

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES FORMULACIONES DE COMPOSTAJE A PARTIR DE
RESIDUOS DE COSECHA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*)**



**YULI DEL CARMEN ZEMANATE CÓRDOBA
CARLOS ANDRÉS NAVIA CUETIA**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2011**

**EVALUACIÓN DE DIFERENTES FORMULACIONES DE COMPOSTAJE A PARTIR DE
RESIDUOS DE COSECHA DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*)**

**YULI DEL CARMEN ZEMANATE CORDOBA
CARLOS ANDRÉS NAVIA CUETIA**

**Proyecto de grado en la modalidad de trabajo de Investigación para optar al título
de Ingeniero Agropecuario**

**Directores
FABIO ALONSO PRADO, M.Sc.
SANDRA MORALES, M.Sc.**

**UNIVERSIDAD DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
INGENIERÍA AGROPECUARIA
POPAYÁN
2011**

Nota de aceptación

Los directores y los jurados han revisado este documento; han asistido a la sustentación del mismo por sus autores y lo consideran satisfactorio.

Director
FABIO ALONSO PRADO, M.Sc.

Directora
SANDRA MORALES, M.Sc.

Firma del jurado
JOSE LUIS HOYOS CONCHA

Firma del jurado
ROMAN STECHAUNER

Popayán, 23 de marzo de 2011

DEDICATORIA

Quiero principalmente dar gracias a Dios por ser el único dueño de mi vida y todo mi ser, por llevarme de la mano siempre y darme las fuerzas necesarias para soportar y cruzar los obstáculos que se presentaron en el transcurso de mi formación, por darme unos padres ejemplares, como lo es José Zemanate y Felisa Córdoba, por su confianza, dedicación y constante apoyo. A cada uno de mis hermanos por sus consejos y toda la comprensión posible que depositaron en mí. A Dorian Ramirez, por estar siempre a mi lado y brindarme todo su apoyo incondicional, por su amor, por escucharme y animarme a seguir adelante para ser una mejor persona. En general a toda mi familia y a cada uno de mis amigos quienes de alguna manera u otra aportaron un granito de arena para lograr mi formación profesional.

Yuli del Carmen Zemanate Córdoba

A Dios por ser mi guía, fuente de inspiración en mis momentos de angustias, alegrías y tristezas que caracterizaron el transitar por este camino que hoy veo realizado. A la memoria de mi abuelo Manuel Santos Navia por las enseñanzas, dedicación y confianza que siempre deposito en mí. A mis padres, cuya presencia en mi existencia ratifica la suerte que he tenido de pertenecerles, por su constante e incondicional apoyo, esfuerzo, consejos, comprensión y estímulo para lograr este objetivo. A mis hermanas y sobrinos por la paciencia, comprensión y el amor que siempre me brindan. A toda mi familia quienes de alguna manera aportaron en mi formación profesional.

Carlos Andrés Navia Cuetia

AGRADECIMIENTOS

A nuestros directores Sandra Morales, M.Sc. y Fabio Alonso Prado, M.Sc. por la orientación, ayuda y constante apoyo en la realización de este trabajo.

A la Universidad del Cauca y a los profesores del Programa de Ingeniería Agropecuaria, por los conocimientos, experiencia y ayuda brindada durante el transcurso de la carrera.

A la Secretaría de Agricultura y Desarrollo Minero del Cauca y la finca San Millan, por su apoyo y aportes para el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A los Docentes José Luis Hoyos y Román Stechauner, Jurados evaluadores, por la revisión y las sugerencias realizadas.

A mis compañeros y amigos que hicieron agradable el paso por este largo proceso de crecimiento y aprendizaje.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron en la realización de este trabajo.

CONTENIDO

| | pág. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 14 |
| 1. MARCO TEÓRICO | 15 |
| 1.1 HORTICULTURA | 15 |
| 1.2 COMPOSTAJE | 15 |
| 1.2.1 Definición | 15 |
| 1.2.2 Proceso | 16 |
| 1.2.3 Características de los compostables | 16 |
| 1.2.4 Factores de control del proceso | 17 |
| 1.2.5 Evolución de variables químicas y biológicas | 18 |
| 1.2.6 Población de microorganismos | 19 |
| 1.2.7 Criterio de estabilización | 20 |
| 1.2.8 Propiedades de los abonos orgánicos (compost) | 20 |
| 1.2.9 Materias primas del compost | 21 |
| 1.2.10 Fabricación de compost | 21 |
| 1.2.11 Tipos de compost | 22 |
| 1.2.12 Aplicaciones del compost | 22 |
| 1.2.13 Instalaciones y manejo del compostaje | 23 |
| 2. METODOLOGÍA | 24 |
| 2.1 LOCALIZACIÓN | 24 |
| 2.2 PROCEDIMIENTO | 24 |
| 2.2.1 Acondicionamiento del sitio | 24 |

| | pág. |
|--|------|
| 2.2.2 Composteras | 25 |
| 2.2.3 Recolección de residuos orgánicos | 25 |
| 2.2.4 Llenado de composteras | 27 |
| 2.2.5 Composición de E.M | 27 |
| 2.2.6 Seguimiento y control de las pilas | 27 |
| 2.2.7 Toma de muestras | 27 |
| 2.2.8 Determinación de carbono orgánico oxidable total | 27 |
| 2.2.9 Modelo estadístico | 28 |
| 2.2.10 Análisis de costos de producción | 28 |
| | |
| 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 29 |
| 3.1 VARIABLES CLIMÁTICAS | 29 |
| 3.2 CUANTIFICACIÓN PROMEDIA DE RESIDUOS DE TOMATE | 29 |
| 3.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO | 29 |
| 3.3.1 pH | 30 |
| 3.3.2. Materia Orgánica | 31 |
| 3.3.3. Capacidad de intercambio catiónico | 31 |
| 3.3.4. Elementos mayores: Nitrógeno, Fósforo y Potasio | 32 |
| 3.3.5. Calcio y Magnesio | 33 |
| 3.3.6 Microelementos: Hierro y Manganeso | 34 |
| 3.3.7 Cobre, Zinc, Boro y Sodio | 35 |
| 3.4 CORRELACIÓN AMBIENTE – REGISTROS | 36 |
| 3.4.1 pH | 36 |
| 3.4.2 Nitrógeno total | 36 |

| | pág. |
|--|------|
| 3.4.3 Materia Orgánica | 37 |
| 3.4.4 Fósforo | 37 |
| 3.4.5 Potasio | 37 |
| 3.4.6 Calcio | 37 |
| 3.4.7 Magnesio | 38 |
| 3.4.8 Intercambio catiónico | 38 |
| 3.4.9 Cobre | 38 |
| 3.4.10 Hierro | 38 |
| 3.4.11 Manganeso | 38 |
| 3.4.12 Zinc y Molibdeno | 39 |
| 3.5 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO | 39 |
| 3.5.1 Resultados de análisis químico | 39 |
| 3.5.2 Costos de producción | 40 |
| 3.5.3 Análisis comparativo de costos | 40 |
| 4. CONCLUSIONES | 41 |
| 5. RECOMENDACIONES | 42 |
| BIBLIOGRAFÍA | 43 |

LISTA DE CUADROS

| | pág. |
|--|------|
| Cuadro 1. Especificaciones del cultivo de tomate | 26 |
| Cuadro 2. Conformación de pilas para la producción de compost | 27 |
| Cuadro 3. Variables climáticas durante el ensayo en la Meseta de Popayán, departamento del Cauca | 29 |
| Cuadro 4. Composición nutricional de los compost obtenidos Vs. norma NTC 5167 ICONTEC para un compost maduro | 39 |
| Cuadro 5. Costos de producción por kilogramo de compost | 40 |
| Cuadro 6. Relación de costos de abono comercial, frente a cada tratamiento | 40 |

LISTA DE FIGURAS

| | pág. |
|---|------|
| Figura 1. Dinámica del proceso del compostaje | 16 |
| Figura 2. Mapa de localización del proyecto | 24 |
| Figura 3. Cubierta tipo invernadero | 25 |
| Figura 4. Modelo de compostera | 25 |
| Figura 5. Balanzón electrónico | 26 |
| Figura 6. Distribución de los tratamientos (T) y repeticiones (R) | 28 |
| Figura 7. pH determinado en los tratamientos | 30 |
| Figura 8. Materia orgánica determinada en los tratamientos | 31 |
| Figura 9. Capacidad de intercambio catiónico encontrada en los tratamientos | 32 |
| Figura 10. Nitrógeno, Fósforo y Potasio determinados en los tratamientos | 33 |
| Figura 11. Calcio y Magnesio determinados en los tratamientos | 34 |
| Figura 12. Hierro y Manganeso determinados en los tratamientos | 35 |
| Figura 13. Cobre, Zinc, Boro y Sodio determinados en los tratamientos | 36 |

LISTA DE ANEXOS

| | pág. |
|---|------|
| Anexo A. Registro de temperatura de pila (t ^o c) | 46 |
| Anexo B. Protocolo para la ejecución del método walkley y black | 47 |
| Anexo C. Resultados de análisis de la secretaria de agricultura y desarrollo minero del cauca | 49 |
| Anexo. D. Estadísticos descriptivos | 51 |
| Anexo E. Correlaciones | 53 |
| Anexo F. Costos de inversión del montaje de composteras y elaboración de abono orgánico | 55 |

RESUMEN

Se realizó la evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*), utilizando cuatro tratamientos T1: cal dolomita del 24%, T2: microorganismos eficientes (E.M.), T3: combinación de E.M. con cal dolomita y T4: compostaje tradicional, que sirvió como referente para las formulaciones mencionadas. Las composteras fueron de 1m³, construidas en guadua y bajo cubierta plástica tipo invernadero. Se tomaron muestras del abono a los 8, 40, 48 y 56 días, las cuales se enviaron al laboratorio. Se registraron datos dos veces por semana de temperatura interna de cada pila, humedad y temperatura ambiente, adicionalmente se realizó un volteo cada semana; los resultados de laboratorio se analizaron estadísticamente y se determinó la formulación con mejor comportamiento en cuanto a pH, capacidad de intercambio catiónico, materia orgánica, y contenido de nutrientes.

El análisis de varianza mostró que no hay diferencias significativas entre tratamientos ni repeticiones ($p > 0,05$); pero se presentan variaciones en los valores para el T2 en variables como: pH, materia orgánica, CICE, porcentajes de N, P, K, Ca, Mg, ppm de Fe, Mn y mg/kg de Cu y B, en algunos casos con valores muy cercanos a la norma NTC 5167, a pesar de no incluir fuentes alternas de nitrógeno que mejoran el proceso de compostaje y el producto que de este se obtiene. Simultáneamente se realizaron análisis de costos para cada una de las formulaciones, en donde se puede optar por cualquiera de los abonos obtenidos en cada tratamiento. De manera adicional se hallaron correlaciones positivas entre las variables estudiadas y los parámetros ambientales.

ABSTRACT

We performed the evaluation of different formulations of compost from crop residues of Tomato (*Solanum lycopersicum*), using four T1: 24% dolomite lime, T2: efficient microorganisms (EM), T3: The combination of EM and dolomite lime and T4: traditional composting, which served as reference for the formulas mentioned. 1m³ the composting were built in bamboo and under plastic cover emissions. Manure samples were taken at 8, 40, 48 and 56 days, which were sent to the laboratory. Data were recorded internal temperature of each battery twice a week, humidity, temperature and precipitation, additionally conducted a dump each week, the lab results were statistically analyzed and determined the formulation with better performance in terms of pH, capacity cation exchange, organic matter and macro and micronutrients.

The analysis of variance showed no significant differences between treatments or replicates ($p > 0,05$), but there are variations in the T2 values for variables such as pH, organic matter, ICC, percentages of N, P, K, Ca, Mg, ppm Fe, Mn and mg/kg of Cu and B, in some cases with values very close to the NTC 5167, despite not include alternative sources of nitrogen to improve the composting process and the product that this is achieved. Simultaneously performed cost analysis for each of the formulations, where you can choose any of the fertilizers obtained for each treatment. Additionally positive correlations were found between these variables and environmental parameters.

INTRODUCCIÓN

Los modelos tradicionales de crecimiento rural han causado graves problemas de contaminación del suelo, aire y agua; contribuyendo en parte a la crisis ambiental que se está viviendo por el incremento de las emisiones atmosféricas y en particular por la generación de residuos sólidos (Botero, 2009); siendo la agricultura uno de los sectores que más produce residuos en el mundo, participando con 1319,8 t/h/año, de las cuales la horticultura produce 30 t/h bajo invernadero y 25 t/h al aire libre y el cultivo de tomate representa el 30% de la producción hortícola mundial. Es así como la gestión de los residuos constituye sin duda uno de los retos de la sociedad del siglo XXI (Dupuis, 2006) para contribuir en alguna medida a disminuir la huella ecológica generada por la actividad agropecuaria.

El tratamiento y destino de los residuos orgánicos son una preocupación permanente en la sociedad debido a que generan en su descomposición, fermentaciones incontroladas que causan problemas sanitarios afectando el medio ambiente (Botero, 2009). En la actualidad el aprovechamiento agrícola de residuos orgánicos es una práctica habitual en nuestra comunidad debido a las elevadas cantidades generadas de estos materiales, al intento de buscar la manera económica de gestionarlos y a la nueva tendencia legislativa mundial (Soliva y Paulet, 2001).

La transformación en compost puede hacerse sin fertilizantes químicos y es una técnica muy utilizada en China desde hace 400 años. El compostaje renueva los ciclos ecológicos, a la vez que evita que los residuos orgánicos terminen en los vertederos. Los microorganismos son la clave para el éxito del reciclaje de los residuos, ya que reducen la materia orgánica dejando a disposición los macro y microelementos esenciales para el desarrollo de las plantas (Fiad, 1997).

El compostaje supone una solución a la demanda de materia orgánica, desequilibrios nutricionales de los suelos, costos de fertilizantes y calidad ambiental que tienen que asumir los diferentes productores agrícolas con el fin, de mejorar sus producciones. Mediante este procedimiento, se podrían reducir en un 40 % el peso y en un 50 % el volumen de los residuos tratados; obteniéndose un producto final con valor potencial en el mercado o que podría ser utilizado por los mismos agricultores con múltiples beneficios.

La finalidad de este trabajo fue la evaluación de diferentes formulaciones de compostaje a partir de residuos de cosecha de tomate (*Solanum lycopersicum*), en la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la Universidad del Cauca; además se plantearon unos objetivos específicos como: Determinar la mejor formulación a partir de los residuos de cosecha de tomate para producción de abonos orgánicos. Realizar un diagnóstico de los residuos provenientes de la finca San Millán y el análisis de costos de producción para cada una de las formulaciones de la presente investigación.

