

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**USO DE DIFERENTES TIPOS DE VERMICOMPOSTA
COMO FERTILIZANTE ORGÁNICO EN EL
CULTIVO DEL ROSAL**



TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN CIENCIAS
EN HORTICULTURA**

PRESENTA

ELIZABETH URBINA SÁNCHEZ

FITOTECNIA

Chapingo, México, julio del 2000

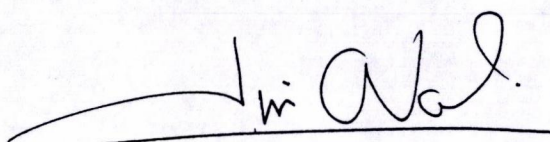


934691

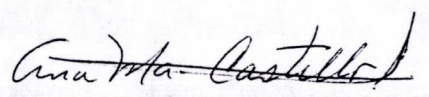
**USO DE DIFERENTES TIPOS DE VERMICOMPOSTA COMO FERTILIZANTE
ORGÁNICO EN EL CULTIVO DEL ROSAL**

Tesis realizada por **(Elizabeth Urbina Sánchez)** bajo la dirección del Comité Asesor
indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

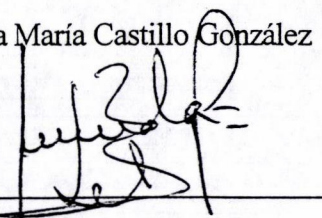
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 

M.C. Luis Alonso Valdéz Aguilar

ASESOR: 

Dra. Ana María Castillo González

ASESOR: 

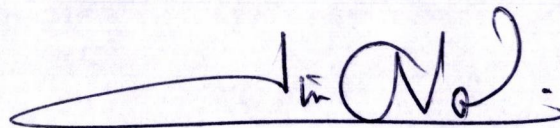
M.C. Joel Pineda Pineda

**USO DE DIFERENTES TIPOS DE VERMICOMPOSTA COMO
FERTILIZANTE ORGÁNICO EN EL CULTIVO DEL ROSAL.**

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **(Elizabeth Urbina Sánchez)** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura estuvo constituido por:

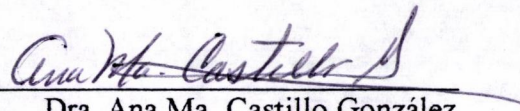
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESIDENTE



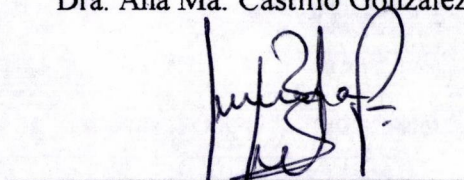
M.C. Luis Alonso Valdéz Aguilar

ASESOR



Dra. Ana Ma. Castillo González

ASESOR



M.C. Joel Pineda Pineda

DATOS BIOGRÁFICOS

La autora de la presente tesis es originaria de México, D.F. inició sus estudios en la escuela primaria "Ignacio Allende" 21-003 del período de 1976-1982 en la ciudad de México. Posteriormente ingresó a la escuela secundaria "República de Ecuador" No. 89 en la generación 1982 a 1985. Sus estudios medio superior los realizó en el C.E.C.Y.T. "Miguel Othon De Mendizabal" vocacional No. 6 del Instituto Politécnico Nacional, egresó con la carrera de Técnico Laboratorista Agrobiólogo en 1989. Sus estudios Universitarios los realizó en el Estado de México, en la Universidad Autónoma Chapingo en la generación (1990 – 1995), egresó con el título de Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia. Enseguida realizó sus estudios de Postrado en la misma Universidad en los años de 1997 a 1999.

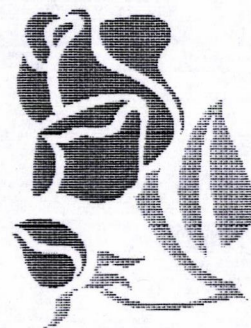
DEDICATORIA

Con mucho amor, a mis padres Raymundo Urbina Luna y Amalia Sánchez Hernández,
quienes me han apoyado en todo.

Con un cariño muy especial a mis adorables sobrinos Raulín y Dianita

Con afecto a mi hermano Raúl y su esposa Sandra, mi hermana Lety y su esposo Gonzalo
y especialmente a mi hermana Irma.

A mis compañeros y amigos de la Maestría



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo y al Departamento de Fitotecnia por haberme brindado la oportunidad de continuar con mi formación profesional.

Al M.C Luis Alonso Valdéz Aguilar, por su apreciada y acertada dirección de esta tesis.

A la Dra. Ana María Castillo González, por su colaboración en el desarrollo de este trabajo.

Al M.C. Joel Pineda Pineda por su valiosa y fructuosa participación en la realización de esta tesis.

Al M.C. Rafael García por su cooperación con la aportación de *Eisenia foetida*, A Caro, encargada del Laboratorio de Nutrición del Departamento de Suelos por su gran ayuda.

Al Ing. Miguel, Ing. Martín, Abraham y Bernardo por las facilidades prestadas en establecimiento de la fase experimental.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. OBJETIVOS.....	3
1.1.1. <i>Objetivo general</i>	3
1.1.2. <i>Objetivos particulares</i>	3
1.2. HIPÓTESIS.....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. FERTILIZACIÓN QUÍMICA DEL CULTIVO DEL ROSAL.....	4
2.2. REQUERIMIENTOS NUTRIMENTALES EN EL CULTIVO DEL ROSAL.....	5
2.3. NIVELES NUTRIMENTALES EN TEJIDO VEGETAL DE ROSAL.....	6
2.4. SÍNTOMAS DE DEFICIENCIA Y TOXICIDAD EN EL CULTIVO DE ROSAL.....	10
2.4.1. <i>Deficiencia y toxicidad de nitrógeno</i>	10
2.4.2. <i>Deficiencia y toxicidad de fósforo</i>	11
2.4.3. <i>Deficiencia y toxicidad de potasio</i>	11
2.4.4. <i>Deficiencia y toxicidad de calcio</i>	12
2.4.5. <i>Deficiencia y toxicidad de magnesio</i>	12
2.4.6. <i>Deficiencia y toxicidad de azufre</i>	13
2.4.7. <i>Deficiencia y toxicidad de manganeso</i>	13
2.4.8. <i>Deficiencia y toxicidad de hierro</i>	14
2.4.9. <i>Deficiencia y toxicidad de cobre</i>	15
2.4.10. <i>Deficiencia y toxicidad de boro</i>	15
2.4.11. <i>Deficiencia y toxicidad de zinc</i>	16
2.4.12. <i>Deficiencia y toxicidad de molibdeno</i>	16
2.4.13. <i>Toxicidad por cloro</i>	17
2.4.14. <i>Deficiencia de oxígeno</i>	17
2.5. IMPORTANCIA DE LOS FERTILIZANTES ORGÁNICOS.....	17
2.6. IMPORTANCIA DE LA MATERIA ORGÁNICA EN EL SUELO.....	19
2.6.1. <i>Materia orgánica</i>	19
2.6.2. <i>Humus</i>	20
2.6.3. <i>Proceso de descomposición de la materia orgánica</i>	21
2.6.4. <i>El efecto estimulante de las sustancias húmicas sobre el crecimiento vegetal</i>	22
2.6.5. <i>Características generales de algunas fuentes de materia orgánica</i>	23
2.6.5.1. <i>Corteza de pino</i>	23
2.6.5.2. <i>Fibra de coco</i>	24
2.7. ELABORACIÓN DE COMPOSTAS.....	25
2.7.1. <i>Etapas de descomposición de los residuos orgánicos</i>	26
2.7.2. <i>Condiciones ambientales para un buen compostaje</i>	27
2.7.2.1. <i>Humedad</i>	27
2.7.2.2. <i>Aireación</i>	28
2.7.2.3. <i>Temperatura</i>	29
2.7.3. <i>Características de una composta de buena calidad</i>	29
2.7.3.1. <i>Maduración de la composta</i>	30
2.7.3.2. <i>Grado de descomposición</i>	30
2.7.3.3. <i>Relación C:N</i>	31
2.7.3.4. <i>Conductividad eléctrica y pH</i>	32
2.7.3.5. <i>Tamaño de la partícula</i>	32
2.7.3.6. <i>Condiciones de almacenaje</i>	32
2.7.3.7. <i>Impurezas</i>	33
2.7.3.8. <i>Contenido de metales pesados</i>	33
2.8. EFECTO DE LA LOMBRIZ SOBRE LA ELABORACIÓN DE COMPOSTAS.....	34
2.8.1. <i>Características generales de E. foetida</i>	35
2.8.2. <i>Clasificación taxonómica de la lombriz</i>	36
2.8.3. <i>Ciclo de vida de la lombriz</i>	36

2.8.4.	<i>Proceso de digestión</i>	37
2.8.5.	<i>Proceso de excreción</i>	38
2.8.6.	<i>Efectos benéficos de la lombriz en la planta y en el suelo</i>	39
2.8.6.1.	Efectos sobre el crecimiento vegetal	39
2.8.6.2.	Efectos de la lombriz en el suelo.....	41
2.8.7.	<i>Mecanismos de acción de la lombriz sobre el crecimiento vegetal</i>	42
2.8.7.1.	Descomposición de la materia orgánica	43
2.8.7.2.	Aporte de nutrimentos.....	44
2.8.7.3.	Producción de Hormonas	46
2.8.7.4.	Formación de los agregados del suelo y galerías.....	47
2.8.8.	<i>Factores que afectan la disponibilidad de los nutrimentos en las vermicompostas</i>	49
2.8.8.1.	Relación C:N.....	49
2.8.8.2.	Biomasa	49
2.8.8.3.	Distribución de las raíces	50
2.8.8.4.	Estacionalidad, temperatura y humedad	51
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	53
3.1.	UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	53
3.2.	ELABORACIÓN DE LAS VERMICOMPOSTAS.....	54
3.3.	CARACTERIZACIÓN DE LAS VERMICOMPOSTAS	56
3.3.1.	<i>Densidad aparente (d_a)</i>	56
3.3.2.	<i>Porosidad total</i>	56
3.3.3.	<i>Constantes hídricas</i>	57
3.3.4.	<i>Color</i>	57
3.3.5.	<i>Relación C:N</i>	57
3.3.6.	<i>Análisis Nutricional de las Vermicompostas</i>	58
3.3.6.1.	Nitrógeno total.....	58
3.3.6.2.	Nitrógeno disponible ($N-NO_3$).....	59
3.3.6.3.	Fósforo.....	60
3.3.6.4.	Potasio	60
3.3.6.5.	Calcio y Magnesio	61
3.3.6.6.	Micronutrimentos	61
3.4.	APLICACIÓN DE LA VERMICOMPOSTA AL CULTIVO DEL ROSAL	61
3.4.1.	<i>Características generales del suelo</i>	61
3.4.2.	<i>Preparación de terreno</i>	62
3.4.3.	<i>Preparación de las camas</i>	62
3.4.4.	<i>Características generales del material vegetal</i>	63
3.4.5.	<i>Clasificación de los rosales</i>	63
3.4.6.	<i>Transplante de los rosales</i>	64
3.4.7.	<i>Tutoreo</i>	64
3.4.8.	<i>Producción de basales</i>	64
3.4.9.	<i>Manejo de los basales</i>	65
3.4.10.	<i>Cosecha</i>	65
3.4.11.	<i>Riegos</i>	66
3.4.12.	<i>Control de plagas y enfermedades</i>	66
3.4.13.	<i>Fertilización</i>	69
3.4.14.	<i>Forma de aplicación de los fertilizantes</i>	69
3.4.15.	<i>Tratamientos y Diseño experimental</i>	70
3.4.16.	<i>Variables respuesta</i>	71
3.4.17.	<i>Análisis foliar de macronutrimentos y micronutrimentos del cultivo de rosal</i>	71
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	72
4.1.	PROCESO DE VERMICOMPOSTEO.....	72
4.1.1.	<i>Temperaturas durante el vermicomposteo</i>	72
4.1.2.	<i>pH durante el vermicomposteo</i>	81
4.1.3.	<i>Relación C:N durante el vermicomposteo</i>	84
4.2.	CARACTERIZACIÓN DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VERMICOMPOSTA	88

4.2.1.	Densidad aparente, porosidad punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC)	88
4.2.2.	Color.....	91
4.3.	CONTENIDO DE NUTRIMENTOS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE VERMICOMPOSTA.....	93
4.3.1.	Nitrógeno disponible y total.....	93
4.3.2.	Calcio.....	100
4.3.3.	Magnesio.....	101
4.3.4.	Boro.....	101
4.3.5.	Cobre.....	102
4.3.6.	Hierro.....	102
4.3.7.	Manganeso.....	103
4.3.8.	Zinc.....	103
4.4.	RESPUESTA DEL ROSAL A LA APLICACIÓN DE VERMICOMPOSTA.....	104
4.4.1.	Longitud del botón floral (LBF)	104
4.4.2.	Diámetro del botón floral (DBF).....	106
4.4.3.	Peso fresco del botón floral (PFBF).....	106
4.4.4.	Peso seco del botón floral (PSBF).....	107
4.4.5.	Longitud de tallo (LT).....	109
4.4.6.	Grosor de tallo (GT).....	109
4.4.7.	Peso fresco de tallo (PFT).....	109
4.4.8.	Peso seco de tallo (PST).....	110
4.4.9.	Número de basales (BA).....	111
4.4.10.	Número de flores(NOFL).....	112
4.5.	ANÁLISIS FOLIAR DE PLANTAS TRATADAS CON VERMICOMPOSTAS Y FERTILIZACIÓN COMERCIAL	113
5.	CONCLUSIONES.....	116
6.	LITERATURA CITADA.....	118
7.	ANEXOS.....	130

LISTA DE CUADROS

	Pág
Cuadro 1. Niveles nutrimentales en hojas pentafoiliadas de rosál, cuando el botón esta mostrando color.	7
Cuadro 2. Niveles nutrimentales en hojas pentafoiliadas de rosál, cuando el botón esta mostrando color.	8
Cuadro 3. Niveles nutrimentales en hojas pentafoiliadas de rosál, cuando el botón esta mostrando color.	9
Cuadro 4. Relación C:N de otros tipos de materia orgánica.	25
Cuadro 5. Determinación del grado de descomposición de la materia orgánica a través de la temperatura máxima.	31
Cuadro 6. Valores límite de metales pesados en compostas usadas como mejoradores del suelo especificados por la Association for Quality Compost.	34
Cuadro 7. Proporciones y material orgánico utilizado en la preparación de las vermicompostas.	54
Cuadro 8. Mililitros de agua necesarios para alcanzar el punto de saturación en cada vermicomposta.	59
Cuadro 9. Principales plagas en el cultivo del rosál y su forma de control.	67
Cuadro 10. Principales enfermedades en el cultivo del rosál y su forma de control.	68

Cuadro 11.	Formula de fertilización comercial.	69
Cuadro 12.	Clasificación de los diferentes tipos de vermicompostas por su pH. . .	84
Cuadro 13.	Relación C:N de la mezcla de materiales orgánicos al inicio y al final del vermicomposteo.	85
Cuadro 14.	Densidad aparente, porosidad, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC) y contenido de agua aprovechable de las vermicompostas.	89
Cuadro 15.	Medición del color de los diferentes tipos de vermicompostas en seco y en húmedo, por comparación con la carta de colores Munsell.	92
Cuadro 16.	Contenido de macronutrientes y micronutrientes en los diferentes tipos de vermicomposta.	98
Cuadro 17.	Efecto de los diferentes tipos de vermicompostas y fertilización comercial (testigo), sobre las variables longitud, diámetro, peso fresco y peso seco de botón floral, en el cultivo de rosal 'Classic'. . .	105
Cuadro 18.	Efecto de los diferentes tipos de vermicompostas y fertilización comercial (testigo), sobre las variables longitud, grosor, peso fresco y peso seco de tallo, en el cultivo de rosal 'Classic'.	108
Cuadro 19.	Efecto de los diferentes tipos de vermicompostas y fertilización comercial (testigo), sobre las variables número de basales y número de flores en el cultivo de rosal 'Classic'.	111

Cuadro 20. Contenido de nutrimentos en hojas pentafoiliadas del cultivo rosal ‘classic’, Fertilizadas con las vermicompostas E90:CP10, E50:CP50, E90:PG10, E50:PG50, E90:FC10, E50:FC50 y el testigo.	115
--	------------

LISTA DE FIGURAS

	Pág
Figura 1. Comportamiento de las temperaturas durante la producción de las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y corteza de pino a diferentes proporciones (5 - mayo - 1998 al 26 - septiembre - 1998).	73
Figura 2. Comportamiento de las temperaturas durante la producción de las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y paja de gramíneas a diferentes proporciones (5 - mayo - 1998 al 26 - septiembre - 1998).	74
Figura 3. Comportamiento de las temperaturas durante la producción de las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y fibra de coco a diferentes proporciones (5 - mayo - 1998 al 26 - septiembre - 1998).	75
Figura 4. Comportamiento de las temperaturas durante la producción de las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y alfalfa a diferentes proporciones (5 - mayo - 1998 al 26 - septiembre - 1998).	76
Figura 5. Variación del pH durante la producción de los diferentes tipos de vermicompostas.	82

Figura 6.	Contenido de nitrógeno disponible y nitrógeno total en los diferentes tipos de vermicomposta.	94
------------------	--	-----------

RESUMEN

ELIZABETH URBINA SÁNCHEZ

USO DE DIFERENTES TIPOS DE VERMICOMPOSTA COMO FERTILIZANTE ORGÁNICO EN EL CULTIVO DEL ROSAL

(Bajo la dirección de L. A. Valdéz A)

El cultivo de rosal es de gran importancia económica por su demanda en el mercado nacional e internacional; sin embargo, los productores hacen un uso intensivo de los fertilizantes químicos con el propósito de obtener flores de buena calidad, lo que perjudica de manera muy severa el ambiente ocasionando la pérdida de la fertilidad del suelo y de sus características físicas como la estructura del suelo, capacidad de campo, retención de agua, porosidad etc. Por tal motivo es conveniente determinar los beneficios de la vermicomposta como fertilizante orgánico en el cultivo del rosal, por esta razón se elaboraron diferentes tipos de vermicomposta, con los siguientes materiales orgánicos y proporciones: estiércol (90, 70 ó 50%) combinado con corteza de pino, paja de gramíneas, fibra de coco ó alfalfa al 10, 30 ó 50%. Durante la etapa del vermicomposteo se reconocieron las cuatro etapas de descomposición de los materiales orgánicos, se evaluó el comportamiento del pH y la relación C:N inicial y final. Al término de esta etapa se caracterizó cada una de las vermicompostas (color, densidad aparente, densidad real, porosidad,

punto de marchitez permanente, capacidad de campo y contenido de agua aprovechable y contenido nutrimental). Posteriormente se probaron únicamente las vermicompostas elaboradas a base de estiércol 90% corteza de pino 10%, estiércol 50% corteza de pino 50%, estiércol 90% paja de gramíneas 10%, estiércol 50% paja de gramíneas 50%, estiércol 90% fibra de coco 10%, estiércol 50% fibra de coco 50% en el cultivo del rosal y se compararon con un testigo (fertilización comercial). Al analizar los datos estadísticamente con un análisis de covarianza, reflejaron que a pesar de que no existieron diferencias significativas para ninguna de las variables excepto para grosor de tallo y longitud de botón floral, sin embargo con la vermicomposta preparada a base de estiércol (50%) y corteza de pino (50%) se superó en 37% el peso fresco de botones florales obtenidos con fertilización comercial, en 10% la longitud de tallo, en 12% el grosor de tallo, en 8% el diámetro de botón floral y en 46% el peso seco de tallo. Por otro lado la vermicomposta preparada con estiércol (90%) y fibra de coco (10%) superó a la fertilización convencional en 21% en el número de basales, en tanto con la preparada con estiércol (90%) y paja de gramíneas (10%), superó en 3% el peso seco de botón floral, en 39% el peso fresco de tallo; mientras que la vermicomposta elaborada con estiércol (50%) paja de gramíneas (50%) superó en 11% la longitud de botón floral. Lo que indica que El uso de vermicompostas como fertilizantes orgánicos, igualan la calidad y la producción que se obtiene con la fertilización comercial.

Palabras clave: Lombriz de tierra, vermicomposta, fertilización, nutrición, rosal.

ABSTRACT

ELIZABETH URBINA SÁNCHEZ.

USE OF DIFFERENT TYPES OF ORGANIC FERTILIZERS (VERMICOMPOST) IN ROSE CULTURE

(Under the direction of L. A. Valdéz A).

Rose culture is of economic importance because of its demand in national and international market; nevertheless, the growers make an intensive use of chemical fertilizers in order to obtain flowers of good quality, which harms in a very severe way the environment causing the loss of soil fertility and physical properties as soil structure, field capacity. Because of these reasons it is advisable to determine the benefits of vermicompost as an organic fertilizer in rose culture. Different types of vermicompost were processed, with the following organic materials and proportions: cow manure (90, 70 either 50%) combined with pine bark, straw of graminaceous straw, fiber of the cocoir or alfalfa at the 10, 30 or 50%. During composting the four stages of decomposition of the organic materials were recognized; it was evaluated the pH and initial and final C:N rate. At the end of this stage each compost vermicompost was

characterized (color, apparent density, real density, porosity, permanent wilting point, field capacity and useful water content and nutrimental content). The vermicopost processed with cow manure 90% and pine bark 10% proved solely vermicompost processed with cow manure 90% pine bark 10%, cow manure 50% pine bark 50%, cow manure 90% straw of graminaceous 10%, cow manure 50% straw of graminaceous 50%, cow manure 90% fiber of the coir 10%, cow manure 50% fiber of the coir 50% were testes in rose plants cv. Classic and were compared with a control (commercial fertilization). Analysis of covariance" reflected no significant differences for any of the variables except for stem thickness and flower bud length, nevertheless however with vermicomposta prepared with cow manure (50%) and pine bark (50%) surpassed increased in 37% the fresh weight of floral buds obtained with commercial fertilization, in 10% the stem length, 12% the stem thickness, 8% the diameter of floral button and in 46% the dry weight of stem. On the other hand vermicompost prepared with cow manure (90%) and fiber of the coir (10%) enhanced in 21% in the number of basal stems, the vermicompost prepared with prepared with cow manure (90%) and the straw of graminaceous (10%), surpassed in 3% the dry weight of floral button, in 39% the fresh weight of stem; whereas vermicomposta processed with cow manure (50%) straw of graminaceous (50%) surpassed in 11% the length of floral button. Results indicate that the use of vermicomposts asorganic fertilizer, equals the quality and the production obtained with commercial fertilization.

KEY WORDS: Earthworm, vermicompost, fertilization, nutrition, rose.

1. INTRODUCCIÓN

El cultivo del rosal (*Rosa* sp.) es de gran importancia económica para el Estado de México, principalmente para la región de Villa Guerrero donde se cultiva para flor de corte tanto para el mercado nacional como para el internacional; sin embargo, para poder mantenerse dentro del mercado los productores tienen la responsabilidad de obtener flores de buena calidad, para lo cual hacen uso de altas cantidades de fertilizante y plaguicidas, esto junto con otras prácticas culturales traen consecuencias nefastas sobre el ambiente, como son: la pérdida de la fertilidad del suelo originada por una progresiva carencia de la materia orgánica, reducción de la fauna y flora silvestre del suelo etc. Post (1950) recomendó aplicar $680 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ al cultivo de rosal; Boodley y White, citados por Cabrera *et al.* (1993) sugieren usar $4760\text{-}6350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. White en 1987 señaló que tales proporciones eran muy bajas para los nuevos cultivares, cuya característica es su alta productividad, y por lo tanto, estas se deberían incrementar en un 50%. Posteriormente, estas concentraciones fueron consideradas excesivas por Cabrera *et al.* (1993) en por lo menos 4 o 5 veces más que lo que demanda un cultivo altamente productivo de rosa. Este exceso de fertilizantes altera las propiedades químicas del suelo por el incremento de sales, las que pueden inhibir la fijación biológica del nitrógeno y hacen vulnerables a las plantas a plagas y enfermedades, además la lixiviación de los nitratos contamina los mantos acuíferos.

El uso mezclas de materiales orgánicos que aporten un alto contenido de nutrimentos han demostrado ser una excelente alternativa en cultivos agrícolas, sin embargo, en plantas ornamentales, incluido entre ellas el rosal, existe poca información sobre el comportamiento de las plantas a las aplicaciones de materiales como el estiércol, corteza de pino, fibra de coco y alfalfa. El estiércol y la alfalfa son fuente importante de nitrógeno; la corteza de pino puede aportar un alto contenido de potasio, manganeso, fósforo y magnesio; la fibra de coco puede contribuir con potasio, magnesio y cobre.

