientos EM y AC comenzaron su etapa de transición de la fase termofílica a la fase mesofílica en el día 64 del proceso de compostaje, para alcanzarla definitivamente en el día 78, esto significa un cambio irreversible, en que las temperaturas no volvieron a la etapa termofílica.

Trautmann *et al* (1996) indican que tras la fase termofílica, la temperatura baja y no vuelve a elevarse debido a los volteos, como sucedió en dicha etapa.

El tratamiento de CO comenzó la transición hacia la etapa mesofílica en el día 82, alcanzándola definitivamente en el día 101 del proceso de compostaje.

Para el día 160 de compostaje, la temperatura de las pilas permaneció a una temperatura promedio de 28° C, aproximadamente 9° C arriba de la temperatura ambiente. Según Stoffella y Kahn (2001) en una operación de compostaje normal la temperatura se va enfriando progresivamente conforme el material orgánico mineralizable es consumido, llegando a temperaturas cercanas a la temperatura ambiente.

Cuadro 9. Comparación de medias LSD de temperaturas según tratamientos en cada una de las fases de compostaje.

Tratamiento	Temperatura ° C	Temperatura fase	Temperatura fase
	Día 1 a 160	termofílica*	mesofílica ⁺
EM	44.76 AB	56.48 A	33.71 A
CO	46.89 A	54.88 A	33.58 A
AC	44.13 B	56.51 A	32.46 B

Temperatura ° C día 1 a 160: Valor crítico para la comparación: 2.1681.

*Temperatura etapa termofílica: Datos EM y AC día 1 a 78; datos CO día 1 a 100, valor crítico para la comparación: 1.7306.

+ Temperatura etapa mesofílica: Datos EM y AC día 79 a 160; datos CO día 101 a 160, valor crítico para la comparación: 0.9846.

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

En las temperaturas diarias de la totalidad del proceso de compostaje, el control (CO) mostró la media más alta, siendo estadísticamente diferente del tratamiento AC, pero no que el tratamiento EM. No existió diferencia significativa entre la media de CO y EM, tampoco entre la media de AC y EM.

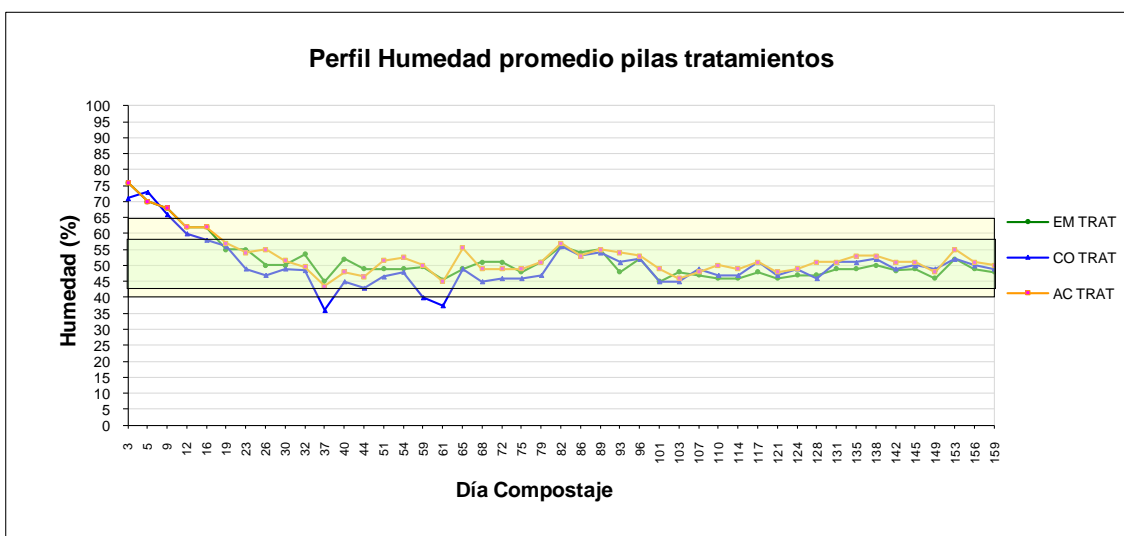
No hubo diferencia estadísticamente significativa entre las medias de temperatura en la fase termofílica correspondientes a cada tratamiento.

La comparación de medias en la etapa mesofílica perteneciente a cada tratamiento, indica que AC tuvo la media de temperatura más baja, estadísticamente diferente a CO y EM. No existió diferencia significativa entre las medias de EM y CO.

4.3.2. Humedad. En la Figura 19 se muestra el perfil de humedad promedio de cada tratamiento. La franja amarilla indica el rango 40-65% de humedad considerados como razonables por Rynk *et al* (1992) para que el proceso de compostaje se lleve a cabo.

La franja verde muestra el rango de porcentaje de humedad en el cual se mantuvieron las pilas a través del proceso de compostaje.

Figura 19. Perfiles de humedad diaria en pilas de los diferentes tratamientos.



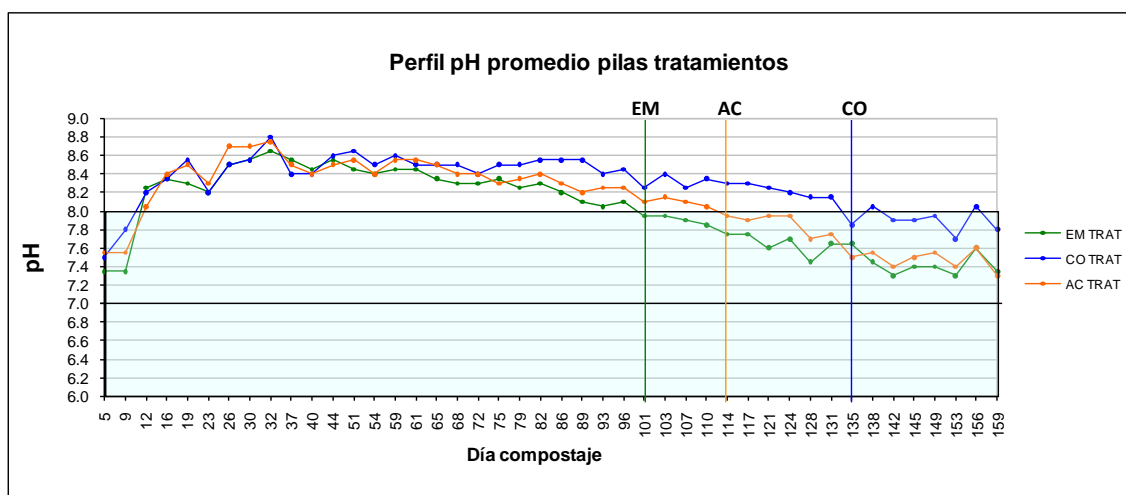
Se puede observar que las pilas comenzaron con el proceso de compostaje con una humedad alta, fuera del límite superior razonable de 65%.

Después del día 9 de compostaje el contenido promedio de humedad para las pilas CO fue de 60% y 62% para EM y AC respectivamente.

La humedad de los tratamientos continuó descendiendo hasta el día 30. A partir del día 31, el comportamiento de la humedad fue más uniforme, siempre existiendo ascensos y descensos, pero con un patrón similar entre tratamientos, permaneciendo la humedad en un rango de 43 a 55% con excepción del control en el cual la humedad descendió dos veces bajo el límite de humedad inferior razonable (40%).

4.3.3. pH. En la Figura No. 20 se observa el comportamiento del pH promedio de los tratamientos.

Figura 20. Perfiles de pH diaria en pilas de los diferentes tratamientos.



Los tratamientos comenzaron en un rango de pH de 7.3 a 7.5, hasta el día 12 donde ya sobrepasaban el valor de pH 8.0. El tratamiento EM regresó a un pH inferior a 8 en el día 101, AC en el día 114 y el CO en el día 135 (indicados por las líneas verticales), para un total acumulado de 89, 102 y 123 días con un pH superior a 8.0 respectivamente.

Cuadro 10. Comparación de medias LSD de pH según tratamientos en cada una de las fases de compostaje.

Tratamiento	pH		
	Día 1 a 160	fase termofílica*	fase mesofílica ⁺
EM	8.00 B	8.31 A	7.75 C
CO	8.29 A	8.42 A	8.10 A
AC	8.11 B	8.38 A	7.88 B

pH día 1 a 160: Valor crítico para la comparación: 0.1186.

*pH etapa termofílica: Datos EM y AC día 1 a 78; datos CO día 1 a 100. Valor crítico para la comparación: 0.1362.

+ pH etapa mesofílica: Datos EM y AC día 79 a 160; datos CO día 101 a 160. Valor crítico para la comparación: 0.1308.

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

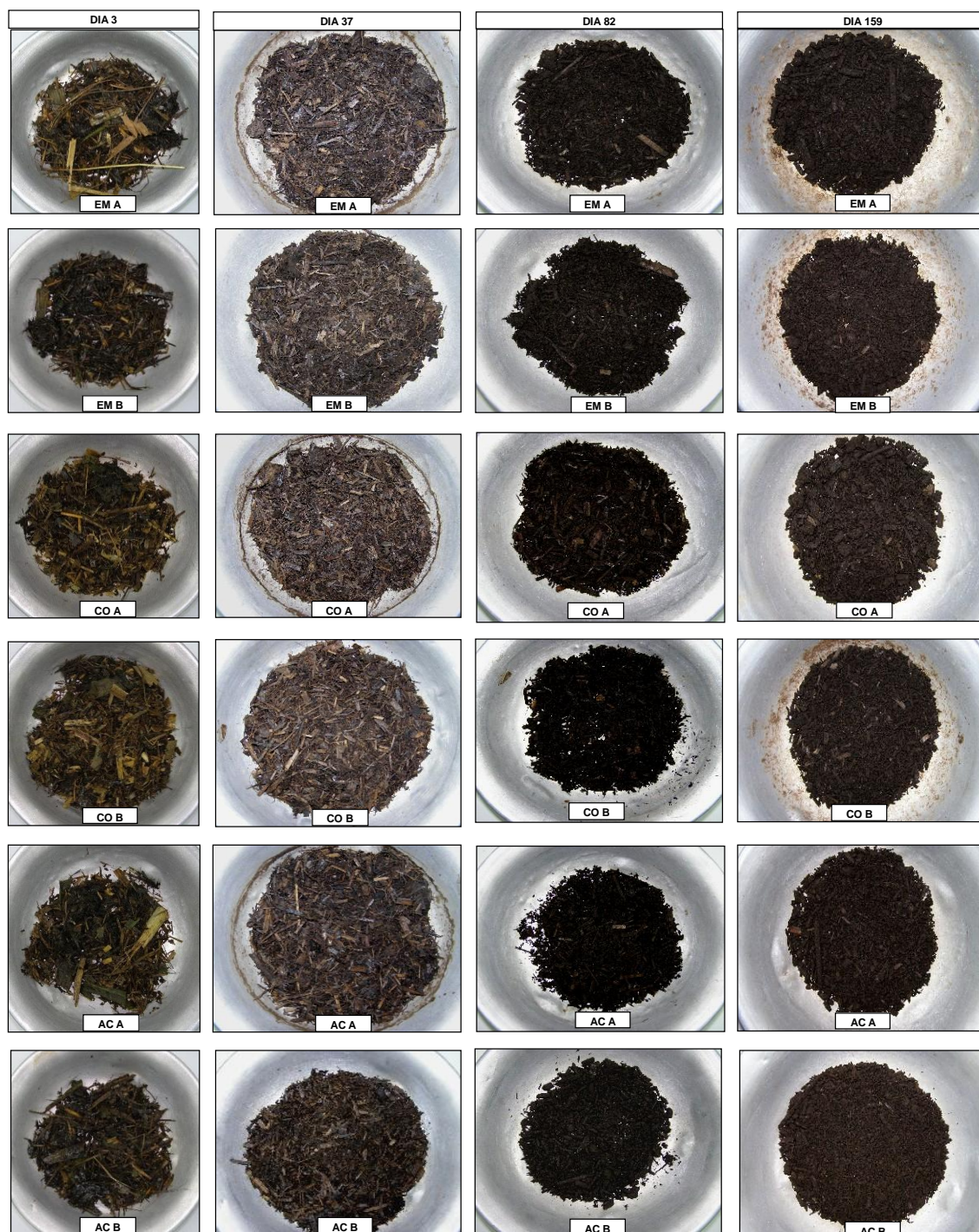
El resultado de la diferencia mínima significativa para el valor de pH en la totalidad del proceso de compostaje, indica que el control tuvo una media más alta estadísticamente diferente a los tratamientos EM y AC (Cuadro 10).