1. MARCO TEÓRICO

1.1 HORTICULTURA

El suelo como cuerpo natural organizado sobre la superficie terrestre, y como sistema abierto está sujeto a fuerzas y procesos naturales, además de los inducidos por el hombre que alteran el modelo genético; unas veces con resultados positivos para la conservación del recurso y otros con saldos negativos por el deterioro al que éste es sometido (Romero, 2003). Entender el funcionamiento como su papel vital en la producción permite a los productores realizar el diagnóstico de las necesidades, contando con las herramientas que le permitan seleccionar las prácticas agrícolas más convenientes para mantener la calidad y salud, tanto del suelo como de los alimentos producidos en él. El mejoramiento de la productividad y fertilidad dependen del manejo integral de sus propiedades físicas, químicas y biológicas, y de la interacción con factores ambientales además de las prácticas agrícolas que se desarrollen (Romero, 2003).

De esta manera se hace necesario un nuevo modelo de agricultura que esté fundamentado en la teoría ecológica, que tenga en cuenta la rentabilidad global del sistema productivo, potenciando su capacidad de autorregulación, disminuyendo los riesgos para la salud de los seres vivos, así como los costos económicos y ambientales, para ello es necesario definir los procesos y elementos clave que permitan reducir el uso de insumos externos. Tomando como referencia la definición de agricultura sustentable de la FAO, como: un modelo de organización social y económica basado en una visión equitativa y participativa del desarrollo, que reconoce al medio ambiente y los recursos naturales como las bases de la actividad económica, preservando la biodiversidad, manteniendo la fertilidad del suelo y la pureza del agua, mejorando las cualidades físicas, químicas y biológicas de la tierra, reciclando los recursos naturales y haciendo un buen uso de la energía” (Dalzell, 1991).

Considerando lo anterior, la horticultura es un modelo de cultivo que hoy en día no solo produce todo tipo de verduras, hortalizas y demás alimentos que generalmente son trabajados por los grupos familiares, comunidades étnicas, entre otros, sino que además es una práctica agrícola que trata de ser amigable con el medio ambiente con el fin de asegurar una producción de alimentos en las fincas o parcelas, ya sea para el autoconsumo o para comercialización en mercados exigentes de productos con calidad no sólo nutritiva, sino también con calidad ambiental (Bello, 2004).

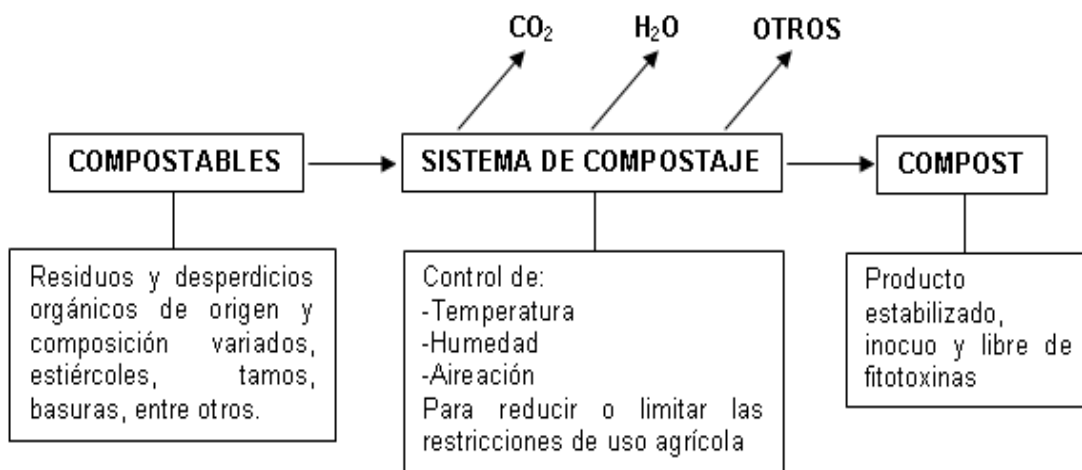
1.2 COMPOSTAJE

1.2.1 Definición. El compostaje es un proceso biológico aeróbico, mediante el cual los microorganismos actúan sobre la materia rápidamente biodegradable (restos de cosecha, excrementos de animales y residuos urbanos), permitiendo obtener "compost", abono excelente para la agricultura (Meneses, 2009).

El compost o mantillo se puede definir como el resultado de un proceso de humificación de la materia orgánica, bajo condiciones controladas y en ausencia de suelo. Puede considerarse como un nutriente para el suelo que mejora la estructura y ayuda a reducir la erosión al igual que mejora la absorción de agua y nutrientes por parte de las plantas (Dalzell, 1991).

1.2.2 Proceso. En el proceso entran los residuos y desperdicios orgánicos que se pueden llamar compostables. Ocurre la descomposición que es el proceso y al final se obtiene el compost o compuesto que contiene materia orgánica estabilizada y minerales (figura 1). Se desprende entonces que para preparar un compost que se pueda usar en agricultura, se deben someter los compostables al proceso adecuado de descomposición para disminuir al máximo las restricciones que para el hombre y para los cultivos representa el uso de compostables frescos (Gómez, 2000).

Figura 1. Dinámica del proceso del compostaje



Fuente: Gómez, 2000

1.2.3 Características de los compostables. Prácticamente todo material orgánico sólido puede ser sujeto del proceso de compostaje. Sin embargo, alguna de sus características físicas y químicas facilitara o dificultaran un proceso normal de descomposición. Dichas características se deben tener en cuenta en la mezcla de compostables. Entre estas se pueden citar las siguientes.

Características físicas. El desmenuzamiento del material facilita la acción microbiana, pero sin llegar al extremo de limitar la porosidad situándose en un tamaño de 4 a 5 cm como lo adecuado (Gómez, 2000).

Características químicas. El orden de degradación de moléculas orgánicas pasa primero por azúcares, almidones, proteínas, holocelulosa y lignina. Los materiales lignocelulosos

tienen mayor tiempo de transformación y mejor rendimiento en compost. De otra parte hay que considerar el contenido de nitrógeno del material; si está entre 1 y 1,5% se asegura una buena acción microbiológica. Si está por encima de 1,5% parte del nitrógeno se perderá de forma volátil por superarse con esa cantidad el nivel de requerimiento microbial. Debe tenerse muy en cuenta la relación de carbono nitrógeno, la cual debe ser de 15-20:1. Brown, *et al.* (1998) citado por Gómez (2000), sugieren además que la relación C/P para compostar residuos sólidos urbanos debe estar entre 120/1 y 240/1 para que el proceso sea normal.

1.2.4 Factores de control del proceso. Se trata de crear las condiciones adecuadas para la subsistencia de microorganismos. Para ello se requiere que algunos factores no interfieran en los procesos que dichos organismos cumplen, teniendo como principales los siguientes.

Temperatura: Como resultado de la digestión de diferentes grupos de microorganismos en adecuadas condiciones de humedad y aireación, la temperatura de la masa de compostables se eleva. En pocos días (2-6) debe llegar a más de 45°C y mantenerse allí a efecto de la lignocelulosis y reducción o supresión de patógenos al hombre y las plantas de cultivo. Es la etapa termofílica la que define si un proceso corresponde o no al compostaje. Debe evitarse superar los 60°C porque el proceso se convierte en uno de ignición en el cual se empobrece en extremo la sustancia orgánica. Pasada la etapa termofílica, la temperatura desciende gradualmente hasta casi nivelarse con la del ambiente (Gómez, 2000).

Humedad: La gestión biológica de los microorganismos requiere de agua para la formación de su biomasa. Se necesita una humedad alta al comienzo del proceso cuando la actividad es más intensa y un poco menos a medida que se avanza en la descomposición. Se busca inicialmente de 30-70% de humedad y ello se alcanza con la humedad propia de los compostables en su adecuada mezcla. Las humedades muy altas pueden conducir a la anaerobiosis y sus negativas consecuencias.

En los procesos donde se hacen volteos para reactivar el proceso, se acostumbra rehumedecer y entonces la temperatura se eleva de nuevo. Para aprovechar el agua de descomposición del proceso. Henao (1995) citado por Gómez (2000), propone el compostaje solarizado que consiste en tapar la pila con un plástico que permita alguna aireación y de paso se evita el lavado de nutrientes en pilas colocadas a la intemperie.

Aireación: Para que el proceso se desarrolle en condiciones aeróbicas, los microorganismos deben disponer del oxígeno suficiente, lo cual se logra mediante la aireación. Para ello se pueden buscar dimensiones adecuadas de los volúmenes de las pilas, con el riesgo de disminuir la temperatura, o con aireación forzada sea ella positiva o negativa o con los volteos en donde además se logra algún grado de homogenización (Gómez, 2000).

pH: Al igual que la temperatura, varía con el tiempo durante el proceso de compostaje debido a su acción sobre los microorganismos, por lo que se convierte en una medida de vital importancia para evaluar el ambiente microbiano y la estabilización de los residuos. En general, los hongos toleran un margen de pH ligeramente ácido (entre 5-7), debido a que los productos iniciales de la descomposición son ácidos orgánicos. Al cabo de unos días, el pH se vuelve ligeramente alcalino debido a la liberación de amoníaco durante la transformación de las proteínas por parte de las bacterias, las cuales prefieren un medio casi neutro (pH= 6-7,5). El pH recomendado para un sistema de compostaje debe estar en un rango de 6,5 a 8 según lo afirma Muñoz (2005).

Relación C/N: Según Labrador citado por Muñoz (2005), la relación C/N es el factor ambiental más importante en un proceso de compostaje y debe controlarse para asegurar una fermentación correcta, siendo este uno de los parámetros que mejor indica la maduración del compost. El proceso de compostaje depende de la acción de los microorganismos que requieren de una fuente de carbono que les proporcione energía y material para nuevas células junto a un suministro de nitrógeno para proteínas celulares. Se considera que si hay suficiente nitrógeno disponible en la materia orgánica original la mayoría de los otros nutrientes estarán también disponibles en cantidades adecuadas.

La relación C/N inicial óptima está comprendida entre 25 y 30, haciéndose cada vez menor con el tiempo de compostaje debido a la transformación de la materia orgánica y al desprendimiento de carbono en forma de CO₂. Sin embargo se han efectuado compostajes exitosos con relaciones de 20 a 80; solo que el proceso puede ser más lento y es posible que el aprovechamiento de los nutrientes no sea el óptimo, lo que puede llegar a afectar la calidad del producto final. Si la relación C/N es muy baja se producen pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, mientras que cuando los valores son muy elevados la disponibilidad del nitrógeno es baja, repercutiendo en un descenso de la actividad orgánica lo cual alargaría considerablemente el proceso de compostación (Muñoz, 2005).

1.2.5 Evolución de variables químicas y biológicas. Cuando se inicia el proceso las moléculas de azúcares, almidones y proteínas de rápido uso energético sirven de sustrato inicial a los microorganismos mesófilos cuya actividad y multiplicación van calentando los compostables. Hay liberación de CO₂ y H₂O, la cual de hecho reduce el contenido de carbono de los compostables y el porcentaje de la fracción mineral tiende a aumentar. En este arranque mesofílico hay abundancia de N-NH₄⁺ que prima sobre el N-NO₃⁻ dominando las bacterias y los hongos mesófilos (Gómez, 2000).

Al alcanzar la etapa termofílica (>45°C) se inicia la degradación de moléculas de más difícil descomposición como la holocelulosa (celulosa más hemicelulosa) y la lignina, así como ceras, grasas, aceites y resinas. Como la actividad es alta se alcanzan las máximas temperaturas, siendo también máxima la liberación de CO₂ y H₂O, lo cual reduce el contenido de carbono del compost en elaboración y hace más elevado el porcentaje de minerales con respecto a la etapa anterior. Sigue el dominio de N-NH₄⁺ sobre el N-NO₃⁻, menos marcado que en la fase mesófila de arranque (Gómez, 2000).

Estando en la fase termofílica es preciso remarcar el carácter biooxidativo del proceso: la materia se utiliza para síntesis de los microorganismos y no es totalmente oxidada. El nitrógeno amoniacal $N-NH_4^+$ de la cadena proteína – aminoácido – aminas – amonio puede o no perderse hacia la atmosfera antes de pasar a la forma $N-NO_3^-$. En la etapa termofílica hay lugar a la formación de fitotoxinas pero de otra parte es muy importante para la eliminación de patógenos al hombre o a las plantas de cultivos. En ella dominan las bacterias, los actinomicetos y los hongos termofílicos (Dalzell, 1991).

En la etapa de enfriamiento, que se empieza a generar por una reducción de la población microbial que ya no encuentra suficiente sustrato alimenticio, continúa la descomposición de los materiales más resistentes y parte del sustrato lo constituye la necromasa microbial. Se acentúa la formación de nitrato que dominan sobre las formas amoniacales y se sigue reduciendo pero más atenuadamente el contenido de carbono de la masa en compostaje. Los nitratos y otras sales, así como la abundancia de potasio en solución aumentan la salinidad. Empieza la degradación de la sustancia fitotóxicas (muchas de ellas ácidos orgánicos como el acético). La población microbial es claramente dominada por bacterias mesofílicas y la formación de sustancias húmicas, principalmente ácidos húmicos, se ve favorecida por la aireación y el pH cercano a la neutralidad (Gómez, 2000).

En lo que se puede llamar etapa de maduración los cambios son menores día a día, pero con las tendencias de aumento en el porcentaje de fracción mineral y de los nitratos, al igual que la disminución en porcentaje de carbono y liberación de CO_2 , $N-NH_4$. Hay una elevación de la cantidad de actinomicetos, responsables del típico olor a tierra orgánica fresca y de gran parte de la antibiosis (Gómez, 2000).

1.2.6 Población de microorganismos. Algunos de ellos se desarrollan durante el proceso de compostaje y tienen una función en la degradación de la materia orgánica; Se trata principalmente de bacterias mesófilas y termófilas así como de hongos. A continuación una breve presentación (APROLAB, 2007).

Bacterias: Son el tipo de microorganismos más importantes del compost, ya que están presentes en un 80 a un 90% por 1gr. de compost. Utilizan una larga variedad de enzimas para romper químicamente las materias orgánicas. En la primera fase de compostaje hay predominio de bacterias mesófilas, pero cuando la temperatura del compost sobrepasa los 40°C las bacterias termófilas toman ventaja. La diversidad de bacterias es ligeramente superior cuando la temperatura está comprendida entre 50 y 55°C, pero disminuye rápidamente después 60°C donde sólo las bacterias termófilas sobreviven (Dalzell, 1991).

Actinomicetos: Estos microorganismos parecen a los hongos pero son en realidad unas bacterias filamentosas. En el compost ellos tienen una función importante para la degradación de las materias orgánicas complejas como la celulosa, lignina, quitina y proteínas. Algunas especies aparecen después la fase termófila y otras durante la fase de enfriamiento (APROLAB, 2007).