La lombricultura es una técnica de preparación de compostas que contribuye de manera importante en la fertilidad del suelo, porque las lombrices utilizadas en su elaboración transforman restos orgánicos (material vegetal, heces animales, etc.) en compuestos asimilables por las plantas. Algunos autores han encontrado que el uso de vermicomposta incrementa el rendimiento y crecimiento vegetal, ya que contribuye a una mejor absorción de los nutrimentos porque estimula el crecimiento radical por su alto contenido de sustancias húmicas. Existen estudios en otras ornamentales, en las que el uso de vermicomposta ha dado buenos resultados, como en crisantemo (Castillo, 1999) y en nochebuena (Carrera, 1999). Por los motivos expuestos, se planteo el presente trabajo con los siguientes objetivos e hipótesis:

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

Determinar los beneficios de la vermicomposta como fertilizante orgánico en el cultivo del rosal.

1.1.2. Objetivos particulares

- Conocer las propiedades físicas y químicas de la vermicomposta, cuando se emplean diferentes materiales en su producción.
- Evaluar y proponer la vermicomposta adecuada como fertilizante orgánico en el cultivo del rosal.

1.2. Hipótesis

- Las características de la vermicomposta varían en función del material empleado para producirlas.
- El uso de vermicompostas modifica el rendimiento del cultivo del rosal.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Fertilización Química del Cultivo del Rosal

Joiner *et al.*, citado por Cabrera *et al.* (1993) y Hasek (1996) mencionaron que el método más usado para la fertilización de rosas cultivadas comercialmente es líquido, con altas concentraciones de nitrógeno que varían de 150 a 200 ppm.

Post (1950) recomendó aplicar $680 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ al cultivo de rosal; Boodley y White, citados por Cabrera *et al.* (1993) sugieren usar $4760\text{-}6350 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$. White (1987) reportó que tales proporciones eran bajas para los nuevos cultivares de alta productividad, y por lo tanto, estas se deberían incrementar en un 50%. Posteriormente, estas concentraciones se consideran excesivas en por lo menos 4 o 5 veces más que lo que demanda un cultivo altamente productivo de rosa.

Por otro lado, Richter y Jury (1986) indicaron que con el lixiviado periódico se reduce la salinidad debido a la pérdida de NO_3 de la zona radical. Morisot, citado por Cabrera *et al.* (1993) en sus estudios realizados en el Sur de Francia en invernaderos de rosas comercial, encontró niveles de N de 500 a $2200 \text{ kg N} \cdot \text{ha}^{-1}$ más abajo de la zona radical, lo cual hace evidente la contaminación por los niveles elevados de fertilizantes químicos en el cultivo del rosal.

Cabrera *et al.* (1993) haciendo un análisis de los lixiviados colectados en cultivo de rosal 'Royalty', encontraron que la pérdida de N en plantas irrigadas a una fracción de 25%, con soluciones nutritivas que contenían 77, 154 y 231 ppm era de 21, 40 y 49 % respectivamente y que las concentraciones de N en el lixiviado por año eran de 79, 257 y 441 ppm.

Los mismos autores observaron que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en cuanto al número de flores y materia seca cosechada por planta, excepto para el tratamiento con 77 ppm de N donde se observaron síntomas de deficiencia, por lo cual, incrementaron la concentración de N a 105 ppm. Ellos también calcularon que el N presente en las flores cosechadas era de un 49, 24 y 21% del N aplicado 77(105), 154 y 231 ppm respectivamente.

2.2. Requerimientos Nutrimientales en el Cultivo del Rosal

Ferrer y Salvador (1986) mencionaron que las necesidades de un cultivo de rosal son importantes. El nitrógeno influye en la producción de flor y desarrollo aéreo del cultivo, el potasio influye en la calidad de la producción, fuerza del tallo y desarrollo radicular.

Los mismos investigadores indicaron que las extracciones que hace el cultivo de rosal por metro cuadrado y año se pueden estimar en: 100 g. de nitrógeno, 25 g de ácido fosfórico (P_2O_5) y 100 g de potasa (KOH), para niveles altos de producción.

Cabrera *et al.* (1993) mencionan que los requerimientos de nitrógeno variaban entre 12.9 y 17.2 g $N \cdot planta^{-1} \cdot año^{-1}$ en plantas cultivadas en contenedores bajo diferentes concentraciones de fertilizante. Después Cabrera *et al.* (1995) mencionaron que la demanda media anual de N en plantas de rosal era de 16.8 g $N \cdot planta^{-1} \cdot año^{-1}$.

2.3. Niveles Nutrimientales en Tejido Vegetal de Rosal

Cabrera *et al.* (1995) realizaron el análisis foliar a plantas de rosal y observaron que el calcio y potasio eran los más absorbidos por la planta, con concentraciones de aproximadamente 1.3-1.5 y 2.3-2.8 respectivamente. En los (Cuadros 1, 2 y 3) se muestran guías para evaluar el contenido nutrimental de tejido vegetal de rosal, realizadas por varios autores.

**Cuadro 1. Niveles nutrimentales en hojas pentafoliadas de rosal, cuando el botón
está mostrando color.**

Nutrimento	Deficiente	Bajo	Suficiente	Alto	Excesos
Nitrógeno (N) %	< 3.0	3.0-3.5	3.5-4.5	4.5-5.0	5.0 >
Fósforo (P) %	< 0.10	0.10-0.20	0.20-0.30	0.30-0.35	0.35 >
Potasio (K) %	< 1.8	1.8-2.0	2.0-2.5	2.5-3.0	3.0 >
Calcio (Ca) %	< 0.90	0.90-1.0	1.0-1.5	1.5-1.6	1.6 >
Magnesio (Mg) %	< 0.25	0.25-0.28	0.28-0.32	0.32-0.35	0.35 >
Azufre (S) %			0.15-0.30		
Sodio (Na) %					0.20 >
Hierro (Fe) ppm	< 50	50-80	80-120	120-150	150 >
Boro (B) ppm	< 30	30-40	40-60	60-400	400 >
Zinc (Zn) ppm	< 15	5-20	20-40	40-50	50 >
Cobre (Cu) ppm	< 5	5-7	7-15	15-17	17 >
Manganeso (Mn) ppm	< 30	30-70	70-120	120-250	250 >

Fuente:(Laboratory Perry, 1987)

Cuadro 2. Niveles nutrimentales en hojas pentafoliadas de rosal, cuando el botón está mostrando color.

Nutrimento	Bajo	Suficiente	Alto
Nitrógeno (N) %	2.80-2.99	3.0-5.0	>5
Fósforo (P) %	0.21-0.24	0.25-0.5	>0.5
Potasio (K) %	1.10-1.49	1.5-3.0	>3.0
Calcio (Ca) %	0.80-0.99	1.0-2.0	>2.0
Magnesio (Mg) %	0.21-0.24	0.25-0.5	>0.5
Azufre (S) %	0.20-0.24	0.25-0.7	>0.7
Hierro (Fe) ppm	50-59	60-200	>200
Boro (B) ppm	25-29	30-60	>60
Zinc (Zn) ppm	15-17	18-100	>100
Cobre (Cu) ppm	4-5	7-25	>25
Manganeso (Mn) ppm	25-29	30-200	>200
Molibdeno (Mo) ppm	0.06-0.9	0.1-0.9	>0.9

Fuente: (Jones *et al.*, 1991)

Cuadro 3. Niveles nutrimentales en hojas pentafoiliadas de rosal, cuando el botón está mostrando color.

Nutrimento	Deficiente	Adecuado	Tóxico
Nitrógeno (N) %	< 3.0	3.0-5.0	
Fósforo (P) %	< 0.2	0.20-0.3	
Potasio (K) %	< 1.8	1.8-3.0	
Calcio (Ca) %	< 1.0	1.0-1.5	
Magnesio (Mg) %	< 0.25	0.25-0.35	
Azufre (S) %	< 0.20	0.20-0.50	
Sodio (Na) %		0.02-0.04	0.60
Cloro (Cl) %		0.24	
Hierro (Fe) en mg·kg ⁻¹	< 50	50-150	
Boro (B) en mg·kg ⁻¹	< 30	30-60	>400
Zinc (Zn) en mg·kg ⁻¹	< 15	15-50	
Cobre (Cu) en mg·kg ⁻¹	< 5	5-15	
Manganeso (Mn) en mg·kg ⁻¹	< 30	30-250	>800

Fuente: (Reuter y Robinson, 1988).

2.4. Síntomas de Deficiencia y Toxicidad en el Cultivo de Rosal

White (1987); Ferrer y Salvador (1986) mencionaron algunas de las características que presenta el cultivo del rosal ante una deficiencia o toxicidad de los nutrimentos.

2.4.1. Deficiencia y toxicidad de nitrógeno

Los primeros síntomas de deficiencia aparecen con un verde claro uniforme a amarillo grisáceo de todas las hojas, además una reducción del tamaño de la hoja, de la longitud del entrenudo y del diámetro de los tallos de los brotes más jóvenes. Las hojas de 'Red Delight' tienen los márgenes púrpura y las venas resaltan, mientras que, las hojas de tiempos mejores son más planas y verde pálido. Las flores son más pálidas, con matices más claros de lo normal. Si la deficiencia es severa, las hojas más viejas comienzan a caer y los brotes se debilitan.

Los síntomas de toxicidad por nitrógeno son similares a los de sales solubles en exceso y se caracterizan porque las hojas más viejas se hacen necróticas a lo largo de los bordes, seguido por necrosis total y abscisión.

2.4.2. Deficiencia y toxicidad de fósforo

Los primeros síntomas son reducción en el tamaño de los folíolos y del crecimiento de brotes. Con el avance de la deficiencia las hojas más viejas pierden su lustre, llegando a ser verde grisáceo, el desarrollo de la raíz se reduce y la planta entera tiene una apariencia achaparrada, algunos cultivares desarrollan un tinte púrpura en la parte inferior de la vena media. Esta coloración no debe confundirse con la coloración púrpura rojiza de crecimiento joven y sano de muchos cultivares rojos.

La toxicidad por fósforo puede causar crecimiento achaparrado y duro (leñoso), también limita la disponibilidad de cobre, hierro y zinc.

2.4.3. Deficiencia y toxicidad de potasio

Los principales síntomas de deficiencias de potasio son tallos más cortos, reducción del vigor y la producción. En algunos cultivares se observan brotes ciegos (aborción de flores), necrosis foliar y tallos débiles. Severas deficiencias de potasio pueden provocar una inclinación del cuello asociada con un mal desarrollo de los vasos conductores en el cuello del tallo, además de necrosis de brotes y pedúnculos.

Los síntomas de toxicidad por potasio son los mismos que por excesos de sales; clorosis, abscisión foliar, pérdida de raíces y marchitamiento de tallos jóvenes.

2.4.4. Deficiencia y toxicidad de calcio

Las raíces son cortas, delgadas y quebradizas, posteriormente se tornan negras y mueren. El primer crecimiento vegetativo es reducido con una ligera clorosis intervenal de las hojas más jóvenes que llegan a ser deformes, las hojas más viejas, aunque turgentes son curvadas hacia abajo y pierden su brillo llegando a ser verde grisáceo. Los márgenes de las hojas van cambiando de verde claro a amarillo y después a café. Eventualmente desarrolla un color púrpura-violeta mate hasta convertirse en manchas café a lo largo de los márgenes de los foliolos, estas manchas se unen para formar una gran mancha necrótica; la deficiencia de calcio causa flores con pétalos arrugados, deformes y con márgenes necróticos. La deficiencia de calcio, puede ser sólo una manifestación del desequilibrio calcio-boro.

La toxicidad por calcio afecta el pH y la disponibilidad de otros cationes. Por lo tanto los síntomas de toxicidad serán los mismos de los elementos que son afectados.

2.4.5. Deficiencia y toxicidad de magnesio

Los primeros síntomas de deficiencia de magnesio son: reducción en el crecimiento de los tallos y foliolos; los márgenes de los foliolos de las hojas más viejas tienden a enchinarse hacia abajo pero permanecen turgentes, retienen más clorofila que las células cercanas a la vena media, formándose una banda verde a lo largo de los márgenes de los foliolos. Aparecen manchas necróticas en ambos lados de la vena media y entre las

venas laterales de las hojas más viejas. La toxicidad por magnesio en rosal no ha sido reportada.

2.4.6. Deficiencia y toxicidad de azufre

La deficiencia de azufre aparece como una ligera clorosis intervenal de crecimiento terminal. Una severa deficiencia está caracterizada por una clorosis completa y un acortamiento de los brotes y hojas más jóvenes.

La toxicidad por azufre puede ser debido a excesos de sulfatos en el suelo o por excesos de bióxido de azufre en la atmósfera. Los excesos de sulfato en el suelo producen síntomas típicos de exceso de sales solubles, mientras que excesos de bióxido de sulfuro produce síntomas típicos de deficiencia de oxígeno como: la caída de las hojas más viejas después de una clorosis venal.

2.4.7. Deficiencia y toxicidad de manganeso

Los primeros síntomas de deficiencia de manganeso es una ligera clorosis intervenal en hojas jóvenes. Las áreas intervenales y los márgenes de los folíolos llegan a ser cloróticas mientras las áreas cercanas a la vena principal y venas laterales permanecen verdes. Conforme la deficiencia avanza, el folíolo entero llega a ser clorótico, a menudo las venas más pequeñas permanecen verdes creando una apariencia de red.

Eventualmente desarrollan manchas necróticas en las puntas de los folíolos y las hojas más viejas mueren y caen. Los síntomas de deficiencia de manganeso, zinc, hierro y excesos de sulfato de amonio son fácilmente confundidos.

Los síntomas de toxicidad por manganeso en 'better times' son manchas negras en hojas maduras y verdes, áreas necróticas en la corteza y una supresión del crecimiento terminal. Una clorosis terminal similar a la deficiencia de hierro, ya que el balance interno de estos dos elementos está estrechamente relacionado.

2.4.8. Deficiencia y toxicidad de hierro

Las hojas más jóvenes llegan a ser cloróticas y las venas más pequeñas permanecen verdes sobre una lámina amarilla. Conforme la deficiencia avanza las hojas más jóvenes incluyendo las venas llegan a ser amarillo pálido o casi blancas y pequeñas. El desarrollo de las flores es deforme cuando la deficiencia es severa. Muchas deficiencias de hierro son funcionales, es decir que a pesar de que en el suelo hay suficiente la planta no lo asimila.

El crecimiento se retrasa por un exceso en hierro y el cobre, zinc o manganeso pueden ser deficientes cuando los niveles de hierro son altos.

2.4.9. Deficiencia y toxicidad de cobre

Las hojas más jóvenes son estropeadas y presentan puntas cloróticas, más tarde el punto de crecimiento muere y las puntas de las hojas llegan a ser necróticas, posteriormente hay desarrollo de brotes laterales cortos y necróticos. Los síntomas de toxicidad por cobre en invernadero no han sido descritos en literatura.

2.4.10. Deficiencia y toxicidad de boro

En 'White Butterfly' y 'Golden Rapture No. 5' se observaron pétalos con márgenes cafés y en algunos casos necrosis en toda la flor; deformaciones a lo largo de los márgenes de los pétalos. En 'Forever yours' encontraron pétalos con venas oscuras, márgenes cafés y redes azuladas en los pétalos internos.

Los primeros síntomas de toxicidad por boro son una distintiva coloración café de los dientes de los folíolos de las hojas más viejas, el resto de la hoja permanece verde, después aparecen manchitas intervenales de forma irregular, que son rápidamente seguidas por una clorosis, los folíolos caen separadamente dejando a la vena media enganchada a la planta. Las hojas más viejas son las primeras afectadas.

2.4.11. Deficiencia y toxicidad de zinc

Los síntomas de deficiencia de zinc son muy similares a deficiencia de cobre, el punto de crecimiento muere y los brotes laterales son desarrollados (arrosetamiento u hojas pequeñas), las deficiencias de cobre y zinc pueden ocurrir simultáneamente.

Los primeros síntomas de toxicidad de zinc aparecen en las hojas más viejas con áreas remojadas a lo largo de la vena media y en otras venas de los folíolos; estas áreas son transparentes cuando las hojas están expuestas a la luz. Las áreas transparentes permanecen verde claro, mientras el resto del folíolo cambia primero a amarillo, después café siguiendo una abscisión irregular de los folíolos. Muy frecuentemente las puntas de los folíolos son de color café, la sección media amarilla se presenta entre mezclada con áreas transparentes verde claro, mientras la base del folíolo es verde claro. La caída del follaje es únicamente después de que esté completamente café.

2.4.12. Deficiencia y toxicidad de molibdeno

Los síntomas de deficiencia son similares en muchas formas a síntomas de estrés por humedad, siendo los más comunes poco crecimiento, tallos florales débiles y hojas secas desde los bordes y puntas hacia lo ancho con necrosis. Para algunas extensiones aparece un manchado violeta en partes vivas de la hoja. No se han reportado síntomas de toxicidad por molibdeno.

2.4.13. Toxicidad por cloro

Los primeros síntomas son manchas en los márgenes de los folíolos de las hojas más viejas color café púrpura a amarillo arena, posteriormente marchitez de las hojas jóvenes por la pérdida de la raíz y caída de las hojas más viejas.

2.4.14. Deficiencia de oxígeno

La deficiencia de oxígeno causa la caída de la hoja y clorosis de crecimientos nuevos, la vena principal y la vena lateral más larga llegan a ser clóricas antes de la caída de las hojas, algunas veces los folíolos caen primero dejando el esqueleto o raquis.

2.5. Importancia de los Fertilizantes Orgánicos

El uso de fertilizantes químicos permite obtener altos rendimientos y buena calidad de las plantas cultivadas; sin embargo, si se aplican en forma inadecuada o en exceso alteran las propiedades químicas del suelo por el incremento de sales, alteran las propiedades biológicas (micro y macroorganismos), pueden inhibir la fijación biológica del nitrógeno, hacen vulnerables a las plantas a plagas y enfermedades. La lixiviación de nitratos empleados en la agricultura contaminan los mantos acuíferos y pueden causar cáncer en el organismo humano. Además el uso de fertilizantes químicos requiere de grandes cantidades de agua y su costo es muy elevado (Ruíz, 1996).

Los efectos adversos de las prácticas de agricultura moderna tales como: contaminación de mantos freáticos, aguas superficiales y el incremento de la erosión del suelo, han estimulado el desarrollo de prácticas alternativas de manejo, en las cuales la labranza, el uso de pesticidas y fertilizantes, pueden ser reducidos (Marinissen y De Ruiter, 1993).

La floricultura requiere de un gran empleo de sustratos orgánicos; adición de macronutrientes y micronutrientes; así como el uso de reguladores del crecimiento, para obtener efectos particulares y la composta o vermicomposta de diferentes desechos orgánicos incluyendo estiércol de corral, desechos urbanos y agrícolas son usados como una alternativa en la floricultura, para la producción de fertilizantes orgánicos, además de que son compatibles con la tecnología en uso y de bajo costo de producción. (Grappelli *et al*, 1985; Cegarra y Roig, 1993).

Por otro lado, Ruíz (1999) mencionó que los fertilizantes orgánicos son aquellos materiales derivados de deyecciones y estiércoles animales, de árboles y arbustos, pastos basuras y desechos industriales, y que su aplicación en forma y dosis adecuada mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo cual es la forma más natural de fertilizar el suelo.

2.6. Importancia de la Materia Orgánica en el suelo

La materia orgánica es un material de gran interés hoy en día para economizar energía y como un medio de preservación de energía (Nappi y Barberis, 1993)

2.6.1. Materia orgánica

Es una expresión para describir todos los compuestos orgánicos en el suelo, es una mezcla de residuos animales y vegetales en diferentes estados de descomposición; también es un grupo de sustancias que son sintetizadas debido a la vida microbiana o a compuestos químicos, debido a una descomposición de microorganismos o macroorganismos vivos y sus residuos que se estén descomponiendo (Ruíz, 1991).

Una de las características de la materia orgánica es que es amorfa y está en un estado de flujo continuo; los microorganismos del suelo están continuamente rompiendo los compuestos de carbón en el suelo, ya que lo usan como fuente de energía; lo que permite que se esté liberando bióxido de carbono a la atmósfera; conforme las plantas y los animales están añadiendo nueva materia orgánica al sistema (Ruíz, 1991).

2.6.2. Humus

Son las sustancias orgánicas de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal y animal (estiércol, pajas, restos de cosecha, etc.), bajo la acción de los microorganismos del suelo y las lombrices de tierra. Al mineralizarse libera poco a poco los elementos nutritivos para la planta. Sirve de almacén a un gran número de productos orgánicos que se liberan durante la descomposición de la materia orgánica en el suelo o que son sintetizados por los microbios como: antibióticos microbianos, sustancias hormonales y catalíticas (Gros, 1981).

El humus contiene cerca del 30% de proteínas, ligninas y azúcares complejos (poliurónidos); cerca del 60% es carbono y oxígeno; 5% es nitrógeno y contiene menos cantidad de azufre, fósforo y otros elementos (Donahue *et al.*, 1981).

Las sustancias húmicas sirven como fuente y vertedero para nutrimentos tales como N, P y S, influye en las propiedades físicas del suelo y juega un papel importante en el metabolismo. Como reguladores del crecimiento, pueden afectar la absorción de nutrimentos, la actividad enzimática y cambios morfofuncionales en el tejido vegetal (Vaughan y Malcolm, 1985).

Vaughan y Malcolm (1985) mencionaron que bajo ciertas condiciones, las sustancias húmicas pueden estimular el crecimiento vegetal, la naturaleza de esta respuesta

depende de la concentración de la materia húmica, ellos indican que a altas concentraciones las sustancias húmicas son inhibitorias del crecimiento.

El humus ejerce una acción muy favorable sobre la estructura del suelo, ya que agrega las partículas en conglomerados de tamaño medio lo cual permite una buena circulación de agua, aire y la penetración de raíces en el suelo; aumenta la capacidad de retención del agua; aporta elementos minerales como nitrógeno, fósforo y potasio; aumenta la capacidad de intercambio catiónico del suelo al unirse con la arcilla para formar el complejo arcillo-húmico; asimismo forma complejos fosfo-húmicos, manteniendo el fósforo en estado asimilable por las plantas aún en presencia de caliza y de hierro libre; es una fuente de gas carbónico que contribuye a solubilizar algunos elementos minerales del suelo con lo que facilita su absorción por las plantas (Guerrero, 1990)

2.6.3. Proceso de descomposición de la materia orgánica

Se identifican tres etapas del proceso de descomposición: la primera etapa es la de fermentación, esta es la etapa principal de rompimiento de materia verde y materia seca; la segunda etapa es la de síntesis, en esta etapa es donde se vá a construir el humus; la tercera etapa es de mineralización de la materia orgánica y en éste momento está pasando a una etapa muy avanzada, se está quemando el carbón, se volatiliza el dióxido de carbono y la materia orgánica va a ser no mayor del 10 al 15% (Ruíz, 1991).

2.6.4. El efecto estimulante de las sustancias húmicas sobre el crecimiento vegetal

En el crecimiento vegetal las sustancias húmicas han estado relacionadas con el aumento en la absorción de macronutrientes, como son: nitrógeno, fósforo, potasio y magnesio; así como en el incremento de la solubilidad de los micronutrientes y estos pueden ser el mayor factor de influencia en el crecimiento vegetal, ya que se encuentran en forma inorgánica y por lo tanto disponibles para las plantas (Chen y Aviad, 1990).

Los ácidos húmicos incrementan la permeabilidad de la membrana celular, resultando en un incremento de la absorción de nutrientes. El modo de acción de las sustancias húmicas en la membrana no es clara, pero esto probablemente está relacionado a la superficie activa de las sustancias húmicas resultado de la presencia de sitios hidrofílicos e hidrofóbicos, así las sustancias húmicas pueden interactuar con las estructuras de los fosfolípidos de las membranas celulares. Estos también influyen en la producción de m-RNA, la cual es esencial en muchos procesos bioquímicos en la célula, contribuyen en la síntesis de proteínas, participan en la actividad enzimática particularmente en el metabolismo del AIA, asimismo afectan la actividad de otras enzimas como son: fosfatasa, colin esterasa y peroxidasa (Chen y Aviad, 1990).

Las sustancias húmicas de varios orígenes aumentaron el crecimiento de raíz con solución nutritiva o aplicación foliar; la elongación y formación de raíces iniciales son

afectadas. Los ácidos fúlvicos tienen un efecto ligeramente más fuerte que los ácidos húmicos sobre el crecimiento de raíz. La concentración de material húmico es importante y generalmente la respuesta decrece a altas concentraciones (Sladk, 1959).