Los valores de pH durante la etapa termofílica de cada tratamiento y el control no mostraron medias estadísticamente distintas, mientras si existió diferencia significativa entre los tratamientos y el control durante la etapa mesofílica de compostaje; teniendo el

control la media de pH más alta (superior a 8.0). AC tuvo una media ligeramente superior a EM, ambas dentro de un rango de 7.0.

4.3.4. Apariencia del material en descomposición en el tiempo

Figura 21. Apariencia de los diferentes tratamientos y sus repeticiones (A,B)



Al tercer día del proceso de compostaje, el material se observaba húmedo, la coloración de los pastos era amarillenta ya con algunos actinomicetos, mientras el

geranio se tornó verde oscuro. En el día 37 aún podían distinguirse los materiales celulósicos y la humedad era menor que en el día 3. En el día 82 habían menos partículas grandes de celulosa y el color de los materiales ya se había oscurecido. Para el día 159 el material era bastante fino, similar a tierra, con menor humedad que el día 82.

4.3.5. Propiedades físicas. El Cuadro 11 indica que no hubo diferencia estadísticamente significativa entre los tipos de compost EM, CO, AC (factor A).

Cuadro 11. Suma de cuadrados del análisis de varianza para la variable propiedades físicas, a los 184 días de compostaje.

Fuente de variación	GL	Porosidad total (%)		Capacidad retención de agua(%)		Espacio aéreo (%)		Densidad g/mL	
		S.C	F	S.C	F	S.C	F	S.C	F
		Replica	1	2.05	0.23	7.57	0.99	18.13	3.36
Factor A	2	3.92□	0.22	8.68□	0.57	2.62□	0.24	0.001□	0.22
Error A	2	17.54		15.23		10.79		0.003	
Total	5	23.51		31.48		31.54		0.005	

G.L: Grados de libertad

S.C: Suma de cuadrados

● Significativa (P <0.05)

□ No significativa (P >0.05)

Los promedios de las propiedades físicas se muestran con detalle en el anexo 8.

4.3.6. Análisis maduración. El Cuadro No. 12, muestra los resultados de los tratamientos en tres análisis realizados como abono orgánico en los días 24, 93 y 185 del proceso de compostaje y como suelo en el día 200. Además los resultados son una referencia de lo que sucedió en el proceso de compostaje, según muestras enviadas al laboratorio.

Cuadro 12. Resultados de C/N, % materia orgánica (M.O), pH, NH₄, NO₃ y concentración de sales promedio tratamientos.

Parámetro	Número análisis	1	2	3	4
	Metodología análisis realizado	Abono orgánico	Abono orgánico	Abono orgánico	Suelo
	Día compostaje	24	93	185	200
C/N	EM	15.65	11.86	12.06	-
	CO	26.05	12.13	13.34	-
	AC	19.35	12.18	11.75	-
% M.O	EM	45.50	29.50	26.50	12.47
	CO	47.00	29.00	29.50	13.30
	AC	52.00	32.50	33.00	13.12
PH	EM	9.00	8.35	7.70	7.55
	CO	9.20	9.00	8.45	8.60
	AC	9.20	8.40	7.65	7.65
NH ₄ ⁺ mg/L	EM	-	-	-	24.69
	CO	-	-	-	46.82
	AC	-	-	-	30.17
NO ₃ ⁻ mg/L	EM	-	-	-	67.84
	CO	-	-	-	61.35
	AC	-	-	-	67.83
Razón NH ₄ -N/ NO ₃ -N	EM	-	-	-	1.251
	CO	-	-	-	2.576
	AC	-	-	-	1.529
Conc. Sales dS/m	EM	-	-	-	2.84
	CO	-	-	-	2.26
	AC	-	-	-	3.41

Se observó un descenso en la relación C/N y la concentración de materia orgánica entre el análisis realizado el día 24 y el día 93. Los valores son similares entre los análisis del día 93 y 185.

Existió una tendencia en el pH de EM y AC los cuales fueron inferiores al control desde el análisis realizado en el día 93 hasta el del día 200.

La concentración de Amonio (NH_4) fue mayor en el control que en los tratamientos EM y AC. Mientras que la concentración de Nitrato (NO_3) fue mayor en EM y AC que en el control. La razón $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ fue mayor en el control que en los tratamientos EM y AC.

El tratamiento AC fue el compost con la mayor concentración de sales, seguido por EM y CO.

4.4 EVALUACIÓN DEL COMPOST PRODUCIDO

4.4.1. Uso del compost para germinar semillas.

A) Evaluación de germinación

Según el Cuadro No. 13, no existió diferencia estadística significativa en el factor A (tipo de compost) y B (Combinación peat : compost) entre los tratamientos de EM, CO y AC. Pero si existió diferencia estadísticamente significativa en la interacción del factor A y B.

Cuadro 13. Suma de cuadrados del análisis de varianza para la variable % germinación.

Fuente de variación	GL	% Germinación	
		S.C	F
Factor A (Tipo de compost)	2	5.333□	0.389
Error A	3	20.571	
Factor B (Combinación peat : compost)	6	94.476□	1.824
A x B	12	298.667●	2.882
Error B	18	155.429	
Total	41	574.476	

G.L: Grados de libertad

S.C: Suma de cuadrados

● Significativa (P <0.05)

□ No significativa (P >0.05)

De acuerdo al Cuadro No. 14, se observa que no existió diferencia estadística significativa en la interacción del tipo de compost con las mezclas peat: compost para el tratamiento EM. En el control existió diferencia significativa en la media de germinación entre la combinación 10% peat: 90% compost y 100% peat: 0% compost, siendo el resto de combinaciones no significativas.

Cuadro 14. Comparación de medias LSD en la variable porcentaje de germinación para la interacción tipo compost x mezclas peat: compost.

Mezcla	% Germinación		
	EM	CO	AC
100% peat : 0% compost	92.00 A	90.00 C	98.00 A
90% peat : 10 % compost	94.00 A	98.00 AB	96.00 AB
70% peat : 30% compost	98.00 A	92.00 BC	98.00 A
50% peat : 50% compost	94.00 A	96.00 ABC	98.00 A
30% peat : 70% compost	92.00 A	94.00 ABC	94.00 ABC
10% peat : 90% compost	94.00 A	100.0 A	90.00 BC
0%peat : 100% compost	94.00 A	94.00 ABC	88.00 C

Valor LSD: 0.6.174 a alfa 0.050

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

La interacción del tipo de compost AC con las mezclas de peat mostró diferencia estadística entre la combinación 0% peat: 100% compost que tuvo la media más baja de germinación y las combinaciones 100% peat: 0% compost, 70% peat: 30% compost, 50% peat: 50% compost que tuvieron la mejor media de germinación. En este caso la germinación dependió de la proporción y el tipo de compost.

B) Evaluación de pH y conductividad eléctrica de los sustratos

De acuerdo al Cuadro No. 15 no existió diferencia significativa de pH y CE debido al tipo de compost. Si existió diferencia en las diferentes mezclas peat: compost y la interacción del tipo de compost con las mezclas peat: compost.

Cuadro 15. Suma de cuadrados del análisis de varianza para la variable pH y conductividad eléctrica (CE).

Fuente de variación	G.L	pH		CE	
		S.C	F	S.C	F
Factor A (Tipo de compost)	2	0.923□	46.167	1.008 □	2.482
Error A	3	0.030		0.609	
Factor B (Combinación peat : compost)	6	18.176●	340.803	35.744●	160.624
A x B	12	0.787●	7.375	1.142●	2.566
Error B	18	0.160		0.668	
Total	41	20.076		39.171	

G.L: Grados de libertad
 S.C: Suma de cuadrados
 ● Significativa (P <0.05)
 □ No significativa (P >0.05)

El Cuadro No. 16 muestra que existió diferencia estadística significativa entre las diferentes combinaciones o mezclas de la variable pH. También en la variable CE existió diferencia significativa cuando la cantidad de compost fue superior al 50 %, habiendo diferencia significativa entre las mezclas compuestas por 70%, 90% y 100% compost.

Cuadro 16. Comparación de medias LSD variables pH y Conductividad Eléctrica (CE) entre combinaciones peat: compost.

Mezcla	pH	CE (mS/cm)
100% peat : 0% compost	5.867 G	1.240 D
90% peat : 10 % compost	6.050 F	1.235 D
70% peat : 30% compost	6.200 E	1.202 D
50% peat : 50% compost	6.683 D	1.343 D
30% peat : 70% compost	7.017 C	1.875 C
10% peat : 90% compost	7.450 B	2.802 B
0%peat : 100% compost	7.700 A	3.763 A

Valor LSD pH: 0.1151 y CE: 0.2333 a alfa 0.050

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

En la variable pH, del Cuadro No. 17, se observa que los tres tipos de compost tienen un efecto neutralizador sobre el peat moss.

Cuadro 17. Resultado de comparación de medias con prueba de diferencia mínima significativa (LSD) por sus siglas en inglés, variables pH y Conductividad Eléctrica (CE) interacción tipo compost x mezclas peat: compost.

Mezcla	EM		CO		AC	
	pH	CE (mS/cm)	pH	CE (mS/cm)	pH	CE (mS/cm)
100% peat : 0% compost	5.850 F	1.255 D	5.850 G	1.280 CD	5.900 F	1.185 D
90% peat : 10 % compost	6.050 E	1.200 D	6.050 F	1.280 CD	6.050 EF	1.225 D
70% peat : 30% compost	6.150 E	1.135 D	6.250 E	1.125 D	6.200 E	1.345 D
50% peat : 50% compost	6.500 D	1.350 D	6.850 D	1.205 CD	6.700 D	1.475 D
30% peat : 70% compost	6.800 C	1.900 C	7.300 C	1.600 C	6.950 C	2.125 C
10% peat : 90% compost	7.150 B	2.635 B	7.850 B	2.470 B	7.350 B	3.300 B
0%peat : 100% compost	7.350 A	3.875 A	8.200 A	3.230 A	7.550 A	4.185 A

Valor LSD pH: 0.1993, CE: 0.4041 a alfa 0.050

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

En la interacción del tipo de compost x la combinación peat: compost, EM mostró diferencia significativa entre las combinaciones de peat: compost, con excepción de la combinación 90% peat: 10% compost y 70% peat y 30% compost, donde el efecto neutralizador de las concentraciones de compost fue el mismo. El control debido a su propiedad de pH alto, comenzó a mostrar un efecto neutralizador desde agregar 10% de compost al peat, habiendo diferencia significativa entre todas las combinaciones peat: compost. El tratamiento AC no mostró diferencia significativa entre las combinaciones 90 % peat: 10 % compost y 70 % peat: 30% compost. En el resto de combinaciones hubo diferencia significativa incrementando el pH mientras más porcentaje de compost hubo en la mezcla.