Hongos: Son muy importantes en el compost puesto que descomponen los compuestos complejos y rompen los "restos", lo que permite a las bacterias continuar el trabajo de descomposición. Los hongos son numerosos en las fases mesófila y termófila (APROLAB, 2007).

Protozoarios: Son unicelulares Eucaryotas (tienen un verdadero núcleo celular contrariamente a las bacterias que no poseen membrana nuclear). Tienen una función menor en la descomposición de materias orgánicas (Dalzell, 1991).

Rotíferos: Son organismos microscópicos multicelulares presentes en los lixiviados y en el agua contenida en el compost (APROLAB, 2007)

1.2.7 Criterio de estabilización. La estabilización se refiere el grado de descomposición del compost, que no ocasione daño a la viabilidad vegetal, según lo afirma Zucconi y De Bertoldi citados por Gómez (2000). Se puede medir por el grado de humificación, por la fitotoxicidad y por el metabolismo latente o capacidad de reiniciar procesos cercanos a los termofílicos. Con esas ideas, el mejor compost es el curado, el cual es uno sobremadurado y se presenta sin restricciones para la vida vegetal. Según Costa *et al.* (1991) citado por Gómez (2000), sugieren que la medida del NH_4 no debe ser superior al 0,04%.

1.2.8 Propiedades de los abonos orgánicos (compost). Los abonos orgánicos tienen unas propiedades, que ejercen unos determinados efectos sobre el suelo que hacen aumentar la fertilidad de este. Básicamente, actúan en el suelo sobre tres tipos de propiedades:

Propiedades físicas. Por su color oscuro absorben más la radiación solar, con lo que el suelo adquiere más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes, mejora la estructura y textura del suelo haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos a los arenosos. Mejoran la permeabilidad ya que influyen en el drenaje y aireación de éste, de igual manera ayudan a disminuir los procesos de erosión tanto hídrica como eólica y aumentan la retención de agua (Cervantes, s.f.).

Propiedades químicas. Aumentan el poder tampón del suelo, y en consecuencia reducen las oscilaciones de pH de éste, al igual que aumenta el contenido en macronutrientes N, P, K, y micronutrientes, además es fuente y almacén de nutrientes para los cultivos. Aumentan también la capacidad de intercambio catiónico del suelo, con lo que mejora la fertilidad.

Propiedades biológicas. Favorecen la aireación y oxigenación del suelo, por lo que hay mayor actividad radicular y actividad de los microorganismos aerobios, también constituye una fuente de energía para los microorganismos por lo que se multiplican rápidamente y

contribuyen a su mineralización. La población microbiana es un indicador de la fertilidad del suelo (Cervantes, s.f.).

1.2.9 Materias primas del compost. Para la elaboración del compost se puede emplear cualquier materia orgánica, con la condición de que no se encuentre contaminada. Generalmente estas materias primas proceden de: restos de cosechas. Los restos vegetales jóvenes como hojas, frutos, tubérculos, entre otros se caracterizan por ser ricos en nitrógeno y pobres en carbono, mientras que los restos vegetales más adultos como troncos, ramas, tallos, entre otros son menos ricos en este elemento (Meneses, 2009).

Dentro de los diversos materiales orgánicos que pueden ser compostados se encuentran los estiércoles, de procedencia animal como la bovinaza, la gallinaza, la conejina, el estiércol de caballo, oveja y los purines. También los complementos minerales son necesarios para corregir las carencias de ciertos suelos. Dentro de estos minerales se destacan las enmiendas calizas y magnésicas, los fosfatos naturales, las rocas ricas en potasio y oligoelementos y las rocas silíceas trituradas en polvo. (Meneses, 2009).

1.2.10 Fabricación de compost. Para la obtención de un buen compost debe tenerse en cuenta la realización de una mezcla adecuada, que sea bien proporcionada y regirse por un buen manejo.

Realizar una mezcla correcta. Los materiales deben estar bien mezclados y homogeneizados, por lo que se recomienda una trituración previa de los restos de cosecha leñosos ya que la rapidez de formación del compost es inversamente proporcional al tamaño de los materiales. Cuando los restos son demasiado grandes se corre el peligro de una aireación y desecación excesiva del montón lo que perjudica el proceso de compostaje. La mezcla debe ser rica en celulosa, lignina y en azúcares. El nitrógeno puede ser aportado por el estiércol, el purín, las leguminosas verdes y los restos de animales de mataderos (Dalzell, 1991).

Formar el montón con las proporciones convenientes. El montón debe tener el suficiente volumen para conseguir un adecuado equilibrio entre humedad y aireación y deber estar en contacto directo con el suelo. Para ello se intercalarán entre los materiales vegetales algunas capas de suelo fértil. La ubicación de este dependerá de las condiciones climáticas de cada lugar y del momento del año en que se elabore. En climas fríos y húmedos conviene situarlo al sol y al abrigo del viento, protegiéndolo de la lluvia con una lámina de plástico o similar que permita la oxigenación. En zonas más calurosas conviene situarlo a la sombra durante los meses de verano (Meneses, 2009).

Se recomienda la construcción de montones alargados, de sección triangular o trapezoidal, con una altura de 1,5m y un ancho de base no superior a su altura. Es importante intercalar cada 20-30cm de altura una fina capa de de 2-3cm de espesor de compost maduro o de estiércol para la facilitar la colonización del montón por parte de los microorganismos (Meneses, 2009).

Manejo adecuado del montón. Una vez formado el montón es importante realizar un manejo adecuado del mismo, ya que de él dependerá la calidad final del compost. El montón debe airearse frecuentemente para favorecer la actividad de los microorganismos descomponedores. El volteo de la pila es la forma más rápida y económica de garantizar la presencia de oxígeno en el proceso de compostaje, además de homogeneizar la mezcla e intentar que todas las zonas de la pila tengan una temperatura uniforme. La humedad debe mantenerse entre el 40 y 60%. El manejo del montón dependerá de la estación del año, del clima y de las condiciones del lugar (Meneses, 2009).

1.2.11 Tipos de compost. El compost se clasifica atendiendo al origen de sus materias primas, así se distinguen los siguientes tipos:

De maleza. El material empleado es vegetación de sotobosque, arbustos, entre otros, excepto coníferas, zarzas, cardos y ortigas. El material obtenido se utiliza generalmente como cobertura sobre la superficie del suelo (acolchado o "mulching") (Dalzell, 1991).

De maleza y broza. Similar al anterior, pero al que se le añade broza (restos de vegetación muertos, evitando restos de especies resinosas). Es un compost de cobertura (Meneses, 2009).

De material vegetal con estiércol. Procede de restos de vegetales, malezas, plantas aromáticas y estiércol de équidos o de pequeños rumiantes. Este tipo de compost se incorpora al suelo en barbecho, dejándolo madurar sobre el suelo durante varios días antes de incorporarlo mediante una labor (Meneses, 2009).

Compost activado con levadura de cerveza. Es una mezcla de restos vegetales, levadura fresca de cerveza, tierra, agua tibia y azúcar (Meneses, 2009).

1.2.12 Aplicaciones del compost. Según la época en la que se aporta a la tierra y el cultivo, pueden encontrarse dos tipos de compost:

Compost maduro. Es aquel que está muy descompuesto y puede utilizarse para cualquier tipo de cultivo pero para cantidades iguales tiene un valor fertilizante menos elevado que el compost joven (Meneses, 2009). Se emplea en aquellos cultivos que no soportan materia orgánica fresca o poco descompuesta y como cobertura en los semilleros.

Compost joven. Está poco descompuesto y se emplea en el abonado de plantas que soportan bien este tipo de compost (patata, maíz, tomate, pepino o calabaza).

La elaboración de mantillo o compost está indicada en los casos en que la transformación de restos de cosechas en el mismo lugar es complicada, debido a que: existe una cantidad muy elevada de restos de la cosecha anterior que dificultan la implantación del cultivo siguiente. Se trata muchas veces de residuos muy celulósicos, con una relación C/N alta, lo que se traduce en un bloqueo provisional del nitrógeno del suelo. También se trata de suelos con escasa actividad biológica y en los que el proceso de humificación va a resultar lento (Meneses, 2009).

1.2.13 Instalaciones y manejo del compostaje. Es importante tener en cuenta el lugar, el tipo de instalación, y el respectivo manejo que se debe realizar para la disposición final de los residuos orgánicos.

El sitio. No inundable, ni demasiado expuesto a radiación solar, de fácil acceso, cercano a las fuentes de materia prima y de suma prioridad al sitio de destino.

Las instalaciones. En regiones de alta pluviosidad es indispensable proteger contra las lluvias, de lo contrario se puede dar condiciones anaeróbicas y grandes pérdidas por lixiviación (Gómez, 2000). El suelo no debe aislarse del material a compostar ya que es uno de los caminos de acceso para la biota del suelo para realizar su intervención en el proceso en sus etapas correspondientes. Las paredes deben hacerse con el material más económico y de fácil disponibilidad, como la guadua, piedra, u otro material. En muchos casos los arrumes libres permiten facilitar una mecanización.

Establecimiento y manejo. Directamente en el piso se acomoda una capa de material fibroso (energía) a la cual le sigue una capa de material jugoso (rico en nitrógeno) cada capa será de unos 20 cm. de grosor. Se debe agregar agua aplicando la prueba de puño. Así, se alternan varias capas en esta secuencia hasta que se agote la cantidad. Esta pila puede alcanzar una altura de más de 1,5 metros. El lixiviado de las capas jugosas con esporas de microorganismos invade las partes fibrosas; de tal manera que es razonable colocar el material de difícil descomposición abajo, para que le caiga mayor cantidad de lixiviado (Gómez, 2000).

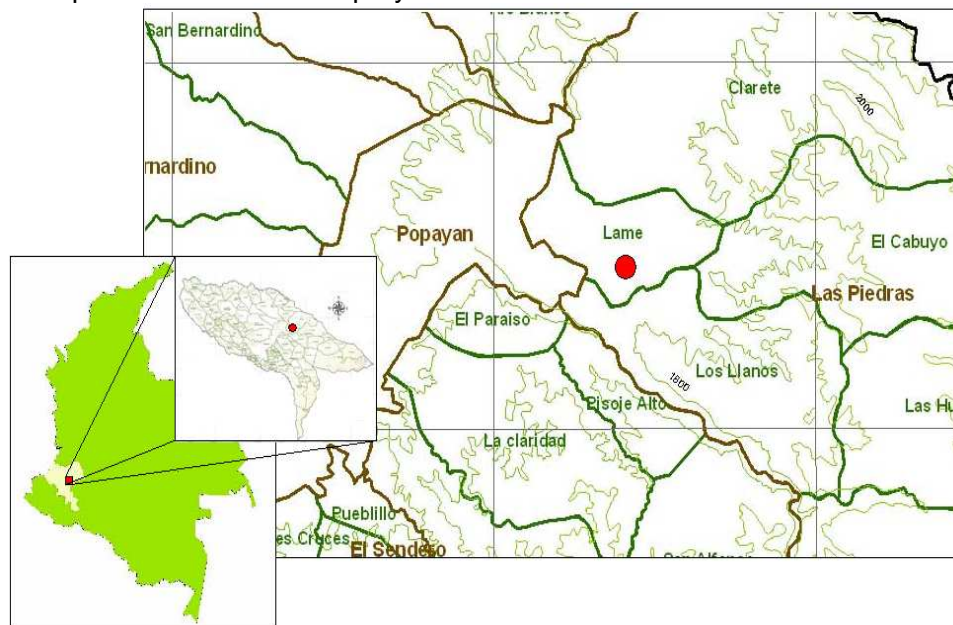
Es necesario procurar un suficiente acceso de oxígeno, a fin de evitar que la pila de compostaje se torne anaeróbica. Esto tendría el efecto de una prolongación de la descomposición a 180 días, malos olores, un pH muy bajo, alrededor de 3,5; pérdida por mineralización casi inmediata de nutrientes.

2. METODOLOGÍA

2.1 LOCALIZACIÓN

El proyecto se desarrolló en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de La Universidad del Cauca, sede la Huacas, al nororiente del municipio de Popayán en la vereda Lame (figura 2), a 2° 29" de latitud Norte y 76° 33" de longitud Oeste (Caldas-Lang, 1987).

Figura 2. Mapa de localización del proyecto



Fuente: UMATA Popayán, 2007

La zona se ubica a una altitud de 1900 msnm, con una temperatura ambiente promedio de 19°C, precipitación de 2000 mm/año y una humedad relativa del 80%, aspectos climatológicos que corresponden a un clima medio.

2.2 PROCEDIMIENTO

La investigación comprendió diez etapas desde el acondicionamiento del sitio hasta el análisis de costos de producción.

2.2.1 Acondicionamiento del sitio. Se construyó una cubierta plástica tipo invernadero de 8x5x2,5 metros de alto (figura 3), ubicada de oriente a occidente para facilitar la

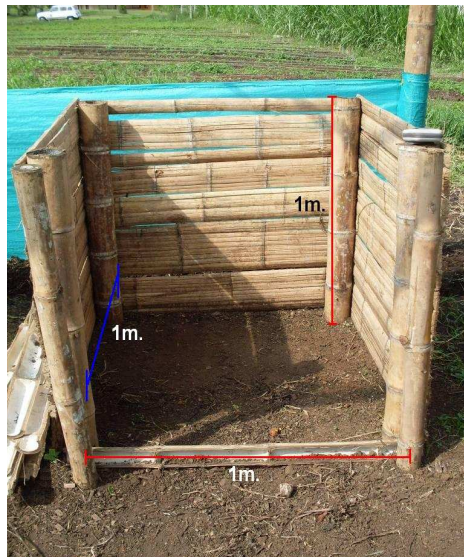
circulación de aire, y además evitando que las pilas de compostaje quedaran directamente expuestas al sol y la lluvia, factores que podrían alterar el comportamiento de los tratamientos.

Figura 3. Cubierta tipo invernadero



2.2.2 Composteras. Se construyeron ocho composteras en guadua de 1m^3 , teniendo en cuenta las cantidades de material generado en la finca, y dispuestas en piso de tierra, como se observa en la figura 4.

Figura 4. Modelo de compostera



2.2.3 Recolección de residuos orgánicos. En la finca San Millán perteneciente a TECNIAGRO del Cauca, se recolectaron los residuos de dos lotes de tomate bajo

invernadero en su fase de eliminación, cuantificando el total de residuos producidos en un área de 1500 m² por lote. La información obtenida se consolidó en un registro, el cual muestra el número de surcos, el número de plantas por surco y finalmente el peso total de los residuos (cuadro 1).