Los ácidos fúlvicos y húmicos pueden estimular el crecimiento del tallo de varias plantas cuando se aplica foliarmente a concentraciones de 25 a 300 mg·L⁻¹. El efecto estimulante del crecimiento del tallo esta relacionado a la respuesta de la raíz a pesar del modo de aplicación (Chen y Aviad, 1990).

2.6.5. Características generales de algunas fuentes de materia orgánica

2.6.5.1. Corteza de pino

Schmilewski (1991) reconoce que la corteza de pino tiene propiedades de importancia para ser composteada, mencionó que la corteza bruta y la corteza composteada tiene una capacidad de retención de agua baja y por lo tanto durante el cultivo las plantas pueden ser regada más frecuentemente con poca agua. Tiene una alta actividad microbiana, para el rápido rompimiento de la materia orgánica. El nitrógeno mineral es limitante debido a una desfavorable relación C:N =60-100:1, por lo tanto la corteza fresca causa deficiencias de nitrógeno afectando el crecimiento vegetal y la calidad. Debido a que los árboles absorben nutrimentos, la corteza tiene un alto contenido de estos particularmente

potasio (K) y manganeso (Mn), pero también contiene fósforo (P) y magnesio (Mg), el alto contenido de Mg puede causar deficiencia de Fe. El pH de la corteza de pino está entre 4 y 7 (CaCl), lo cual se debe considerar cuando se encala. La corteza contiene sustancias inhibitorias del crecimiento tales como: resinas, taninos y fenoles las cuales protegen la vida del árbol contra plagas y enfermedades, pero pueden ser descompuestas durante el composteo. Nappi y Barberis (1993) dicen que estos materiales, tienen alto contenido de lignocelulosa y su degradación y humificación es más lenta que en otros materiales orgánicos.

2.6.5.2. Fibra de coco

Meggelen-Laagland (1995) mencionó que la fibra de coco contiene enormes cantidades de sodio que es extraído con agua (1:1.5), que tiene un pH <7.0 una CE <0.5 mS·cm⁻¹, potasio <2.0 mmol·L⁻¹, Sodio <2.0 mmol·L⁻¹, cloro <2.0 mmol·L⁻¹, hierro <10.0 μmol·L⁻¹, manganeso <3.0 μmol·L⁻¹, Boro <15.0 μmol·L⁻¹, cobre <1.0 μmol·L⁻¹, bromo <25.0 μmol·L⁻¹. En cuanto a las propiedades físicas la fibra de coco señala, que tiene una capacidad de retención de humedad de 75% a 80%, que su contenido de materia orgánica es mayor al 90%, que tiene una excelente aireación que va de un 15 a un 25%. En el Cuadro 4, se muestra la relación C:N de algunas fuentes de material orgánico.

Cuadro 4. Relación C:N otros tipos de materia orgánica.

Material	Relación C:N
Paja de gramíneas	80:1
Paja de leguminosas	12-24:1
Hojas	50:1
Aserrín	300-500:1
Paja	75-150:1
Estiércol de vaca con paja	15-25:1
Algas	19:1
Hoja de alfalfa molida	24:1

Fuente: (Ruíz, 1999)

2.7. Elaboración de Compostas

Composta es el producto final de una serie de transformaciones químicas, bioquímicas y microbiológicas, las cuales convierten los desechos orgánicos en materiales más o menos humificados. Los nutrientes conservados a través del proceso de compostaje, muchos vuelven a ser adsorbidos en las fibras de celulosa o pueden ser incorporados en la masa húmica, para ser liberados lentamente y estar disponibles para la planta en un periodo largo. La microflora continuamente mineraliza sustancias y sintetiza toda una serie de metabolitos biológicamente activos, listos para influenciar el crecimiento y metabolismo vegetal, aparecen productos semejantes a humus como el compost. Por lo

tanto, de acuerdo al nivel de humificación estos estimulan la absorción y asimilación de nutrientes, tienen propiedades coloidales y buffer, tienen una influencia positiva en la síntesis de proteínas y presentan una actividad semejante a las hormonas (Cegarra y Roig, 1993).

2.7.1. Etapas de descomposición de los residuos orgánicos

La composta pasa por 4 etapas de descomposición (mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración), las cuales se describen a continuación:

Durante la etapa mesofílica los microorganismos son responsables del calentamiento de la materia orgánica hasta alcanzar los 40 °C, momento en el cual son sustituidos por organismos termófilos, que se encargan de elevar la temperatura hasta 70 °C, esta etapa es conocida como termofílica, durante esta etapa se presenta una descomposición más rápida de la materia orgánica. La temperatura óptima de descomposición termofílica tomando en cuenta la producción de CO₂ es de 50 a 60 °C, teniendo resultados desventajosos con temperaturas mayores de 60 °C. El fin de la etapa termofílica se alcanza cuando la temperatura máxima es menor de 40 °C (Pinto, 1995). Enseguida da inicio la etapa de enfriamiento, la cual dura aproximadamente un par de semanas, para que otros organismos como: las hormigas, ciempiés, larvas, nemátodos etc.; puedan seguir descomponiendo la materia orgánica (etapa de maduración), ya que son organismos que prefieren alimentarse de restos vegetales, sustancias excretadas por los

microorganismos que les precedieron, transformándolos en otros benéficos para el suelo (Sacristan, 1994).

Por otro lado, la lombriz se alimenta de hojas predigeridas por los microorganismos. Una lombriz hambrienta es capaz de consumir hasta una docena de hojas y bajo condiciones ideales de temperatura y humedad convierte el material de desecho en un oloroso, oscuro y desmenuzable componente indispensable de la tierra (Sacristán, 1994).

2.7.2. Condiciones ambientales para un buen compostaje.

Nappi y Barberis (1993) indicaron que el proceso de composteo puede incluir una mezcla adecuada de materiales crudos, un proceso de oxidación intenso y un chequeo periódico de humedad, temperatura y oxígeno, además parámetros biológicos.

2.7.2.1. Humedad

El contenido óptimo de humedad de la biomasa para el rápido composteo termofílico y aeróbico es de 40 a 60% en base a peso (FAO, 1983). Por otro lado, la actividad cesa cuando el contenido de humedad es menor al 12% y es esencial cierta cantidad de humedad para las bacterias que están en el compost. Mientras que, si hay exceso de humedad suceden varias cosas: descenso de temperatura, desarrollo de un pésimo olor y descarga de un líquido por el drenaje de la pila (Naranjo, 1984).

Schmielewski (1991) sugirió que las condiciones microbiológicas favorables son dadas si el contenido de humedad se mantiene en 35% en base a peso. También dice que, compostas con altas cantidades de materia orgánica (> 40% en base a peso) necesita mayor contenido de humedad y viceversa.

Nappi *et al.* (1992) mencionaron que, el contenido de humedad no debe exceder el 70% y nunca menos de 40 para evitar el fenómeno de asfixia y asegurar el mejor desarrollo microbiológico.

2.7.2.2. Aireación

La aireación tiene la finalidad de suministrar oxígeno y extraer calor, esta se realiza por medio de volteos periódicos, cuando la humedad exceda 60% o cuando la temperatura en las capas intermedias de la pila se acerca a 70% (Cole, 1998).

Una alta densidad en el material para compostear implica un incremento en el peso y una disminución de la porosidad y el volumen de aire. Por el contrario una densidad muy baja causa aireación excesiva de sustrato e indirectamente una disminución de la fracción de agua disponible (Cole, 1998).

Zucconi *et al.* (1985) mencionaron que el proceso de estabilización fue más rápido con el aumento de oxígeno y que la duración de la producción de toxinas se redujo en sistemas ventilado.

Los valores de porosidad deben de fluctuar de 85 a 90%, ya que indica el volumen que está libre de componentes sólidos y por lo tanto disponible para los componentes líquidos y gaseosos (Nappi y Barberis, 1993).

2.7.2.3. Temperatura

El control de la temperatura es difícil porque se trabaja con tres componentes, producción de calor, retención de calor y pérdida de calor por aire, por paredes y por evaporación de agua. El control de la temperatura es de gran importancia para asegurar una composta buena, segura y sin patógenos (Cole, 1998).

En la etapa de maduración de la composta donde comienza a actuar la lombriz de tierra en la transformación de los desechos orgánicos en compuestos asimilables por las plantas, es necesario mantener una temperatura de la vermicomposta a 25 °C, con una humedad de 70 a 80% y un pH de 6.8 a 7.2, para el buen desarrollo de la lombriz (Martínez, 1996).

2.7.3. Características de una composta de buena calidad

Las compostas de buena calidad deben de cumplir con las siguientes características, para poder utilizarlas sin ningún riesgo en los cultivos.

2.7.3.1.Maduración de la composta

Zucconi *et al.* (1985) mencionaron que la toxicidad metabólica está asociada con una pero no con todas las etapas del compostaje. Dicen que la producción de fitotoxinas en procesos bióxicos caracteriza la etapa inicial de descomposición, su intensidad y duración depende de varios factores. Rosen *et al.* (1993) indicaron que las compostas inmaduras pueden causar fitotoxicidad, posiblemente por los compuestos orgánicos intermedios producidos durante la etapa inicial de descomposición.

2.7.3.2.Grado de descomposición

Schmielewski (1991) mencionó que la descomposición de la materia orgánica tiene que ser asegurada y que la habilidad de calentamiento de las compostas, durante y después de la fase de compostaje permite una evaluación del grado de descomposición (Cuadro 5).

Cuadro 5. Determinación del grado de descomposición de la materia orgánica a través de la temperatura máxima.

Grado de descomposición	Temperatura máxima (°C)	Aplicable o no aplicable
I = Composta fresca	60 – 70	Inadecuada para usar
II = Composta fresca	60 – 50	inadecuada para usar
III = Composta fresca	40 – 50	inadecuada para usar
IV = madura	30 – 40	Aplicable
V = madura	20 - 30	Aplicable

Fuente: (Schmilewski 1991)

2.7.3.3.Relación C:N

La relación C:N es usada principalmente para definir la calidad de la composta, ya que es un buen indicador de la estabilidad biológica de esta. La relación C:N parece esencial para determinar la calidad de la composta considerando las características iniciales del producto (Colin *et al.*, 1985). Por otro lado, Rosen *et al.* (1993) mencionaron que una adecuada relación C:N debería estar entre 15:1 a 20:1 (la inmovilización de N dentro de este rango es mínima); además indicaron que con una relación C:N mayor a 30 ocurrirá la inmovilización del N.

2.7.3.4. Conductividad eléctrica y pH

Rosen *et al.* (1993) recomendaron que el contenido de sales solubles debe de ser conocido, ya que concentraciones mayores que 2 a 3 dS·m⁻¹ en pasta saturada, causa necrosis marginal en algunas especies vegetales. También indicaron que el pH de la composta final usualmente es alcalino, lo cual es adecuado para limitar la disponibilidad de metales pesados, pero puede inducir deficiencias de micronutrientes.

2.7.3.5. Tamaño de la partícula

El tamaño de la partícula influye en la porosidad y la concentración de sales, debido a que partículas más pequeñas permiten la mineralización más rápida y un probable incremento en la acumulación de sales, por que el área superficial es mayor. Además cuando el tamaño de partícula disminuye, la porosidad disminuye. Por otro lado partículas mayores a 1.25 cm provocan un estrés de nitrógeno en las plantas, siendo la mayor justificación para tener partículas mayores a 1.25 cm el mejoramiento del drenaje (Gouin, 1993).

2.7.3.6. Condiciones de almacenaje

Gouin (1993) mencionó que se debe tener cuidado en las pilas de compostaje en la etapa inicial, ya que bajo condiciones anaerobias se produce una composta que contiene ácido

acético y metanol o metano. También si la composta se almacena en condiciones anaerobias tendrá un pH de 3.0 y 3.5 debido a la acumulación de ácido acético.

2.7.3.7. Impurezas

Los materiales tales como: plásticos, vidrio, metal, caucho, semillas viables y partes de plantas, dañan la calidad de la composta y afecta su aplicación. Las piedras también son indeseables pero no son consideradas como impurezas (Schmilewski, 1991)

2.7.3.8. Contenido de metales pesados

La Association for Quality Compost, una asociación alemana se encarga de promover el uso de compostas de calidad en la horticultura, utilizando desechos orgánicos y sugirió los valores límite de metales pesados en compostas usadas como mejoradores del suelo, referidos a compostas con 30% de peso de materia orgánica en materia seca, los resultados analíticos se muestran en el Cuadro 6. (Schmilewski, 1991).

Cuadro 6. Valores límite de metales pesados en compostas usadas como mejoradores del suelo especificados por la Association for Quality Compost.

Elemento	mg·kg materia seca
Cadmio	1.5 (1)
Plomo	150 (100)
Cobre	100 (75)
Zinc	400 (300)
Cromo	100 (100)
Níquel	50 (50)
Mercurio	1 (1)

Nota: Los valores en el paréntesis son los valores límite especificados por la Association for Quality Compost, que se encarga de la regulación de contenido de metales pesados máximos, en compostas usadas como mejoradores de suelo.

2.8. Efecto de la Lombriz sobre la elaboración de compostas

Dentro del grupo de los diferentes materiales composteados, los materiales trabajados con lombrices (excretas) presentan interesantes propiedades para aplicarlos en floricultura como fertilizantes orgánicos, los cuales son fuente de materia orgánica, contienen apreciables cantidades de nutrimentos y muestran actividad fitohormonal que favorece la absorción de nutrimentos y asimilación. Estos materiales difieren de otros de acuerdo a su origen, el cual determina su composición química; sin embargo, cuando

el material tiene el mismo origen, las excretas de lombriz presentan características muy reproducibles (Cegarra y Roig 1993).

La vermicomposta denominada también “humus de lombriz” es el resultado de la transformación de materiales orgánicos por las lombrices llamadas comercialmente “híbridos de California”, el proceso de transformación consiste en pasar el material orgánico por su intestino y en este se mezcla con elementos minerales, microorganismos y fermentos que provocan la transformación bioquímica de la materia orgánica; de esta manera sus deyecciones quedan enriquecidas y predigeridas, con lo que se acelera la mineralización y la humificación de las sustancias orgánicas que lo componen. (Guibertau y Labrador, 1991).

El valor nutritivo del producto resultante es muy variable y va a depender de la calidad del alimento que la lombriz consume. El alto contenido de sustancias húmicas es un factor que favorece el desarrollo y penetración de las raíces, buena capacidad de retención de agua, pH cercano al neutro y rica en nutrientes que pueden ser fácilmente aprovechados por las plantas (Martínez, 1996).

2.8.1. Características generales de *E. foetida*

Bugg (1997) mencionó que *E. foetida* tiene un cuerpo cilíndrico cuyas dimensiones son de 35 a 130 mm de largo por 3 a 5 mm de grueso, su coloración varía de púrpura, rojo, rojo oscuro y rojo cafésoso; hay algunas lombrices unicoloreadas y hay otras que tienen

bandas alternas de rojo a café en el dorso con áreas intersegmentales amarillas, son de hábitat epigeo con poca tendencia a hacer galerías en el suelo mineral, se alimentan de residuos y muy poco suelo, viven un máximo de 4 a 5 años y producen alrededor de 900 huevos por año. Según Martínez (1994) la temperatura óptima para el desarrollo de *E. foetida* es de 25 °C, con una humedad de 70 a 80% y un pH de 6.8 a 7.2.

2.8.2. Clasificación taxonómica de la lombriz

La lombriz de tierra se clasifica dentro del filum anélida, la clase Oligochaeta, el orden Opisthoporus y la familia lombricidae y se caracteriza por presentar una segmentación interna y externa en el cuerpo. Cada segmento semeja a un anillo, característica base de su clasificación anélida. Oligochaeta se diferencia de polichaeta y hirudinea por la presencia de pocas cerdas en cada segmento (Martínez, 1996).

2.8.3. Ciclo de vida de la lombriz

Compagnoni y Putzolu (1983); Ferruzi (1994) indicaron que las lombrices son hermafroditas y que se reproducen por fecundación cruzada. Así, durante el acoplamiento hay intercambio de espermatozoides y lo retiene en su propio aparato genital femenino hasta la fecundación, esta se efectuará a través del clitelium, cuyas glándulas producen el capullo, cápsula o cocon de color amarillo verdoso con un tamaño aproximado de 2 a 3 x 3 a 4 mm de forma periforme; de donde emergen de 2 a 21 pequeñas lombrices de color blanco después de 14 a 21 días de incubación. A los 5 ó 6

días adquieren una tonalidad rosa y a los 15 a 20 días se parece fenotípicamente a sus progenitores.

2.8.4. Proceso de digestión

Gansen, citado por Edwards y Lofty (1977) trabajó en detalle el proceso de digestión de *E. foetida*, y encontró que la parte delantera del sistema digestivo (segmentos 1-14), la cual denominó zona de recepción contiene la boca sensitiva y prensil, el esófago y la glándula faringe la cual secreta una mucosidad que contiene una amilasa. Las enzimas proteolíticas son secretadas por las glándulas salivales de algunas especies. Dentro del esófago está la glándula calcífera, las cuales secretan partículas de carbonato de calcio amorfas cubiertas con moco, se cree que esta influye en el pH del fluido intestinal y que tiene la función de regular los niveles de calcio en la sangre, puede ser la responsable de la secreción de los excesos de carbonato de calcio en la sangre absorbidos del suelo. Los segmentos 15-44 los denominó zona secretoria la cual contiene el buche separado por el estómago y el intestino. La fuerte acción muscular de la pared del cuerpo del estómago trae superficies opuestas de la delgada cutícula interna una contra otra, así pulveriza la materia orgánica y el suelo, que pasa al intestino. *E. foetida* secreta 2 proteasas y una amilasa principalmente de las células ciliadas, las células globulares de la pared intestinal secretan en su mayoría mucosidad. La última zona del segmento 44 al ano en *E. foetida* fue denominada zona de absorción; ahí el material mal digerido contenido en el intestino llega a ser cubierto por una membrana peritrófica y cuando es secretado cubre las excretas de la lombriz.

2.8.5. Proceso de excreción

Edwards y Lofty (1977) mencionaron que los principales órganos de excreción en la lombriz son las nefridias, las cuales excretan materiales de desecho desde el fluido celómico hacia al exterior a través de los nefridioporos como orina consistiendo principalmente de amonio y urea; también se ha reportado ácido úrico y allantoina en este fluido.

Hay por lo menos 2 nefridias en cada segmento, las cuales tienen varios modos de acción. Primeramente el fluido celómico contiene materiales de excreción que en solución pasa a través nefrostoma y a lo largo del tubo nefridial por acción de los cilios que actúan como un tamiz. La nefridia funciona como un filtro porque hay mucho más urea y amonio, pero producen menos creatina y proteína en la orina que en el fluido celómico. La composición de la orina cambia con el paso del fluido a lo largo del nefridio, pero no se sabe si los cambios osmóticos son debido a la reabsorción de sales o secreción de agua. Ciertamente en la orina es más baja la presión osmótica que el fluido celómico. Hay algunas evidencias que gránulos de materiales de desecho pueden ser absorbidos por el tubo ciliado de la pared media y permanecer ahí, esas partes de la nefridia pueden actuar como riñones de acumulación. El nitrógeno es también excretado en las heces como amonio, el posible origen de éste puede ser debido a la alimentación de la lombriz y a que puede ser producido por la flora intestinal (Edwards y Lofty, 1977).

Hay otros mecanismos de excreción en la lombriz, se sabe que productos del metabolismo son fácilmente accesibles al fluido sanguíneo o celómico desde donde pueden ser excretados. Células especiales llamadas cloragogenas, las cuales pertenecen al epitelio celómico del intestino, son importantes en la remoción de materiales de desecho de la sangre, aunque se ha sugerido que también transportan nutrientes entre los tejidos y los órganos (Edwards y Lofty, 1977).

2.8.6. Efectos benéficos de la lombriz en la planta y en el suelo

Logsdon y Linden (1992) sugieren que las lombrices pueden incrementar potencialmente el crecimiento de un cultivo por muchas razones: incrementa la absorción de nutrientes, mejora las propiedades físicas del suelo, proporcionan una mejor mezcla del suelo dando una mejor distribución de los residuos, fertilizantes y nutrientes; e incrementa el porcentaje de infiltración.

2.8.6.1. Efectos sobre el crecimiento vegetal

Zhao Shi Wei y Hong Fu-Zhen (1992) mostraron en sus estudios que la aplicación de fertilizantes químicos junto con la vermicomposta incrementa la absorción y la producción neta de trigo y caña de azúcar, respectivamente. Además de disminuir la pérdida de nitrógeno en el suelo.

Kale *et al.*, (1992) estudiaron la posibilidad de reducir el uso de fertilizantes químicos por el uso de vermicomposta como fertilizante orgánico en el cultivo de arroz para verano var. HAMSA, aplicando en la parcela control la dosis recomendada de estiércol composteado de granja y la fertilización química, mientras que en la parcela experimental, solamente aplicaron la mitad de la dosis de fertilización recomendada tanto química como de la vermicomposta y analizaron el efecto de esta.

Los mismos autores observaron en la parcela experimental un incremento significativo en la colonización de actinomicetos y esporas; niveles altos de N total y fósforo, a pesar de que recibió menos cantidad de fertilizante. También indicaron que hubo una mayor cantidad de N fijado (3.48×10^3) en la parcela experimental, que en la parcela control (2.16×10^3). La absorción de nitrógeno en los tallos de la parcela experimental fue significativamente mayor ($17.40 \text{ mg N.g}^{-1} \text{ tallo}$) que en los tallos de la parcela control ($4.98 \text{ mg N.g}^{-1} \text{ tallo}$), lo cual mostró que el nitrógeno estuvo más disponible en la parcela experimental.

Spain *et al.* (1992) adicionaron lombrices a un suelo infértil derivado de granito y observaron un incremento en el crecimiento de maíz y pasto guinea. Ellos también evaluaron el efecto de 2 diferentes biomasas de *Millsonia anomala* en el crecimiento de *Panicum maximun* y encontraron que las concentraciones de nitrógeno y fósforo en las raíces variaban entre 0.13 a 0.64% y 0.17 a 0.63% respectivamente y que las concentraciones de ambos elementos tenían una correlación positiva con la biomasa de lombrices vivas.

Cegarra y Roig (1993) aplicaron vermicomposta a acodos de diferentes especies ornamentales y encontraron que estimuló la iniciación radical, la elongación radical, el porcentaje de enraizamiento y la biomasa radical, aunque estas actúan de diferentes formas cuando es aplicada a diferentes especies.

Grappelli *et al.* 1985 obtuvieron una vermicomposta usando una mezcla de basura urbana y lodos de aguas residuales, el análisis químico de esta mostró un contenido de agua de 51.60%, pH de 6.50, C(total) 16.78% en base a materia seca., C 1.37%, N(total) 1.63%, N-NO⁻³ 0.40%, P(total) 0.92%, P-PO₄⁻³ 0.14%, K₂O 1.61%, Ca(total) 8.60%, Ca(disponible) 0.14%, Mg (total) 2.51%, Mg (disponible) 0.45%, Na 3.03%, Fe 910.10 mg kg⁻¹ de materia seca., Mn 218.40 mg kg⁻¹ de materia seca., Cu 7.20 mg kg⁻¹ de base a materia seca., B 0.35 mg kg⁻¹ de materia seca, Zn 68.30 mg kg⁻¹ de materia seca. Además probaron la vermicomposta en la propagación de plantas ornamentales y encontraron que, las excretas de la lombriz estimularon la iniciación radical, la elongación de la raíz y la biomasa de la raíz.

2.8.6.2.Efectos de la lombriz en el suelo

Los efectos benéficos de la lombriz principalmente han sido relacionados al mejoramiento del suelo e incremento de nutrimentos disponibles (Bouché, 1985; Brebels y Beeke, 1985; Grappelli, *et al* 1985).

Logsdon y Linden (1992); Syers y Springett (1984) dicen que las lombrices crean canales que permiten la penetración de las raíces en suelos no estructurados, porque mejora su estructura, además incrementa la infiltración y reduce la pérdida de agua, incrementando la disponibilidad de ésta o posiblemente la percolación profunda para mantener condiciones favorables de agua para el crecimiento del cultivo. Trojan y Linden (1992) indicaron que se mejora el transporte de solutos.

Alter y Mitchel (1992) encontraron que la quelatación combinada con el pH induce precipitación y reduce los niveles de aluminio en suelos ácidos tratados con extractos de vermicomposta. Mitchel y Alter (1993) demostraron que con extractos de vermicomposta es posible incrementar los niveles de pH en suelos ácidos, mostrando potencial para restringir la toxicidad por aluminio. También encontraron una alta proporción de sustancias húmicas (60% de materia orgánica) lo que sugiere la formación de quelatos estables con iones de aluminio.