Respecto a la conductividad eléctrica, no existió diferencia estadística significativa entre la combinación 100% peat: 0% compost al mezclar desde 10% a 50% de compost con peat para los tipos de compost EM y AC. Existió diferencia significativa entre medias cuando el porcentaje de compost fue superior a 70% en la mezcla con peat moss.

En el control no hubo diferencia significativa entre la combinación 100% peat: 0 % compost al mezclar desde 10% a 70% compost con peat, y si existió diferencia significativa cuando el porcentaje de compost mezclado con peat fue mayor de 90%.

Figura 22. Apariencia plántulas a los 7 días de germinación.

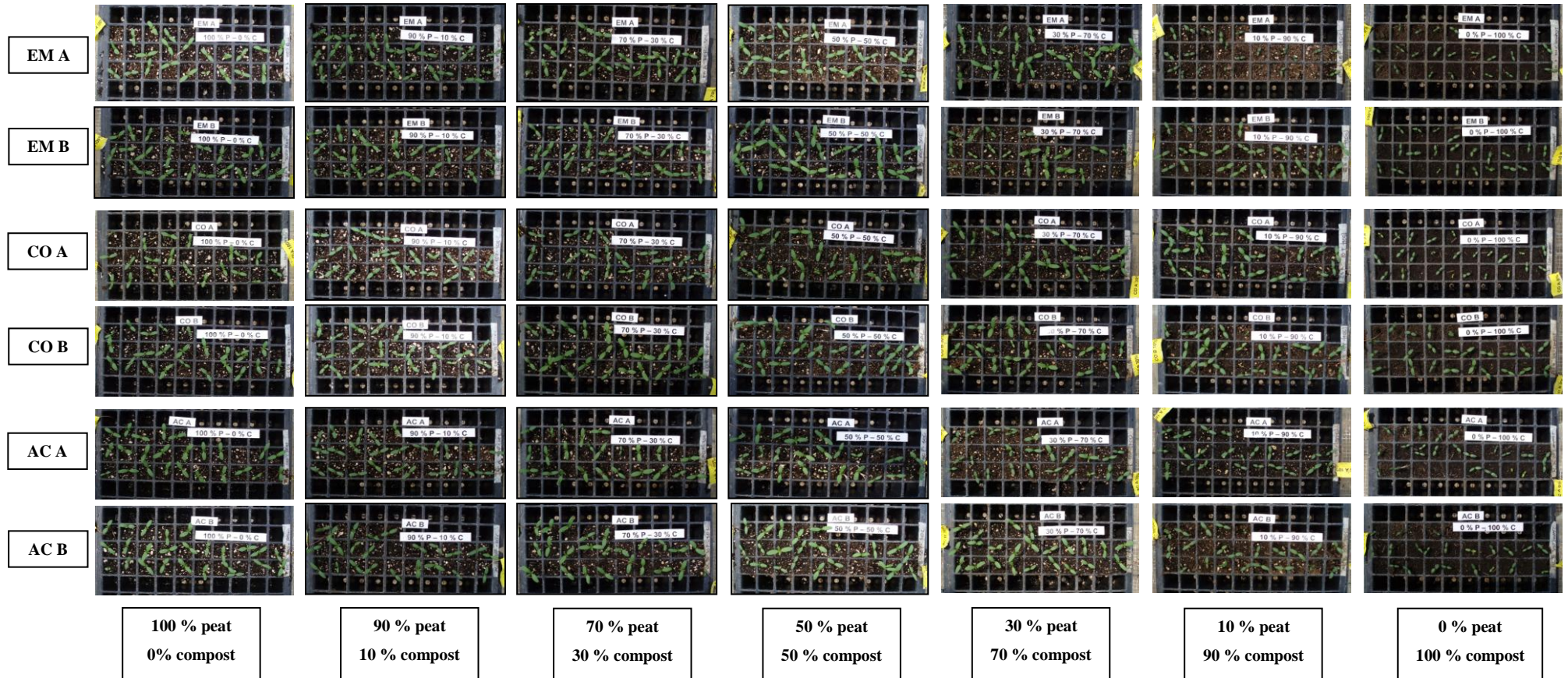
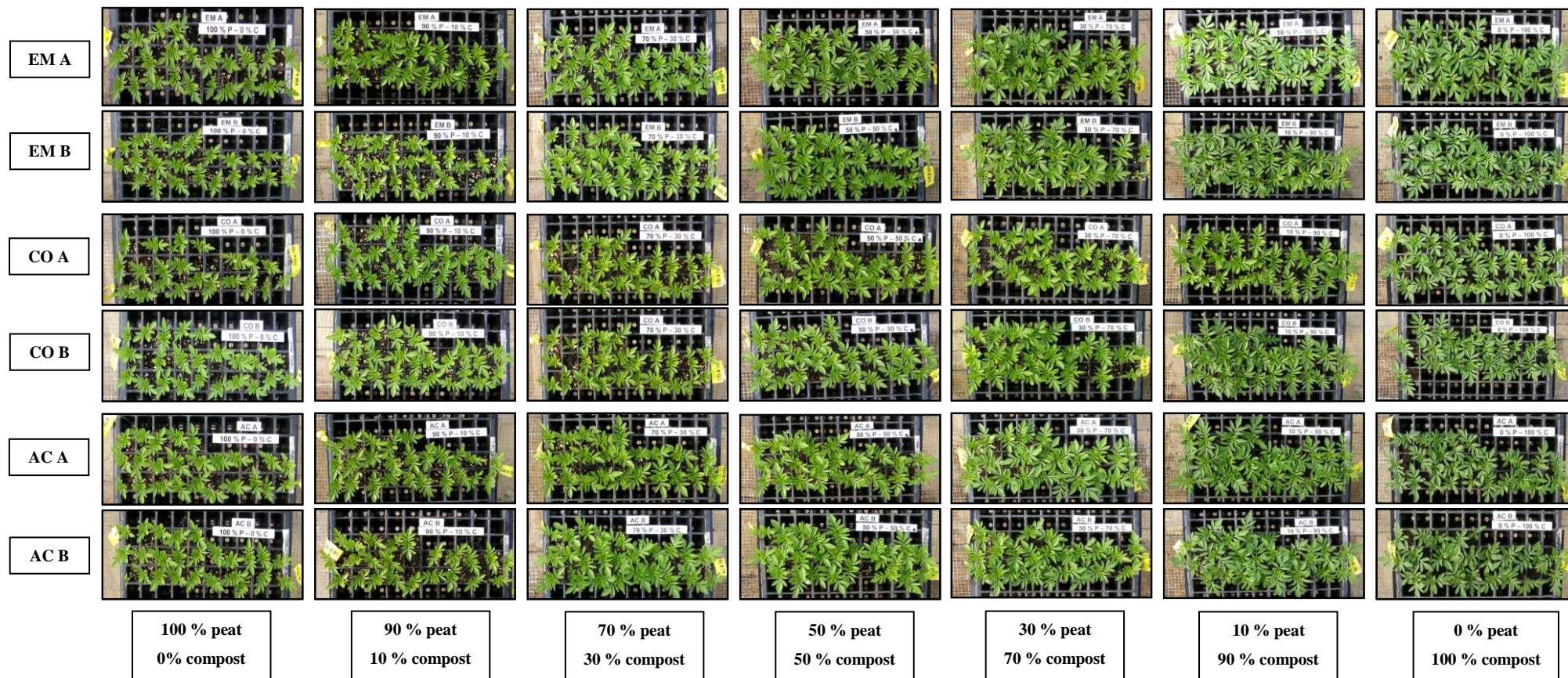


Figura 23. Apariencia pilones germinados tras 21 días de siembra.



4.4.2. Uso del compost en macetas para crecer plantas.

A) Evaluación altura.

El Cuadro No. 18 muestra que no existió diferencia significativa en la variable altura debido al tipo de compost, ni en la interacción del factor A x B.

Si existió diferencia significativa en el factor B (combinación suelo: compost).

Cuadro 18. Suma de cuadrados del análisis de varianza de la variable altura.

Fuente de variación	GL	Altura	
		S.C	F
Factor A (Tipo de compost)	2	0.323□	1.764
Error A	3	0.275	
Factor B (Combinación suelo : compost)	2	61.023●	102.848
A x B	4	1.363□	1.149
Error B	6	1.780	
Total	17	64.765	

G.L: Grados de libertad

S.C: Suma de cuadrados

● Significativa (P <0.05)

□ No significativa (P >0.05)

En el Cuadro No. 19 puede observarse que las medias son estadísticamente diferentes. Las plantas con la media de altura más alta fueron las que crecieron en un sustrato constituido por 100% compost, seguidas por las plantas que crecieron en un sustrato con 90% suelo y 10% compost. Las planta que crecieron en 100% suelo tuvieron la media más baja de las tres combinaciones.

Cuadro 19. Comparación de medias LSD combinación suelo: compost y altura

Tratamiento	Altura en cm
90% suelo : 10% compost	15.90 B
100% suelo : 0% compost	13.23 C
0% suelo : 100% compost	17.72 A

Valor LSD: 0.7699 a alfa 0.050

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

B) Evaluación acumulación de nutrientes en biomasa aérea.

En el Cuadro No. 20 se muestra que hubo diferencia significativa en el factor A (tipo de compost), para los elementos Nitrógeno y Potasio. Existió diferencia en todos los elementos del factor B (combinación suelo-compost).

No existió diferencia significativa en la interacción A x B.

Cuadro 20. Valor F del análisis de varianza para la variable bioacumulación de nutrientes.

Fuente de variación	GL	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
		S.C								
Factor A (Tipo de compost)	2	11.57●	2.16□	14.99●	3.39□	4.08□	2.77□	2.17□	0.06□	6.00□
Error A	3									
Factor B (Comb. suelo : compost)	2	101.86●	177.00●	144.82●	24.15●	24.20●	34.96●	11.37●	38.46●	47.32●
A x B	4	4.43□	4.02□	2.80□	1.61□	2.62□	1.74□	2.66□	0.47□	3.70□
Error B	6									
Total	17									

G.L: Grados de libertad
 S.C: Suma de cuadrados
 ● Significativa (P <0.05)
 □ No significativa (P >0.05)

El Cuadro No. 21 muestra una diferencia estadística significativa en la media del Nitrógeno de los tratamientos EM y AC con el control. Existió diferencia significativa en el Potasio entre el tratamiento EM y CO.

Cuadro 21. Comparación de medias LSD en la variable acumulación de nutrientes en biomasa aérea, tipos de compost.

Tratamiento	N	K
	g/planta	
EM	0.1220 A	0.2040 A
CO	0.09100 B	0.1540 B
AC	0.1270 A	0.1720AB

N=Valor LSD: 0.02471, K=0.04467 a alfa 0.050.
 Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

En el Cuadro No. 22 se observa que existió una mayor concentración (g/planta) de los elementos N, P, K, Ca, Cu, Mn y Zn en el sustrato con 100% compost. En todos los elementos la mezcla con 100% suelo mostró las medias más bajas, siendo estadísticamente diferentes a las combinaciones 90% suelo:10% compost y 0% suelo:100% compost (Figura 24).

En los elementos Mg y Fe, no existió diferencia significativa entre las mezclas que tenían 10% y 100% de compost, pero si existió diferencia de las mezclas con compost con la mezcla que no tuvo compost (100% suelo).

Cuadro 22. Comparación de medias LSD variable acumulación de nutrientes en biomasa aérea, combinación suelo: compost.