Cuadro 1. Especificaciones del cultivo de tomate

| Invernadero | |
|-------------------------------------|------|
| Ancho en metros | 25 |
| Largo en metros | 60 |
| Área total en metros cuadrados | 1500 |
| Especificaciones del cultivo | |
| Camas | 10 |
| Surcos por cama | 2 |
| Distancia entre plantas (m) | 0,3 |
| Calles (m) | 1,5 |
| No plantas/cama | 400 |
| No plantas/Invernadero | 4000 |

Una vez tomadas las especificaciones del cultivo de tomate, se realizó el respectivo pesaje de los residuos de cosecha con un balanzón electrónico (figura 5). En su mayoría compuestos por tallos, raíces, hojas y frutos sobremaduros. Estos residuos en el momento de iniciar la investigación se acumulaban en el suelo a un lado de los lotes de cultivo, ocasionando problemas de malos olores, focos de enfermedades, producción de lixiviados, entre otros.

Figura 5. Balanzón electrónico



2.2.4 Llenado de composteras. Se empleó la técnica de sistemas abiertos, los residuos se picaron con machete y se llevaron a las ocho pilas, cada una dispuesta en tres capas consecutivas hasta alcanzar una altura de 0,8 metros (cuadro 2), estas fueron volteadas cada semana durante los 56 días evaluados.

Cuadro 2. Conformación de pilas para la producción de compost

| CONFORMACIÓN DE PILAS | | | |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 |
| T1 | T2 | T3 | T4 |
| Cal al 24% | E.M. (0,3L) | Cal + E.M. | Testigo |
| Cal (250gr.) | Residuos (63K.) | Cal (250gr.) | Residuos (63K.) |
| Residuos (63K.) | E.M (0,075L) | Residuos (63K.) | Tierra (50K.) |
| Tierra (50K.) | Tierra (50K.) | E.M (0,075L) | |
| | | Tierra (50K.) | |

2.2.5 Composición de E.M. La combinación de una bacteria ácido láctica (*Lactobacillus casei*), una bacteria fototrófica (*Rhodospseudomonas palustris*) y una levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), también conocida como E.M (effective microorganisms). Se desarrolla en un medio con pH ácido de 4 o menor el cual es producto de la fermentación anaeróbica de los carbohidratos contenidos en la materia orgánica, es promocionada por lo que han denominado su capacidad sinérgica, sintropica y metabiotica para ser empleada en muchos campos, multipropósito; uno de ellos es la disminución de la capacidad contaminante de los residuos de cosecha dada su capacidad para desdoblar la materia orgánica (Fundases, 2009).

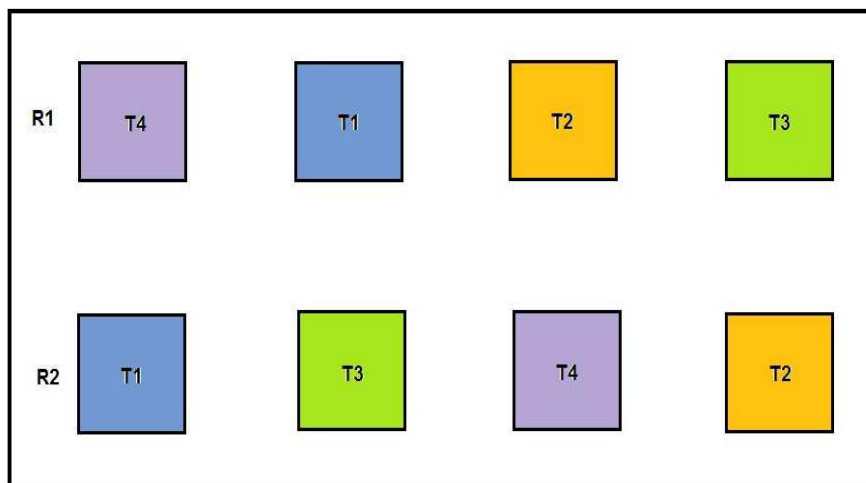
2.2.6 Seguimiento y control de las pilas. Se tomaron registros de temperatura de las pilas (TP) para diferenciar e identificar las fases de descomposición de la materia orgánica y determinar la incidencia de este factor en el proceso de descomposición (anexo A), los datos fueron tomados dos veces por semana utilizando un termómetro de mercurio durante la compostación.

2.2.7 Toma de muestras. Se tomó una muestra compuesta de cada pila, a los 8, 40, 48, y 56 días, se tamizaron con el propósito de retirar impurezas y mejorar la apariencia, se empacó en bolsas plásticas rotuladas y fueron enviadas al laboratorio de la Secretaria de Agricultura y Desarrollo Minero para su análisis.

2.2.8 Determinación de carbono orgánico oxidable total. Se aplicó el protocolo de Walkley y Black (anexo B), para determinar los valores del contenido de carbono orgánico y corroborar los datos obtenidos por parte del laboratorio y lograr un referente confiable en cuanto a la relación C/N. Para la aplicación del protocolo se contó con los registros climatológicos de la zona de estudio, ya que estas variables (temperatura ambiente, humedad, y precipitación), están estrechamente ligadas con el proceso de descomposición de la materia orgánica.

2.2.9 Modelo estadístico. Se realizó un diseño experimental completamente al azar (DCA) con cuatro tratamientos y dos repeticiones (figura 6).

Figura 6. Distribución de los tratamientos (T) y repeticiones (R)



Los tratamientos se describen a continuación:

T1: Cal dolomita al 24%

T2: Microorganismos eficientes (E.M.)

T3: Combinado (cal dolomita 24% + E.M.)

T4: Testigo o blanco

Los datos obtenidos en campo y en laboratorios se analizaron con el programa estadístico SPSS 15 de IBM, el cual permitió realizar el cálculo de la covarianza, desviación estándar, coeficiente de correlación, promedio, ANAVA, y prueba de Duncan.

2.2.10 Análisis de costos de producción. Para lograr el indicador económico del costo de producción del abono obtenido se tuvieron en cuenta los costos directos e indirectos que se generaron durante todo el proceso de elaboración del compostaje.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 VARIABLES CLIMÁTICAS

Durante el trabajo de campo, periodo comprendido entre los meses de diciembre de 2009 y enero de 2010, se presentaron variaciones climáticas (temperatura, humedad y precipitación), que influyeron en el proceso de compostaje (cuadro 3).

Cuadro 3. Variables climáticas durante el ensayo en la Meseta de Popayán, departamento del Cauca

| Año | Semana | T Min | T Max | Tº Media | Precipitación mm | % Humedad |
|------------|---------------|--------------|--------------|-----------------|-------------------------|------------------|
| 2009 | 1 | 14,28 | 26,24 | 19,93 | 9,58 | 77,43 |
| 2009 | 2 | 14,56 | 26,28 | 20,85 | 6,44 | 74,81 |
| 2009 | 3 | 14,18 | 25,78 | 19,98 | 3,09 | 75,82 |
| 2009 | 4 | 13,97 | 25,21 | 19,59 | 6,21 | 77,05 |
| 2010 | 5 | 14,07 | 26,07 | 20,07 | 4,96 | 73,30 |
| 2010 | 6 | 13,89 | 25,32 | 19,61 | 4,23 | 77,09 |
| 2010 | 7 | 12,47 | 26,54 | 19,50 | 1,66 | 70,99 |

Fuente: Aeropuerto Guillermo León Valencia, 2010

La precipitación promedio durante las siete semanas de evaluación fue de 36,17mm, destacándose por ser un periodo seco con temperaturas comprendidas en un rango de 19 a 20 °C; mientras que la humedad se mantuvo en un promedio de 75,21%.

3.2 CUANTIFICACIÓN PROMEDIA DE RESIDUOS DE TOMATE

La cantidad de residuos de cosecha fue de 90,56 kilos en 120 m² que es el área por cama de dos surcos constituidos por 400 plantas. Al realizar la conversión a kilogramos por hectárea que es el área total aproximada de la finca se obtendrían 6037,3 kilos de residuos orgánicos, que al dejarlos sin tratamiento como se viene haciendo, se convierten en un foco de plagas y enfermedades para los cultivos y una fuente de lixiviados que provocan daños ecológicos a los acuíferos y al subsuelo de la zona de producción.

3.3 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LOS RESULTADOS DE LAS PRUEBAS DE LABORATORIO

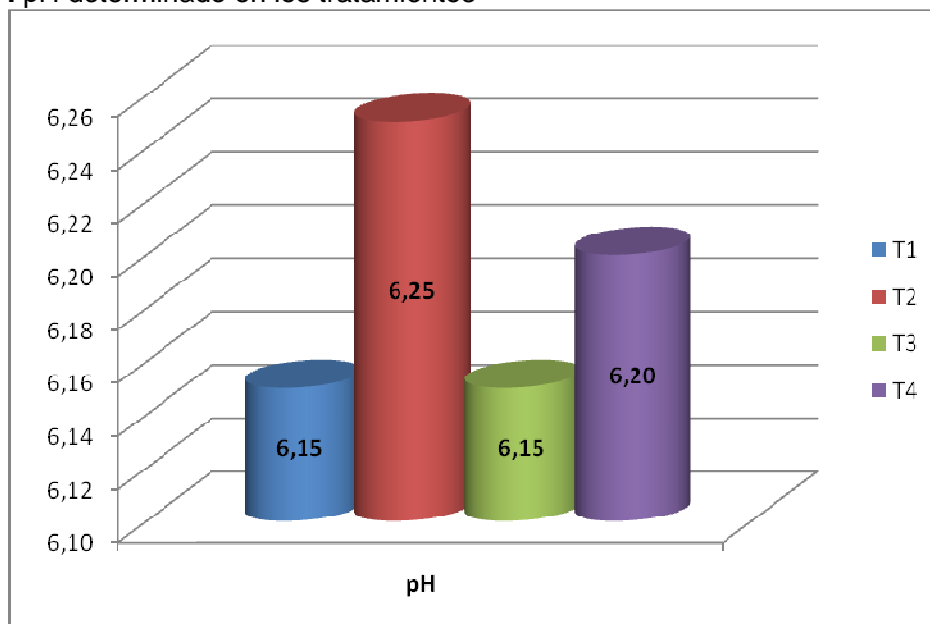
Según el análisis de varianza no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0,05$), pero se evidencian variaciones entre los resultados obtenidos en el

laboratorio de La Secretaria de Agricultura (anexo C), en los datos obtenidos de la prueba de Walkley y Black, y en el análisis descriptivo realizado con el software estadístico SPSS15 (anexo D).

A continuación se describe el comportamiento de cada uno de los tratamientos, con respecto a cada parámetro, como por ejemplo: pH, Materia orgánica, CICE, elementos mayores como N, P, K, Mg, Ca y algunos elementos menores como Fe, Mn, Cu, Zn, entre otros.

3.3.1 pH. Según El National Food Institute (1999) en su libro “The Fertilizer Hand Book”, el pH del suelo ejerce la influencia individual más importante sobre el aprovechamiento de los elementos minerales que hacen crecer los cultivos, y del mismo modo, la eficiencia del aprovechamiento del fertilizante para el cultivo. El nivel del pH en gran parte de los suelos se encuentra entre 4 y 8, pero la mayoría de los cultivos prosperan mejor en tierras con valores de pH entre 6 y 7. Teniendo en cuenta este aspecto se puede apreciar en la figura 7, que el rango más alto de pH se presentó en el T2, con un valor promedio de 6,25; seguido del T4, con un nivel de 6,20. De manera general el pH se mantuvo en promedio entre 5,9 y 6,6.

Figura 7. pH determinado en los tratamientos

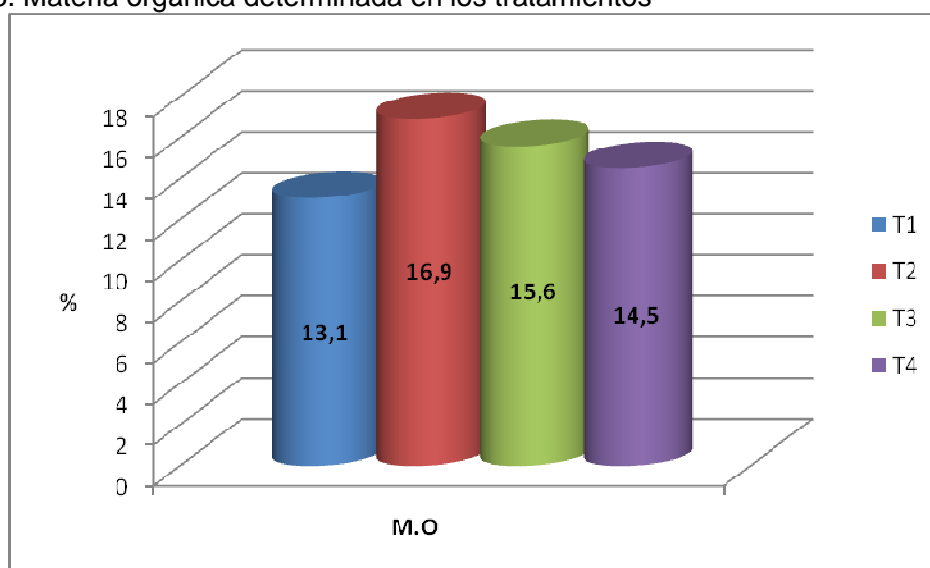


De acuerdo con los resultados de los análisis estadísticos y los niveles cercanos de pH entre los diferentes tratamientos, se puede inferir que el T2 tuvo un mejor proceso de mineralización dada la adición de microorganismos eficientes (E.M.). Fundases (2009), asegura que la adición de estos organismos mejora la disponibilidad de nutrientes en el suelo.

Por otra parte según la norma NTC 5167 para productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas de suelo el pH debe de estar en un rango entre 4 y 9, debido a su efecto sobre la concentración de elementos nutritivos disponibles para las plantas y la actividad microbiana (Vento, 2000), aspecto relevante en cada uno de los tratamientos realizados donde los niveles de pH se mantuvieron en un promedio de 6,18.

3.3.2. Materia Orgánica. Referente a los resultados obtenidos en el proceso de compostaje el promedio para el contenido de materia orgánica fue de 15,02%, que según estudios similares por la FAO (1999) citada por Vento (2000), plantea que los niveles de materia orgánica de 7 – 10,3 % determinan en gran parte la fertilidad del suelo. Lo anterior, dado a que la materia orgánica se conforma por sustancias húmicas, detritos de origen animal y vegetal, además puede almacenar gran cantidad de agua, microorganismos y atraer hasta diez veces más nutrientes que los minerales de arcilla. En la figura 8, se observa que los tratamientos en los cuales se utilizaron los E.M., presentaron valores superiores aunque estadísticamente no haya diferencias significativas.