2.8.7. Mecanismos de acción de la lombriz sobre el crecimiento vegetal

Las lombrices pueden contribuir en el crecimiento vegetal a través de la descomposición de la materia orgánica y directamente en la mineralización del nitrógeno a través del consumo, digestión y respiración/excreción e indirectamente por la influencia de poblaciones dinámicas de otra biota del suelo o por la afectación de sus condiciones ambientales (Syers y Springett, 1984; Marinissen y De Ruiter, 1993).

2.8.7.1. Descomposición de la materia orgánica

El incremento en el contenido de nitrógeno en las excretas de las lombrices ha sido atribuido a la mezcla de estiércol animal y residuos vegetales con el suelo en el tracto digestivo de la lombriz, la acción de secreciones digestivas en la mezcla incrementa la descomposición de la materia orgánica.

Edwards *et al.* (1985) dicen que el número de bacterias en los desechos se incrementa durante el paso por el intestino de la lombriz y probablemente algunos de estos son digeridos. El proceso de descomposición de los desechos por la lombriz, incrementa el área superficial, aumenta la actividad microbiana y acelera el proceso de rompimiento de los desechos animales por la fragmentación de la materia orgánica

Parle (1963a) mencionó que existe poca duda acerca de que la celulosa es fuertemente descompuesta en el intestino de la lombriz por la enzima secretada por el animal y no por microorganismos presentes en el intestino. Debido a que el tiempo que el alimento permanece en el intestino de la lombriz, no permite mucha destrucción microbiana, a menos que haya organismos celulolíticos.

El mismo autor encontró que el modo de rompimiento de la quitina es menos clara, pero la lombriz parece producir quitinaza. También mencionó que hay algunos organismos en el intestino de la lombriz, que son capaces de atacarla. Además dijo que no se sabe

cuanta quitina y celulosa es descompuesta durante el paso por el intestino de la lombriz, pero que las excretas de éstas contienen considerables cantidades de estos materiales.

Mitchell *et al.* 1982 dicen que los constituyentes de la materia orgánica son convertidos durante la respiración en un aumento de la biomasa de la lombriz, lo cual acelera la estabilización de la materia orgánica y reduce el olor y los patógenos.

2.8.7.2. Aporte de nutrimentos

Las lombrices influyen en el suministro de nutrimentos vegetales en el suelo de varias formas. Los nutrimentos presentes en el tejido son reciclados con la población muerta de lombrices y crecimiento de lombrices jóvenes. También los nutrimentos son reciclados rápidamente, a través de los procesos metabólicos de la lombriz y sus actividades alimenticias que incrementan la relación de nutrimentos (Syers y Springett, 1984).

Mitchell *et al.* (1982) dicen que *E. foetida* tiene tres funciones en la mineralización del carbono, su actividad alimenticia que acelera la descomposición y estabilización de la materia orgánica; puede mezclar mecánicamente y alterar la distribución de la materia orgánica. Zhang y Schrader (1993) encontraron un mayor contenido de carbono total y carbono orgánico en excretas y en la pared de las galerías de las lombrices que en el suelo.

Por otra parte, Mackay *et al.* (1982) observaron un incremento en el rendimiento y la absorción de P, como resultado de la incorporación del fertilizante fosforado con el suelo por las lombrices.

Parle (1963 b) mencionó que las lombrices cambian el carácter del nitrógeno ingerido, lo cual es importante en el ciclo del nitrógeno, él indicó que 96 % del nitrógeno inorgánico está en forma de amonio, el cual es rápidamente convertido en nitrato. Además dijo que las excretas de lombriz contienen más nitrógeno que el suelo circundante.

La acción de las lombrices sobre los desechos orgánicos es tal que mucho del nitrógeno es convertido a nitrato por aumento de la actividad microbiana; similarmente la cantidad de fósforo soluble, potasio y magnesio disponible para las plantas parece aumentar; sin embargo, puede haber desbalance de algunos nutrimentos como deficiencia e inmovilización (Edwards *et al.*, 1985).

Lunt y Jacobson (1994) encontraron que las excretas de lombriz contenían aproximadamente 3 veces la concentración de Mg intercambiable, 7 veces más de fósforo disponible y once veces más potasio disponible, que los primeros 150 mm del suelo de Connecticut, USA. Por otro lado, Sharpley y Syers (1976) señalaron que la superficie de las excretas de lombriz contiene aproximadamente 4 veces más fósforo inorgánico que en suelo de pastizal en Nueva Zelanda.

Según Syers *et al.* (1979) dicen que la relación C:N de las excretas de lombriz es considerablemente más pequeña que la relación C:N del suelo, lo cual se debe probablemente a la mineralización del material orgánico durante el paso a través de las lombrices y por la utilización de material orgánico de baja relación C:N en la alimentación de la lombriz.

Edwards y Fletcher (1988) dicen que los nutrimentos minerales en las excretas de lombriz y en el revestimiento de las galerías están en formas rápidamente disponibles para la planta. Mencionan que hay evidencias que la interacción entre las lombrices y los microorganismos no únicamente proporcionan nutrimentos disponibles sino que también estimulan el crecimiento en otras formas.

2.8.7.3. Producción de Hormonas

Las lombrices de tierra elaboran y secretan en sus excretas compuestos promotores del crecimiento vegetal como el ácido indolacético (AIA), que incrementa el rendimiento de los cultivos al depositar en el suelo sus excretas (Nielson, 1965).

Grappelli *et al.* (1985) extrajeron hormonas en las excretas de lombriz y encontraron 2.75 µg equiv.g⁻¹ en base a materia seca de giberelinas, 1.05 µg equiv.g⁻¹ en base a materia seca de citocininas y 3.80 µg equiv.g⁻¹ en base a materia seca de auxinas.

Muscolo *et al.* (1993) tomaron explantes de hojas de *Nicotiana plumbaginifolia* y los compararon en cultivo *in vitro* suplementados con hormonas ó sustancias húmicas (extraídas de excretas de *Allolobophora caliginosa*) de variada complejidad molecular y concentración. Encontraron cambios morfológicos y biológicos comparados con el control, a concentraciones muy bajas (1 mg L^{-1}); de esta manera, confirmaron que las sustancias húmicas tienen un efecto hormonal.

2.8.7.4. Formación de los agregados del suelo y galerías

Las lombrices han sido consideradas como uno de los grupos más importantes de la fauna del agroecosistema, por sus efectos en la estructura del suelo (Marinissen y De Ruiter, 1993). La interacción simbiótica entre las lombrices y los microorganismos, descomponen y fragmentan la materia orgánica y progresivamente la incorporan en agregados estables (Edwards y Fletcher, 1988)

Zhang y Schrader (1993) observaron algunas de las propiedades físicas y químicas de agregados de 1 y 2 mm obtenidos de excretas y de la pared de las galerías de tres especies de lombrices: *Lumbricus terrestris*, *Aporrectodea longa* y *A. caliginosa* y lo compararon con suelo, para determinar el efecto de las lombrices en la estabilización de los agregados del suelo, hicieron un análisis de textura y encontraron menos cantidades de arena gruesa en las excretas y en la pared de las galerías de las lombrices que en el suelo, debido a la ingestión selectiva de las lombrices. También vieron un incremento

en el contenido de polisacáridos debido al enriquecimiento de mucuopolisacáridos durante la digestión y el moco cutáneo.

El pasaje del suelo a través de la lombriz rompe los microagregados debido a la fractura de algunas uniones del tipo puente catión-agua e incorpora restos orgánicos recubiertos de plasma que sirvieron como núcleo para nuevos agregados. En las bolitas excretadas, el envejecimiento, el secado, la aproximación y la unión de polisacáridos de plantas, microbiana y de otros compuestos orgánicos, asociados con los fragmentos de arcilla, estabilizaron los nuevos microagregados (Shipitalo y Protz, 1989).

Parle (1963 b) ya había mencionado que las excretas frescas ya son estables debido a que tienen muchos polisacáridos; sin embargo, la estabilidad de los agregados incrementó rápidamente con la edad de las excretas, probablemente debido al aumento en la cantidad de hongos.

Shipitalo y Protz (1989) dicen que los componentes lignificados como leña, resisten la fragmentación y permanecen relativamente intactos, mientras que los tejidos menos lignificados y suaves son altamente fragmentados y pueden llegar a formar parte del plasma. Los mismos autores encontraron que el grado de agregación fue mayor cuando las lombrices fueron alimentadas con hojas de maíz y un poco menos cuando se alimentaron con alfalfa.

Por otra parte, Edwards y Lofty (1977) encontraron que considerables cantidades de materiales nitrogenados son excretados de la pared del cuerpo como mucosidad y que

ésta actúa como un lubricante, sujeta las partículas del suelo para formar la pared de las galerías y también forma un saco protector contra materiales nocivos. Además indicaron que la mitad del total del nitrógeno excretado por día está en la mucosidad.

2.8.8. Factores que afectan la disponibilidad de los nutrimentos en las vermicompostas

Existen varios factores que afectan la disponibilidad de los nutrimentos, los cuales se describen a continuación.

2.8.8.1. Relación C:N

Las lombrices ingieren material vegetal muerto de variada pero relativamente amplia relación C:N y lo convierten en material de más baja relación C:N, las excretas de lombriz tienen una más baja relación C:N que el suelo. También el nitrógeno asimilable está relacionado con el tejido muerto de la lombriz; ambos caminos de mineralización de N conducen a un incremento en la cantidad de N disponible para las plantas (Syers y Springett, 1984).

2.8.8.2. Biomasa

Las condiciones de humedad y temperatura similares; cantidad y calidad de alimento son los factores más importantes, que determinan la abundancia y biomasa de la lombriz

(Cuendet, 1984). Por otro lado el mayor porcentaje de producción de biomasa y de excretas fue durante la etapa juvenil y recién nacidas (Caroline, 1989).

Edwards *et al.* (1985) dicen que *E. foetida* responde rápidamente a la disponibilidad de alimento, con abundante alimento gran número de pequeñas lombrices tiende a reproducirse. Zou (1993) mencionó que las especies de árboles difieren en la cantidad y calidad de basura producida, y que pueden afectar las densidades de las lombrices. Otros autores indican que esto puede afectar la química y la fertilidad del suelo (Turner y Franz, 1985).

La cantidad de nitrógeno anual en el suelo principalmente como tejido muerto, proteína, moco, urea, ácido úrico y amonio, está estimado ente 18 y 92 kg·ha⁻¹, dependiendo del tamaño, actividad y la población de lombrices (Syers y Springett, 1984).

2.8.8.3. Distribución de las raíces

La disponibilidad de nutrimentos en la planta está influenciado por la distancia en la cual difunden en el suelo las raíces. Los iones fosfato se difunden a muy cortas distancias (menos que 1 mm) y sólo así el fósforo está potencialmente disponible. Si las lombrices pueden mejorar la distribución de la raíz e incrementar el volumen de suelo explorado, entonces las limitaciones en la absorción de nutrimentos se verán afectadas (Syers y Springett, 1984).

2.8.8.4. Estacionalidad, temperatura y humedad

Syers *et al.* (1979) observaron que la producción de excretas y eliminación de basura de la superficie del suelo por las lombrices, tiene una variación estacional similar, con sus máximos valores en mayo y los mínimos valores en junio y agosto, lo cual puede atribuirse a una disminución en la actividad de los invertebrados del suelo y a un menor crecimiento vegetal durante el tiempo de frío y humedad (junio- agosto).

En las excretas de lombriz el $\text{NH}_4\text{-N}$ fue siempre mayor que el $\text{NO}_3\text{-N}$, con un decremento de hasta $55 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en los meses de abril y mayo (otoño), lo cual coincide con el máximo contenido de $\text{NO}_3\text{-N}$ con un valor de $48 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Sin embargo, el $\text{NH}_4\text{-N}$ incrementó a un máximo de $112 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ durante el invierno (Syers *et al.*, 1979).

Los mismos autores mencionaron que el contenido total de nitrógeno y carbón oxidable varió ligeramente durante el período de mayor excreción, siendo un poco mayor al comienzo que al final del período. También encontraron que el contenido de nitrógeno total y carbón oxidable en el suelo no varió y era apreciablemente menor que el de las excretas.

Syers *et al.* (1979) indicaron que a 16°C el 65% de $\text{NH}_4\text{-N}$ se transformó a $\text{NO}_3\text{-N}$, mientras que a 4°C cerca del 50% del $\text{NH}_4\text{-N}$ se nitrificó.

El porcentaje de nutrimentos suministrados al suelo por las excretas de lombriz y excreción está determinado por la actividad alimenticia de las lombrices, la cual está influenciada por la humedad y la temperatura. Al igual que la mortalidad de las lombrices que también se ve afectada por la humedad y la temperatura, pero es mayor en condiciones frías y secas. Bajo condiciones ambientales favorables los contenidos de nutrimentos en el tejido muerto particularmente el N puede llegar a estar disponible para la planta (Syers y Springett, 1984).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación Del Experimento

El presente trabajo se realizó bajo invernadero en la comunidad de Xocotlán, Municipio de Texcoco, Estado de México, que se encuentra aproximadamente en el km 2 de la carretera Texcoco - Santa Catarina del Monte; dicho municipio se ubica entre los 19° 31' de latitud Norte y a los 19° 53' de longitud Oeste; la altura es de aproximadamente 2353 msnm. Limita al Norte con Salvador Atenco, San Andrés Chiautla, Tepetlaoxtoc y Papalotla; al Sur con Ecatepec, Estado de México. El clima de esta región es CB(wl)(w)(l')g, templado semiseco, con lluvias en verano teniendo una temperatura media anual de 15.9 °C (García, 1988).

El trabajo se dividió en dos etapas, la primera etapa consistió en la elaboración de diferentes tipos de vermicompostas, para usarlas en la segunda etapa como fertilizantes orgánicos en el cultivo de rosal.

3.2. Elaboración de las Vermicompostas

Esta etapa comenzó el 5 de mayo de 1998, se construyeron 12 camas cuyas dimensiones eran de 2 x 1.5 x 0.20 m. En cada cama se colocó un plástico en la base para evitar la lixiviación y se depositó 1 m³ del material orgánico (estiércol, corteza de pino, fibra de coco ó alfalfa) en las proporciones y mezclas indicadas en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Proporciones y material orgánico utilizado en la preparación de las vermicompostas.

No. de cama	Vermicomposta	Tratamientos	
Cama 1	E90:CP10	Estiércol de vaca 90%	Corteza de pino 10 %
Cama 2	E70:CP30	Estiércol de vaca 70%	Corteza de pino 30 %
Cama 3	E50:CP50	Estiércol de vaca 50%	Corteza de pino 50 %
Cama 4	E90:PG10	Estiércol de vaca 90%	Paja gramíneas 10 %
Cama 5	E70:PG30	Estiércol de vaca 70%	Paja gramíneas 30%
Cama 6	E50:PG50	Estiércol de vaca 50%	Paja gramíneas 50 %
Cama 7	E90:FC10	Estiércol de vaca 90%	Fibra de coco 10 %
Cama 8	E70:FC30	Estiércol de vaca 70%	Fibra de coco 30 %
Cama 9	E50:FC50	Estiércol de vaca 50%	Fibra de coco 50 %
Cama 10	E90:A10	Estiércol de vaca 90%	Alfalfa 10 %
Cama 11	E70:A30	Estiércol de vaca 70%	Alfalfa 30 %
Cama 12	E50:A50	Estiércol de vaca 50%	Alfalfa 50 %

En cada cama los materiales orgánicos se mezclaron, se les dió un riego pesado y se cubrieron con un plástico para favorecer el incremento de la temperatura y acelerar así la descomposición.

La temperatura se registró cada tercer día con un termómetro de suelo para observar su comportamiento en cada vermicomposta. El plástico se quitó a los 35 días (10-junio-98) cuando las temperaturas empezaron a bajar. Enseguida se construyeron microtúneles en cada cama para tener un mayor control de la humedad. Tres días después de que se quitó el plástico; se aplicaron aproximadamente 2000 lombrices por cama, para dar inicio a la maduración de las vermicompostas, durante esta etapa se registró la temperatura 2 veces por semana.

Durante todo este proceso de descomposición se tomaron muestras semanales de cada vermicomposta para medir el pH (V:V) y evaluar la relación C:N. Para la óptima producción de las vermicompostas fue necesario controlar la humedad (60 - 70%) y la aireación, con riegos y volteos frecuentes de acuerdo a las necesidades de las vermicompostas.

En noviembre de 1999 se finalizó el proceso de vermicomposteo y enseguida se secaron las vermicompostas extendiéndolas sobre un plástico, manteniendo húmedas únicamente las orillas para evitar la muerte de las lombrices.

Posteriormente se procedió a separar las lombrices de cada una de las vermicompostas, para lo cual se utilizaron: palas, una carretilla y un arnero de 0.5 mm. Las lombrices se

separaban en bolsas de plástico para reutilizarlas. Con todo esto se logró obtener los diferentes tipos de fertilizante orgánico o vermicompostas, las cuales se pusieron en costales etiquetados y se tomaron muestras en bolsas de 10 kg para evaluar sus propiedades físicas y químicas.

3.3. Caracterización de las vermicompostas

3.3.1. Densidad aparente (d_a)

Esta variable se evaluó por el método de la probeta, el cual consistió en pesar 50 g de muestra seca y molida de cada vermicomposta, se colocaron en una probeta de plástico de 50 mL, ésta se tapó y se golpeó contra un banco 20 veces un golpe por segundo, para que este fuera con la misma intensidad, esto se repitió tres veces para obtener un promedio que se utilizó para calcular la densidad aparente mediante la fórmula volumen de la muestra (v) / volumen de la muestra (v).

3.3.2. Porosidad total

Se calculó a partir de la fórmula siguiente: $P_t(\%) = (1 - d_a/d_r^{-1})$

Donde:

P_t = Porosidad total

d_r = densidad real a pesar de que su valor es propio del material, para compuestos orgánicos se tomó el valor medio de $1.50 \text{ g}\cdot\text{cm}^{-3}$ señalado por Asorena (1994).

d_a = densidad aparente

3.3.3. Constantes hídricas

El punto de marchitez permanente (PMP) y la capacidad de campo (CC) se determinó en el Laboratorio de Física de Suelos del Departamento de Suelos. El contenido de agua aprovechable se calculó a partir de la fórmula CC-PMP.

3.3.4. Color

El color se estimó por comparación con la carta de colores de suelos de Munsell, la cual tiene el siguiente arreglo: matiz o tinte (HUE) se refiere al color espectral; el brillo o pureza (VALUE) se refiere a la tenuidad del color; la saturación o intensidad (CHROMA) es la fuerza del color espectral.

3.3.5. Relación C:N

Para obtener la relación C:N, el carbón se obtuvo por cálculo a partir de la materia orgánica en el laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos de la UACH.

El contenido de N total (fracción orgánica y mineral) de las muestras, se determinó en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos por el método de microkjenldahl, para lo cual se secaron y se molieron las muestras de cada vermicomposta en un molino (Thomas Wileymil modelo DE-5). Después se pesaron 0.5 g de cada muestra y se colocaron en matraces kjenldahl, para predigestarlas con 3 mL

de una solución de ácido sulfúrico y ácido perclórico 4:1, durante un día. Posteriormente se digestaron las muestras en una plancha marca Lindberg a 280 °C con 2 mL de peróxido de hidrógeno hasta que la muestra quedó transparente, todo esto con la finalidad de destruir las matrices orgánicas que contienen nitrógeno y la incorporación de los nitratos. Enseguida se procedió a la destilación de las muestras y la obtención de las lecturas para hacer los cálculos del porcentaje de N total.

3.3.6. Análisis Nutricional de las Vermicompostas

A cada vermicomposta se le determinó su contenido de macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg), así como su contenido de micronutrientes (B, Cu, Fe, Mg y Zn).

3.3.6.1. Nitrógeno total

El nitrógeno total se determinó por el método de microkjeldahl de la manera antes mencionada para la relación C:N.

También se determinaron los niveles de todos los macronutrientes disponibles en los diferentes tipos de vermicomposta, para lo cual se hizo un extracto de saturación que consistió en pesar 250 g de vermicomposta más agua destilada y con una espátula se mezcla la muestra con el agua hasta alcanzar el punto de saturación (Cuadro 8). El extracto de saturación se dejó reposar 18 h y después se extrajo la solución en el tren de

extracción para hacer el análisis nutrimental de todos los macronutrientes por el método específico de cada nutriente.

Cuadro 8. Mililitros de agua necesarios para alcanzar el punto de saturación en cada vermicomposta.

Tipo de vermicomposta	Peso de las vermicompostas (g)	Agua necesaria para saturación (mL)
E90:CP10	250	170
E70:CP30	250	185
E50:CP50	250	190
E90:PG10	250	200
E70:PG30	250	175
E50:PG50	250	193
E90:FC10	250	190
E70:FC30	250	210
E50:FC50	250	215
E90:A10	250	205
E70:A30	250	195
E50:A50	250	200

3.3.6.2. Nitrógeno disponible (N-NO_3)

Este elemento se determinó en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Departamento de Suelos; para esto se tomaron 5 mL de alícuota de cada una de las soluciones

extractadas de los diferentes tipos de vermicompostas, se pusieron en un matraz kjeldhal y se agregaron aproximadamente de 0.05 a 0.08 g de óxido de magnesio marca Reasol y 0.05 a 0.08 del reactivo Devardas. Enseguida se procedió a la destilación, para lo cual en matraces volumétricos de 125 mL se pusieron 10 mL de mezcla indicadora de H_3BO_4 y por medio de la destilación se llevaron a 75 mL. Después se titularon con ácido clorhídrico (HCl) 0.1 N J. T Baker, hasta que viraron de verde a rosa, para tomar la lectura y hacer los cálculos de nitrógeno disponible en cada vermicomposta.

3.3.6.3. Fósforo

La determinación de este elemento se hizo filtrando en carbón activado 15 mL de las soluciones extractadas de cada vermicomposta, después se tomó una alícuota de 2.5 mL de cada filtrado, se pusieron en matraces volumétricos de 50 mL, se aforaron y posteriormente se tomó la lectura en el espectrofotómetro marca Busch & Lomb modelo spectronic 20 con molibdato amarillo a 420 nm en absorbancia.

3.3.6.4. Potasio

Para la determinación de los niveles de este elemento se siguió la metodología de espectrofotometría de emisión de flama en el Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos.

3.3.6.5. Calcio y Magnesio

Las concentraciones de estos elementos se obtuvieron por espectrofotometría de absorción atómica en el Laboratorio Central Universitario del Departamento de Suelos.

3.3.6.6. Micronutrientes

La determinación del contenido de boro, cobre, hierro, manganeso y zinc se llevó a cabo en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Posgraduados, para lo cual se hicieron extractos de saturación con cada vermicompostas tomando muestras de 20 g de vermicomposta, más 40 mL de DTPA se agitaron durante dos horas y después se filtraron con papel filtro del No. 40, para posteriormente hacer las lecturas con el ICP-AES de varian (es un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada).

3.4. Aplicación de la Vermicomposta al Cultivo del Rosal.

3.4.1. Características generales del suelo

El suelo original tenía una textura migajón arenoso con 53.6% de arena, 28% limo y 18.3% arcilla, una C.E de $0.42 \text{ ds}\cdot\text{m}^{-1}$, un contenido de materia orgánica de 2.4 % (ligeramente bajo), una CIC en $\text{meq}\cdot 100^{-1}$ de 27.9 (buena) y el nivel nutrimental era el siguiente: nitrógeno total 0.12%, fósforo $125.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, potasio $5,479.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, calcio $2,600.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, magnesio $840.0 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, boro $0.07 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, cobre $1.5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, hierro

2.47 mg·kg⁻¹, manganeso 1.04 mg·kg⁻¹, zinc 2.56 mg·kg⁻¹. Los análisis del contenido de cationes solubles mostraron lo siguiente: calcio 1.03 meq·L⁻¹, magnesio 1.21 meq·L⁻¹, sodio 1.23 meq·L⁻¹, potasio 0.28 meq·L⁻¹; en cuanto a aniones solubles se observó lo siguiente: CO₃⁻ 0.60 meq·L⁻¹, HCO₃⁻ 2.81 meq·L⁻¹, Cl⁻ 0.58 meq·L⁻¹, SO₄⁻ 0.12 meq·L⁻¹.