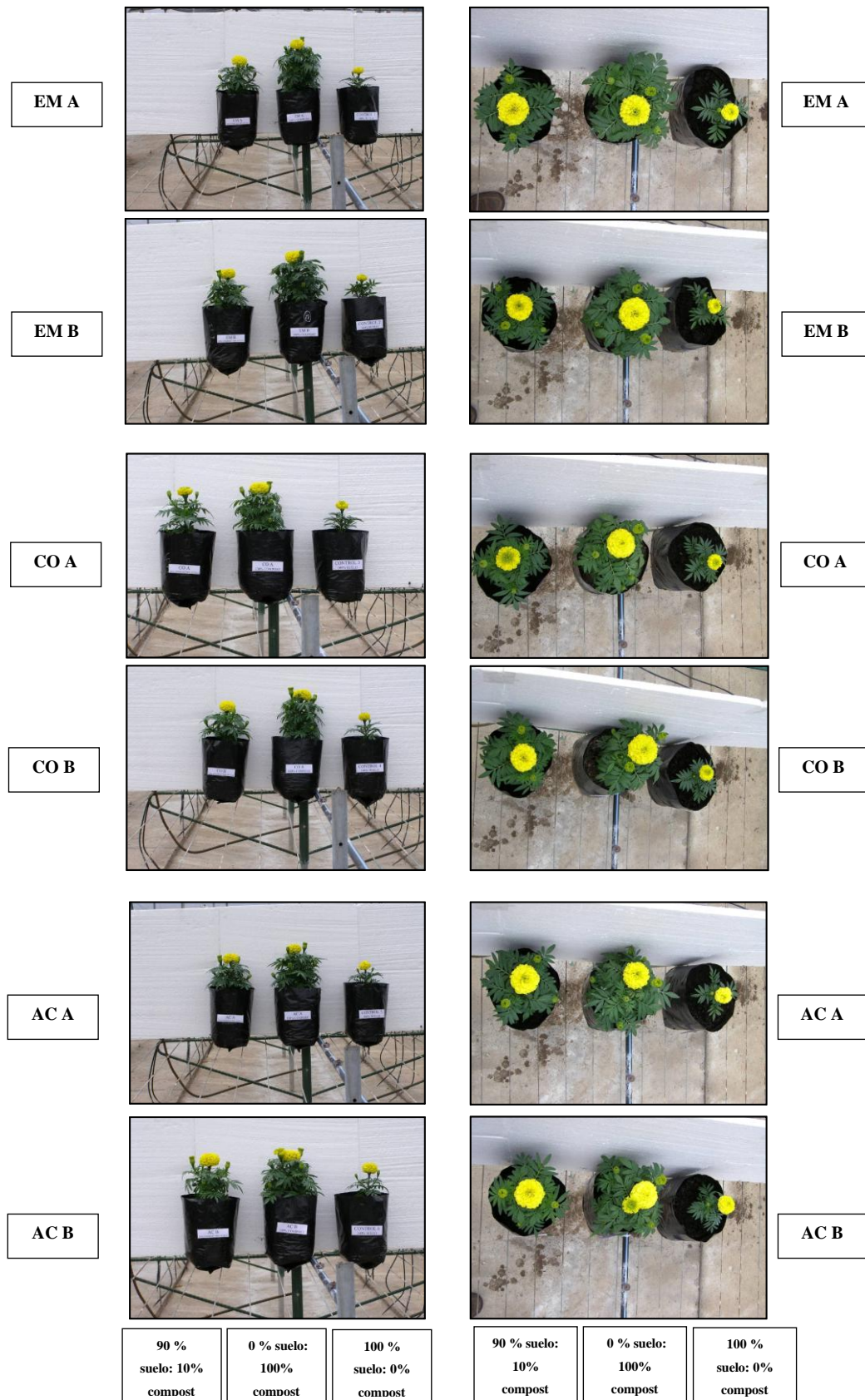
Mezcla	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
	g/planta								
90% suelo : 10% compost	0.1090 B	0.01200 B	0.1060 B	0.06400 B	0.01200 A	0.006000 B	0.06500 A	0.01200 B	0.01500 B
100% suelo : 0% compost	0.04300 C	0.003000 C	0.03900 C	0.03000 C	0.007000 B	0.002000 C	0.03800 B	0.005000 C	0.006000 C
0% suelo : 100% compost	0.1880 A	0.03400 A	0.3850 A	0.4100 A	0.01300 A	0.008000 A	0.06700 A	0.02600 A	0.02700 A

N=LSD: 0.02471, P=0.003996, K=0.05269, Ca=0.01207, Mg=0.001998, Cu=0.001413, Fe=0.01617, Mn=0.005825, Zn=0.005094 a alfa 0.050.

Los valores seguidos por la misma letra en las columnas no son significativamente diferentes.

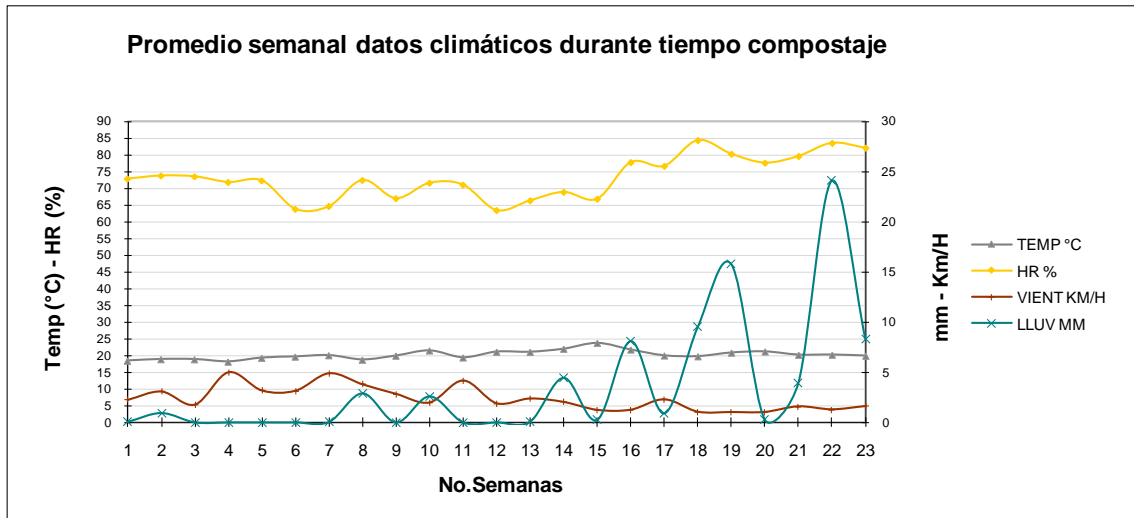
En los sustratos de todos los tratamientos y sus réplicas, no se observaron malezas. Tampoco se observaron enfermedades y mortandad en las plantas evaluadas. No se observaron síntomas de deficiencias nutricionales, ni daños por sustancias fitotóxicas.

Figura 24. Apariencia plantas híbrido Marigold a los 30 días de transplantadas, en los diferentes tratamientos y proporciones suelo: compost.



4.5 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS.

Figura 25. Gráfica promedio datos climáticos semanales en proceso de compostaje.



La figura 25 muestra las características del clima local durante las 23 semanas que duró el proceso de compostaje. La semana 1 comenzó a inicios del mes de febrero y la semana 23 finalizó a casi mediados de Julio del 2008.

Los meses de febrero a abril (época seca), se caracterizaron por tener vientos de 1.72 hasta 4.98 Km/h, una humedad relativa de 63 a 73 %, y poca lluvia 6.83 mm acumulados promedio. Del mes de mayo hasta julio (época húmeda), los vientos descendieron hasta un promedio de 1.39 Km/h, la humedad relativa aumentó permaneciendo en un rango de 66.74 a 84.27 % y la lluvia aumentó habiendo 75 mm promedio acumulados.

La temperatura ambiente promedio durante el tiempo de compostaje fue de 20.14° C, siendo el promedio de la época seca 19.55° C y 20.90° C el de la época lluviosa.

Durante la época seca y húmeda fue importante cuidar las pilas de compostaje cuando había mucho viento y lluvia. Esto se logró a través de tapar con cobertores plásticos las pilas de compostaje para evitar su enfriamiento por viento y exceso de agua.

4.6 COSTOS.

Cuadro 23. Costos por pila diferentes tratamientos.

Tratamiento	Costo en quetzales por pila	Promedio m³ de compost producidos por pila	Costo en quetzales/m³ de compost producido
EM	3,452.09	1.038	3,325.71
CO	2,917.87	1.1595	2,516.49
AC	4,919.79	1.3525	3,637.55

El Cuadro No. 23 muestra el costo en quetzales de los diferentes tratamientos.

El costo de cada pila del control o sin microorganismos comerciales fue de 2,917.87 quetzales. El costo de cada pila del tratamiento EM fue de 3,452.09 quetzales, mientras una pila del tratamiento AC tuvo el costo más alto del experimento siendo 4,919.79 quetzales.

Los metros cúbicos de compost final producidos en promedio por pila fueron similares entre los diferentes tratamientos.

V. DISCUSIÓN

5.1 IDENTIFICACIÓN, CUANTIFICACIÓN Y PROPIEDADES DE LOS DESECHOS SÓLIDOS ORGÁNICOS AGRÍCOLAS Y PASTOS

En los materiales enteros de Geranio, pasto Napier y Jaraguá hubo un aumento de densidad o reducción de partículas tras ser picados (Cuadro 6). Esto es positivo para el proceso de compostaje, por la razón que se aumenta el área superficial para la acción de los microorganismos al tener partículas más pequeñas, en este caso picadas.

Se redujo el peso y volumen de los diferentes materiales, lo que estuvo relacionado con las características de cada material, por ejemplo el Geranio es un material suculento con alto contenido de agua, susceptible a la reducción de tamaño pero poco a la pérdida de peso. Mientras el Napier, de estructura más sólida, tuvo una menor reducción de volumen y mayor reducción de peso que el Geranio. El Jaragua es un material con poca humedad por lo que tuvo la menor reducción de volumen y la mayor pérdida de peso debido a partículas finas no utilizables.

Según el análisis de laboratorio de los cuatro materiales que integraron las pilas de compostaje (Cuadro 7), el Geranio tuvo el mayor contenido total de los nutrientes N, P, K, Mg, Cu, Zn en comparación a los otros tres materiales. Esto se debe a que el Geranio es el único material que es cultivado bajo invernadero con un manejo agronómico establecido. Por sus características, los desechos orgánicos de Geranio pueden aportar bastantes nutrientes a las pilas de compost donde se utilice como un componente.

La finca genera en un año una cantidad superior a 1000 toneladas de desechos orgánicos de Geranio, significando una fuente potencial de 42.21 toneladas de N, 13.3 de P₂O₅ y 28.9% para elaborar compost.

5.2 MEZCLA DE MATERIALES, FORMACIÓN Y DISTRIBUCIÓN DE PILAS

Rynk *et al* (1992), establecieron rangos de la relación Carbono-Nitrógeno (C/N) razonables y preferidos para un adecuado proceso de compostaje, donde se indica como razonable un rango de 20-40: 1 y como preferible 25-30: 1. Respecto al contenido de humedad 40-65% es razonable y 50-60% es preferido.

El resultado estimado de la relación Carbono/Nitrógeno (Cuadro 8) de las pilas fue de 37.27, valor citado como razonable según la clasificación de Rynk *et al* (1992).