Figura 8. Materia orgánica determinada en los tratamientos

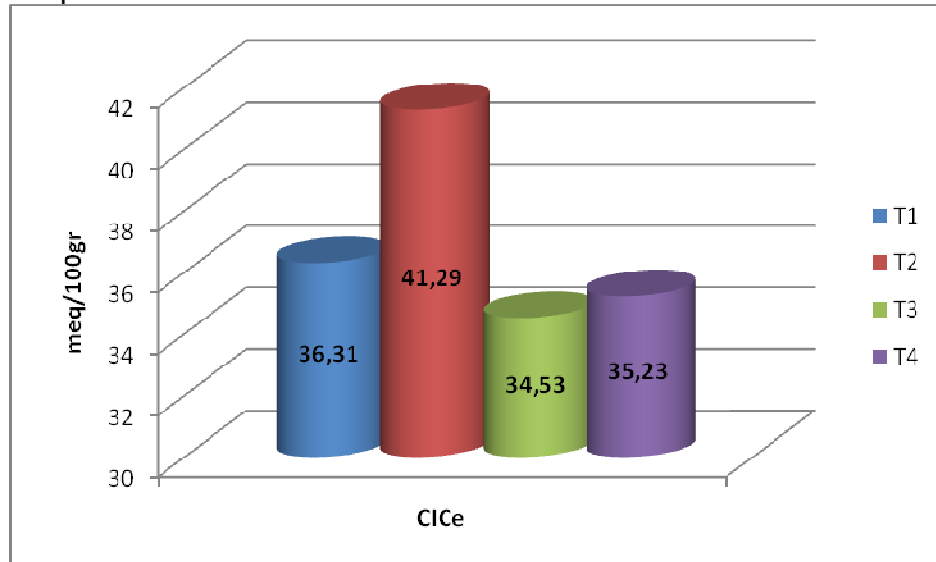


3.3.3. Capacidad de intercambio catiónico. De acuerdo con estudios en la elaboración de compostaje realizados por Dalzell (1991), se afirma que el valor de CICE total varía según la textura y el contenido de materia orgánica¹. Aunque estadísticamente las diferencias entre los tratamientos no son significativas, se aprecia que el T2 presentó mejores niveles de materia orgánica (16,9%) y una textura franca (figura 9) características adecuadas para un mejor comportamiento del CICE; además todos los valores de los

¹ En suelos arenosos por su bajo contenido de materia orgánica presentan valores < 10 meq/100g, a diferencia de los suelos arcillosos quienes presentan un alto contenido de materia orgánica, revelan valores > 40 meq/100g Dalzell (1991).

tratamientos se encuentran por encima de lo requerido por la norma NTC 5167, la cual indica que para el intercambio catiónico el valor mínimo debe de ser de 30 meq/100g para abonos orgánicos provenientes de residuos vegetales.

Figura 9. Capacidad de intercambio catiónico encontrada en los tratamientos



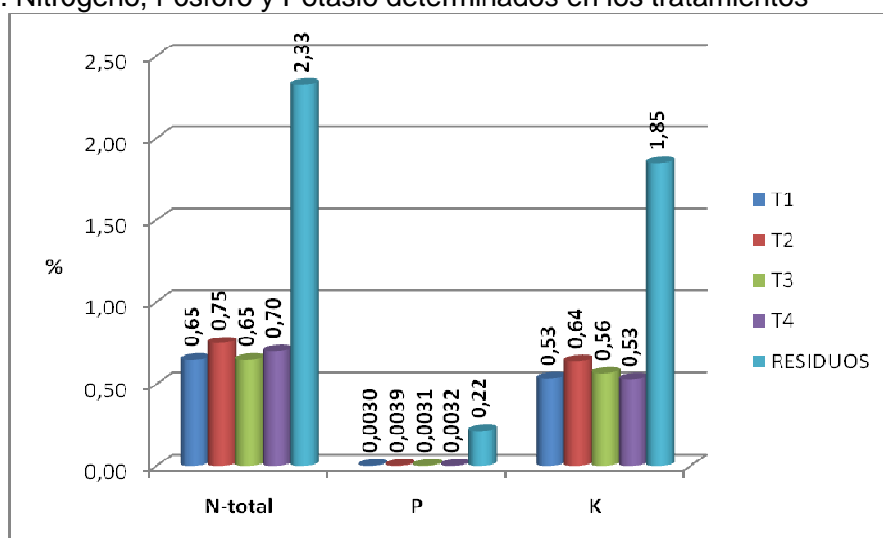
3.3.4. Elementos mayores: Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Al realizar un análisis de varianza, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para estas variables. En la figura 10, se observan los valores en porcentaje de los elementos mayores (N,P,K), donde el T2 presenta los contenidos más altos de Nitrógeno (0,75%), Fósforo (0,0039%) y Potasio (0,64%).

Teniendo en cuenta que los residuos de tomate utilizados (tallos y hojas), aportan una cantidad pequeña de estos elementos; para el caso del Nitrógeno, Calderón (2005) asegura que el porcentaje presente en los residuos es del 2,33%, tomando en cuenta este dato, se estima que en el mejor de los tratamientos utilizados (T2) se alcanzó a extraer cerca del 32,18% del total del Nitrógeno. El Fósforo se encuentra en una cantidad menor al Nitrógeno y Potasio, con sólo 0,22%, de tal manera que únicamente se alcanzó a recuperar el 1,77% del total hallado en el estudio de Requerimientos Nutricionales en Cultivos de Tomate Bajo Condiciones de Invernadero en la Sabana de Bogotá (Calderón, 2005). Para el potasio la cantidad es del 1,85%, por lo tanto sólo se alcanzó a extraer un 34,59%.

Los valores tan bajos de estos elementos en el presente estudio se deben en gran medida a la baja relación que se presentó entre C/N a través de todo el proceso de compostaje (relación de 15,5/1). De acuerdo con Dalzell (1991), la relación óptima debe ser de 25-35/1 para que el proceso se desarrolle de manera adecuada; de no ser así cuando la relación C/N es alta el proceso requiere más tiempo de compostaje antes de que se

elimine el carbono por oxidación en forma de CO₂; si la relación C/N es baja, el nitrógeno presente en los residuos es eliminado en forma de amoníaco, y aumenta con la adición de cal dolomita en los tratamientos 1 y 3. Por otra parte los contenidos de Fosforo al ser tan bajos en el presente estudio, difieren de los resultados expuestos por Dalzell (1991), en estudios similares donde argumenta que el porcentaje debe estar entre 0,1 a 1,6%, atribuyéndose en cierta medida a que su contenido depende de la cantidad de materia orgánica y el pH del sustrato en el compostaje. Para este último en primera medida la materia orgánica al descomponerse libera gran cantidad de ácidos orgánicos que solubilizan fosfatos y el pH hace que elementos como el Al y Fe se neutralicen y se permita la movilización del Fósforo (Montesinos, 1995). Finalmente en la figura 10, se aprecia un bajo contenido de Potasio, elemento que se encuentra ligado con el contenido de materia orgánica, debido a la mineralización por parte de los E.M. (FAO, 1999), también se destaca que el porcentaje promedio de este mineral es de 0,56%, cumpliendo con lo expuesto por Dalzell (1991) en estudios similares de compostaje para La FAO, donde los rangos permitidos están entre 0,4 a 1,6 %.

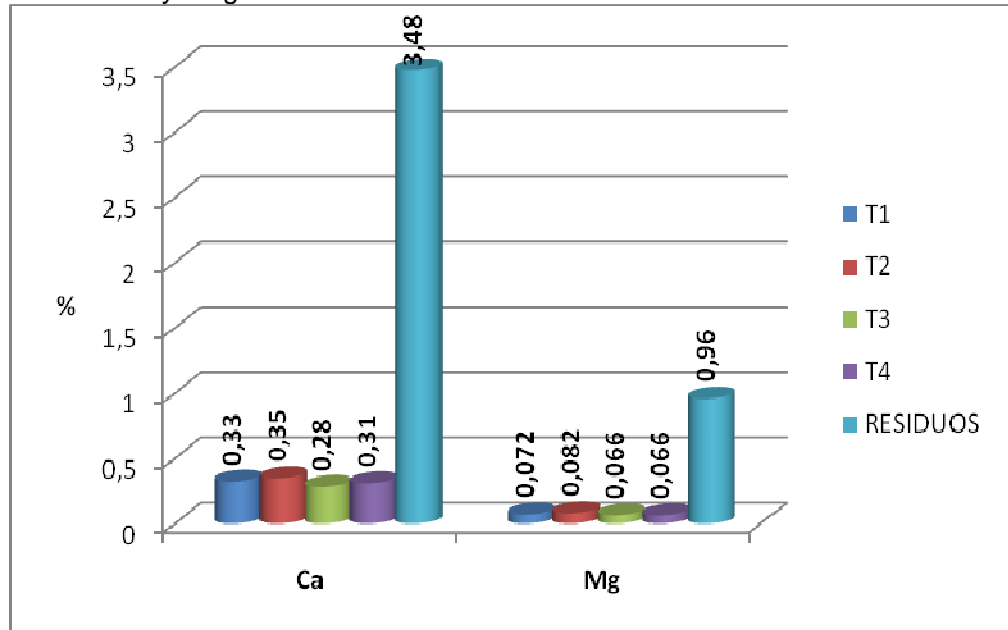
Figura 10. Nitrógeno, Fósforo y Potasio determinados en los tratamientos



3.3.5. Calcio y Magnesio. Aunque estadísticamente no se presenten diferencias significativas entre las formulaciones, se aprecia que el T2 reveló los mayores porcentajes de los cuatro tratamientos evaluados, 0,35% para Ca y 0,082% para Mg, aspecto que se observa en la figura 11. Según los estudios realizados por Calderón (2005) estos nutrientes se encuentran en tallos y hojas de tomate en un porcentaje de 3,48% para el caso del Calcio y de 0,96% para el Magnesio; tomando en cuenta estos porcentajes, con el compostaje de los residuos de cosecha de tomate sólo se extrajo un 10,05% del total del Calcio y un 8,54% del total de Magnesio. El promedio de Calcio en los tratamientos fue de 0,31%, clasificando su contenido como bajo de acuerdo a los estudios realizados por Dalzell (1991), quien establece que los niveles de Calcio para abonos compostados debe encontrarse en un rango de 6,0 a 11%. Para el caso del Magnesio su contenido fue bajo con un nivel de 0,071%. Lo anterior se encuentra directamente relacionado con el

pH, ya que a menor nivel de pH se presenta una baja concentración de este elemento como lo afirma la FAO, (1999); y Vento (2000) quien reporta niveles mínimos de este elemento 1,6% en abonos provenientes de residuos orgánicos.

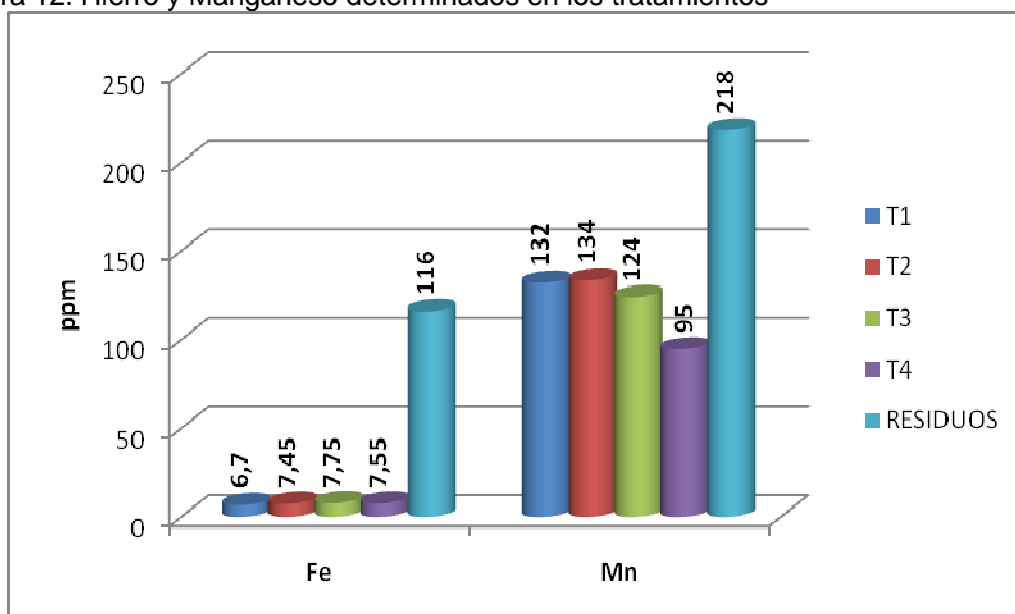
Figura 11. Calcio y Magnesio determinados en los tratamientos



3.3.6 Microelementos: Hierro y Manganeso. Los elementos menores relacionados en la figura 12 se expresan en ppm y permiten observar que para el caso del Hierro, el nivel promedio se encuentra cercano a 7,36 ppm. Si este valor lo relacionamos con el contenido total de este elemento en los residuos de cosecha de tomate hallados por Calderón (2005) (116 ppm), se puede afirmar que cerca de un 6,68% del Hierro se recupera de los residuos provenientes de hojas y tallos mediante la técnica de compostaje. El bajo nivel de este oligoelemento se debe en gran medida por los contenidos de materia orgánica que actúan de forma favorable haciendo aprovechable el Hierro por sus características acidificantes y reductoras, así como a la capacidad de determinadas sustancias húmicas para formar quelatos en condiciones adversas de pH (Porta *et al.*, 1994).

Con respecto al Manganeso encontramos que su contenido esta relacionado con los niveles de pH. De manera general los cuatro tratamientos se mantuvieron con niveles de pH de 6,15 y 6,25, factor que se presume disminuyó la disponibilidad de este mineral (Porta *et al.*, 1994), quien asegura que un pH superior a 5,5 favorece la oxidación del Manganeso por acción biológica disminuyendo su disponibilidad; mientras que en un pH más ácido las formas oxidadas se reducen pasando a ser más disponibles en el proceso de compostaje. En cuanto al porcentaje de extracción del Manganeso mediante la técnica de compostaje, cerca de un 61,47% del total de Manganeso presente en los residuos (218 ppm) es recuperable.