3.4.2. Preparación de terreno

La plantación del rosal se hizo dentro de un invernadero de 6.9 m x 20 m, el terreno se preparó haciendo un subsoleo a una profundidad de 50 cm, con un motocultor marca 'Colly Junior 4 x 4'; enseguida se niveló el terreno con rastrillo y se trazaron con hilos y estacas 4 camas de 1.10 m x 18 m dejando pasillos de 0.50 m. Después con la pala se extrajo el suelo de cada una de las camas hasta una profundidad de 50 cm, ya que se realizó esta actividad se hizo otro subsoleo con el motocultor dentro de cada cama a una profundidad de 50 cm, al término de esto, se niveló el fondo de las camas con un rastrillo.

3.4.3. Preparación de las camas

El 11 de marzo de 1999, en el fondo de cada cama ya nivelada se colocaron 4 costales de tierra de hoja, 2 carretillas de arena, 6 carretillas de estiércol de borrego, 1 carretilla de estiércol de vaca (ambos estiércoles bien composteados) y 3 kg de superfosfato triple de calcio; además como el pH del suelo era de 8.9 se pusieron 900 g de azufre por cama

con lo que bajó el pH a 8.4. Después se rellanaron con suelo y se cubrió con un plástico negro para esterilizarlas con bromuro de metilo por tres días. Posteriormente el 16 de marzo de 1999 se construyeron las camas con una altura de 0.30 m sobre la superficie del suelo, con una base de 1.10m y el lomo de 0.60 m, con palas y azadones.

3.4.4. Características generales del material vegetal

El material vegetal de rosal 'Classic' injertadas sobre *R. maneti* se obtuvo en Villa Guerrero Estado de México. El cultivar 'Classic' se distingue por tener pétalos de color rojo, un tiempo de remonte de 50-60 días, mientras que el porta injerto *R. maneti* tiene raíces más superficiales, favorece el crecimiento vegetativo, no hay caída de hojas, es resistente a la sequía y no transmite virus.

3.4.5. Clasificación de los rosales

La clasificación de las plantas antes del trasplante se hizo de acuerdo al número y grosor de brazos, con la finalidad de homogenizar las parcelas y desechar las plantas de mala calidad.

Categoría	X ó A	————	3 brazos
Categoría	XX ó B	————	2 brazos
Categoría	XXX ó C	————	1 brazo
Resto		————	Desecho

3.4.6. Transplante de los rosales

Los rosales se transplantaron el 18 de mayo de 1999 a doble hilera sobre el lomo de la cama, a una profundidad de 15 cm, a una distancia de 20 cm entre plantas y 45 cm entre hileras, quedando el punto de injerto a 8 cm aproximadamente sobre el nivel del suelo y teniendo cuidado de que las ramas quedaran hacia el centro de la cama. Inmediatamente después se dió un riego pesado y se cerraron las ventilas del invernadero; dos días después se colocó una malla sombra y se instaló el riego por aspersión. Los tres primeros días después del transplante se dieron 2 riegos al día, todo esto con el propósito de incrementar la humedad relativa y prendimiento de la planta, para de esta manera estimular la brotación.

3.4.7. Tutoreo

Para el tutoreo se colocaron seis polines por cama tres en cada lado de la cama a una distancia de 9 m; los cuales sirvieron para sujetar el alambre galvanizado, que se colocó a distancias de 30, 60 y 90 cm sobre el nivel del suelo. Esto sirvió como soporte de las plantas.

3.4.8. Producción de basales

Para la formación de los rosales fue necesario incrementar el número de basales, que son brotes que emergen a partir del punto de injerto y con un diámetro mayor al diámetro de un lápiz.

Después del trasplante emergieron ramas débiles de los brazos de las plantas injertadas a las cuales se les hizo un desbotonado en estado de chicharo (3-4 mm), con lo que se generó el crecimiento de brotes laterales, los cuales se quitaron haciendo un deshoooting ó desyemado. Con esto se logró acumular reservas (almidón, azúcares y carbohidratos), en el punto de injerto, estaquilla y raíces viejas, para estimular la producción de basales.

3.4.9. Manejo de los basales

Estos sólo se desbotonaron sin hacer deshoooting ó desyemado con la finalidad de acumular reservas en el follaje de los brotes laterales. El 28 de julio de 1999 se realizó la poda de los basales, haciendo el corte o pinchamiento por encima de la primera hoja pentafooliada. También se podaron los brotes débiles hasta la primera hoja pentafooliada, y se continuó con la práctica de desbotonado-desyemado-pinchamiento en estos brotes, hasta la cosecha.

3.4.10. Cosecha

La cosecha de las rosas de corte se llevó a cabo del 17 de septiembre al 25 de septiembre de 1999. El corte o pinchamiento de las flores se hizo dejando en el basal 2 hojas pentafooliadas y un brote ciego el cual se distinguía por que sólo tenía tres foliolos.

3.4.11. Riegos

Durante los meses de mayo a junio cuando las temperaturas eran altas se aplicaban diariamente los riegos y de julio a agosto (época de lluvias) se aplicaba cada tercer día, ya que la humedad relativa era alta y no había mucha pérdida de agua.

3.4.12. Control de plagas y enfermedades

Las principales plagas y enfermedades que se presentaron o previnieron durante el proceso de cultivo del rosal se muestran en los Cuadros 9 y 10.

Cuadro 9. Principales plagas en el cultivo del rosal y su forma de control.

Plaga	Producto	Ingrediente activo	Dosis
Pulgón	Lannate	Methonyl: S - Metil-N-[	0.75 g·L ⁻¹
Larvas	Insecticida	(metilcarbamoil) oxi]	
	Polvo soluble	tioacetimidato	
	Altamente tóxico		
Araña roja	Agimec 1.8%	Abamectina: avermectina B ₁ ,	0.3 mL·L ⁻¹
	Insecticida, acaricida	mezcla de avermectinas	
	Concentrado emulsionable		
	Thiodan 35-E	Endosulfan: 6,7,8,9,10,	0.5 mL·L ⁻¹
	Insecticida-acaricida	hexacloro -1,5,5 ^a ,6,9,9 ^a	
	Altamente tóxico	hexahidr-6,9 metano-2,4,3-	
		benzodioxatiepi-n 3 óxido.	
	Talstar 100 CE	Bifrentrina: (1 ^a ,3 ^a (2)-(+)-	0.5 g·L ⁻¹
		(metil(1,1-bifenil)-3,4 y 1	
		metil-3-(2cloro-3,3,3-trfluro-	
		lpropenil)-2,2-	
		dimetilciclopropano	
		carboxilato	
Larvas	Mavrik	Fluvalinato	1mL·L ⁻¹

Cuadro 10. Principales enfermedades en el cultivo del rosal y su forma de control.

Enfermedades	Producto	Ingrediente activo	Dosis
Cenicilla	Rally Fungicida sistémico Polvo humectable Ligeramente tóxico Curativo protectante	Myclobutanil: alfa(4-clorofenil)1h 1,24 triazol-1-propanonitrilo	0.5 g·L ⁻¹
	Folicur Fungicida agrícola y sistémico Emulsión acuosa Ligeramente tóxico Acorta los tallos	Tebuconazole alfa terciari-butil alfa (p-clorofenetil)-1H-1,2,4 triazole-1-etanol	0.5 g·L ⁻¹
	Saprol		1 mL·L ⁻¹
	Bavistin Fungicida Ligeramente tóxico	Carbendazim: 2 (Metoxicarbamoilamino) benzimidazol	1 g·L ⁻¹
Mancha negra	Alliatte Fungicida sistémico Polvo humectable Ligeramente tóxico	Fosetil-Ali Tris (O-etilfosfonato) de aluminio	1 g·L ⁻¹
	Adherente (DAP)		

3.4.13. Fertilización

Esta práctica se comenzó a hacer el 1° de mayo de 1999, cada 15 días hasta el 4 de septiembre, sólo se probaron las vermicompostas no se contaba con el material vegetal suficiente E90:CP10, E50:CP50, E90:PG10, E50:PG50, E90:FC10, E50:FC50 como fertilizante orgánico a una dosis de 2 kg por parcela ó unidad experimental; y como testigo se utilizó la formula de fertilización comercial (Cuadro 11).

Cuadro 11. Formula de fertilización comercial.

FUENTE	FORMULA PARA (5,000 m lineales)	FORMULA PARA (1 m lineal)
Nitrato de amonio NH_4NO_3	200 kg	40 g
Nitrato de calcio $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	50 kg	10 g
Fosfato diamónico $(\text{NH}_4)_2\text{PO}_4$	100 kg	20 g
Nitrato de potasio KNO_3	100 kg	20 g
Sulfato de magnesio MgSO_4	50 kg	10 g
Borax B	10 kg	2 g

3.4.14. Forma de aplicación de los fertilizantes

En cada una de las camas se marcaron y etiquetaron parcelas ó unidades experimentales con diez plantas; a las cuales se les aplicó cada uno de los tratamientos, haciendo con el

azadón un canal muy cercano a la zona radical; en ambos lados de cada parcela. Después se aplicó 1 kg de fertilizante orgánico ó vermicomposta a cada lado de la parcela y se cubrió con el azadón. Para la fertilización del testigo se hizo una mezcla de los fertilizantes químicos, se dividió en dos partes iguales y se aplicó de la misma forma.

3.4.15. Tratamientos y Diseño experimental

El diseño experimental que se utilizó fué un completamente al azar, con 7 tratamientos (6 vermicompostas y el testigo), tres repeticiones, la unidad experimental consistió de diez plantas. Los datos se analizaron por covarianza de un completamente al azar, debido a la muerte de algunas plantas dentro de las unidades experimentales, con la finalidad de ajustar las medias por número de planta.

El modelo de la covarianza esta dado por la siguiente ecuación:

$$Y_{ij} = \mu + \tau + \beta(X_{ij} - \bar{x}_{..}) + \varepsilon_{ij}$$

Y_{ij} = Medias ajustadas por número de plantas

μ = Media general

τ_i = efecto i-enésimo de los tratamientos

$\beta(X_{ij} - \bar{x}_{..})$ = Cambio promedio que sufre Y por cada unidad que se aumente

ε_{ij} = Error experimental.

3.4.16. Variables respuesta

Las variables respuesta evaluadas fueron: longitud de botón floral (LBF), diámetro del botón floral (DBF) peso fresco de botón floral (PFBF), peso seco de botón floral (PSBF); longitud de tallo (LT), grosor de tallo (GT), peso fresco del tallo (PFT), peso seco de tallo (PST); y para evaluar el rendimiento se contó el número de basales (BA) y número de flores (NOFL) por parcela.

3.4.17. Análisis foliar de macronutrientes y micronutrientes del cultivo de rosal

Para hacer el análisis foliar el 14 de septiembre de 1999 por la tarde, se tomó la primera o segunda hoja pentafoliada de cinco plantas al azar en cada unidad experimental, ya que es donde se encuentran las reservas. Después las hojas que provenían del mismo tratamiento pero diferente repetición se juntaron para hacer una muestra de 15 hojas; las cuales se lavaron en una charola con agua y jabón, después se enjuagaron en otras dos charolas con agua de la llave y por último se enjuagaron en una charola con agua destilada. Enseguida se metieron en la estufa a 70 °C para secar el material, se molieron y se digestaron para obtener los extracto para posteriormente determinar los contenidos de nitrógeno total por destilación, el potasio se determinó por el método de espectrofotometría de flama y calcio, magnesio, hierro, cobre, zinc y manganeso por espectrofotometría de absorción atómica.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Proceso de vermicomposteo

4.1.1. Temperaturas durante el vermicomposteo

En las Figuras 1, 2, 3 y 4; se presentan las curvas de la temperatura durante el proceso de vermicomposteo de los diferentes tipos de vermicomposta y se observa que el comportamiento es similar para todas las mezclas. En ellas se aprecian las cuatro etapas del composteo (mesofílica, termofílica, enfriamiento y maduración), como lo indicó Pinto (1995).

En todas las vermicompostas (Figuras 1, 2, 3 y 4), se observa que la etapa mesofílica tuvo una duración de 2 días del 5-6 mayo de 1998 (días 1 y 2), con temperaturas menores a los 40 °C. Al término de esta etapa, dió inicio la etapa termofílica que duró de 25 a 36 días, del 7 al 28 de mayo 1998 (días 3-38), período en el cual las temperaturas fueron superiores a los 40 °C, aunque con algunos descensos debido a las fluctuaciones ambientales. También se observa que la temperatura más alta se presentó el 9 de mayo de 1998 en todas las vermicompostas, 5 días después del inicio del composteo, excepto para las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol y fibra de

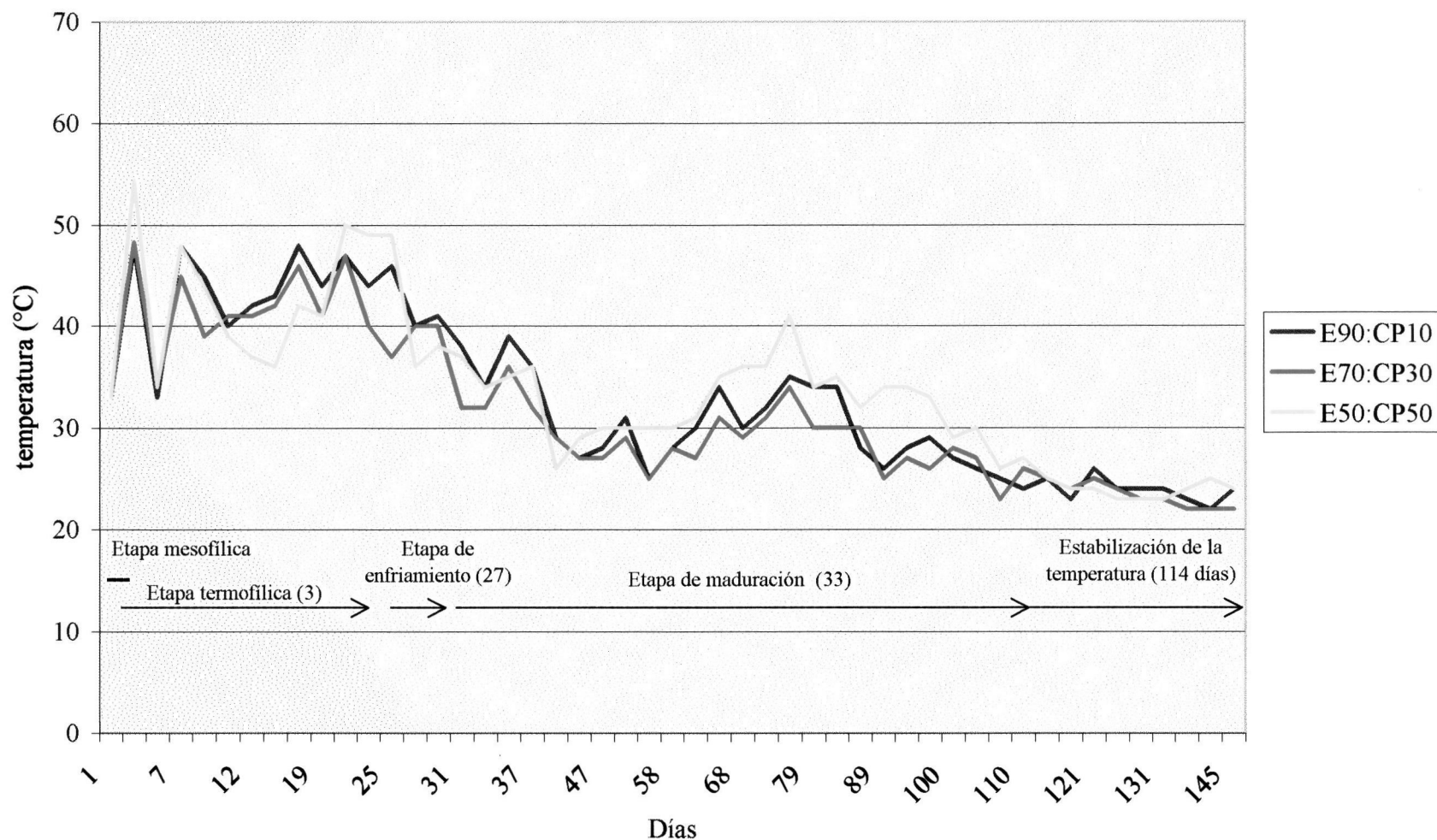


Figura 1. Comportamiento de la temperatura durante la producción de vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y corteza de pino a diferentes proporciones (5-mayo -1998 al 26-septiembre-1998).

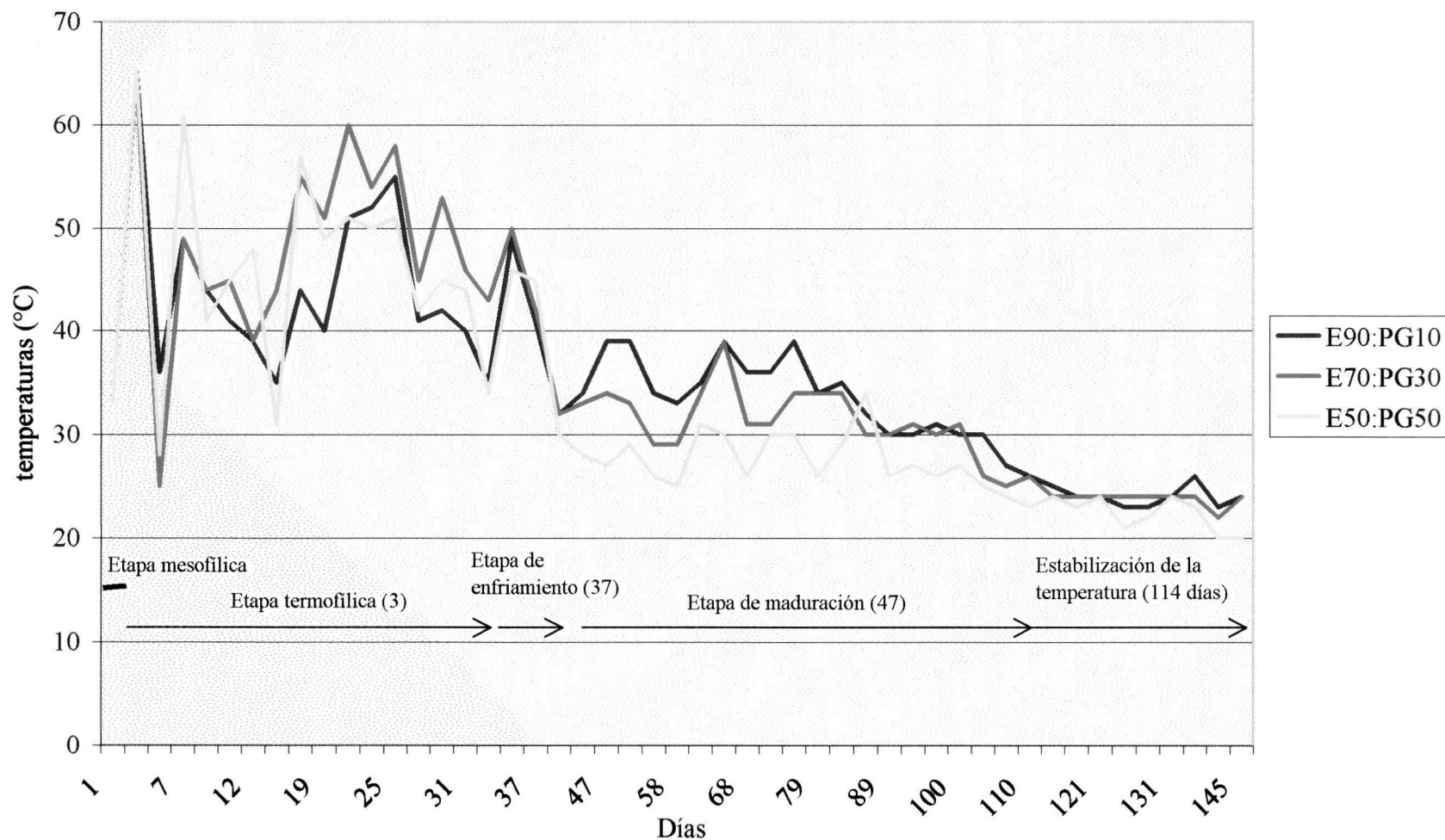


Figura 2 . Comportamiento de las temperaturas durante la producción de las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y paja a diferentes proporciones (5-mayo-1998 al 26-septiembre-1998).

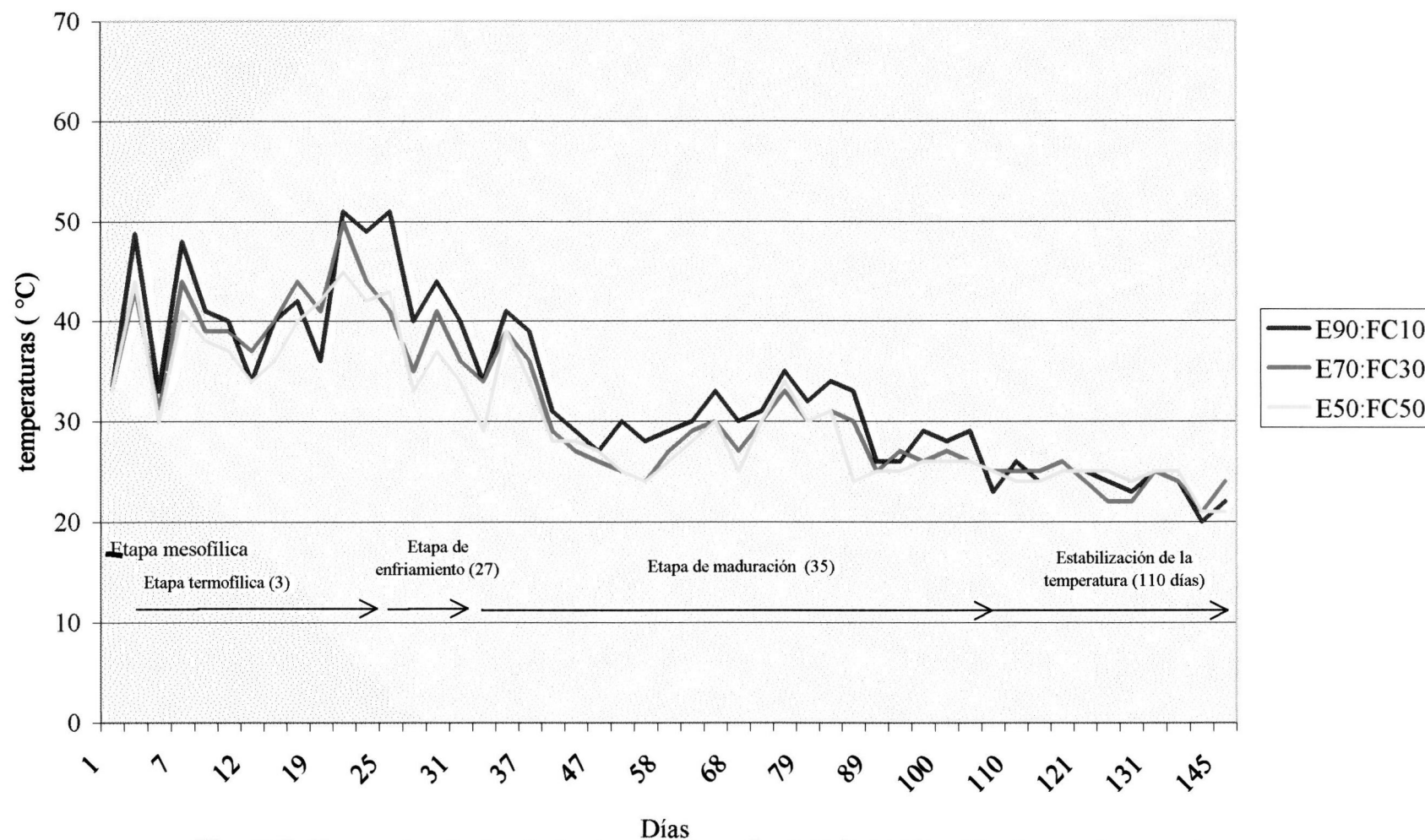


Figura 3. Comportamiento de la temperatura durante la producción de vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y fibra de coco a diferentes proporciones (5-mayo -1998 al 26-septiembre-1998).