El Geranio por sus proporciones y propiedades fue la fuente principal de Nitrógeno y agua en la mezcla. El Napier la fuente secundaria de Nitrógeno y primaria de Carbono, por poseer caña lignificada, partículas medianas y grandes de Carbono, las cuales colaboraron a que la pila tuviese una buena estructura y porosidad.

El Jaraguá y la hoja de bosque aportaron la menor cantidad de Nitrógeno a la mezcla y cumplieron una función importante en la absorción de humedad.

El resultado estimado de humedad fue 70.76 % (Cuadro 8), valor que supera los límites razonables establecidos por Rynk *et al* (1992) en un 10%, aunque hay que considerar que se aplicó agua extra al momento de armar las pilas, así como al inocular los microorganismos.

5.3 MONITOREO DE LOS TRATAMIENTOS DURANTE EL PROCESO DE COMPOSTAJE

5.3.1. Temperatura. De acuerdo al perfil de temperaturas (Figura 18), los tratamientos EM y AC permanecieron en la fase o etapa termofílica 78 días, mientras el control estuvo en esta fase por 101 días.

Según Stoffella y Kahn (2001) la etapa termofílica o de compostaje rápido se caracteriza por altas temperaturas, una cantidad considerable de materia orgánica fácilmente degradable y tasas altas de descomposición de esta materia orgánica por los microorganismos termófilos. Con base a esto podría decirse que por la cantidad y variedad de microorganismos comerciales en EM y AC, la disponibilidad de alimento para los microorganismos termofílicos se agotó antes que el control existiendo un cambio a la etapa mesofílica en menor tiempo.

A pesar de ello, al comparar las medias de temperatura de los días que duró la etapa termofílica en cada tratamiento, no existió diferencia estadística significativa, lo cual sugiere que el control tuvo una temperatura termofílica similar, pero en temporalidad necesitó 23 días más para llegar a una temperatura media similar a EM y AC.

Según Stoffella y Kahn (2001) la etapa mesofílica o de curado, comienza cuando la cantidad de materia orgánica fácilmente degradable se vuelve limitante, siendo la pila re-colonizada por los microorganismos mesófilos. En esta etapa AC tuvo la media de temperatura más baja, estadísticamente diferente a CO y EM, indicando que en la etapa mesofílica hubo una ventaja positiva al aplicar los microorganismos comerciales de AC, debido a que varios autores citan que el compost es más maduro mientras la temperatura se acerca más a la temperatura ambiental, claro que el término “maduro” está de acuerdo al uso final del compost. No existió diferencia significativa entre las medias de EM y CO para esta etapa (Cuadro 9).

5.3.2. Humedad. El promedio de humedad en el día 3 del control fue 71 % y en los tratamientos de EM y AC de 76%, debido a la cantidad de agua que se aplicó al momento de inocular los microorganismos (Figura 19).

Es importante mencionar, que a pesar de que la humedad estuvo fuera del límite razonable máximo de 65% establecido por Rynk *et al* (1992), no se observó percolado o lixiviado en la base o suelo de ninguna pila, debido al porcentaje usado de materiales porosos y la alta temperatura del proceso que en esos días estuvo en un rango alto de 63° C, indicando que la alta humedad no afectó o retrasó el proceso de compostaje.

Para disminuir el porcentaje de humedad, se realizó un volteo extra en la semana dos donde únicamente se volteó y no se aplicó agua adicional, ni microorganismos. Posteriormente, la humedad en los tratamientos se uniformizó mostrando un comportamiento similar.

El rango de humedad en el cual se mantuvieron las pilas, pudo haber sido favorable para la supresión de organismos patógenos, pues según Stoffella y Kahn (2001) para inducir la supresión de patógenos y/o enfermedades, el contenido de humedad debe estar entre 40 a 50%, para que las bacterias y los hongos colonicen el sustrato tras la etapa de alta temperatura.

5.3.3. pH. Los tratamientos mostraron la misma tendencia o comportamiento durante el proceso de compostaje, aunque la diferencia radicó en el número de días en que cada uno regresó de la alcalinidad a valores inferiores a pH 8.0 (Figura 20).

Según Weast *et al*, (1989-1990), citado por Sundberg (2005), el pH está influenciado por tres sistemas ácido-base. El primero es el sistema carbónico, donde del CO₂ que es formado durante el compostaje, puede escapar en forma de gas o disolverse en líquido formando H₂CO₃ donde el bicarbonato y el carbonato tienden a neutralizar el pH, aumentando el pH bajo y reduciendo el pH alto. El segundo sistema está formado por NH₄⁺ y NH₃, resultantes de la descomposición de proteína. En la fase inicial, la mayoría del Nitrógeno metabolizado es retenido por los microorganismos, pero en la etapa siguiente el amoníaco es liberado aumentando el pH. El tercer sistema está compuesto por varios ácidos orgánicos como láctico y acético, reduciendo el pH.

Stoffella y Kahn (2001) indican que un rango de pH final para un compost puede estar entre 6.0 a 8.0, esto es debido a que existe gran variabilidad en las materias primas utilizadas, los métodos y procesos de compostaje.

Existió diferencia significativa entre el control (CO) y los tratamientos EM y AC al comparar las medias de pH durante todo el compostaje, reflejando el control un valor de pH superior en comparación a los tratamientos. No hubo diferencia estadística significativa durante la etapa termofílica de cada tratamiento, lo cual indica que los tratamientos con microorganismos comerciales no influyeron en el pH durante esta fase (Cuadro 10).

Las medias de pH de la etapa mesofílica mostraron diferencias significativas, persistiendo que el control tuvo la media más alta 8.1 que está en rango alcalino, AC una media de 7.88 la cual fue estadísticamente diferente a EM que tuvo la media más baja de 7.75. En el caso de ambos tratamientos, existió una diferencia respecto al control, lo que indica que las bacterias comerciales aplicadas durante todo el ciclo de compostaje tuvieron un efecto, en este caso positivo, puesto que mientras más neutro es un pH es mejor para la mayoría de cultivos ornamentales producidos en macetas.

5.3.5. Propiedades físicas. Las propiedades físicas de los tratamientos y el control del compost entero (sin cernir) fueron similares, tras no mostrarse una

diferencia estadísticamente significativa. Esto tiene sentido debido a que los componentes y proporciones de los materiales utilizados en las pilas fueron iguales (Cuadro 11).

5.3.6. Análisis maduración. El US Composting Council (1996), citado por Stoffella y Kahn (2001) indica que un compost a utilizar como sustrato en macetas para cultivos hortícolas debe tener un pH de 5.5 a 8.0, una concentración máxima de sales solubles de 3 dS/m y debe ser muy estable. La estabilidad hace énfasis que el compost contenga o no cantidades aceptables de compuestos fitotóxicos como NH_3 , ácidos orgánicos que pueden afectar el crecimiento de las plantas.

Trautmann *et al* (1996) indican que a medida que el proceso de compostaje avanza, la relación C/N va disminuyendo desde 30:1 hasta un rango de 10:1 a 15:1 del compost final. La razón es que los compuestos orgánicos son consumidos por los microorganismos, y dos tercios del Carbono es liberado como CO_2 . El 1/3 es incorporado en conjunto con el Nitrógeno dentro de las células de los microorganismos, luego liberados para su uso cuando los microorganismos mueren.

En los tratamientos (Cuadro 12) puede verse una disminución de la relación Carbono/Nitrógeno del día 24 de compostaje al día 93. Según Stoffella y Kahn (2001) la relación Carbono/Nitrógeno frecuentemente no es un indicador de madurez, sino tiene que ver más con los materiales orgánicos que constituyeron las pilas. Por ejemplo si un sistema de producción de compost tiene un pH mayor a 7.5 la relación C/N puede cambiar muy poco durante el compostaje, si la pérdida de C por CO_2 y la pérdida de N por NH_3 sucedieran simultáneamente, lo cual puede explicar porque los valores de C/N son parecidos entre el día 93 y 185.

Chen e Inbar (1994), citados por Stoffella y Kahn, (2001) indican que la materia orgánica disminuye durante el proceso de compostaje, perdiéndose aproximadamente la mitad de la materia orgánica inicial. Lo anterior puede verse reflejado en todos los tratamientos al comparar el análisis realizado en el día 24 con el análisis del día 93 y del día 185. Se observa claramente que la mayor pérdida de materia orgánica existió entre el día 24 y 93.

El comportamiento de la materia orgánica fue similar en los tratamientos, lo que tiene sentido debido a que los materiales y proporciones que formaron las diferentes pilas fueron iguales (Cuadro 12).

Los resultados de pH mostrados en el cuadro 12 confirman la tendencia y discusión de las mediciones realizadas a nivel finca durante el proceso de compostaje (inciso 5.3.3), donde el proceso de compostaje comenzó con una tendencia ascendente en los tres tratamientos para posteriormente, en el caso de EM y AC, descender hacia la neutralidad 7.55 y 7.65 respectivamente, mientras el control (CO) descendió pero mantuvo un valor alcalino 8.60, el cual está fuera de los valores de pH indicados por el US Composting Council para el uso de compost en macetas.

Grebus *et al* (1994) citados por Stoffella y Kahn (2001), señalan que la razón $\text{NH}_4\text{-N}$ y $\text{NO}_3\text{-N}$ es un indicador de madurez. “El $\text{NH}_4\text{-N}$ suele ser alto en las primeras etapas del compostaje, disminuyendo según el compost se va estabilizando, debido a que las tasas más bajas de respiración se dan en composts maduros, lo que favorece la producción de NO_3 vía nitrificación y menos favorable para pérdida de NO_3 vía desnitrificación. Además, la nitrificación se ve inhibida a temperaturas superiores a 40°C . Asimismo, las concentraciones de NH_4 y NO_3 son afectadas por el secado y mojado de los compost inmaduros”. En los resultados de compost analizado como suelo mineral del día 200 puede apreciarse una mayor concentración de NO_3 que NH_4 . Según Leege y Thompson (1997), citados por Stoffella y Kahn (2001) indican que el NH_4 tiende a disminuir durante el proceso de compostaje y el NO_3 a aumentar, así que los compost maduros contienen más $\text{NO}_3\text{-N}$ que $\text{NH}_4\text{-N}$.

De acuerdo a los resultados de laboratorio del compost analizado como suelo (Cuadro 12), el tratamiento control (CO) es menos maduro que EM y AC, mientras EM es ligeramente más maduro que AC. Asimismo, la tendencia en la razón $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ es la misma. Básicamente puede decirse que existió un beneficio de una mayor madurez del compost al cual se le aplicó microorganismos comerciales en comparación al control. EM fue el compost más maduro de los tres tratamientos.

Los resultados de conductividad eléctrica o medición de sales solubles (Cuadro 12), muestran diferencia en la concentración de sales entre los tres tratamientos. AC fue el tratamiento con mayor conductividad eléctrica, seguido por EM y CO. El valor de conductividad eléctrica del compost AC sobrepasó el límite máximo de 3.0 establecido por el US Composting Council para el uso de compost como sustrato en macetas para cultivos hortícolas, mientras que los valores de EM y CO están dentro del rango permisible. Es importante mencionar que la conductividad eléctrica no

brinda información sobre cuáles son las sales presentes en el compost (Stoffella y Kahn 2001).

5.4 EVALUACIÓN DEL COMPOST PRODUCIDO.

5.4.1. Uso del compost para germinar semillas.

A) Evaluación de germinación

El tipo de compost y las siete combinaciones peat: compost no tuvieron efecto significativo sobre la germinación de la semilla (Cuadro 13). Si existió diferencia significativa en la interacción del tipo de compost con las combinaciones peat: compost, mostrándose en la comparación de medias (Cuadro 14) que el tipo de compost EM no mostró diferencia estadística significativa en las medias de germinación de las diferentes combinaciones con peat moss. Esto indica que el compost EM puede ser utilizado en un 100% sin ningún problema, para germinar semilla del híbrido *Tagetes* sp. evaluado.