Figura 12. Hierro y Manganeso determinados en los tratamientos



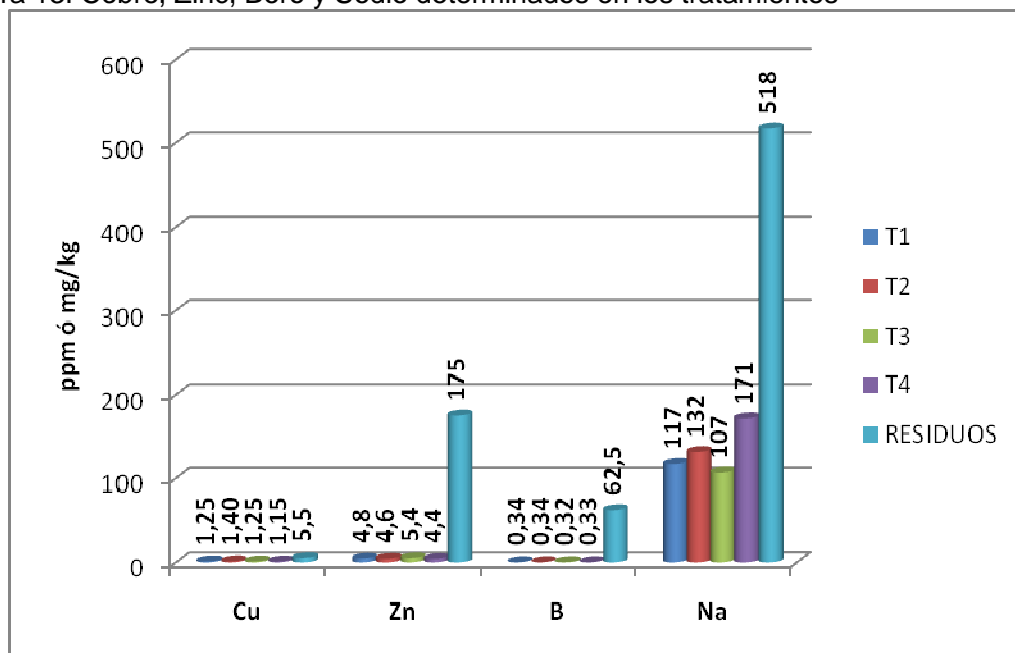
3.3.7 Cobre, Zinc, Boro y Sodio. Con respecto a estos oligoelementos se puede observar en la figura 13, que para el caso del Cobre en promedio encontramos un valor de 1,26 ppm o mg/kg, en los cuatro tratamientos estudiados, rescatando en el mejor de los casos un porcentaje de 25,45% del total de Cobre presente en los residuos de tomate mediante el compostaje. También se evidencia que el T2 presentó un mejor comportamiento debido a la aceleración en la descomposición de la materia orgánica por acción de los E.M., coincidiendo con lo reportado por Porta, *et al.*, (1994), donde asegura que el ión Cu^{2+} en gran proporción es fijado por el humus y demuestra experimentalmente que el Cobre es más adsorbido por aquellos suelos que contienen materia orgánica.

Con respecto a los niveles de Zinc, se mantuvieron bajos durante el proceso de compostaje (figura 13), alcanzando a extraer sólo un 4,05% del total de Zinc presente en los residuos de tomate, que según Calderón (2005) es de 175 ppm o mg/kg. En este caso el contenido de este elemento se ve afectado por los niveles de pH, siendo más disponible en suelos ácidos que en suelos alcalinos (Porta *et al.*, 1994).

Por otro lado, el Boro muestra un comportamiento muy similar en todos los tratamientos con un promedio de 0,33 ppm o mg/kg. En este sentido Calderón (2005) ha estimado valores en los residuos de tomate hasta 62,5 ppm o mg/kg de las cuales con el compostaje se puede recuperar cerca del 0,54 %.

Finalmente encontramos el Sodio con un valor promedio 131,75 ppm o mg/kg, siendo el mayor nivel para el tratamiento T4 con un valor de 171 ppm o mg/kg; es decir 0,072%. Del total de Sodio presente en los residuos se extrajo el 33,01 % en el tratamiento (T4).

Figura 13. Cobre, Zinc, Boro y Sodio determinados en los tratamientos



3.4 CORRELACIÓN AMBIENTE – REGISTROS

Las correlaciones que aparecen a continuación se realizaron con base en los resultados de los análisis del laboratorio de La Secretaría de Agricultura, la información meteorológica de la estación del aeropuerto Guillermo León Valencia y los datos tomados en campo. Toda la información se colocó en una matriz de Excel y se analizó a través del programa estadístico SPSS 15 con el fin de verificar cuáles de las variables ambientales fueron las más determinantes en el proceso de compostaje (anexo E).

3.4.1 pH. Presentó una correlación ($p < 0,05$), con un valor de 0,320. Se pudo evidenciar que a mayor temperatura el pH tiende a incrementarse, situación que se puede atribuir a la actividad microbológica dentro del compost la cual permite la mineralización y la formación de sales aumentando de esta manera los valores del pH (Hernández, 2002).

3.4.2 Nitrógeno total. Se encontró una correlación ($p < 0,05$), con un valor de (-0,299) demostrando que la humedad ambiental afecta los niveles de Nitrógeno dado que la deficiencia de agua disminuye la tasa de mineralización, determinando la difusión de solutos y la distribución de los productos de la actividad microbiana en el proceso de compostaje según lo afirma Hernández, (2002). Se presentó una relación negativa con la variable de temperatura ambiente ($p < 0,01$), con un valor de (-0,422), esto se debe a que el incremento en la temperatura reduce la humedad en el ambiente lo que provoca una pérdida del Nitrógeno en forma de amoníaco registrándose esos valores según lo corrobora Dalzell (1991) en su libro “Manejo del Suelo”.

3.4.3 Materia Orgánica. Se halló una correlación positiva con la variable de N-Total la cual presentó un valor de 0,844 ($p < 0,01$). Esto se debe a que a mayor contenido de Nitrógeno se aumentan los niveles de Carbono obteniendo un incremento de 1,724 veces más de materia orgánica mejorando la calidad del abono compostado, estos resultados se corroboran con los estudios realizados por Muñoz (2005).

Con respecto al pH se presentó una correlación negativa de (-0,335) ($p < 0,05$), confirmando que la acción de los microorganismos descomponedores de la materia orgánica se afecta por las variaciones en los niveles de pH del suelo afirmado por Fundases (2009). La materia orgánica se correlacionó ($p < 0,01$) con factores como: temperatura de pila y precipitación, variables ligadas directamente al porcentaje de humedad debido a que su contenido se ve afectado si el porcentaje de humedad es menor al 30%, por la disminución en la acción microbiológica; si la humedad es alta los espacios entre las partículas se saturan de agua impidiendo el movimiento de aire dentro de la pila retrasando la descomposición de la misma, estos resultados se afirman por Dalzell (1991) trabajando en descomposición de materiales orgánicos.

3.4.4 Fósforo. Mostró una correlación ($p < 0,05$) con el N-Total con una relación de 0,408 y en $p < 0,01$ con la variable materia orgánica con una relación de 0,416, esto se debe posiblemente a que el Fósforo se encuentra entre un 50 a un 60% en el estado avanzado de descomposición de los materiales vegetales llegando a presentarse en los coloides en forma de humus, que es una forma estable de la materia orgánica; su mineralización está regulada por la biomasa microbiana que es el componente orgánico central del ciclo del Fósforo contenido en el material orgánico (Bobadilla *et al.*, 2008).

El nivel de Fósforo está relacionado a su vez ($p < 0,05$) con la humedad del ambiente en una relación de (-0,339), dado que su difusión se realiza en medio acuoso, por lo que se transforma en un factor crítico en el momento de su mineralización según lo explica Hernández (2002) en su libro Nutrición Mineral de las Plantas; y en un nivel más alto ($p < 0,01$) con la variable de precipitación, presentando una relación de (-0,419) parámetro que afecta en gran medida y de forma directa a la humedad, cambiando el ambiente propicio para la descomposición de la materia orgánica de la cual se obtiene el Fósforo y otros nutrientes (Muñoz, 2005).

3.4.5 Potasio. Se halló una correlación positiva con los niveles de pH en una relación de 0,406 ($p < 0,05$), demostrando que el incremento en el nivel de pH ayuda a mejorar el ambiente propicio para la acción de los microorganismos encargados de la mineralización del Potasio contenido en la materia orgánica (Hernández, 2002). También se halló una correlación ($p < 0,01$) con la variable temperatura de pila en una relación de (-0,720), debido a que al disminuir la temperatura interna en la pila de compostaje se aumenta la humedad dentro de la misma lixiviando el Potasio existente en los materiales compostados (Muñoz, 2005).

3.4.6 Calcio. Presentó una correlación ($p < 0,05$) con la humedad ambiental en una relación de (-0,403), debido a que en ambientes áridos o secos con baja humedad los

niveles de Calcio son altos. También se presentó una relación ($p < 0,01$) con las variables: temperatura de pila y la precipitación con una relación de (-0,717) evidenciando que la temperatura de pila reduce el contenido de humedad en el compostaje por el aumento en la evaporación, factor que afecta la movilización del Calcio en forma de catión como lo afirma Hernández (2002).

3.4.7 Magnesio. Se encontró relacionado ($p < 0,05$) con la variable de precipitación en una correlación de (-0,378), haciendo evidente que la precipitación incrementa la humedad del ambiente lo que hace que se pierda Magnesio por lixiviación a causa de que este elemento no es absorbido fuertemente por los coloides del suelo (Hernández, 2002). En un grado más alto ($p < 0,01$) se halló correlaciones con factores como temperatura de pila, temperatura ambiente y con la humedad.

3.4.8 Intercambio catiónico. Se dieron correlaciones con factores como precipitación con una relación de (-0,389) en ($p < 0,05$), y con la temperatura de pila presentando una relación de (-0,688) en ($p < 0,01$), situación que se puede atribuir a que el aumento de temperatura interna de pila disminuye el índice de humedad que es un factor necesario para el intercambio catiónico entre los diferentes coloides del suelo (Hernández, 2002).

3.4.9 Cobre. Se hallaron correlaciones ($p < 0,01$) con los niveles de pH con una relación de (-0,351), esto se debe a que su solubilidad en el suelo es mínima con pH entre 5 a 6, también se atribuye a que el porcentaje de Cobre intercambiable se incrementa con la disminución del pH. La correlación con la temperatura ambiente en (-0,631) confirma que al reducirse la temperatura ambiental los niveles de humedad en el compost aumentan, produciendo una lixiviación del Cobre (Hernández, 2002).

3.4.10 Hierro. Se halló una relación ($p > 0,05$) con variables como materia orgánica y el Sodio; se correlaciona con la variable ambiental de humedad en una relación de (-0,389), hecho que se atribuye a que la solubilidad del Hierro depende de los niveles de materia orgánica ya que este elemento se asocia con los agentes quelantes (ácidos fúlvicos, aminoácido, segregados vegetales y biológicos) de la materia orgánica, dando lugar a la formación de complejos que incrementan considerablemente la concentración y movilidad del Hierro en los coloides del suelo, como lo argumenta Juárez *et al.* (2007).

3.4.11 Manganeso. Se presentó una correlación con las variables precipitación con una relación de 0,50, con la variable ambiental de humedad con una correlación de 0,418 y con el Sodio en una relación de 0,465, ($p < 0,01$). Estos resultados se corroboran con los estudios realizados por Hernández (2002) donde afirma que en materiales con altos niveles de humedad el potencial de redox (medida de la actividad de los electrones en el suelo) es bajo y debido a esto predomina el Manganeso en forma de Mn_2^+ el cual es más soluble. Presentó una correlación ($p < 0,05$), con los niveles de pH en una relación de (-0,314), factor que se atribuye a que al aumentar los niveles de pH, se disminuye la solubilidad y absorción del Manganeso por parte de los coloides del suelo.

3.4.12 Zinc y Molibdeno. El Zinc mostró una correlación ($p < 0,05$) con la precipitación en una relación de 0,377; y en un mayor grado ($p < 0,01$) con la variable de humedad con una correlación de 0,644. Para el Molibdeno se registraron correlaciones ($p < 0,05$) con factores como temperatura ambiente (20°C), y en mayor grado ($p < 0,01$) con variables como pH (0,716), en este sentido se ha observado que la absorción de Molibdeno aumenta con el incremento de los niveles de pH como lo afirma Hernández (2002) en su libro Manejo del Suelo. También se encontraron correlaciones negativas ($p < 0,05$), con la temperatura de pila con un valor de (-0,356), y en un grado más alto ($p < 0,01$) con la variable precipitación de (-0,533).

3.5 ANÁLISIS DE COSTOS PARA LA PRODUCCIÓN DEL ABONO ORGÁNICO OBTENIDO

3.5.1 Resultados de análisis químico. El análisis de nutrientes del abono obtenido corresponde a un compost maduro, en el cual se identifica y determina el cumplimiento de algunos de los parámetros sugeridos por la Norma Técnica Colombiana (NTC 5167). Como se puede observar en el cuadro 4.

Cuadro 4. Composición nutricional de los compost obtenidos Vs. norma NTC 5167 ICONTEC para un compost maduro

| Parámetro | T1 | T2 | T3 | T4 | Límite Norma Mín - Máx |
|--------------------|--------|--------|-------|--------|---------------------------|
| Nitrógeno % | 0,58 | 0,63 | 0,59 | 0,63 | 1,5 |
| Fósforo % | 0,0024 | 0,0027 | 0,002 | 0,0023 | 1,0 - 4,0 |
| Relación C/N | 11,65 | 13,08 | 13,91 | 12,03 | < 20 |
| Materia orgánica % | 13,05 | 16,91 | 15,59 | 14,52 | > 20 |
| Carbono orgánico % | 7,57 | 9,81 | 9,04 | 8,42 | 5 - 15 |
| pH | 6,15 | 6,25 | 6,15 | 6,20 | 4 - 9 |
| ClCe (meq/100gr) | 36,31 | 41,29 | 34,53 | 35,23 | > 30 |

Fuente: Norma NTC 5167

Los resultados muestran que los valores nutricionales analizados están por debajo de los rangos que exige la NTC 5167 del ICONTEC. Esto se debe a que los diferentes abonos compostados que regula la norma provienen de mezclas heterogéneas de residuos vegetales y animales que han sido mezclados para la preparación de abonos orgánicos mejorados. Para el caso del estudio el material utilizado fue el de vegetal de tomate calificándose como abono simple que según la misma norma advierte rangos mucho menores que los descritos para los abonos compuestos.

Los abonos orgánicos simples se consideran en la práctica como una enmienda orgánica, mejora la estructura del suelo, la porosidad, su abundancia en la aplicación permite recuperar los suelos, aportando algunos nutrientes dependiendo de su origen, y en cultivares de corto y mediano plazo dichos residuos adelantan el proceso de compostaje y

pueden reemplazar las fertilizaciones hasta en un 20% aplicando el abono orgánico obtenido según lo afirma Muñoz (2005) en estudios de compostaje en Pescador Cauca.

3.5.2 Costos de producción. En el cuadro 5 se observa los costos de producción obtenidos para cada tratamiento, además en el anexo F, se detallan dichos valores, donde los materiales utilizados fueron sometidos a una depreciación a cinco años, teniendo en cuenta el tiempo de duración de la guadua y de la cubierta plástica tipo invernadero.

Cuadro 5. Costos de producción por kilogramo de compost

| Tratamientos | Costo por formulación |
|--------------|-----------------------|
| T1 | \$ 153 |
| T2 | \$ 156 |
| T3 | \$ 157 |
| T4 | \$ 152 |

3.5.3 Análisis comparativo de costos. Se tomaron como referencia tres abonos orgánicos comerciales como: ABONIZA, valorado en \$9,550, INAGRO, valorado en \$13,000 y el NITRAFOS, con un valor de \$11,000 por bultos de 50 kilos; por sus precios se deduce el valor por kilogramo de abono, el cual se relaciona en el cuadro 6.