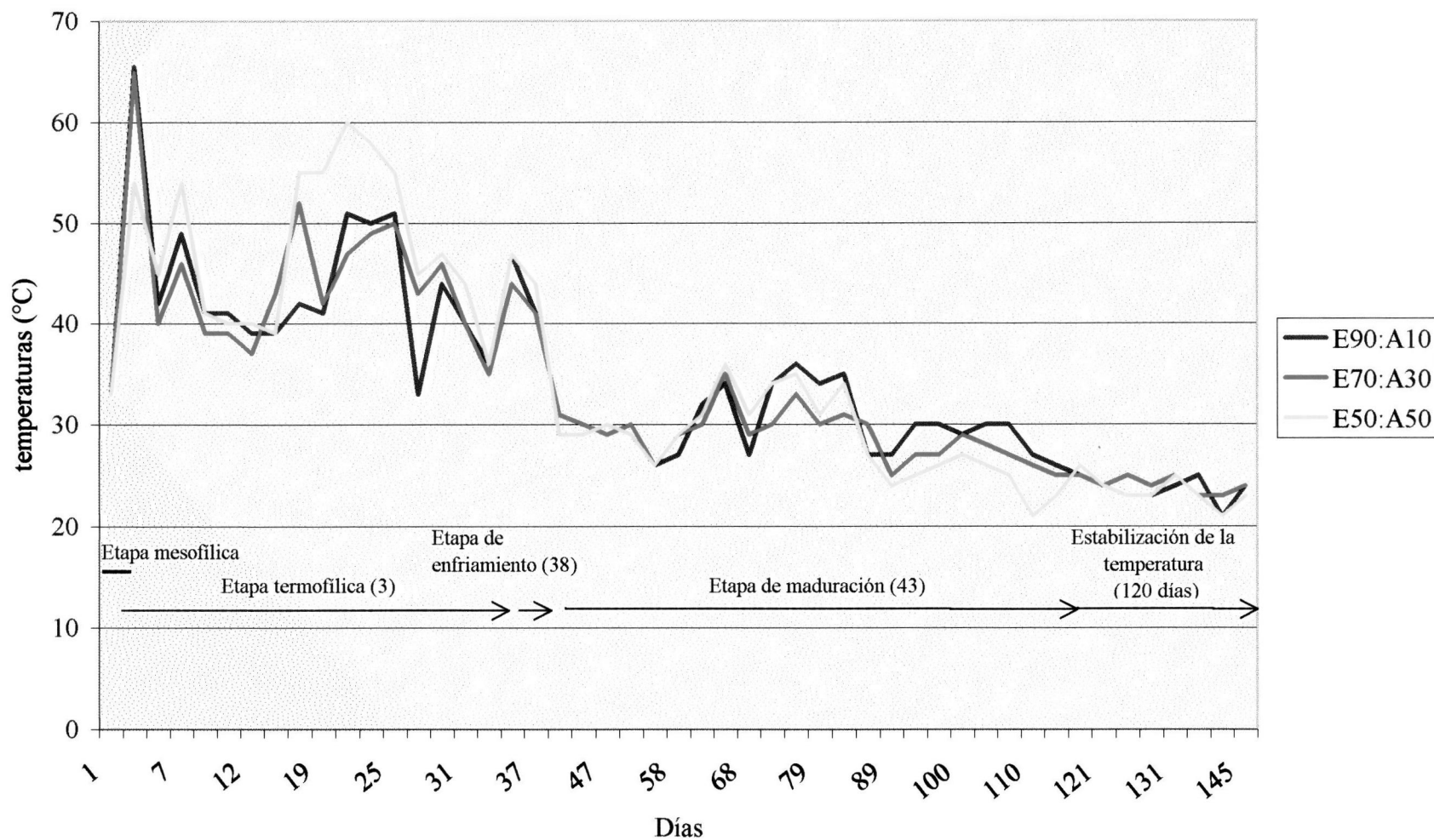


Figura 4. Comportamiento de las temperaturas durante la producción de las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol de vaca y alfalfa a diferentes proporciones (5-mayo -1998 al 26-septiembre-1998).

coco; posteriormente, las temperaturas comenzaron a bajar a menos de 40 °C hasta alcanzar los 37 °C aproximadamente (etapa de enfriamiento). En esta etapa la temperatura cambió según el tipo de mezcla, en las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol y corteza de pino comenzó a los 27 días, en las vermicompostas con estiércol y paja de gramíneas inició a los 37 días, en las elaboradas a base de estiércol y fibra de coco a los 27 días y en las vermicompostas con estiércol y alfalfa empezó a los 38 días. Al finalizar esta etapa se aplicaron las lombrices para dar inicio a la etapa de maduración, etapa en la cual las temperaturas siguieron bajando de 37 °C hasta alcanzar los 24 y 20 °C.

Como se puede observar los diferentes tipos de vermicompostas cumplieron con las cuatro etapas de descomposición, lo cual se pudo deber, a que se tuvo un buen control de la temperatura, humedad y aireación; de esta manera también se pudo asegurar la calidad de las vermicompostas. Cole (1998) mencionó que el control de la temperatura es de gran importancia para asegurar una composta buena, segura y sin patógenos.

Naranjo (1984) mencionó que si hay exceso de humedad se presenta un descenso de temperatura, desarrollo de un pésimo olor y descarga de un líquido por el drenaje de la pila. Nappi y Barberis (1993) mencionaron que con un buen contenido de humedad se puede asegurar un mejor desarrollo microbiológico.

Cole (1998) mencionó que la aireación tiene la finalidad de suministrar oxígeno y extraer calor, en las capas intermedias de la pila. Zucconi *et al.* (1985) mencionaron que

el proceso de estabilización fue más rápido con el aumento de oxígeno y que la duración de la producción de toxinas se redujo en sistemas ventilados.

Sin embargo, aún cuando la tendencia de las temperaturas fue la misma en todas las vermicompostas, los valores de las temperaturas son muy diferentes.

En la Figura 1, se observa que las vermicompostas E90:CP10 y la E70:CP30 alcanzan temperaturas de 48 °C en la etapa termofílica mientras que en la vermicomposta E50:CP50 se elevó la temperatura hasta los 54.4 °C en la etapa termofílica. En la etapa de enfriamiento las temperaturas fueron menores a los 40 °C en todas las vermicompostas preparadas a partir de estiércol y corteza de pino hasta alcanzar los 20 °C en la etapa de maduración, también se puede observar que, la temperatura se estabiliza a partir de los 114 días. En la misma figura se puede apreciar que la temperatura de la vermicomposta E50:CP50 fue siempre mayor durante el proceso de vermicomposteo que la temperatura de las vermicompostas E90:PC10 y la E70:CP30, lo que podría indicar que esta vermicomposta madura más rápidamente, debido a que la cantidad de estiércol utilizado aporta una cantidad de nitrógeno adecuada, para el desarrollo de los microorganismos que degradan la materia orgánica. Alexander (1980) mencionó que con la aplicación de nitrógeno inorgánico se aumenta la descomposición de la celulosa, pero con altos índices de aplicación de nitrógeno, la descomposición de la celulosa no responde a estos incrementos, El mismo autor indicó que el momento en el cual las cantidades de nitrógeno siguen siendo benéficas es una proporción de aproximadamente una parte de nitrógeno con 35 partes de celulosa.

En la Figura 2, se observa que las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol y paja alcanzan temperaturas de hasta 65 °C en la etapa termofílica; posteriormente las temperaturas comienzan a bajar en la etapa de enfriamiento, hasta alcanzar los 20 °C en la etapa de maduración, en estas vermicompostas la temperatura se comienza a estabilizar a partir de los 114 días. Sin embargo, en la misma figura se puede apreciar que la vermicomposta E50:PG50 con una relación C:N de 14.94 es la que mantiene la menor temperatura durante el proceso de vermicomposteo, seguida de la E70:PG30 y por último la E90:PG10 con una relación C:N de 12.05 y 12.08 respectivamente, lo cual puede deberse a que la vermicomposta E50:PG50 tiene una mayor relación C:N, por lo tanto es descompuesta más lentamente por las bacterias y hongos, ya que el contenido de nitrógeno es muy bajo las bacterias están limitadas y no pueden multiplicarse y crecer a su máximo potencial y por lo tanto la temperatura es menor que en las otras vermicompostas

Por otro lado, las vermicompostas E90:FC10 y E70:FC30 (Figura 3) su mayor temperatura fue de 50 °C durante la etapa termofílica; mientras que la vermicomposta E50:FC50 alcanzó los 45 °C en la misma etapa, lo que indica que se descompone más lentamente que las vermicompostas E90:FC10 y E70:FC30, este comportamiento se puede deberse a que la vermicomposta E50:FC50 tiene la mayor relación C:N (41.21), mientras que, las vermicompostas E90:FC10 y E70:FC30 tienen una relación C:N de 12.98 y 15.02 respectivamente, lo que implica que al aumentar la relación C:N disminuye la temperatura, si esta es provocada por las bacterias y los hongos, cuando hay una mayor relación C:N estos trabajan más lentamente y por lo tanto la temperatura es más baja. En la etapa de enfriamiento las temperaturas fueron menores a los 40 °C

hasta alcanzar los 20 y 21 °C al final de vermicomposteo o etapa de maduración, la estabilización de las vermicompostas se alcanzó aproximadamente a los 110 días.

En la Figura 4, se puede observar que en las vermicompostas E90:A10 y E70:A30 las temperaturas subieron hasta los 65 °C y que la vermicomposta E50:A50 alcanzó una temperatura de 58 °C durante la etapa termofílica, lo que indica que las vermicompostas E90:A10 y E70:A30 se descomponen más rápidamente que la vermicomposta E50:A50, lo cual puede deberse a que las vermicompostas E90:A10 y E70:A30 tienen un mayor contenido de estiércol que aporte un nivel adecuado de nitrógeno para este tipo de vermicompostas y de esta manera halla un buen desarrollo de microorganismos y por lo tanto se acelere el proceso de descomposición en estas vermicompostas. En la etapa de enfriamiento las temperaturas fueron menores a los 40 °C y bajaron a 21 °C en la maduración, la estabilización de la temperatura comenzó aproximadamente a los 126 días después del establecimiento de las vermicompostas.

Como podemos apreciar, la variación de la temperatura en los diferentes tipos de vermicomposta durante la etapa termofílica puede estar influenciada por la proporción de los materiales empleados y por supuesto su calidad. También Nappi y Barbieris (1992) indicaron que un buen composteo está influenciado por una mezcla adecuada de materiales crudos

Las vermicompostas al final del vermicomposteo alcanzaron temperaturas que fluctuaron entre los 20 y 24 °C, lo cual, puede ser un buen indicador de la madurez de la vermicomposta. Schimilewski (1991) mencionó que la habilidad del calentamiento

durante y después de la fase de composteo permite evaluar del grado de descomposición e indicó que una composta está madura cuando su temperatura máxima fluctúa entre los 30 y 20 °C.

4.1.2. pH durante el vermicomposteo

En la Figura 5, se observa que en los diferentes tipos de vermicomposta el pH disminuye gradual pero en forma constante con valores que fluctúan entre 8.8 y 9.8 al inicio del vermicomposteo; sin embargo, en todas las vermicompostas se detectó una disminución en el pH hasta 7 en el periodo del 30 de mayo de 1998 al 6 de junio de 1998, lo cual coincide con el comienzo en la disminución de la temperatura (etapa de enfriamiento) y con la aplicación de las lombrices. Posteriormente el pH vuelve a aumentar a valores que fluctúan entre 8 y 9, hasta el final del vermicomposteo, lo cual puede afectar la disponibilidad de algunos nutrimentos para la planta. Rosen *et al.* (1993) indicó que el pH de la composta final usualmente es alcalino, lo cual es adecuado para limitar la disponibilidad de metales pesados, pero puede inducir deficiencias de micronutrimentos.

En general en el cuadro 12, se puede observar que todas las vermicompostas tienen el mismo comportamiento en el sentido de que al disminuir el contenido de estiércol y aumentar la concentración de los otros materiales orgánicos (corteza de pino, paja de gramíneas, fibra de coco ó alfalfa), el pH final disminuye.

Las vermicompostas estiércol 50% corteza de pino 50%, estiércol 50% paja de gramíneas 50%, estiércol 50% fibra de coco 50% y estiércol 50% alfalfa 50% son las

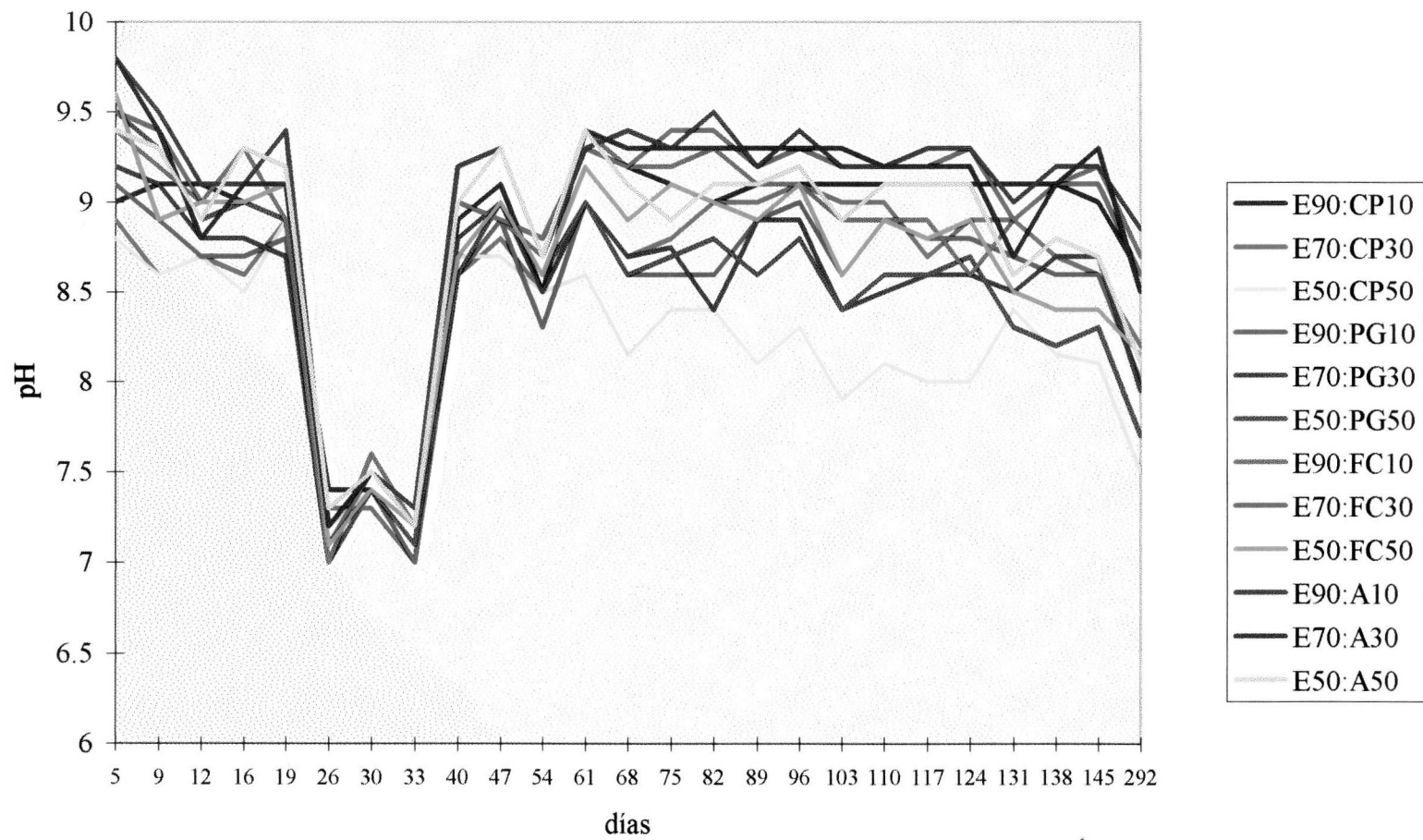


Figura 5. Variación del pH durante la producción de los diferentes tipos de vermicompostas.

que tienen el menor pH dentro de cada grupo de vermicompostas, lo que podría indicar que proporción del estiércol esta influyendo en el pH de las vermicompostas y por lo tanto en la disponibilidad de los nutrimentos, ya que en las vermicompostas con menor concentración de estiércol el pH es menor.

En el mismo cuadro se puede observar que las vermicompostas a base de estiércol 50% corteza de pino 50%, estiércol 70% paja 30% y estiércol 50% paja 50% son las que presentan un pH débilmente alcalino, el más bajo de todas las vermicompostas, lo que implica, que los nutrimentos estén más disponibles para la planta que en las otras vermicompostas. lo cual puede deberse a que estas vermicompostas tienen el menor contenido de estiércol.

Basado en el criterio de Asorena (1994), las vermicompostas elaboradas se clasificarían en función del pH de la manera indicada en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Clasificación de los diferentes tipos de vermicompostas por su pH.

Vermicompostas	pH final	Clasificación según Asorena
E90:CP10	8.6	Fuertemente alcalino
E70:CP30	8.2	Moderadamente alcalino
E50:CP50	7.5	Débilmente alcalino
E90:PG10	8	Moderadamente alcalino
E70:PG30	7.95	Débilmente alcalino
E50:PG50	7.7	Débilmente alcalino
E90:FC10	8.7	Fuertemente alcalino
E70:FC30	8.6	Fuertemente alcalino
E50:FC50	8.15	Moderadamente alcalino
E90:A10	8.85	Fuertemente alcalino
E70:A30	8.5	Moderadamente alcalino
E50:A50	8.1	Moderadamente alcalino

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

4.1.3. Relación C:N durante el vermicomposteo

En el Cuadro13, se puede observar que al inicio del vermicomposteo la E50:CP50 (estiércol 50% corteza de pino 50%), tiene la relación C:N más alta de las tres vermicompostas preparadas a base de estiércol y corteza de pino, lo cual se debe a que tiene una mayor proporción de corteza de pino que las E90:CP10 y la E70:CP30, y a que

Cuadro 13. Relación C:N de la mezcla de materiales orgánicos al inicio y al final del vermicomposteo.

Vermicomposta	Relación C:N	
	Inicial	Final
E90:CP10	11.36	9.4
E70:CP30	25.58	16.52
E50:CP50	28.42	9.82
E90:PG10	17.05	8.67
E70:PG30	12.08	9.06
E50:PG50	14.49	10.57
E90:FC10	12.98	11.93
E70:FC30	15.02	17.82
E50:FC50	41.21	12.29
E90:A10	20.84	11.79
E70:A30	12.31	9.06
E50:A50	11.93	10.08

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

la corteza de pino tiene una relación C:N más alta que el estiércol. Schmilewski (1991) mencionó que la corteza de pino tiene una relación C:N desfavorable de 60-100:1. Por otra parte Nappi y Barberis (1993) indicaron que este material tiene alto contenido de lignocelulosa y su degradación y humificación es más lenta que otros materiales

orgánicos. Al final del proceso la relación C:N bajó en todas las vermicompostas considerablemente; en la E90:CP10 bajó de 11.36 a 9.4; en la E70:CP30 bajó de 25.58 a 9.82 y en la E50:CP50 de 28.42 a 16.52.

En el mismo cuadro, se observa que al inicio del vermicomposteo, la E90:PG10 tiene la más alta relación C:N de las vermicompostas preparadas a base de estiércol y paja, con 17.05; siguiendo la E50:PG50 con 14.94 y la de menor relación C:N fue la E70:PG30 con 12.08. Al final del proceso, la E50:PG50 tiene la mayor relación C:N con 10.57, siguiendo, la E70:PG30 con 9.06 y la E90:PG10 con 8.67.

Este comportamiento puede deberse a que la paja tiene una relación C:N más alta que el estiércol, y por esta razón la paja sea más difícil de ser degradada por la lombriz que el estiércol. Parle (1963a) indicó que no se sabe cuanta quitina y celulosa es descompuesta durante el paso por el intestino de la lombriz, pero que las excretas de estas contienen considerables cantidades de estos elementos.

En el Cuadro13, se puede observar, que conforme incrementa la proporción de fibra de coco al inicio del vermicomposteo, en las vermicompostas preparadas a partir de estiércol y fibra de coco, la relación C:N aumenta; siendo, la E50:FC50 (estiércol 50 fibra de coco 50) la que presenta la más alta relación C:N de 41.21, siguiendo, la E70:FC30 con una relación C:N de 15.02 y por último la vermicomposta E90:FC10 con una relación C:N de 12.98, lo cual se puede deber a que la fibra de coco tiene una relación carbono nitrógeno más alta que el estiércol. Al final del proceso las vermicompostas E90:FC10 y E50:FC50 mostraron una relación C:N menor a la inicial

de 11.93 y 12.29 respectivamente, debido a la descomposición de la materia orgánica, con la misma tendencia. En cuanto a la vermicomposta E70:FC30 tuvo una relación C:N superior a la inicial, lo cual se pudo deber a un mal muestreo.

En el Cuadro 13 se puede distinguir, que al inicio del proceso en las vermicompostas preparadas a partir de estiércol y alfalfa, la relación C:N disminuyó conforme la proporción de alfalfa aumentó, lo cual puede deberse a que la alfalfa tiene una relación C:N menor a la del estiércol; siendo, la E90:A10 la que muestra la mayor relación C:N con 20.84, siguiendo la E70:A30 con 12.31 y por último, la E50:A50 con una relación C:N de 11.93; Ruíz (1999) mencionó que la alfalfa tiene una relación C:N de 24:1 y el estiércol de 15-25:1. Sin embargo, este comportamiento no permaneció al final del proceso; ya que la E50:A50 tuvo una relación C:N de 10.08 superior a la del la E70:A30, con 9.063; mientras que, la E90:A10 siguió teniendo la mayor relación C:N (11.79) al final del proceso.

En el Cuadro 13 se puede observar que, todas las vermicompostas tienen una relación C:N menor a 15 excepto las vermicompostas E 70FC30 con una relación C:N DE 17.82 y la E50CP50 que tiene una relación C:N de 16.52, la relación C:N es un valor que nos puede indicar la calidad de una vermicomposta ya que nos da idea de la disponibilidad de nitrógeno. Por otro lado, Colin *et al.* (1985) indicaron que la relación C:N parece esencial para determinar la calidad de la composta considerando las características iniciales del producto, ya que es un buen indicador de la estabilidad biológica de la composta. Por otro lado Rosen *et al.* (1993) mencionaron que una adecuada relación C:N debería estar entre 15:1 a 20:1 (la inmovilización del N dentro de este rango es

mínima); además indicaron que con una relación C:N mayor a 30 ocurrirá la inmovilización del N.

En general la relación C:N inicial de las vermicompostas preparadas con los mismos materiales orgánicos, pero a diferentes proporciones no tienen la misma tendencia al final del vermicomposteo. Es decir, una vermicomposta que tiene una relación C:N alta al inicio del vermicomposteo no es la que tiene la mayor relación C:N al final del vermicomposteo o viceversa. Este comportamiento se pudo deber a la relación C:N, proporción y calidad de los materiales orgánicos empleados en la producción de las vermicompostas al efecto de la lombriz, las bacterias y hongos sobre las mezclas de los materiales orgánicos y a las condiciones de humedad y temperatura.

4.2. Caracterización de los diferentes tipos de vermicomposta

4.2.1. Densidad aparente, porosidad punto de marchitez permanente (PMP) y capacidad de campo (CC)

En el Cuadro 14 se observa que en las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol y corteza de pino la densidad aparente disminuye. La porosidad, el PMP, la CC y el porcentaje de agua aprovechable aumentan conforme la proporción de corteza de pino aumenta; siendo la E50:CP50 la que tiene los mayores valores y la E90:CP10 la que tiene los menores valores. Esto se puede deber a que el tamaño de partícula en la E50:CP50 sea mayor, debido a que la lombriz es selectiva en su alimentación y tarda

Cuadro 14. Densidad aparente, porosidad, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC) y contenido de agua aprovechable de las vermicompostas.

Tipos de Vermicompostas	Densidad Aparente (g·cm ⁻³)	Porosidad (%)	(PMP) % de humedad a 15 atm.	(CC) % de humedad a 0.3 atm.	Agua Aprovechable (%)
E90:CP10	0.8903	40.647	25.80	30.19	4.39
E70:CP30	0.8824	41.174	27.61	32.91	5.3
E50:CP50	0.7979	46.804	35.88	41.75	5.87
E90:PG10	0.7732	48.454	32.55	37.72	5.17
E70:PG30	0.8646	42.36	26.92	34.48	7.56
E50:PG50	0.9773	34.84	21.51	30.78	9.27
E90:FC10	0.8130	45.8	34.24	36.93	2.69
E70:FC30	0.7575	49.5	35.19	40.20	5.01
E50:FC50	0.6438	57.08	43.52	51.71	8.18
E90:A10	0.8824	41.174	35.60	40.01	4.41
E70:A30	0.8876	40.827	31.85	35.58	3.73
E50:A50	0.8451	43.66	25.11	33.13	8.02

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

más en fragmentar la corteza de pino. Como se puede observar, la corteza de pino favoreció las propiedades físicas.