En el control existió diferencia significativa entre la combinación 10% peat: 90% compost que tuvo la mejor germinación y 100% peat: 0% compost que mostró la peor germinación. Esto indica que el compost CO puede utilizarse a un 90% para germinar semilla del híbrido evaluado de Marigold.

En el tipo de compost AC la mejor germinación fue observada en las combinaciones 100% peat: 0% compost, 70% peat: 30% compost, 50% peat: 50%, indicando que se puede utilizar este tipo de compost sin problema hasta un 50%. Se observó diferencia significativa entre las anteriores combinaciones y las combinaciones 10% peat: 90% compost y 0% peat: 100% compost, donde la última tuvo la media de germinación más baja, indicando que existe un efecto negativo en la germinación al utilizar compost AC en concentraciones superiores a 90%.

B) Evaluación de pH y conductividad eléctrica de los sustratos

No hubo diferencia estadística significativa en el pH y la conductividad eléctrica debido al tipo de compost (Cuadro 15). Si existió diferencia significativa en el pH de las diferentes combinaciones de peat: compost observándose en el cuadro No. 16 que el peat moss utilizado tuvo un pH bajo o mayor acidez, mientras los compost tenían un pH neutro a ligeramente alcalino. Mientras más porcentaje de compost se combinó con peat moss, el pH de la mezcla fue aumentado hasta llegar a ser neutral al combinar más de 70% compost con peat, notándose un efecto neutralizador de pH en

los tres tipos de compost. Según las características técnicas del peat moss acondicionado utilizado, el sustrato tiene un pH de 5.5 a 6.5 tras estar mojado, rango de valores que concuerda con los datos obtenidos en la mezcla 100% peat y 0% compost (Conrad Farfard Inc, 2008).

Los resultados de variable conductividad eléctrica indican que no hubo diferencia estadística significativa al mezclar porcentajes inferiores al 70% de compost con peat (Cuadro 16).

Existieron diferencias significativas entre las medias de las combinaciones, 30% peat: 70% compost, 10% peat: 90% compost y 0% peat: 100% compost (Cuadro 17) mostrándose claramente un aumento en la concentración de sales conforme el porcentaje de compost fue mayor.

En la Figura 22 puede observarse a los 7 días de germinación, un menor desarrollo de las plántulas en las mezclas con más de 70% de compost en los tratamientos EM y AC, así como más de 90% en el control, las cuales tienen alto contenido de sales solubles. Sin embargo la germinación del híbrido de Marigold evaluado se vio afectada negativamente únicamente en la mezcla 0% peat y 100% AC compost, que fue la que mayor concentración de sales solubles tuvo.

Jiménez y García (1989) citados por Stoffella y Kahn, (2001) mencionan que hay diferentes pruebas para determinar cuando un compost está suficientemente maduro, pero usualmente las instalaciones y equipos no son fácilmente disponibles para la mayoría de cultivadores. Una forma sencilla para determinar la madurez, es a través de bio ensayos. Una bandeja se llena con compost y otra con un medio que es conocido como estable o sea un control. Semillas de especies de crecimiento rápido son sembradas en ambas bandejas y observadas de 1 a 2 semanas donde síntomas visuales de fitotoxicidad deberían poder observarse si hubiesen sustancias de este tipo presentes en el compost.

Intencionalmente se dejó seguir creciendo las plántulas evaluadas, por 13 días más para ver si mostraban algún síntoma de fitotoxicidad.

En compost inmaduros la actividad microbiana es alta, lo cual puede producir bloqueo biológico de la llegada N al cultivo, expresándose como deficiencia del mismo en las plantas. Además durante las etapas iniciales del compostaje se producen sustancias fitotóxicas como ácidos grasos de cadena corta, por ejemplo, ácido acético,

propiónico. Lo anterior puede deformar y matar partes de las plantas. (Jimenez y García 1989 citados por Stoffella y Kahn, 2001).

Según la Figura No. 23, no se observaron síntomas de fitotoxicidad, ni deficiencias nutricionales en los pilones del híbrido de Marigold a los 21 días de edad, incluso en los tratamientos con altas concentraciones de compost.

5.4.2. Uso del compost en macetas para crecer plantas.

A) Evaluación altura

No existió diferencia significativa en la media de la variable altura debido al tipo de compost, ni en la interacción del tipo compost x combinación suelo: compost (cuadro 18).

Existió diferencia estadísticamente significativa entre las combinaciones suelo: compost, mostrándose la mayor altura en las plantas que crecieron el sustrato 100% compost, seguidas por la combinación que tuvo 90% suelo y 10% compost (cuadro 19). Las plantas que crecieron en 100% suelo tuvieron la menor altura. Lo anterior muestra que el compost tuvo un efecto fertilizante el cual colaboró a tener una mayor altura de plantas.

B) Evaluación acumulación de nutrientes en biomasa aérea

Existió diferencia estadísticamente significativa en la acumulación de Nitrógeno en las plantas crecidas en compost EM y AC en comparación con el control, indicando que la aplicación de microorganismos comerciales tuvo una ventaja en comparación con el compost al cual no se le aplicó microorganismos (Cuadro 20). El tipo de compost EM mostró una diferencia significativa positiva en la acumulación de potasio en comparación con el tratamiento CO, mostrando una ventaja específica entre los tratamientos (Cuadro 21).

La combinación 0% suelo: 100% compost tuvo las medias más altas en la acumulación de N, P, K, Ca, Cu, Mn y Zn, siendo significativamente diferentes de la combinación 90% suelo: 10% compost y que la combinación 100% suelo: 0% compost. Los mismos elementos en la combinación 90% suelo: 10% compost tuvieron una media significativa más alta que el control. Esto indica que la mezcla de 10%

compost con suelo y el compost a un 100% tuvieron un efecto de fertilizante en comparación con el suelo que no se combinó con compost (Cuadro 22 y Figura 24).

No existió diferencia significativa en la acumulación de Mg y Fe de las combinaciones 0% suelo: 100% compost y 90% suelo: 10% compost. Pero si existió diferencia significativa de las combinaciones anteriores con la combinación 100% suelo: 0% compost, lo que indica que en el caso del Mg y Fe hay un efecto positivo en la acumulación de nutrientes en las plantas al aplicar con solo combinar 10% de compost con el suelo evaluado (Cuadro 22).

No existió diferencia significativa en la acumulación de elementos entre la interacción tipo de compost y combinación de suelo: compost.

5.5 COSTOS

El costo final base de cada pila de compost fue de Q 2,017.87, el cual incluyó todos los gastos realizados desde inicio hasta el final del ciclo de compostaje, como: Acondicionamiento plataforma o base para las composteras, mano de obra, volteos y análisis de laboratorio. Para los tratamientos EM y AC se le agregó al costo base final de las pilas, el costo del EM y AC aplicados en todo el ciclo de compostaje (Cuadro 23).

Una pila de compost EM fue un 18% más cara que la pila control, habiendo un beneficio en obtener un compost más maduro, con mayor Nitrógeno y potasio disponible y un pH neutral, en comparación con las propiedades que mostró el control.

Una pila de AC fue 68% más cara que el control, existiendo un beneficio al ser un compost más maduro, con más Nitrógeno y poseer un pH neutral en comparación al control, aunque a un alto costo. Esto hace que el AC tenga una desventaja en su selección ante un EM que es 42% más barato.

El costo por tratamiento se transformó a costo por m³ de compost aprovechable producido. Esto significa la totalidad del compost que pasó a través del arnero de 13 mm con que se cernió el compost, donde únicamente hubo una retención de 2% en base a volumen, promedio para todos los tratamientos.

Respecto a la producción final de compost, es relevante considerar que tras el proceso de compostaje existe una reducción del volumen inicial de las pilas por la pérdida de CO₂ y agua a la atmósfera. La reducción de volumen puede ser desde un cuarto hasta más de la mitad del volumen original, dependiendo los componentes de la pila. Otra pérdida corresponde a que los componentes se van transformando a material más quebradizo los cuales son reducidos a partículas más finas de compost. (Rynk *et al*, 1992).

En el caso de los tres tratamientos, la reducción de volumen fue mayor a la mitad del volumen original, pero hay que considerar que por el tipo de investigación, fue necesario sustraer una cantidad considerable de muestras para analizar humedad, pH y enviar a laboratorio durante todo el ciclo de compostaje. Por ejemplo para medir humedad y pH se extrajeron a cada pila aproximadamente 23 Kg de material, y para las muestras a laboratorio se extrajeron 4 Kg de material.

El costo base final por pila puede ser mejorado al aumentar la escala del experimento y reducir ciertos parámetros de monitoreo que para una producción comercial no requerirían tanto detalle como el que se tuvo a nivel experimental. Es importante mencionar que el costo en quetzales por m³ basal del compost (sin microorganismos) fue de Q 2,516.49 y un 1 m³ de Peat Moss comercial cuesta Q 1,320-1,500, lo cual hace que el compost del experimento fuera sumamente caro debido a su producción en una escala pequeña y de alto detalle.

VI. CONCLUSIONES

- La unidad de producción en que se realizó el estudio genera un estimado de 1,137 toneladas de desechos orgánicos de Geranio por año, lo cual en volumen son 18,950 m³.
- Las pilas de compostaje evaluadas constituidas por 18% de desechos orgánicos de Geranio, 40% pasto Napier, 30% pasto Jaraguá y un 12 % de hojarasca tuvieron una relación C/N estimada de 37.27 y un contenido de humedad inicial de 70.76%.
- Las pilas de compost a las que se les aplicó EM y AC permanecieron en la etapa termofílica 78 días, cambiando a la etapa mesofílica 23 días antes que CO, sin embargo no existió diferencia estadísticamente significativa de temperatura entre los tres tratamientos en dicha etapa. En la etapa mesofílica el tratamiento AC mostró diferencia estadística significativa de temperatura, en comparación a CO y EM, entre los cuales no existió diferencia.
- Los pH de los tres tratamientos no mostraron diferencia estadística significativa en la fase termofílica del proceso de compostaje, pero sí existió diferencia entre tratamientos en la etapa mesofílica, siendo el control el que tuvo el pH final más alto (8.1) en comparación al 7.88 de AC y 7.75 de EM, notándose un efecto significativo de los microorganismos comerciales sobre el pH en el proceso de compostaje.
- Las propiedades físicas del compost final, fueron estadísticamente iguales entre los tratamientos.
- En base a la razón $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NO}_3\text{-N}$ el compost EM demostró tener la mayor madurez en comparación al tratamiento AC y control. Según esta razón el control mostró ser menos maduro que los tratamientos a los que se aplicaron microorganismos comerciales.