Cuadro 6. Relación de costos de abono comercial, frente a cada tratamiento

| ABONOS ORGÁNICOS | | | | | | |
|---|----------|--------|--------------|-------|-------|-------|
| COMERCIAL | | | TRATAMIENTOS | | | |
| ABONIZA | NITRAFOS | INAGRO | T1 | T2 | T3 | T4 |
| \$191 | \$220 | \$260 | \$153 | \$156 | \$157 | \$152 |
| Diferencias de costos | | | | | | |
| ABONIZA-Tratamiento | | | \$38 | \$35 | \$34 | \$39 |
| NITRAFOS-Tratamiento | | | \$67 | \$64 | \$63 | \$68 |
| INAGRO-Tratamiento | | | \$107 | \$104 | \$103 | \$108 |
| Nota: Los costos de los abonos comerciales, están sujetos a modificaciones de acuerdo al precio del momento en que se coticen, al igual que la disponibilidad de los recursos para la elaboración del compost. Tales costos se hacen para un kilogramo de abono. | | | | | | |

Según el estudio es aplicable esta técnica de compostaje en la finca San Millan, por el bajo costo que representa y por la reducción del material orgánico desechado durante cada cosecha, el cual genera múltiples complicaciones para el medio ambiente, además la literatura argumenta que el material orgánico recuperado mediante el compost proporciona mejores características a los suelos donde es aplicado (Vento, 2000). A esto se suma que el compost resultante se podría enriquecer para obtener una enmienda que cubra los requerimientos nutricionales y se asemeje a los que comercialmente se utilizan.

4. CONCLUSIONES

Al realizar la evaluación de los diferentes tratamientos no se encontraron diferencias significativas para las variables analizadas, sin embargo, el T2 (adición de E. M.) mostró un mejor comportamiento para las variables de pH, CICE, materia orgánica, Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio, Manganeso, Cobre y Boro.

El compostaje es una de las alternativas que pueden mejorar la disposición final de los residuos de cosecha y teniendo en cuenta el nivel de residuos orgánicos generados en la finca San Millán, se pudo establecer que es una opción para la biotransformación de dichos materiales, ayudando así a la recuperación y ciclaje de nutrientes.

Al realizar un análisis de costos se evidenció un comportamiento similar para los cuatro tratamientos evaluados y considerando que ninguno de los tratamientos presentó diferencias estadísticamente significativas se podría adoptar cualquiera de los tratamientos estudiados, de acuerdo a los recursos o necesidades del productor.

Al realizar una comparación entre los resultados hallados en el estudio y las exigencias requeridas por la norma NTC 5167 del ICONTEC, para la producción y comercialización de abonos orgánicos en Colombia, se puede afirmar que estos se cumplen para las variables como pH, CICE, mas no para la variable materia orgánica. Para las demás variables es difícil afirmar el cumplimiento de la norma dada la ambigüedad de la misma, donde no se indican los rangos permitidos para estos productos.

5. RECOMENDACIONES

Para mejorar la calidad del compost obtenido, éste puede ser enriquecido con la adición de fuentes de minerales como los sulfatos, rocas fosfóricas entre otros, permitiendo así la utilización del producto final como una enmienda. Además la utilización de microorganismos eficientes es importante ya que permite una mejor descomposición de los materiales orgánicos, mejorando así las características físico-químicas del abono resultante mediante la técnica del compostaje.

Para las condiciones ambientales de la Meseta de Popayán se sugiere manejar composteras con una altura mayor a 1 metro, permitiendo así conservar una temperatura interna para que el proceso de la actividad microbiana se desarrolle adecuadamente. De igual manera deben hacerse volteos periódicos para homogenizar el material orgánico.

Se debe manejar una relación adecuada de C/N, aspecto de vital importancia para el proceso de compostaje. Esto se puede lograr con la mezcla de diversos materiales tanto de origen vegetal como animal.

Sensibilizar a los productores frente al tema de los abonos orgánicos ya que son prácticas agroecológicas que involucran no solo aspectos ambientales, sino también sociales y culturales, mejorando así la calidad de vida de las familias rurales.

BIBLIOGRAFÍA

BELLO, A. Conferencia internacional eco-biología del suelo y el compost “Ecología de suelos, manejo de la materia orgánica e investigación”. Madrid: CCM, 2004. p. 203 – 204.

BOTERO, R. Sistema Integrado de Manejo de Residuos, tecnología apropiada para el medio rural en el trópico [en línea]. Costa Rica. s.n. 2009. [citado en 11 de Junio de 2010]. Disponible en internet: <<http://www.emmexico.com/residuos.pdf>>.

BOBADILLA, H y RINCON, S. Aislamiento y producción de bacterias de fosfato solubilizadas a partir de compost obtenido de residuos de plaza. Bogotá D.C., 2008. p. 8-16. Trabajo de grado Microbióloga Industrial. Pontificia Universidad Javeriana. Facultad de Ciencias.

CALDAS – LANG. Clasificaciones Climáticas para Colombia. Bogotá D.C., IDEAM, 1987.

CALDERÓN, F. Requerimientos nutricionales de un cultivo de tomate bajo condiciones de invernadero en La Sabana de Bogotá. [en línea]. Bogotá D.C., s.n. 2005. [citado en 15 agosto de 2010]. Disponible en internet: <http://www.drcalderonlabs.com/Cultivos/Tomate/Requerimientos_Nutricionales.htm>.

CERVANTES, M. Abonos Orgánicos. [en línea]. s.l. s.f. E.F.A., CAMPOMAR. [citado en 27 de abril de 2010]. Disponible en internet: <http://www.infoagro.com/abonos/abonos_organicos.htm>.

Compendio ICONTEC-ICA sobre Fertilizantes en Colombia. Reglamentos y Normas Técnicas Colombianas. Bogotá D.C.; ICA, 2004. p. 188 - 216.

DALZELL, H. Manejo del suelo: Producción y uso del compostaje en ambientes tropicales y subtropicales. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación FAO. Roma: FAO, 1991. p. 17 – 107.

DUPUIS, I. Estimación de los residuos agrícolas generados en la Isla de Tenerife, Información Técnica. [en línea]. Tenerife, 2006. [citado en 11 Junio de 2010]. Disponible en internet: http://www.agrocabildo.com/publica/publicaciones/sost_28_L_estima_residu_agricola.pdf.

ESTADOS UNIDOS. NATIONAL PLANT FOOD INSTITUTE. The Fertilizer Handbook. 15 ed. Washington, D.C.: LIMUSA S.A. 1999. p. 20 – 29, 133 – 135.

FAO. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Dirección de fomento de tierras y aguas. Organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma: FAO, 1999. p. 3 -14.

FIAD, J. Residuos Orgánicos. [en línea]. s.l. s.n. 1997. [citado en 11 Junio de 2010]. Disponible en internet: <<http://www.monografias.com/trabajos10/organ/organ.shtml>>.

FUNDASES. Taller de Bioprocesos. Fundación de Asesorías para el sector rural. [en línea]. 2009. [citado en 11 Junio de 2010]. Disponible en internet: <http://ecorganicas.com/Cont/index.php?option=com_content&task=view&id=2&Itemid=1>

GOMEZ, J. Abonos Orgánicos. Santiago de Cali: Feriva S. A., 2000. Colombia. p. 26 - 31.

HERNÁNDEZ, R. Nutrición mineral de las plantas. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Departamento de Botánica. [en línea]. Mérida (Venezuela), 2002. [citado en 14 mayo de 2010]. Disponible en internet: <<http://www.forest.ula.ve/~rubenhg/nutricionmineral/>>.

INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES (IDEAM). Estación Climatológica Aeropuerto Guillermo León Valencia. Popayán (Cauca), 2010.

JUÁREZ, M., CERDÁN, M., SÁNCHEZ, A. Hierro en el sistema suelo planta. Departamento de Agroquímica y Bioquímica. Facultad de Ciencias. Alicante (España), 2007. p. 17-21.

MENESES, José y Diego. Talleres de Agrostología. [en línea]. s.f. Madrid (España). [citado en 27 de febrero de 2010]. Disponible en internet: <<http://kogi.udea.edu.co/talleres/agrostologia/elcompostaje.doc>>.

MONTESINOS, C. Manejo Biológico del fosforo en el suelo. En: Centro Latino Americano de Desarrollo Sostenible. Octubre. vol. 8. 1995. p. 40-48.

MUÑOZ, J. Compostaje en Pescador, Cauca: Tecnología apropiada para el manejo de residuos orgánicos y su contribución a la solución de problemas medioambientales. Palmira, 2005. p. 9 – 21. Trabajo de grado Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería y Administración.

PORTA, J., LÓPEZ, M., ROQUERO, C. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Madrid: Mundi-Prensa, 1994. 807 p.

Programa de Apoyo a La Formación Profesional para La Inserción Laboral en el Perú, Capacítate Perú (APROLAB). "Manual para la producción de compost con microorganismos eficaces". Perú, Julio 2007. p. 7 – 8.

ROMERO, M. Producción Ecológica Certificada de Hortalizas de Clima Frio. Bogotá D.C.: Ultracolor, 2003. p. 13 - 25.

SOLIVA, M. y PAULET, S. Aplicación Agrícola de Residuos Orgánicos. Barcelona: EITA, 2001. p. 1 – 15.

UMATA. Proyecto Estudio de Actualización y Diagnostico Ambiental del Municipio de Popayán. 2007.

VENTO, M. Estudio sobre la preparación del compost estático y su calidad. Camagüey (Cuba), 2000. p. 11 - 24. Trabajo de grado Master en Fertilidad del Suelo. Universidad de Camagüey. Instituto de Suelos.

ANEXOS

ANEXO A. REGISTRO DE TEMPERATURA DE PILA (T°C)

| TIEMPO | T1 | T2 | T3 | T4 |
|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Semana1 | 50,5 | 51,1 | 52,7 | 50,2 |
| Semana2 | 44,6 | 43,6 | 42,6 | 36,4 |
| Semana3 | 28,4 | 31,8 | 31 | 29,4 |
| Semana4 | 25,6 | 26,7 | 26,8 | 26,6 |
| Semana5 | 23,6 | 24,5 | 24,6 | 23,1 |
| Semana6 | 23,6 | 24,2 | 24,6 | 24 |
| Semana7 | 22,5 | 24 | 23,5 | 23,2 |

ANEXO B. PROTOCOLO PARA LA EJECUCIÓN DEL MÉTODO WALKLEY Y BLACK

| Materiales | Reactivos |
|---|--|
| Beaker de 50 y 100ml Pipetas de 5 y 10ml Bureta Balón de 50, 100 y 200ml Malla número 30 Mezclador 14 Erlenmyer de 250ml Papel aluminio Jabón industrial | Dicromato de Potasio Sulfato ferroso 7 H ₂ O Acido sulfúrico concentrado Acido fosfórico no menor del 85% Fenantrolina Glucosa Agua destilada |
| Preparación de reactivos | |
| Como primera medida y previo al montaje del laboratorio se toma el dicromato de Potasio y se pesan 6gr, se deja secar por 2 horas a una temperatura de 105°C; por otro lado se lava el material de vidrio a utilizar con jabón industrial para retirar residuos o impurezas que puedan contaminar las muestras y se dejan secar. | |
| Solución de sulfato ferroso 7 H₂O | |
| Se toman 27,8gr. de éste, se colocan en un beaker de 10ml y se afora con agua destilada hasta 6ml, posteriormente por las paredes del beaker se adicionan 8ml de acido sulfúrico concentrado, se disuelve y se afora en un balón hasta 200ml con agua destilada, se tapa y se deja en la campana de extracción. | |
| Solución de dicromato de potasio | |
| Pasadas 2 horas se retira el dicromato de potasio de la estufa y se toman 2,4771gr si se desean preparar 50ml o 4,9573gr si es una solución de 100ml, se afora con agua destilada y se cubre el recipiente con papel aluminio evitando que la solución este en contacto directo con la luz. | |
| Procedimiento | |
| Se pesa de cada muestra 0,1gr y se coloca en un beaker de 250ml, adicionando posteriormente 5ml de dicromato de Potasio, luego se adiciona por las paredes del beaker acido sulfúrico concentrado y se mezcla por un minuto, luego se agregan 5ml de acido fosfórico a cada una de las muestras, para luego adicionar 150ml de agua destilada y se deja reposar por 30 minutos; se prepara paralelamente un blanco de reactivos y una muestra patrón de la siguiente manera: | |
| Muestra patrón: En un beaker de 250ml se colocan 0,01gr de glucosa y se añaden 5ml de dicromato de Potasio, 10ml de acido sulfúrico, 5ml de acido fosfórico y se adicionan 150ml de agua destilada y se deja reposar por 30 minutos para su posterior titulación. | |
| Blanco de reactivos: Se colocan los reactivos sin muestra de suelo o glucosa. | |
| Titulación | |
| Se coloca en la bureta la solución de sulfato ferroso 7H ₂ O y se purga para su posterior aforo, por otro lado se adiciona a la muestra que va a ser titulada 4 gotas de fenantrolina y se procede a la titulación comenzando con la muestra patrón, seguido del blanco de reactivos y posteriormente las muestras; se registra el volumen gastado para cada una de las muestras. La coloración que indica la titulación es cuando da un color verde azulado o brillante, al adicionar una o dos gotas de la solución de sulfato ferroso pasa a un color café. | |

| Humedad | |
|--|--|
| <p>Es necesario que para cada una de las muestras se tome la humedad higroscópica, la cual se utiliza para el cálculo del porcentaje de Carbono y materia orgánica, de no tenerla se debe tomar la humedad de campo, aunque no se aconseja por la variación en los valores que arroja la fórmula que se utiliza para este método.</p> | |
| Fórmulas | |
| <p>Porcentaje de Carbono orgánico:</p> $\%C.O = \frac{(B - M) \times N \times 0.003 \times (100 + Pw)}{Pm}$ <p>B= Volumen de titulación del blanco de reactivos M= Volumen de titulación de muestra N= Normalidad (concentración de sulfato ferroso real) Pw= Porcentaje de humedad higroscópica de cada muestra Pm= Peso de cada muestra</p> | <p>Normalidad:</p> $N = \frac{meq}{Vr}$ <p>meq= Miliequivalentes (5 meq para este método) Vr= Litros de solución</p> |
| <p>Porcentaje de materia orgánica</p> $\% M.O = \%C.O \times \underbrace{1.724}_K$ <p>K= Constante</p> | <p>Porcentaje de error:</p> $\%Error = \frac{Et - Ee}{Et} \times 100$ <p>Et= Error teórico Ee= Error experimental</p> |
| <p>Nota: El porcentaje de error puede ser positivo como negativo, por lo tanto si el valor del error es positivo este valor se debe sumar al valor de materia orgánica y se resta si da un valor negativo, de la siguiente manera:</p> $\%M.O \times \frac{\%Error}{100} = Valor X$ <p>Valor Real de M.O = %M.O ± Valor X</p> | |
| <p>Porcentaje de humedad higroscópica:</p> $\%Hh = \frac{Wh - Ws}{Ws} \times 100$ <p>Wh = Peso de muestra húmeda Ws = Peso de muestra seca</p> | |
| <p>Nota: Para el secado de las muestras, se toman 10gr de cada una, se exponen al sol por 24 horas y pasado este tiempo se pasan a una estufa por otras 24 horas a 105°C, por último se pesa cada una y se aplica la fórmula de humedad higroscópica.</p> | |