Las vermicompostas de estiércol y paja presentan una tendencia contraria a las vermicompostas de estiércol y corteza de pino. En el Cuadro14 se muestra que la E90:PG10 es la que tiene la menor densidad aparente y el menor contenido de agua aprovechable, una mayor porosidad, PMP y CC; mientras que la E50:PG50 presenta una mayor densidad aparente y el mayor contenido de agua aprovechable, la menor porosidad, PMP y CC.

Con lo que respecta a las vermicompostas preparadas a base de estiércol y fibra de coco en el Cuadro14 se observa que la menor densidad aparente, la mayor porosidad, PMP, CC y contenido de agua aprovechable, se presentaron en la E50:FC50; mientras que los menores valores se reflejaron en la E90:FC10, similar a lo que paso con las vermicomposta de preparadas a base de estiércol y corteza de pino.

Por otra parte, en las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol y alfalfa no se observo mucha variación en los resultados; sin embargo, la E50:A50 presentó la densidad aparente más baja, la mayor porosidad, PMP, CC y contenido de agua aprovechable (Cuadro14).

En general, en el Cuadro14 se puede detectar que la E50:FC50 es la que presenta la menor densidad aparente, la mayor porosidad, PMP y CC; además el contenido de agua aprovechable es alto. Por otro lado la E50:PG50 es la que presenta una mayor densidad aparente y el contenido de agua aprovechable; una menor porosidad, PMP y CC.

La variación en las propiedades físicas de las vermicompostas, pudo deberse a la relación C:N de la fuente de materia orgánica, ya que los materiales con una alta relación C:N su descomposición es más lenta y por lo tanto, el tamaño de partícula se verá afectada, así como, el PMP, CC y el contenido de humedad y por esta razón en la vermicomposta E50-FC50 se tuvo la mas alta relación C:N, la menor densidad aparente y la mayor porosidad, punto de marchitez permanente (PMP), capacidad de campo (CC) y contenido de agua aprovechable.

Las propiedades físicas de las vermicompostas también pueden estar afectadas por las preferencias alimenticias de la lombriz, ya que la calidad y cantidad del alimento pueden influir en la reproducción y biomasa de la lombriz, lo cual, puede acelerar o disminuir la degradación de la materia orgánica. Además las lombrices fragmentan la materia orgánica de la que se alimentan y esto podría afectar el tamaño de partícula y otras propiedades físicas como: PMP, CC y contenido de agua aprovechable.

4.2.2. Color

El color de las vermicompostas es un factor importante para determinar la calidad de la composta. En el Cuadro15, se puede distinguir que el color de las vermicompostas en seco varió de gris oscuro, café oscuro, café grisáceo a café grisáceo muy oscuro, cuando se compararon con la carta de colores Munsell. También se puede observar que todas las vermicompostas húmedas mostraron un color negro, excepto para la E90:CP10 que tomó una coloración café muy oscuro. La coloración oscura de las vermicompostas puede deberse a un mayor o menor contenido de materia orgánica, dada por los

Cuadro 15. Medición del color de los diferentes tipos de vermicompostas en seco y en húmedo, por comparación con la carta de colores Munsell.

Tipos de Vermicompostas	Color en Seco	Color en Húmedo
E90:CP10	10YR3/2 (café grisáceo muy oscuro)	10YR2/2 (café muy oscuro)
E70:CP30	10YR 4/2 (café grisáceo oscuro)	10YR 2/1(negro)
E50:CP50	10YR4/1 (gis oscuro)	10YR 2/1(negro)
E90:PG10	2.5Y4/2 (café grisáceo oscuro)	10YR 2/1(negro)
E70:PG30	2.5Y4/2 (café grisáceo oscuro)	10YR 2/1(negro)
E50:PG50	2.5Y4/2 (café grisáceo oscuro)	10YR 2/1(negro)
E90:FC10	10YR 4/2 (café grisáceo oscuro)	10YR 2/1(negro)
E70:FC30	10YR3/2 (café grisáceo muy oscuro)	10YR 2/1(negro)
E50:FC50	2.5Y3/2 (café grisáceo muy oscuro)	10YR 2/1(negro)
E90:A10	10YR3/2 (café grisáceo muy oscuro)	10YR 2/1(negro)
E70:A30	10YR 3/3 (café oscuro)	10YR 2/1(negro)
E50:A50	10YR 4/2 (café grisáceo oscuro)	10YR 2/1(negro)

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

materiales que se utilizaron en su elaboración y por su capacidad de descomposición, ya que los materiales con una relación C:N alta se descomponen más lentamente. Gros (1981) indicó que el humus son las sustancias orgánicas de color pardo y negruzco, que resultan de la descomposición de la materia orgánica de origen vegetal y animal (estiércol, pajas, restos de cosecha, etc.), bajo la acción de los microorganismos del

suelo y las lombrices de tierra. Por otra parte Fuentes (1992) mencionó que el color en el suelo se debe fundamentalmente al contenido de materia orgánica. El mismo autor indicó que cuando el hierro está en presencia de agua durante bastante tiempo, da tonalidades grises y verdes; y la presencia de materia orgánica oscurece el color del suelo, apareciendo tonalidades marrones a más o menos oscuras.

4.3. Contenido de nutrientes de los diferentes tipos de vermicomposta

4.3.1. Nitrógeno disponible y total

En la Figura 6a, se puede observar que en las vermicompostas elaboradas a partir de estiércol y corteza de pino, el contenido de nitrógeno total incrementa conforme aumenta el contenido de corteza de pino, siendo la vermicomposta E50:CP50 la que tiene el mayor contenido de nitrógeno total con un 0.81%. En la misma figura también se puede ver, que conforme incrementa la proporción de corteza de pino el nitrógeno disponible aumenta, resultando la E50:CP50 con el mayor contenido de nitrógeno disponible, con una concentración de 319 mg L^{-1} . Este comportamiento se puede deber a que las lombrices tienen mayor afinidad por alimentarse con corteza de pino que con estiércol y por lo tanto, hay un mayor contenido de nitrógeno disponible en la vermicomposta E50:CP50, debido a que el material es descompuesto en el tracto digestivo de la lombriz por acción de las enzimas secretadas en este, además de que las excretas salen cubiertas por estas secreciones y microorganismos que también contribuyen a la descomposición de la materia orgánica.

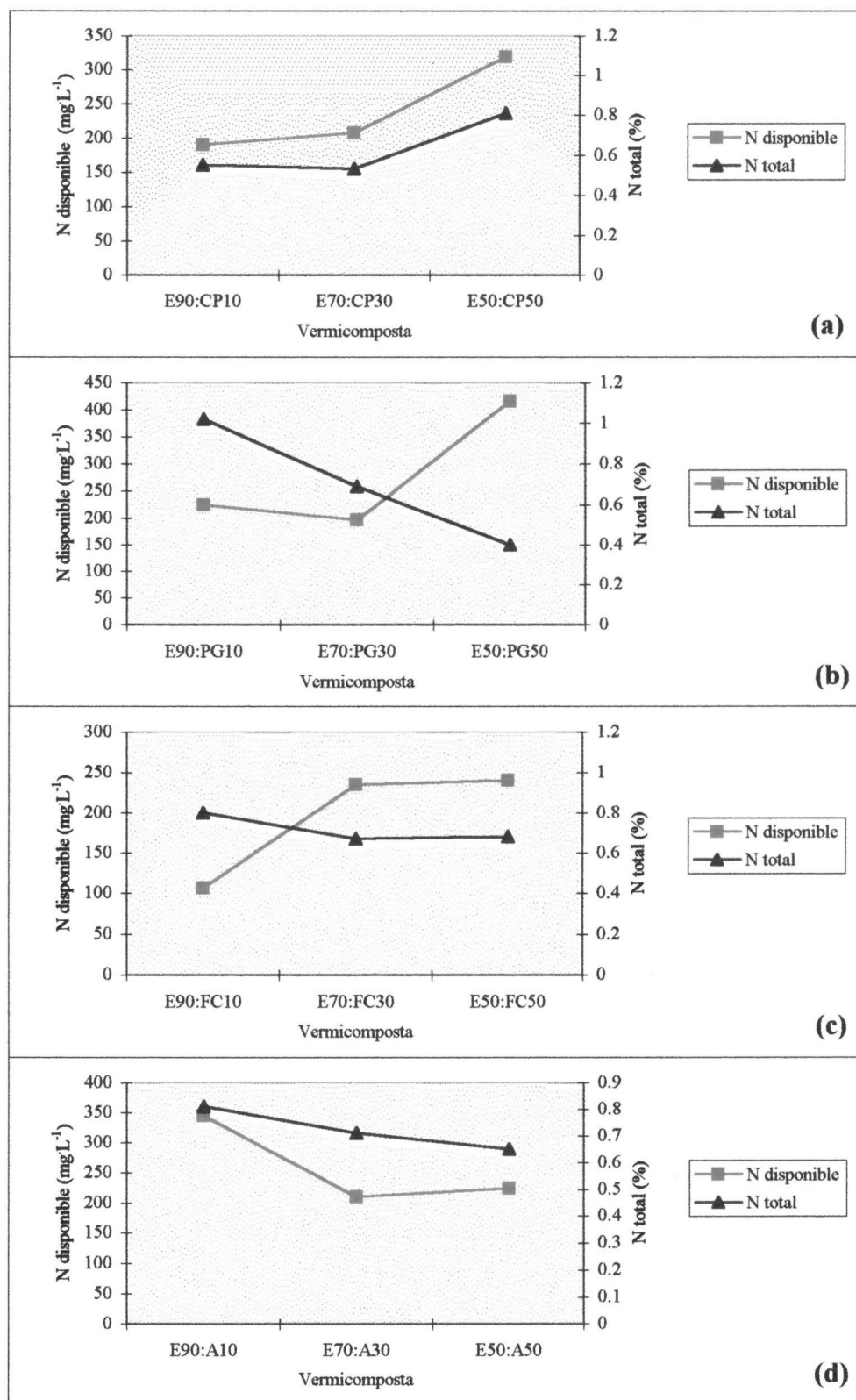


Figura 6. Contenido de nitrógeno disponible y nitrógeno total en los diferentes tipos de vermicomposta. (a) estiércol:corteza de pino, (b) estiércol:paja de de gramíneas, (c) estiércol:fibra de coco, (d) estiércol:alfalfa.

En la Figura 6b, se puede apreciar que la E90:PG10 es la que tiene el mayor contenido de nitrógeno total de todas las vermicompostas, con una concentración de 1.019 %; además, dentro de este mismo grupo de vermicompostas, también se encuentra la E50:PG50 con el menor contenido de nitrógeno total de 0.4 %, de todas las vermicompostas. También se puede advertir, que conforme incrementa la proporción de paja el contenido de nitrógeno total disminuye considerablemente.

En cuanto el nitrógeno disponible (Figura 6b) cabe señalar que a mayor contenido de paja hay mayor concentración de nitrógeno disponible; siendo la E50:PG50 la de menor contenido de nitrógeno total, pero la de mayor contenido de nitrógeno disponible de todas las vermicompostas. Este comportamiento puede repercutir en la cantidad y tiempo de aplicación de la vermicomposta, porque al tenerse menor contenido de nitrógeno total se tendrá que aplicar con más frecuencia y en menor cantidad la vermicomposta, ya que ésta se hace disponible rápidamente y el nitrógeno no sería aprovechado por la planta.

Por otro lado, este resultado se pudo deber a que hay un mayor contenido de materia orgánica de calidad para la lombriz, es decir que sea más apetecible para esta, lo cual hace que las lombrices se alimenten más y por lo tanto aumenta la población; de tal manera, que incrementa el contenido de nitrógeno disponible, debido a que hay mayor excreción por parte de las lombrices y además una mayor cantidad de tejido de lombrices muertas. Parle (1963 b) mencionó que las lombrices cambian el carácter del nitrógeno ingerido, lo cual es importante en el ciclo del nitrógeno, él indicó que 96 %

del nitrógeno inorgánico está en forma de amonio, el cual es rápidamente convertido en nitrato.

Respecto a las vermicompostas a base de estiércol y fibra de coco en la Figura 6c se puede notar que a mayor proporción de fibra de coco disminuye el contenido de nitrógeno total, siendo la vermicomposta E90:FC10 la que tiene la mayor concentración de nitrógeno total, lo cual se puede deber a que la fibra de coco tiene una alta relación C:N alta y la poca cantidad de fibra de coco en la mezcla, no es suficiente para bajar sensiblemente el nivel de N. Con relación al nitrógeno disponible se observa que este aumenta a medida que aumenta el contenido de fibra de coco, siendo la E50:FC50 la que presenta el mayor contenido de nitrógeno disponible con 240.8 mgL^{-1} , lo que indicaría que la lombriz hace disponible al nitrógeno rápidamente, por la excreción.

En la Figura 6d se indica que en las vermicompostas a base de estiércol y alfalfa, cuando incrementa la proporción de alfalfa el contenido de nitrógeno total disminuye, siendo la E90:A10 la que tiene la mayor concentración de nitrógeno total con 0.81 %. En cuanto al nitrógeno disponible la E90:A10 tiene el mayor contenido de este nutrimento con 344.4 mgL^{-1} . Este comportamiento se puede deber a que el estiércol en este caso tenga un mayor contenido de nitrógeno que la alfalfa, debido a que el contenido de nitrógeno o de los demás nutrimentos en la materia orgánica va a depender su origen.

De acuerdo con Asorena (1994), la vermicomposta E90:CP10 con 190.4 mgL^{-1} , la E70:PG30 con 196 mgL^{-1} y la E90:FC10 con 106.4 mgL^{-1} se encontraron con niveles óptimos de nitrógeno disponible, ya que sus valores se encuentran entre los límites (100-

199 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); las vermicompostas E70:CP30 con 207.2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, la E90:PG10 con 224 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, la E70:FC30 con 235.2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, la E50:FC50 con 240.8 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, la E70:A30 con 210 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, y la E50:A50 con 224 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, presentan un nivel alto de nitrógeno disponible, por encontrarse entre los límites (200-299 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$); mientras que, las vermicompostas E50:CP50 con 319.2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, E50:PG50 con 415.6 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ y la E90:A10 con 344.4 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, muestran niveles muy altos de nitrógeno disponible, ya que presentan concentraciones mayores a los 300 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ (Anexo2). En cuanto al nitrógeno total, todas las vermicompostas muestran niveles superiores a 0.25 % y de acuerdo con Tavera (1985), son consideradas como muy ricas (Anexo 3).

1.3.2. Fósforo

Los niveles de fósforo, potasio, calcio y magnesio (Cuadro16), obtenidos en los diferentes tipos de vermicomposta se compararon con la clasificación hecha por Asorena (1994), con respecto a los niveles nutrimentales obtenidos por el método del extracto de saturación en sustratos orgánicos (Anexo 2).

En el Cuadro 16 se observa que las E90:CP10, E70:CP30 y E50:CP50 contienen 10.14 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de fósforo, lo cual indica que se encuentran con un nivel óptimo de fósforo, ya que se encuentran entre los límites (6-10 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$). En cuanto a la E70:A30 se puede apreciar que el nivel de fósforo es considerado como muy alto ya que su valor fue de 20.3 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. En la E50:A50 se puede percibir que el contenido de fósforo fue de 5.06 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$, el cual, según Asorena (1994) es considerado como aceptable.

Cuadro 16. Contenido de macronutrientes y micronutrientes de los diferentes tipos de vermicomposta.

Vermicomposta	Macronutrientes				Micronutrientes				
	Fósforo (mg L ⁻¹)	Potasio (mg L ⁻¹)	Calcio (mg L ⁻¹)	Magnesio (mg L ⁻¹)	Boro (mg L ⁻¹)	Cobre (mg L ⁻¹)	Hierro (mg L ⁻¹)	Manganeso (mg L ⁻¹)	Zinc (mg L ⁻¹)
E90:CP10	10.14	920	480	389	2.19	3.22	24.46	29.72	14.95
E70:CP30	10.14	432	313	233	1.19	2.855	24.065	27.69	15.445
E50:CP50	10.14	466	381	389	1.165	3.745	30.79	33.08	18.14
E90:PG10	ND	696	541	463	2.855	3.92	39.585	31.105	24.71
E70:PG30	ND	656	559	475	2.19	3.88	35.565	29.655	20.73
E50:PG50	ND	342	640	453	1.38	2.9	22.18	24.35	12.765
E90:FC10	ND	974	433	354	2.695	3.125	21.795	22.83	15.755
E70:FC30	ND	862	379	315	2.745	5.03	22.935	21.935	16.6
E50:FC50	ND	500	286	272	1.835	10.555	20.04	20.625	14.565
E90:A10	ND	792	279	271	3.395	5.365	28.015	21.165	21.235
E70:A30	20.3	606	328	309	2.53	3.765	27.495	16.92	18.16
E50:A50	5.06	480	472	386	2.315	2.505	28.51	22.01	18.5

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

ND: No se detectó.

La cantidad de fósforo en las vermicompostas ya mencionadas, puede deberse al contenido de fósforo total en la materia orgánica utilizada en su preparación; ya que mientras haya un mayor contenido de fósforo en estos materiales, la posibilidad de que las vermicompostas tengan altos contenido de fósforo en solución es mayor. Schmilewski (1991) indicó que la corteza de pino tenía alto contenido de fósforo. Por otra parte Cegarra y Roig (1993) indicaron que los materiales composteados difieren de otros de acuerdo a su origen, lo que determina su composición química.

Sin embargo, en el Cuadro 16 se observa que no se detectó el contenido de fósforo para las vermicompostas E90:PG10, E70:PG30, E50:PG50, E90:FC10, E70:FC30, E50:FC50 y E90:A10; lo cual pudo deberse a que el método utilizado en el laboratorio no fue el apropiado, ya que el fósforo se pudo haber encontrado en forma de fosfatos insolubles y que su transformación a fosfatos asimilables se produzca muy lentamente. Una posible causa de que el fósforo este en forma no asimilable es el pH ya que a $\text{pH} > 7$, el fósforo se fija o inmoviliza; debido a que se combina principalmente con el calcio y magnesio formando sales insolubles Rodríguez (1982) y Fuentes (1992) mencionaron que el pH óptimo para el fósforo esta entre 5.5 y 7; también indicaron que un suelo alcalino produce precipitaciones de fosfatos tricálcicos.

1.3.3. Potasio

En el Cuadro 16 se muestra que todas las vermicompostas tienen concentraciones de potasio muy por encima de los 350 mgL^{-1} y de acuerdo con Asorena (1994), estos niveles son considerados como muy altos; excepto la vermicomposta E50:PG50 que es

clasificada con un nivel alto de potasio. Los niveles de potasio en las vermicompostas pueden estar influenciados por la cantidad de estiércol, ya que las vermicompostas que tienen la mayor proporción de estiércol son las que tienen el mayor nivel de potasio, dentro de cada tipo de vermicomposta. Sin embargo, las vermicompostas hechas a base de estiércol y fibra de coco, son las que muestran los niveles más altos de potasio de todas las vermicompostas. Meggelen-Laagland (1995) mencionó que la fibra de coco contiene $<2.0 \text{ mmol}\cdot\text{L}^{-1}$ de potasio, lo que explica los resultados obtenidos.

4.3.2. Calcio

Por otra parte, en el Cuadro 16 se puede percibir que todas las vermicompostas se encuentran dentro del nivel óptimo de calcio, de acuerdo con la clasificación hecha por Asorena (1994); sin embargo, cabe destacar que todas tienen niveles muy superiores a los $200 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$ de calcio. Además se puede distinguir que las vermicompostas preparadas a base de estiércol y paja son las que tienen los niveles mas altos de calcio, lo cual puede indicar que la paja fué una fuente importante de calcio en estas vermicompostas. También se puede ver, que las vermicompostas preparadas a base de estiércol y paja y las de estiércol y alfalfa, el contenido de calcio dentro de estos dos grupos de vermicompostas puede estar influenciado por la paja y la alfalfa respectivamente; ya que las vermicompostas que tienen 50% de estiércol y 50% de paja ó alfalfa son las que tienen un mayor contenido de calcio. Mientras que, en las vermicompostas preparadas a partir de estiércol y corteza de pino y las de estiércol y fibra de coco, el contenido de calcio está influenciado por el estiércol, ya que las vermicompostas que contienen 90%

de estiércol y 10% de corteza de pino ó 10% de fibra de coco son las que tienen el mayor nivel de calcio.

4.3.3. Magnesio

En el Cuadro 16 se aprecia que todas las vermicompostas tienen contenidos de magnesio mucho mayores a 70 mg L^{-1} y por lo tanto, se encuentran dentro del nivel óptimo de magnesio. Además se muestra que las vermicompostas preparadas a partir de estiércol y paja son las que tienen mayores niveles de magnesio de los diferentes tipos de vermicompostas; siendo la E70:PG30 (estiércol 70% paja 30%) la que tiene el mayor contenido de magnesio de todas; por esta razón se puede decir que la paja es una fuente importante de magnesio para las vermicompostas elaboradas con estiércol y paja de gramíneas. Por otro lado también se puede observar que las vermicompostas de estiércol y alfalfa, el contenido de magnesio esta influenciado por la proporción de alfalfa, debido a que la E50:A50 es la que tiene el mayor contenido de magnesio dentro de este grupo de vermicompostas.

4.3.4. Boro

En el Cuadro 16 se puede apreciar que las vermicompostas a base de estiércol y alfalfa son las que tienen los mayores niveles de boro, notándose que la E90:A10 tiene el mayor contenido de este elemento, seguida de la E90:PG10 (estiércol 90% paja 10%). También se puede ver que las vermicompostas que tienen el mayor porcentaje de

estiércol son las que contienen más boro, con lo que se puede sugerir que el estiércol es el que aporta el boro a las vermicompostas.

4.3.5. Cobre

Los niveles de cobre, hierro, manganeso y zinc se compararon y clasificaron según el sistema propuesto por Ankerman y Large (1994), para estos elementos en forma extractable con DTPA (Anexo 4).

En el Cuadro 16 se puede observar que las vermicompostas preparadas a base de estiércol y fibra de coco son las que contienen más cobre, lo cual se puede deber a que la fibra de coco tiene altas cantidades de este elemento. De acuerdo con Ankerman y Large (1994) todas las vermicompostas tienen un nivel muy alto de cobre ya que contienen más de 2.5 mgL^{-1} de este elemento.

4.3.6. Hierro

En el Cuadro 16 se puede distinguir que la E90:PG10 tiene el mayor contenido de hierro con 39.585 mgL^{-1} . También se puede distinguir que las vermicompostas de E50:CP50, E90:PG10 E70:PG30 y las elaboradas a partir de estiércol y alfalfa están consideradas con niveles muy altos de hierro, ya que tiene concentraciones superiores a los 25 mgL^{-1} ; mientras que las vermicompostas E90:CP10, E70:CP30, E50:PG50 y las preparadas a

partir de estiércol y fibra de coco mostraron niveles altos de este elemento, ya que tienen concentraciones que varían entre 16 y 25 mg·L⁻¹ según Ankermasn y Large (1994).

4.3.7. Manganeso

Con respecto al manganeso en el Cuadro 16 se puede analizar que la E90:CP10, E50:CP50, E90:PG10 y E70:PG30 tienen un nivel alto de manganeso, ya que sus valores son 29.72, 33.08 y 31.1 mg·L⁻¹ respectivamente y las vermicompostas preparadas a base de estiércol y fibra de coco o alfalfa; así como, las E70:CP30 y E50:PG50 tienen un nivel medio de manganeso ya que tienen valores que varían entre los 16.92 y 27.69; siendo la E50:CP50 la que tiene la mayor cantidad de este elemento con 33.08 mg·L⁻¹ de todas las vermicompostas.

4.3.8. Zinc

En el Cuadro 16 se aprecia que todas las vermicompostas están clasificadas con un nivel muy alto de zinc según Ankerman y Large (1994), ya que tienen niveles muy superiores a los 8 mg·L⁻¹. También se puede percibir que la E90:PG10 es la que tiene el mayor contenido de zinc con 24.71 mg·L⁻¹

4.4. Respuesta del rosal a la aplicación de vermicomposta

A continuación se describe el comportamiento de cada una de las variables evaluadas al cultivo de rosal, fertilizado con los diferentes tipos de vermicomposta y el testigo (fertilización comercial).

4.4.1. Longitud del botón floral (LBF)

De acuerdo con el anacova (Anexo 5), se encontró que no existen diferencias significativas para la variable LBF, lo cual, se comprobó al realizar la comparación de medias ajustadas de los tratamientos, con la prueba de tukey con $P \leq 0.05$ (Cuadro 17).