- Según los resultados finales de laboratorio, el compost EM cumple con los límites permisibles de conductividad eléctrica y pH establecidos por el US Composting Council, para el uso de compost como sustrato en macetas en cultivos hortícolas; mientras la concentración de sales del compost AC sobrepasa el límite máximo de 3 dS/m y el CO está arriba del valor máximo correspondiente a 8.0.
- Estadísticamente se mostró que la germinación de la semilla de Marigold evaluada no se vio afectada por 7 las proporciones (peat moss-compost) en los tratamientos EM y CO, mientras el compost del tratamiento AC si disminuyó la germinación en la proporción que contenía 100% de compost, debido a su alta conductividad eléctrica.
- Los tratamientos EM, AC y CO mostraron estadísticamente un efecto neutralizador del pH conforme mayor fue su proporción en las 7 mezclas (peat moss-compost) evaluadas para germinar semilla.
- Los tratamientos EM, AC y CO no mostraron diferencias estadísticamente significativas de conductividad eléctrica debido al tipo de compost, aunque existió diferencia conforme mayor fue la proporción de compost en las 7 mezclas (peat moss-compost) evaluadas para germinar semilla, manteniéndose la misma tendencia para los tres tratamientos.
- No existió diferencia estadística significativa en la evaluación de altura debido a los tipos de compost utilizados para crecer plantas. Sí existió diferencia, conforme mayor fue la proporción de compost en las tres mezclas (suelo-compost) evaluadas, la cual fue ascendente conforme mayor cantidad compost hubo en la mezcla.
- Estadísticamente existió mayor acumulación de Nitrógeno en la biomasa aérea de las plantas crecidas en compost EM y AC en comparación con CO, mostrándose una ventaja en la acumulación de este elemento en los tratamientos a los cuales se les aplicó microorganismos comerciales.

- Las plantas crecidas en 100% compost como sustrato mostraron estadísticamente la mayor acumulación de los elementos N, P, K, Ca, Mn y Zn en la biomasa aérea, en comparación con las plantas crecidas en (90% suelo-10% compost) y 100% suelo.
- El costo por m³ del compost AC fue el más alto, seguido por EM y el control. Debido al costo y las ventajas mostradas por EM, es viable su utilización en el compostaje de los desechos evaluados, en comparación al control y al tratamiento de AC.

VII. LITERATURA CITADA

Alianza con la Biosfera S.A (Alibio S.A).2007. *Alibio CA, activador y acelerador de composta*. C.V, México. 12 p.

Conrad Farfard Inc. 2008. *Farfard Canadian growing mix no. 2*. USA. 1P. (en línea) Consulta 3 de marzo, 2008. Disponible en [<http://www.fafard.com/?p=113>]

E. M Research Organization (EMRO). 2008. *What's EM. EMRO, Microorganisms in EM-1*, Japon. 6p. (en línea) Consulta 3 de mayo, 2008. Disponible en [<http://emrojapan.com/microorganisms.php>]

EMTECSA.2007. *Protocolo para el uso de los EM en el manejo de sólidos*. Guatemala, Guatemala. 7 p.

Higa, T. 1993. *E.M una revolución para salvar la tierra*. EM Research Organization, Okinawa, Japón. 332 p.

Haug, R. 1993. *The practical handbook of compost engineering*. Lewis publishers, USA. 744 p.

Reed, D. 1999. *Guía del productor agua, sustratos y nutrición en los cultivos de flores bajo invernadero*. Ball Publishing, Chicago, USA. 312 p.

Rynk, R; Wilson, G; Van de Kamp; Singley, M; Richard, T; Colega, J; Gouin, F; Laliberty, L; Kay, D; Murphy, D; Hoitink, H; Brinton; W. 1992. *On-farm composting handbook*. North East Regional Agricultural Engineering Service, USA. 186 p.

Shintani, M. 1999. *Activación de EM I*.Universidad EARTH. Guácimo, Costa Rica. 4p.

Stoffella, P; Kahn, B. 2001. *Compost utilization in horticultural cropping systems*. CRC Press, USA. 414 p.

Sundberg, C. 2005. *Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH*. (en línea) Consulta 8 de septiembre, 2008. Disponible en: [<http://diss-epsilon.slu.se/archive/00000950/>]

Sztern, D; Pravia, M. 1999. *Manual para la elaboración de compost bases conceptuales y procedimientos*. OPS, OMS. SP. 36 p.

Trautmann, N; Richard, T; Olynciw, E. 1996. *Cornell Composting Science & Engineering*. (en línea) Consulta 3 de abril, 2008. Cornell Waste Management Institue. Disponible en: [<http://compost.css.cornell.edu>]

VIII. ANEXOS

Anexo 1. Análisis materiales que integraron las pilas de compost.

Orden: 17,948
 Propietario: FLORICULTURA & CIA. LTDA.
 Finca: S/N
 Localización: Jalapa, JALAPA



No.	Identificación	pH	Porcentaje (%)					Partes Por Millón (PPM)					Porcentaje (%)		
			* N	* P ₂ O ₅	* K ₂ O	* CaO	* MgO	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Ceniza	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	C/N
98,481	CULTIVO 1	5.80	4.21	1.33	2.89	2.11	0.40	15.25	305.90	275.20	55.12	12.00	88.00	48.89	11.61
98,482	CULTIVO 2	4.80	0.90	0.32	1.81	0.22	0.22	2.93	45.55	20.64	10.27	6.00	94.00	52.22	58.02
98,483	CULTIVO 3	5.30	1.70	0.18	0.16	3.78	0.38	9.89	1642.40	833.60	24.29	1.33	98.67	54.82	32.25
98,484	CULTIVO 4	2.00	0.35	0.12	0.52	0.43	0.18	0.10	50.36	58.48	18.50	10.00	90.00	50.00	142.86

* N = Nitrógeno
 * P₂O₅ = Fósforo
 * K₂O = Potasio
 * CaO = Calcio
 * MgO = Magnesio

Fecha de Ingreso: Viernes 01 de Febrero de 2008
 Fecha de Entrega: Martes 12 de Febrero de 2008

Ing. Humberto Jiménez G.
 Jefe Laboratorio Analab



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

5ta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.

E-mail: analab@anacafe.org

www.laboratorioanalab.com

Teléfono y Fax: 337-4173

Página 1/1

Cultivo 1: Geranio, **Cultivo 2:** Napier, **Cultivo 3:** Hoja de bosque, **Cultivo 4:** Jaragua.

Anexo 2. Resultados primer análisis de abono orgánico.

Orden: 18,196
 Propietario: FLORICULTURA & CIA. LTDA.
 Finca: S/N
 Localización: Jalapa, JALAPA

Analab[®]
 Laboratorio de Calidad de Suelos, Fertilizantes y Agua de ANALAB
Análisis de Abono Orgánico

No.	Identificación	pH	Porcentaje (%)					Partes Por Millón (PPM)					Porcentaje (%)		C/N
			* N	* P ₂ O ₅	* K ₂ O	* CaO	* MgO	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Ceniza	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	
99,994	MUESTRA # 1	9.20	1.67	0.44	0.96	1.75	0.42	16.60	2048.00	517.60	35.90	60.00	50.00	27.78	16.63
99,995	MUESTRA # 2	9.20	1.36	0.39	0.61	1.51	0.37	15.80	1920.00	449.60	26.80	46.00	54.00	30.00	22.06
99,996	MUESTRA # 3	9.10	1.43	0.27	0.60	1.50	0.35	14.10	3584.00	428.20	18.30	49.00	51.00	28.33	19.81
99,997	MUESTRA # 4	9.30	0.74	0.46	0.91	1.32	0.33	17.50	4672.00	415.70	21.20	57.00	43.00	23.89	32.28
99,998	MUESTRA # 5	8.90	1.18	0.37	0.26	1.43	0.32	20.50	3392.00	491.80	27.70	68.00	32.00	17.78	15.07
99,999	MUESTRA # 6	9.10	2.02	0.53	0.90	1.82	0.42	16.30	3072.00	533.50	23.50	41.00	59.00	32.78	16.23

* N = Nitrógeno
 * P₂O₅ = Fósforo
 * K₂O = Potasio
 * CaO = Calcio
 * MgO = Magnesio

Fecha de Ingreso: Miércoles 27 de Febrero de 2008
 Fecha de Entrega: Lunes 10 de Marzo de 2008


 Ing. Humberto Jiménez G.
 Jefe Laboratorio Analab



Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Sta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.

E-mail: analab@anacafe.org

www.laboratorioanalab.com

Teléfono y Fax: 337-4173
 Página 1/1

Muestra # 1: AC A
 Muestra # 2: AC B
 Muestra # 3: CO B
 Muestra # 4: CO A
 Muestra # 5: EM B
 Muestra # 6: EM A

Anexo 3. Resultados segundo análisis de abono orgánico.

Orden: 18,956
 Propietario: FLORICULTURA & CIA. LTDA.
 Finca: S/N
 Localización: Jalapa, JALAPA



No.	Identificación	pH	Porcentaje (%)					Partes Por Millón (PPM)				Porcentaje (%)			C/N
			* N	* P ₂ O ₅	* K ₂ O	* CaO	* MgO	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Ceniza	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	
105,379	MUESTRA # 1	8.50	1.67	0.39	1.88	1.11	0.40	19.83	3116.80	537.50	37.48	64.00	36.00	20.00	11.98
105,380	MUESTRA # 2	8.30	1.30	0.39	0.89	0.91	0.35	21.22	3699.20	446.00	31.93	71.00	29.00	16.11	12.39
105,381	MUESTRA # 3	8.90	1.39	0.41	1.15	1.13	0.40	19.22	2969.60	550.90	33.93	66.00	34.00	18.89	13.59
105,382	MUESTRA # 4	9.10	1.25	0.50	1.30	0.80	0.33	21.03	3590.40	422.10	26.80	76.00	24.00	13.33	10.66
105,383	MUESTRA # 5	8.30	1.12	0.34	0.64	0.83	0.33	21.32	3360.00	417.80	23.31	75.00	25.00	13.89	12.40
105,384	MUESTRA # 6	8.40	1.67	0.46	1.66	1.16	0.40	22.42	4006.40	574.60	35.24	66.00	34.00	18.89	11.31

* N = Nitrógeno
 * P₂O₅ = Fósforo
 * K₂O = Potasio
 * CaO = Calcio
 * MgO = Magnesio

Fecha de Ingreso: Martes 05 de Mayo de 2008
 Fecha de Entrega: Martes 20 de Mayo de 2008

Ing. Humberto Jiménez O.
 Jefe Laboratorio Analab

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Sta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.

E-mail: analab@anacafe.org

www.laboratorioanalab.com

Teléfono y Fax: 337-4173
 Página 1/1

Muestra # 1: AC A
 Muestra # 2: AC B
 Muestra # 3: CO B
 Muestra # 4: CO A
 Muestra # 5: EM B
 Muestra # 6: EM A

Anexo 4. Resultados tercer análisis de abono orgánico.

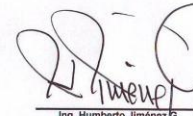

Orden: 19,660
 Propietario: FLORICULTURA & CIA. LTDA.
 Finca: S/N
 Localización: Jalapa, JALAPA

Analab[®]
 Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas y Agua de ANACAFE
Análisis de Abono Orgánico

No.	Identificación	pH	Porcentaje (%)					Partes Por Millón (PPM)				Porcentaje %			C/N
			* N	* P ₂ O ₅	* K ₂ O	* CaO	* MgO	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Ceniza	Materia Orgánica	Carbono Orgánico	
108,702	MUESTRA # 1	7.80	1.61	0.64	1.06	2.94	0.55	17.22	7040.00	570.00	38.00	66.00	34.00	18.89	11.73
108,703	MUESTRA # 2	7.50	1.51	0.55	0.89	2.70	0.48	20.00	7680.00	560.00	32.00	68.00	32.00	17.78	11.77
108,704	MUESTRA # 3	8.20	1.34	0.55	1.02	2.73	0.51	17.10	7680.00	530.00	28.00	67.00	33.00	18.33	13.68
108,705	MUESTRA # 4	8.70	1.11	0.46	1.10	2.13	0.43	20.30	8960.00	480.00	25.00	74.00	26.00	14.44	13.01
108,706	MUESTRA # 5	7.50	1.44	0.48	0.64	2.14	0.40	17.81	8320.00	480.00	23.00	71.00	29.00	16.11	11.19
108,707	MUESTRA # 6	7.90	1.03	0.64	0.92	2.55	0.48	18.11	7680.00	560.00	33.00	76.00	24.00	13.33	12.94

* N = Nitrógeno
 * P₂O₅ = Fósforo
 * K₂O = Potasio
 * CaO = Calcio
 * MgO = Magnesio

Fecha de Ingreso: Miércoles 06 de Agosto de 2008
 Fecha de Entrega: Jueves 21 de Agosto de 2008


 Ing. Humberto Jiménez S.
 Jefe Laboratorio Analab


Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le da a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Sta. calle 0-50, Zona 14, Guatemala, Guatemala, C.A.