ANEXO. D. ESTADÍSTICOS DESCRIPTIVOS

Análisis descriptivo del T1 (cal dolomita del 24%)

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|
| pH | 5,60 | 6,50 | 6,21 | 0,31 | 0,09 |
| N Total | 0,30 | 0,80 | 0,58 | 0,18 | 0,03 |
| MO | 6,50 | 15,68 | 11,64 | 3,12 | 9,77 |
| P | 0,40 | 54,00 | 24,39 | 17,92 | 321,21 |
| Ca | 5,70 | 17,48 | 12,66 | 4,14 | 17,12 |
| Mg | 2,27 | 7,10 | 4,57 | 1,68 | 2,81 |
| K | 5,60 | 19,22 | 12,49 | 5,19 | 26,93 |
| Na | 0,45 | 2,73 | 0,81 | 0,78 | 0,61 |
| ClCe | 11,25 | 42,40 | 25,67 | 12,06 | 145,34 |
| B | 0,20 | 0,36 | 0,31 | 0,05 | 0,00 |
| Cu | 0,80 | 1,50 | 1,14 | 0,29 | 0,08 |
| Fe | 5,40 | 8,70 | 7,11 | 1,07 | 1,15 |
| Mn | 96,00 | 218,00 | 137,75 | 36,53 | 1334,21 |
| Zn | 4,00 | 5,40 | 4,71 | 0,53 | 0,28 |
| Co | 0,00 | 0,60 | 0,08 | 0,21 | 0,05 |
| Mo | 0,00 | 0,80 | 0,63 | 0,27 | 0,08 |

Análisis descriptivo del T2 (E.M.)

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|
| pH | 6,10 | 6,70 | 6,44 | 0,18 | 0,03 |
| N Total | 0,40 | 0,80 | 0,64 | 0,13 | 0,02 |
| MO | 8,00 | 17,92 | 12,55 | 3,51 | 12,31 |
| P | 3,70 | 45,00 | 27,20 | 12,88 | 165,88 |
| Ca | 6,30 | 17,95 | 13,84 | 3,57 | 12,75 |
| Mg | 1,12 | 8,30 | 4,74 | 2,42 | 5,87 |
| K | 5,70 | 17,48 | 13,04 | 3,79 | 14,40 |
| Na | 0,44 | 2,99 | 0,89 | 0,86 | 0,73 |
| ClCe | 21,92 | 41,30 | 32,50 | 7,46 | 55,61 |
| B | 0,32 | 0,40 | 0,36 | 0,03 | 0,00 |
| Cu | 0,80 | 1,80 | 1,33 | 0,36 | 0,13 |
| Fe | 6,20 | 9,50 | 7,81 | 1,17 | 1,37 |
| Mn | 12,00 | 232,00 | 121,80 | 78,78 | 6206,75 |
| Zn | 3,10 | 6,00 | 4,76 | 0,97 | 0,94 |
| Co | 0,00 | 0,50 | 0,06 | 0,18 | 0,03 |
| Mo | 0,70 | 0,80 | 0,79 | 0,04 | 0,00 |

Análisis descriptivo del T3 (cal y E.M.)

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|
| pH | 6,00 | 6,50 | 6,33 | 0,19 | 0,04 |
| N Total | 0,50 | 0,70 | 0,60 | 0,05 | 0,00 |
| MO | 8,90 | 17,77 | 12,19 | 2,67 | 7,12 |
| P | 0,40 | 42,00 | 20,33 | 12,45 | 155,05 |
| Ca | 6,13 | 16,25 | 13,31 | 3,42 | 11,71 |
| Mg | 1,92 | 6,84 | 4,35 | 1,67 | 2,79 |
| K | 5,23 | 17,18 | 11,15 | 4,36 | 19,03 |
| Na | 0,42 | 2,91 | 0,83 | 0,84 | 0,71 |
| ClCe | 14,87 | 38,76 | 29,63 | 7,67 | 58,81 |
| B | 0,26 | 0,60 | 0,35 | 0,10 | 0,01 |
| Cu | 0,80 | 1,80 | 1,14 | 0,36 | 0,13 |
| Fe | 5,40 | 9,50 | 7,39 | 1,46 | 2,14 |
| Mn | 95,00 | 364,00 | 156,60 | 88,13 | 7766,90 |
| Zn | 3,70 | 6,40 | 4,74 | 0,91 | 0,84 |
| Co | 0,00 | 0,70 | 0,09 | 0,25 | 0,06 |
| Mo | 0,60 | 0,80 | 0,76 | 0,07 | 0,01 |

Análisis descriptivo del T4 (testigo)

| | Mínimo | Máximo | Media | Desv. típ. | Varianza |
|----------------|---------------|---------------|--------------|-------------------|-----------------|
| pH | 6,00 | 6,40 | 6,22 | 0,13 | 0,02 |
| N Total | 0,50 | 0,80 | 0,63 | 0,12 | 0,02 |
| MO | 8,18 | 16,54 | 12,40 | 2,77 | 7,69 |
| P | 0,40 | 38,00 | 23,10 | 13,77 | 189,67 |
| Ca | 5,30 | 16,11 | 12,92 | 3,58 | 12,80 |
| Mg | 2,10 | 6,22 | 4,32 | 1,37 | 1,89 |
| K | 4,73 | 18,12 | 10,37 | 4,45 | 19,81 |
| Na | 0,39 | 3,17 | 0,94 | 0,91 | 0,83 |
| ClCe | 12,78 | 39,82 | 28,56 | 7,64 | 58,33 |
| B | 0,32 | 1,00 | 0,41 | 0,24 | 0,06 |
| Cu | 0,90 | 1,50 | 1,16 | 0,22 | 0,05 |
| Fe | 5,40 | 8,70 | 6,50 | 1,07 | 1,14 |
| Mn | 93,00 | 167,00 | 129,63 | 27,13 | 736,27 |
| Zn | 4,00 | 6,40 | 4,83 | 0,83 | 0,69 |
| Co | 0,00 | 0,50 | 0,06 | 0,18 | 0,03 |
| Mo | 0,50 | 0,80 | 0,70 | 0,10 | 0,01 |

ANEXO E. CORRELACIONES

Correlación positiva de Pearson

| Variable | Correlación de Pearson | | | | | |
|-------------|------------------------|--|------------|--|-----------|---------|
| | TA | | | | | |
| pH | 0,320* | | | | | |
| | N. Total | | | | | |
| M.O | 0,845** | | | | | |
| | N. Total | | P | | | |
| Na | 0,325* | | 0,395* | | | |
| | N. Total | | Mg | | | |
| Cu | 0,305* | | 0,321* | | | |
| | M.O | | Na | | | |
| Fe | 0,305* | | 0,332* | | | |
| | N. Total | | M.O | | | |
| P | 0,408* | | 0,417** | | | |
| | pH | | Ca | | Mg | |
| K | 0,406* | | 0,512** | | 0,481** | |
| | N. Total | | M.O | | Ca | |
| Mg | 0,453** | | 0,623** | | 0,451** | |
| | P.P | | H | | K | |
| Zn | 0,377* | | 0,644** | | 0,447** | |
| | P.P | | H | | Na | |
| Mn | 0,500** | | 0,419** | | 0,466** | |
| | M.O | | Ca | | Mg | |
| CICe | 0,305* | | 0,761** | | 0,537** | 0,698** |
| | N. Total | | P | | Fe | |
| Co | 0,325* | | 0,367* | | 0,326* | 0,970** |
| | T.A | | P | | pH | |
| Mo | 0,377* | | 0,306* | | 0,717** | 0,572** |
| | | | | | 0,503** | 0,489** |

*La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral)

**La correlación es significativa al nivel 0,01 (unilateral)

Correlación negativa de Pearson

| Variable | Correlación de Pearson | | | |
|-----------------|------------------------|------------|------------|------------|
| | H | | | |
| Fe | -0,390* | | | |
| | T.P | | | |
| K | -0,721** | | | |
| | Cu | | | |
| Zn | -0,429** | | | |
| | H | T.A | | |
| N. Total | -0,300* | -0,422** | | |
| | H | P.P | | |
| P | -0,339* | -0,420** | | |
| | P.P | T.P | | |
| ClCe | -0,389* | -0,688** | | |
| | pH | Ca | | |
| Mn | -0,315* | -0,479** | | |
| | H | T.P | P.P | |
| Ca | -0,404* | -0,595** | -0,717** | |
| | pH | Ca | T.A | |
| Cu | -0,352* | -0,379* | -0,631** | |
| | pH | T.P | P.P | H |
| M.O | -0,336* | -0,559** | -0,478** | -0,552** |
| | P.P | T.P | T.A | H |
| Mg | -0,378* | -0,794** | -0,609** | -0,465** |
| | TP | Cu | Mn | P.P |
| Mo | -0,356* | -0,302* | -0,362* | -0,533** |

*La correlación es significativa al nivel 0,05 (unilateral)

**La correlación es significante al nivel 0,01 (unilateral)

ANEXO F. COSTOS DE INVERSIÓN DEL MONTAJE DE COMPOSTERAS Y ELABORACIÓN DE ABONO ORGÁNICO

| Actividades | Patrón | | Vlr / U | Vlr / total |
|---|---------|----------|-----------|--------------------|
| | Unidad | Cantidad | | |
| Costos directos | | | | |
| Preparación del terreno | Jornal | 2 | \$15.000 | \$30.000 |
| Construcción de composteras | Montaje | 1 | \$200.000 | \$200.000 |
| Colocación cubierta de plástico | Montaje | 1 | \$100.000 | \$100.000 |
| Extracción de suelo | Jornal | 1 | \$15.000 | \$15.000 |
| Recolección de residuos orgánicos (tomate) | Jornal | 1 | \$15.000 | \$15.000 |
| Volteos | Jornal | 4 | \$15.000 | \$60.000 |
| Sub total | | | | \$420.000 |
| Insumos | | | | |
| Cal dolomita al 24% | Bulto | 1 | \$7.250 | \$7.250 |
| Microorganismos eficientes E.M. | Galón | 1 | \$13.000 | \$13.000 |
| Sub total | | | | \$20.250 |
| Construcciones | | | | |
| Guadua | Unidad | 20 | \$5.000 | \$100.000 |
| Guadua delgada | Unidad | 6 | \$4.500 | \$27.000 |
| Esterilla de guadua | Unidad | 24 | \$5.000 | \$120.000 |
| Plástico para invernadero | m | 9 | \$12.222 | \$109.998 |
| Alambre calibre 10 | Kg | 4 | \$3.500 | \$14.000 |
| Clavos 3" | Lb | 4 | \$2.700 | \$10.800 |
| Clavos 2 1/2" | Lb | 8 | \$1.800 | \$14.400 |
| Alambre dulce | Kg | 6 | \$2.400 | \$14.400 |
| Tela pp verde X 2,10 | m | 12 | \$1.052 | \$12.624 |
| Sub total | | | | \$423.222 |
| Total costos directos | | | | \$863.472 |
| Costos indirectos | | | | |
| Transporte de insumos y material de construcción | Viaje | 4 | \$10.000 | \$40.000 |
| Transporte de material orgánico | Viaje | 1 | \$30.000 | \$30.000 |
| Sub total | | | | \$70.000 |
| Sub total general | | | | \$933.472 |
| Imprevistos (10%) | | | | \$93.347 |
| COSTO TOTAL | | | | \$1.026.819 |
| Nota: Depreciación de infraestructura a cinco años | | | | \$ 96 |

Relación de costos de producción del T1

| Actividades | Patrón | | Vlr/U | Vlr/total |
|---|--------|----------|----------|-----------------|
| | Unidad | Cantidad | | |
| Costos directos | | | | |
| Extracción de suelo | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Recolección de residuos orgánicos (tomate) | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Volteos | Jornal | 0,5 | \$15.000 | \$7.500 |
| Sub total | | | | \$11.250 |
| Insumos | | | | |
| Cal dolomita al 24% | Kilos | 1 | \$145 | \$145 |
| Sub total | | | | \$145 |
| Total | | | | \$11.395 |
| Nota: Se necesita invertir \$57, para producir un kilo del T1. | | | | |

Relación de costos de producción del T2

| Actividades | Patrón | | Vlr/U | Vlr/total |
|---|--------|----------|----------|-----------------|
| | Unidad | Cantidad | | |
| Costos directos | | | | |
| Extracción de suelo | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Recolección de residuos orgánicos (tomate) | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Volteos | Jornal | 0,5 | \$15.000 | \$7.500 |
| Sub total | | | | \$11.250 |
| Insumos | | | | |
| Microorganismos eficientes | Litros | 0,3 | \$2.600 | \$780 |
| Sub total | | | | \$780 |
| Total | | | | \$12.030 |
| Nota: Se necesita invertir \$60, para producir un kilo del T2. | | | | |

Relación de costos de producción del T3

| Actividades | Patrón | | Vlr/U | Vlr/total |
|---|--------|----------|----------|-----------------|
| | Unidad | Cantidad | | |
| Costos directos | | | | |
| Extracción de suelo | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Recolección de residuos orgánicos (tomate) | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Volteos | Jornal | 0,5 | \$15.000 | \$7.500 |
| Sub total | | | | \$11.250 |
| Insumos | | | | |
| Cal dolomita al 24% | Kilos | 1 | \$145 | \$145 |
| Microorganismos eficientes | Litros | 0,3 | \$2.600 | \$780 |
| Sub total | | | | \$925 |
| Total | | | | \$12.175 |
| Nota: Se necesita invertir \$61, para producir un kilo del T3. | | | | |

Relación de costos de producción del T4

| Actividades | Patrón | | Vlr/U | Vlr/total |
|---|--------|----------|----------|-----------------|
| | Unidad | Cantidad | | |
| Costos directos | | | | |
| Extracción de suelo | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Recolección de residuos orgánicos (tomate) | Jornal | 0,125 | \$15.000 | \$1.875 |
| Volteos | Jornal | 0,5 | \$15.000 | \$7.500 |
| Total | | | | \$11.250 |
| Nota: Se necesita invertir \$56, para producir un kilo del T4. | | | | |