E-mail: analab@anacafe.org

www.laboratorioanalab.com

Teléfono y Fax: 337-4173

Página 1/1

Muestra # 1: AC A
Muestra # 2: AC B
Muestra # 3: CO B
Muestra # 4: CO A
Muestra # 5: EM B
Muestra # 6: EM A

Anexo 5. Resultados compost analizado como suelo.

Orden: 19793
 Propietario: FLORICULTURA & CIA. LTDA.
 Finca: SANTA CLARA
 Localización: Jalapa, JALAPA
 Cultivo: FLORES



Análisis de Suelos

No.	Identificación	pH	Cmol/L						miligramos/Litro (mg/L)				%			mg/L	da/m
			Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Aluminio	Acidez Intercam.	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Materia Orgánica	Amonio	Nitratos		
	Rangos de Suficiencia:	[5.50-8.00]	[10 - 20]	[0.2 - 0.6]	[4 - 20]	[1 - 5]	[Menor que 1]	[Menor que 1.2]	[2 - 20]	[0 - 100]	[0 - 50]	[0 - 10]	[0.00-6.00]	[25 - 100]	[25 - 225]	0.2 - 0.8	
109375	MUESTRA # 1	7.70	119.90	1.81	18.40	5.20	0.06	0.07	1.10	33.00	6.90	0.80	13.12	28.23	67.84	3.45	
109376	MUESTRA # 2	7.60	140.10	1.52	19.40	5.40	0.08	0.09	0.96	36.00	5.60	1.40	13.12	32.11	67.81	3.36	
109377	MUESTRA # 3	8.40	112.50	1.70	17.20	5.00	0.08	0.10	1.40	22.00	13.00	1.00	13.46	59.58	67.84	2.59	
109378	MUESTRA # 4	8.80	133.10	1.41	11.30	4.00	0.07	0.09	1.70	72.00	9.40	0.60	13.14	34.05	54.86	1.92	
109379	MUESTRA # 5	7.40	105.70	1.30	17.50	4.30	0.05	0.07	1.50	53.00	3.90	0.60	11.82	19.91	67.66	2.58	
109380	MUESTRA # 6	7.70	187.80	1.42	18.00	5.20	0.07	0.09	1.20	20.00	6.70	1.20	13.12	29.46	67.81	3.10	

No.	Identificación	Cmol/L	Porcentaje de Saturación en el CIC de:					Equilibrio de las Bases			
			Ca	Potasio	Calcio	Magnesio	Al	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg	(Ca+Mg)/K
	Niveles Adecuados		[0 - 25]	[4 - 16]	[80 - 85]	[10 - 20]	[menor que 25]	[0 - 25]	[2.5 - 15]	[2 - 5]	[10 - 40]
109375	MUESTRA # 1	25.48	7.10	72.21	20.41	0.24	10.17	2.87	3.54	13.04	
109376	MUESTRA # 2	26.41	5.76	73.46	20.45	0.30	12.76	3.55	3.59	16.32	
109377	MUESTRA # 3	24.00	7.08	71.67	20.83	0.33	10.12	2.94	3.44	13.06	
109378	MUESTRA # 4	16.80	8.39	67.26	23.81	0.42	8.01	2.84	2.83	10.85	
109379	MUESTRA # 5	23.17	5.61	75.53	18.56	0.22	13.46	3.31	4.07	16.77	
109380	MUESTRA # 6	24.71	5.75	72.85	21.04	0.28	12.88	3.66	3.46	16.34	

Fecha de Ingreso: Viernes, 22 de Agosto de 2008
 Fecha de Entrega: Lunes, 8 de Septiembre de 2008

Soluciones extractantes: Para P, K, Cu, Fe, Mn y Zn con Olsen Modificado y para Ca y Mg con KCl 1 Normal.

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Ing. Humberto Jiménez G.
 Jefe Laboratorio Analab

Muestra # 1: AC A
 Muestra # 2: AC B
 Muestra # 3: CO B
 Muestra # 4: CO A
 Muestra # 5: EM B
 Muestra # 6: EM A

Anexo 6. Resultado suelo testigo.

Orden: 19923
 Propietario: FLORICULTURA & cia. Tlda.,
 Finca: SANTA CLARA LOS ACHIOTES
 Localización: JALAPA, JALAPA
 Cultivo: GENERAL



Análisis de Suelos

No.	Identificación	mg/L		Cmol/L					miligramos/Litro (mg/L)				%		mg/L	
		pH	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Aluminio	Acidez Intercam.	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc	Materia Orgánica	Amonio	Nitratos	C.S.
Rangos de Suficiencia:		[8.50-6.80]	[10 - 20]	[0.2 - 0.6]	[4 - 20]	[1 - 5]	[Menor que 1]	[Menor que 1.2]	[2 - 20]	[10 - 100]	[5 - 50]	[2 - 10]	[3.00-4.00]	[25 - 100]	[25 - 225]	0.2 - 0.8
110208	MUESTRA A	6.60	9.52	0.15	19.50	2.48	0.04	0.05	3.71	120.00	1.15	0.45	5.09	26.08	59.33	0.47

No.	Identificación	Cmol(c)/L	Porcentaje de Saturación en el CICa de:				Equilibrio de las Bases			
			CICa	Potasio	Calcio	Magnesio	Al	Ca/K	Mg/K	Ca/Mg
Niveles Adecuados		[5 - 25]	[4 - 10]	[50 - 80]	[10 - 20]	[menor que 25]	[5 - 25]	[2.5 - 15]	[2 - 5]	[10 - 40]
110208	MUESTRA A	22.18	0.68	87.92	11.18	0.18	130.00	16.53	7.86	146.53

*fecha de Ingreso: Jueves 18 de septiembre del 2008
 *fecha de Entrega: Miércoles 1 de octubre del 2008

Soluciones extractantes: Para P, K, Cu, Fe, Mn y Zn con Olsen Modificado y para Ca y Mg con KCl 1 Normal.

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

Ing. Humberto Jimenez
 Jefe Laboratorio Analab

Muestra A: Suelo testigo.

Anexo 7. Análisis de nutrientes biomasa aérea (Tallo, hojas, flores).

Orden: 20,103
 Propietario: FLORICULTURA & CIA. LTDA.
 Finca: SANTA CLARA
 Localización: JALAPA, JALAPA
 Cultivo: GENERAL



Análisis Foliar

RESULTADOS DE LABORATORIO

No. de Lab.	Identificación	Macronutrientes (Elementos Mayores)					Micronutrientes (Elementos Menores)			
		Porcentaje (%)					Partes por Millón (ppm)			
		Nitrógeno	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio	Cobre	Hierro	Manganeso	Zinc
		2.00 - 4.00	0.20 - 0.80	1.00 - 4.00	0.50 - 1.50	0.20 - 0.50	1 - 20	50 - 200	20 - 200	20 - 100
111,046	ME 1-C	3.31	0.59	8.56	0.77	0.23	11.30	107.90	40.40	29.90
111,047	ME 2-C	3.27	0.56	8.08	0.83	0.25	15.10	117.70	40.00	33.60
111,048	OC 1-C	3.01	0.54	7.12	0.60	0.19	14.20	119.70	46.00	54.60
111,049	OC 2-C	2.97	0.61	7.12	0.69	0.22	16.30	117.30	71.90	52.20
111,050	CA 1-C	3.98	0.71	7.28	0.76	0.23	13.20	127.00	47.10	56.40
111,051	CA 2-C	3.29	0.60	6.88	0.64	0.22	15.10	119.10	35.10	61.20
111,052	E 1-SC	2.76	0.31	4.58	1.64	0.31	15.00	191.40	27.50	48.70
111,053	E 2-SC	3.09	0.27	3.68	1.65	0.33	16.60	143.70	27.50	43.30
111,054	O 1 - SC	2.34	0.27	4.16	1.58	0.31	12.50	172.30	33.10	52.20
111,055	O 2 - SC	2.41	0.33	1.60	1.46	0.28	12.10	121.80	29.80	22.00
111,056	A 1 - SC	2.67	0.29	1.60	1.50	0.30	17.60	186.50	38.60	31.10
111,057	A 2 - SC	3.12	0.29	1.04	1.77	0.33	20.20	160.20	32.60	40.80
111,058	S 1	2.64	0.20	2.78	1.85	0.43	17.80	209.60	26.80	42.70
111,059	S 2	2.71	0.17	2.58	2.04	0.46	16.40	242.30	32.20	39.50
111,060	S 3	3.08	0.19	2.76	2.00	0.43	14.40	305.50	29.50	48.80
111,061	S 4	3.02	0.22	2.40	1.98	0.45	14.00	327.20	39.90	39.30
111,062	S 5	2.81	0.16	2.45	1.88	0.45	13.10	247.00	33.70	36.40
111,063	S 6	2.72	0.15	2.40	2.05	0.48	12.00	173.00	33.00	33.30

Fecha de Ingreso: Jueves, 23 de octubre del 2008
 Fecha de Entrega: Lunes, 03 de noviembre del 2008

[Firma]
 Ing. Humberto Jiménez
 Jefe Laboratorio de Suelos

Los resultados de este informe son válidos únicamente para la muestra como fue recibida en el Laboratorio y en su impresión ORIGINAL.
 El Laboratorio ANALAB, no se responsabiliza por el uso inadecuado que se le de a este informe.
 La reproducción parcial o total de este informe deberá ser autorizada por escrito por ANALAB.

E1-SC: 90% Suelo: 10% EM A compost
 E2-SC: 90% Suelo: 10% EM B
 O1-SC: 90% Suelo: 10% CO A
 O2-SC: 90% Suelo: 10% COB
 A1-SC: 90% Suelo: 10% AC A
 A2-SC: 90% Suelo: 10% AC B

S1:T1 100% suelo: 0% compost
 SI: T2 100% suelo: 0% compost
 SI:T3 100% suelo: 0% compost
 SI:T4 100% suelo: 0% compost
 SI: T5 100% suelo: 0% compost
 SI: T6 100% suelo: 0% compost

ME1-C: 100% compost EM A: 0 % suelo
 ME2-C: 100% compost EM B: 0 % suelo
 OC1-C: 100% compost COA: 0 % suelo
 OC2-C: 100% compost COA: 0 % suelo
 CA1-C: 100% compost AC A: 0 % suelo
 CA2-C: 100% compost AC B: 0% suelo

Anexo 8. Valores promedio de las propiedades físicas para los compost producidos.

Tratamiento	Porosidad total (%)	Capacidad de retención (%)	Espacio aéreo (%)	Densidad g/mL
PROM EM	<i>68.38</i>	<i>53.17</i>	<i>15.17</i>	<i>0.40</i>
PROM CO	<i>69.77</i>	<i>53.77</i>	<i>16.00</i>	<i>0.40</i>
PROM AC	<i>70.30</i>	<i>55.97</i>	<i>14.38</i>	<i>0.38</i>