Aún cuando no existen diferencias significativas para la variable LBF, en el Cuadro 17 se aprecia que la mayor LBF se obtuvo con la E50:PG50, superando al testigo en un 11.15%, notándose una diferencia de 0.52 cm., lo cual puede deberse a que esta vermicomposta, presenta niveles muy altos de nitrógeno disponible, concentraciones muy altas de magnesio y un pH débilmente alcalino lo que hace que los nutrimentos estén más disponibles para la planta que en otras vermicompostas. En cuanto a sus características físicas la vermicomposta E50:PG50 presentó la mayor densidad aparente y contenido de agua aprovechable; la menor porosidad PMP y CC de todas las vermicompostas. También el análisis foliar reflejó que las plantas tratadas con la vermicomposta E50:PG50 presentan el mayor contenido de manganeso y magnesio. Por

Cuadro 17. Efecto de los diferentes tipos de vermicompostas y fertilización comercial (testigo), sobre las variables longitud, diámetro, peso fresco y peso seco de botón floral, en el cultivo de rosal 'Classic'.

Variable	Tratamiento	Medias ajustadas
Longitud de botón floral (LBF) cm	E50:PG50	5.18828349 a ^z
	E90:PG10	4.75568349 a
	T	4.66801682 a
	E90:CP10	4.65942391 a
	E50:FC50	4.63847497 a
	E90:FC10	4.61036646 a
	E50:CP50	4.56775086 a
	C.V. 9.571745	DMS=1.274
Diámetro de botón floral (DBF) cm	E50:CP50	3.08551398 a ^z
	E90:CP10	2.90108526 a
	E50:PG50	2.87966717 a
	E90:PG10	2.85353384 a
	T	2.84913384 a
	E50:FC50	2.76665547 a
	E90:FC10	2.70597710 b
	C.V. 4.066140	DMS=0.328
Peso fresco de botón floral (PFBF) g.	E50:CP50	15.086849 a ^z
	E90:CP10	13.8357497 a
	E50:PG50	13.6516008 a
	E90:PG10	12.4516008 a
	E90:FC10	11.6856434 a
	T	11.0082675 a
	E50:FC50	10.6802888 a
	C.V. 23.12693	DMS=8.22
Peso seco de botón floral (PSBF) g.	E90:CP10	2.26878622 a ^z
	E50:CP50	2.26058764 a
	T	2.19441743 a
	E90:PG10	2.16441743 a
	E50:PG50	2.14875076 a
	E50:FC50	2.09404154 a
	E90:FC10	1.91399899 a
	C.V. 12.29199	DMS=0.7443

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de medias de tukey ($P \leq 0.05$). C.V.: Coeficiente de variación., DMS: Diferencia mínima significativa.

otro lado la menor LBF se observa con la E50:CP50 con una diferencia en longitud de 0.090 cm menos que el testigo, lo que representa un 2.14 %.

4.4.2. Diámetro del botón floral (DBF)

El análisis de covarianza (Anexo 6) nos indica que sí existen diferencias significativas para la variable DBF, lo cual se corroboró al hacer la comparación de medias de los tratamientos con la prueba de tukey con $P \leq 0.05$ (Cuadro 17). En el mismo cuadro se puede percibir, que las plantas tratadas con la E50:CP50 presentan el mayor DBF, superando al testigo en un 8.29 %. También se puede notar que con la E90:FC10 se detectó el menor DBF con un 5.02% menos que el testigo y con una diferencia 0.14 cm con respecto al testigo.

4.4.3. Peso fresco del botón floral (PFBF)

En el Anexo 7 se ha encontrado que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, para la variable PFBF; lo cual, se confirma al realizar la comparación de medias entre los tratamientos, con la prueba de tukey con $P \leq 0.05$ (Cuadro 17). Sin embargo, cabe señalar que la variable PFBF alcanzó un incremento de 37.05% y una diferencia de 4.07 g con la E50:CP50, respecto al testigo. También Se puede distinguir que con la E50:FC50 se obtuvo el menor peso fresco, con un 2.97% y una diferencia de 0.328 g menos que el testigo.

4.4.4. Peso seco del botón floral (PSBF)

En el análisis de covarianza (Anexo 8) se encontró que no existen diferencias significativas para la variable PSBF, lo cual se demostró haciendo la comparación de medias de los tratamientos, con la prueba de tukey con $P \leq 0.05$ (Cuadro 17). A pesar de que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, en el mismo cuadro se observa que la E90:CP10 tiene el mayor PSBF superando al testigo en un 3.38% lo que representa 0.072 g más; lo cual, se pudo deber a que esta vermicomposta tiene niveles óptimos de nitrógeno disponible, fósforo, calcio y magnesio; además es considerada con niveles muy altos de potasio y de cobre, fierro y manganeso. En cuanto al nitrógeno total es considerada como muy rica. Además el análisis foliar de hojas de rosal muestra, que con este tratamiento el cultivo absorbió el mayor contenido de cobre. También se puede ver claramente que la E90:FC10 es la que tiene el menor peso seco de todos los tratamientos con un 12.77% y una diferencia de 0.280 g menos que el testigo.

Los análisis de covarianza realizados a las variables longitud de tallo (LT), grosor de tallo (GT), peso fresco de tallo (PFT) y peso seco de tallo (PST) demostraron que no existen diferencias significativas entre los tratamientos, excepto para la variable grosor de tallo (Anexos 9, 10, 11, 12); lo cual se corroboró al hacer las comparaciones de medias de los tratamientos con la prueba de tukey con $P \leq 0.05$ (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de los diferentes tipos de vermicompostas y fertilización comercial (testigo), sobre las variables longitud, grosor, peso fresco y peso seco de tallo, en el cultivo de rosal 'Classic'.

Variable	Tratamiento	Medias ajustadas
Longitud de tallo (LT) cm	E50:CP50	67.0842655 a ^Z
	E90:PG10	63.9378116 a
	E50:PG50	63.3011449 a
	T	60.5678116 a
	E50:FC50	59.6386981 a
	E90:CP10	57.0306839 a
	E90:FC10	56.8095846 a
	C.V. 6.111061	DMS=10.53
Grosor de tallo (GT) cm	E50:CP50	0.55572300 a ^Z
	E90:PG10	0.53136484 a
	E50:PG50	0.53086484 a
	T	0.49599818 a
	E50:FC50	0.47886697 a
	E90:FC10	0.45603576 b
	E90:CP10	0.44704640 b
	C.V. 7.007260	DMS=0.0985
Peso fresco de tallo (PFT) g	E90:PG10	28.7920061 a ^Z
	E50:CP50	26.9213678 a
	E50:PG50	25.9086727 a
	E90:CP10	25.1522898 a
	T	20.6820061 a
	E90:FC10	20.5639919 a
	E50:FC50	18.9563323 a
	C.V. 20.59750	DMS=13.84
Peso seco de tallo (PST) g	E50:CP50	8.24984802 a ^Z
	E90:PG10	7.7697771 a
	E50:PG50	7.29644377 a
	E50:FC50	6.99992604 a
	E90:CP10	6.53381966 a
	E90:FC10	6.03340831 a
	T	5.63644377 a
	C.V. 20.63546	DMS=4.029

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

^Z: Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de medias de tukey ($P \leq 0.05$).

C.V.: Coeficiente de variación., DMS: Diferencia mínima significativa.

4.4.5. Longitud de tallo (LT)

Con respecto a la variable LT en el Cuadro 18, se observa que con la E50:CP50 se tiene la mayor LT de todos los tratamientos con un 10.75% más que el testigo, lo que representa una diferencia de 6.51 cm. También se puede distinguir que la menor LT se presentó con la E90:FC10 con un 20% y una diferencia de 3.75 cm con el testigo.

4.4.6. Grosor de tallo (GT)

En cuanto a la variable GT en el Cuadro 18 se distingue que entre la E50:CP50, E90:PG10, E50:PG50, T y E50:FC50 no existen diferencias significativas, pero son estadísticamente diferentes con la E90:FC10 y la E90:CP10. También se puede notar que el mayor GT se obtuvo con la E50:CP50 que superó al testigo en un 12% con una diferencia de 0.059 cm. Con la E90:CP10 se obtuvo el menor GT con un 19.86% menos que el testigo, lo que indica una diferencia de 0.048 cm.

4.4.7. Peso fresco de tallo (PFT)

En el Cuadro 18 se observa que la E90:PG10 muestra el mayor PFT, con un 39.21% más que el testigo lo que es igual a una diferencia de 8.11 g. Además también se puede apreciar que la E50:FC50 tiene el menor PFT con una diferencia de 1.72 g lo que refleja un porcentaje de 8.34% menos que el testigo.

4.4.8. Peso seco de tallo (PST)

Con respecto a la variable PST en el Cuadro 18 se destaca que con la E50:CP50, se tiene el mayor PST, con una diferencia de 2.61 g respecto al testigo, lo que representa un incremento del 46.36%. También es importante señalar que el testigo muestra el menor PST de todos los tratamientos.

Con la vermicomposta E50:CP50 es con la que mejor responde el rosal, en cuanto a las variables diámetro de botón floral (DBF), peso fresco de botón floral (PFBF), longitud de tallo (LT), grosor de tallo (GT), peso seco de tallo (PST); lo cual puede deberse a que la E50:CP50 es muy rica en nitrógeno total (Figura 6a). Además, de acuerdo a la clasificación de Asorena (1994), presenta niveles muy altos de nitrógeno disponible y niveles óptimos de fósforo, calcio y magnesio, lo que implicaría una buena reserva de estos nutrimentos para el cultivo. Además un pH débilmente alcalino y una relación C:N de 16.52.

De acuerdo con los análisis de covarianza realizados a las variables BA y NOFL, nos reflejan que no existen diferencias significativas entre los tratamientos (Anexos 13 y 14); lo cual, se comprobó con prueba de comparación de medias de tukey con $P \leq 0.05$ (Cuadro 19).

Cuadro 19. Efecto de los diferentes tipos de vermicompostas y fertilización comercial (testigo), sobre las variables número de basales y número de flores en el cultivo de rosal 'Classic'.

Variable	Tratamiento	Medias ajustadas
Número de basales (BA)	E90:FC10	17.5845998 a ^z
	E50:PG50	15.1448835 a
	E50:FC50	14.8647416 a
	E90:CP10	14.5172239 a
	T	14.4782168 a
	E50:CP50	13.9321175 a
	E90:PG10	12.8115502 a
	C.V.	18.45990 DMS=7.66
Número de flores (NOFL)	E90:PG10	27.1225937 a ^z
	E90:FC10	26.7254306 a
	T	26.4559271 a
	E50:CP50	25.9169200 a
	E50:PG50	23.7892604 a
	E50:FC50	22.4240122 a
	E90:CP10	20.2325228 a
	C.V.	16.99207 DMS=11.80

E: estiércol; CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

^z: Valores con la misma letra dentro de columnas son estadísticamente iguales de acuerdo a la prueba de medias de tukey ($P \leq 0.05$).

C.V.: Coeficiente de variación, DMS: Diferencia mínima significativa.

4.4.9. Número de basales (BA)

En el Cuadro 19 se puede percibir que con la E90:FC10 se obtiene el mayor número de basales por parcela con una diferencia de 3.10 basales más que el testigo, lo que significa un 21.45 % más basales que el testigo. Este comportamiento se puede deber a que la vermicomposta E90FC10, de acuerdo con Asorena (1994) tiene niveles óptimos de nitrógeno disponible, calcio y magnesio. Según Ankerman y Large (1994), presenta una concentración alta de cobre. Además el análisis foliar muestra que las plantas

tratadas con esta vermicomposta, tienen la mayor concentración de fierro y magnesio de todos los tratamientos. Así mismo es importante destacar que, con la E90:PG10 se tiene el menor número de basales por metro lineal de cama, con un 11.51% menos que el testigo, lo que es igual a 1.67 basales menos.

4.4.10. Número de flores(NOFL)

En el Cuadro 19 se reporta que el mayor número de flores se consiguió con la E90:PG10 con una diferencia de 2.51 más que en las parcelas tratadas con fertilización química, lo que constituye un 2.5% más que el testigo. De igual forma, se indica que con la E90:CP10 se tiene el menor NOFL con una diferencia de 6.22 flores más respecto al testigo, lo que releva un 23.52% más.

Con respecto al rendimiento el mayor número de flores se tuvo con la E90:PG10, lo cual pudo deberse a que en el análisis foliar de hojas pentafoiliadas de rosal, las plantas tratadas con E90:PG10 mostraron el mayor contenido de nitrógeno y fósforo de todos los tratamientos (Cuadro 20), lo cual puede indicar que hubo una buena absorción de estos elementos. Este comportamiento se puede deber a que la E90:PG10 tiene el mayor contenido de nitrógeno considerada con niveles muy altos de este elemento (Figura 6b), lo que indica un buen abastecimiento de este elemento para la planta. Además presentó un pH moderadamente alcalino (Asorena 1994); y el mayor contenido de fierro de todas las vermicompostas con niveles considerados como muy altos (Ankerman y Large, 1994).

4.5. Análisis foliar de plantas tratadas con vermicompostas y fertilización comercial

El análisis foliar realizado al cultivo de rosal 'Classic' (Cuadro 20) muestra deficiencias nutrimentales para todos los macronutrientes y micronutrientes, ya que según el Laboratory Perry (1987); Reuter y Robinson (1988) y Jones *et al.* (1991), las concentraciones de nitrógeno en todas las muestras de tejido vegetal de rosal son menores al 3%, en potasio son menores a 1.8%, en calcio presentaron contenidos menores al 0.90% y en magnesio tuvieron concentraciones menores a 0.25%. En cuanto al fósforo el análisis foliar indica que se tiene un nivel bajo en todos los tratamientos, ya que se tienen valores menores a (0.10-0.20%), excepto en las muestras tratadas con la vermicomposta E50:CP50, que tienen concentraciones suficientes de este nutriente y las muestras tratadas con la vermicomposta E90:PG10 que muestran excesos de fósforo, ya que tienen concentraciones que se encuentran entre los límites (0.20 - 0.30%) y mayores a 0.35% respectivamente.

Por otro lado las concentraciones de hierro en las muestras de tejido vegetal en todos los tratamientos son menores a los 50 mg·kg⁻¹, los niveles de cobre resultaron menores a 5 mg·kg⁻¹, el contenido de zinc es menor a 15 mg·kg⁻¹ y las concentraciones de manganeso son menores a 30 mg·kg⁻¹, lo que de acuerdo con el Laboratory Perry (1987) existen deficiencias de estos nutrientes con todos los tratamientos, hasta en el testigo (fertilización comercial). Este comportamiento se puede deber a las condiciones ambientales, a la variedad o a la inmovilización de los nutrientes por el pH alcalino del suelo (8.4) y las vermicompostas. Sin embargo, haciendo monitoreos continuos del pH

en el suelo, para su corrección se podría lograr mayor disponibilidad de los nutrimentos y por consiguiente mejores resultados.

Cuadro 20. Contenido de nutrientes en hojas pentafoiliadas del cultivo rosal 'classic', Fertilizadas con las vermicompostas

E90:CP10, E50:CP50, E90:PG10, E50:PG50, E90:FC10, E50:FC50 y el testigo.

Muestra de hojas Pentafoiliadas	MACRONUTRIMENTOS					MICRONUTRIMENTOS			
	Nitrógeno (%)	Fósforo (%)	Potasio (%)	Calcio (%)	Magnesio (%)	Hierro (mg·kg ⁻¹)	Cobre (mg·kg ⁻¹)	Zinc (mg·kg ⁻¹)	Manganeso (mg·kg ⁻¹)
AFE90:CP10	1.68	0.152	0.0975	0.0400	0.0082	1.23	2.42	0.64	2.31
AFE50:CP50	1.96	0.203	0.1000	0.0660	0.0078	1.16	0.21	0.64	2.18
AFE90:PG10	1.96	1.117	0.0897	0.0541	0.0080	1.21	0.29	0.60	2.48
AFE50:PG50	1.54	0.192	0.0885	0.0400	0.0083	1.33	0.23	0.56	2.75
AFE90:FC10	1.82	0.177	0.0835	0.0335	0.0084	1.59	0.25	0.57	2.33
AFE50:FC50	1.4	0.177	0.0847	0.0532	0.0080	1.33	0.31	0.61	1.87
AFT	1.82	0.162	0.0855	0.0320	0.0081	1.34	0.32	0.69	2.51

AF: Análisis foliar, E: estiércol, CP: corteza de pino; PG: paja de gramíneas; FC: fibra de coco.

5. CONCLUSIONES

La relación C:N y la proporción de los materiales orgánicos, influyen en el aumento de temperatura durante el proceso de vermicomposteo

Las características físicas (densidad aparente porosidad, punto de marchitez permanente capacidad de campo y contenido de agua aprovechable), así como el contenido nutrimental de las vermicompostas va a depender de la cantidad y propiedades físicas y químicas, de la materia orgánica empleada en su producción.

Todas las vermicompostas tienen un buen nivel de nutrimentos disponibles para el rosal.

Aunque no logró significancia estadística, con la vermicomposta preparada a base de estiércol (50%) y corteza de pino (50%) se superó en 37% el peso fresco de botones florales obtenidos con fertilización comercial, en 10% la longitud de tallo, en 12% el grosor de tallo, en 8% el diámetro de botón floral y en 46% el peso seco de tallo.

La vermicomposta preparada con estiércol (90%) y fibra de coco (10%) se superó a la fertilización convencional en 21% el número de basales, en tanto con la preparada con estiércol (90%) y paja de gramíneas (10%), se superó en 3% el peso seco de botón floral, en 39% el peso fresco de tallo; mientras que la vermicomposta elaborada con estiércol (50%) paja de gramíneas (50%) superó en 11% la longitud de botón floral.

El uso de vermicompostas como fertilizantes orgánicos, igualan la calidad y la producción que se obtiene con la fertilización comercial.

El análisis foliar muestra deficiencias nutrimentales con todos los tratamientos.

6. LITERATURA CITADA

Alexander, M. 1980. Introducción a la microbiología del suelo. AGT Editor, S. A.
México D. F. 490 p.

Ankerman D., And Large R. (----). Soli and plant analysis A & Lombrices Agricultural
Laboratories, Memphis Tenn. U.S.A.

Alter, D. and A. Mitchell. 1992. Use of vermicompost extract as an aluminium inhibitor
in aqueous solutions. Commun. Soils Sci. Plant Anal. 23 (3 &4): 231-240.

Asorena M; J. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Ediciones Mundi-Prensa.
Barcelona España. 172 p.

Bouche, M. 1985. Los gusanos de tierra. Mundo Científico. 40(4): 954-963.

- Brebels, L. and A. Beeke. 1985. Comercial production of (vermi)compost using lumbricidae under controlled climatic conditions. *Acta Horticulturae* 172: 251-254.
- Bugg, R. L. 1997. Ecological soil management and soil fauna: Best practices in California Vineyards. Viticulture Seminar, Australian Society for viticulture and Oenology. Sustainable agriculture ressearch and education program.
- Cabrera, R. I., R. Y. Evans, and J. L. Paul. 1993. Leaching losses of from container-grown roses. *Elsevier Science Publishers. B. V; Amsterdam. Scientia Horticulturae* 63: 57-66.
- Cabrera, R. I., R. Y. Evans, and J. L. Paul. 1995. Cyclic nitrogen uptake by greenhouse roses. *Scientia Horticulturae* 63: 57-66.
- Caroline C; Mba. 1989. Biomass and vermicompost production by the earthworm *Eudrilus eugeniae* (Kinberg). *Rev. Biol. Trop.* 37(1): 11-14.
- Carrera G; S Efecto de la vermicomposta en la obtención de esquejes de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima* W.) cv. Subjibi. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Fitotecnia. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México. 66 p.

- Castillo J; D. Efecto de la vermicomposta y efluente en la producción de flores de corte de crisantemo (*Dendranthema grandiflora* T.) cv. Bountyi. Tesis para obtener el título de Ingeniero Agrónomo. Departamento de Fitotecnia. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México. 67 p.
- Cegarra R., J. and A. Roig. 1993. Compost in floriculture. *Acta Horticulturae*. 342: 175-181.
- Cole, M. A. 1998. Fundamentos del compostaje. Curso corto impartido en la Universidad Autónoma Chapingo. El 26 de octubre de 1998. Chapingo, México.
- Colin, F., J. L. Morel., J. C. Germon., P. Godin., and C. Juste. 1985 Methods for evaluation of maturity of municipal refuse compost. *In: Composting of Agricultural and other wastes*. edited by Gasser, J. K. R. Elvieser Aplied Science Publishers Co., Inc U.S.A. pp: 56-71.
- Compagnoni, L. y G. Putzolu. 1983. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del Humus. De Vecchi. Barcelona, España. 127 p.
- Cuendet, G. 1984. A comparative study of the earthworm population of four different woodland types in Wytham woods, Oxford. *Pedobiologia* 26: 421-439.
- Chen, Y. and T. Aviad. 1990. Effects of humic substances on plant growth. *In. Humic substances in soil and crop sciences: selected readings*. pp: 169.

- Dixid, V. K; and N. Kishore. 1967. Effect of humic acid and fulvic acid fraction of soil organic matter on seed germination. Indian J. Sci ind Sec A 1:202-206
- Donahue, L. R; W. R. Miller; y C. J. Shikluna. 1981. Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas. Ed. Pentice Hall International. Calí, Colombia. 624 p.
- Edwards, C. A. and J. R. Lofty. 1977. Biology of earthworm. 2a ed. First published. By Chapman and Hall Ltd. Gran Bretaña. pp: 1-109.
- Edwards, C. A., I. Burrows., K. E. Fletcher., and B. A. Jones. 1985. The Use earthworms for composting farm wastes. *In*: Composting of Agricultural and other wastes. Gasser, J. K. R. (ed.). Elvieser Aplied Science Publishers Co., Inc U.S.A. pp: 229-242.
- Edwards, C. A. and K. E. Fletcher. 1988. Interactions between earthworms and microorganisms in organic-matter breakdown. Agriculture, Ecosystems and Enviroment. 24: 235-247.
- FAO. 1983. El reciclaje de meterias orgánicas en la agricultura de América Latina: Informe de la reunión-taller Latinoamericana sobre el reciclaje de materias orgánicas en la Agicultura. San José, Costa Rica (7-17 de julio de 1980) 254 p.
- Ferrer M., F. y J. Salvador P. 1986. La producción de rosas en cultivo protegido. Universal Plantas, S.A. Sevilla, España. 382 p.

Ferruzzi, C. 1987. Manual de lombricultura. Segunda edición. Mundi Prensa. Madrid, España. 120 p.

Fuentes Y; J. L. 1992. Los abonos. Cuarta edición. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 133p.

García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climático de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, D. F.

Gouin, F. R. 1993. Utilization of sludge Compost in Horticulture. Hort Technology. 3(2): 161-163.

Grappelli, A., U. Tomati., and E. Galli. 1985. Earthworm casting in plant propagation. Hort Science. 20 (5): 874-875.

Gros, A. 1981. Abonos. Guía práctica de la Fertilización. Ediciones Mundi Prensa. Madrid España. pp: 115-118.

Guerrero G; A. 1990. El suelo, los abonos y la fertilización. Ed. Mundi- Prensa. Madrid, España.

Guibertau C., A. y J. Labrador M. 1991. Técnicas de cultivo en agricultura ecológica. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid, España. 78 p.

Hasek, R. F. 1996. Rosas. *In: Introducción a la Floricultura*. Editado por R. A. Larson 3ª edición Departamento de Ciencias Hortícolas de la Universidad Del Estado de Carolina del Norte. pp: 73-94.

Jones, B. J., J; Jr. B. Wolf H; and A. Mills. 1991. A practical sampling, analysis and interpretation guide. Micro. Macro Publishing, Inc. pp: 149 .

Kale, R. D., B. C. Mallesh., K. Bano, and D. C. Bagyaraj. 1992. Influence of vermicompost application on the available macronutrients and selected microbiana populations in a paddy field. *Soil Biol. Biochem.* 24(12): 1317-1320.

Laboratory Perry 1987. General guide for evaluating rose plant tissue. *Serving Agriculture Since 1938*.

Logsdon, S. D. and D. R. Linden. 1992. Interactions of earthworms with soil physical conditions influencing plant growth. *Soil Science.* 154(4): 331-337.

Lunt, H. A. and G. M. Jacobons. 1994. The chemical composition of earthworms casts. *Soil Science* 58: 367-376.

Mackay, A. D., J. K. Syers., J. A. Springett., and P. E. H. Gregg. 1982. Plant availability of phosphorus in superphosphate and a phosphate rock as influenced by earthworm. *Soil Biol. Biochem.* 14: 281-287.

- Marinissen, J. C. Y. and P. C. de Ruiter. 1993. Contribution of earthworm to carbon and nitrogen cycling in agro-ecosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 47: 59-74.
- Martínez C., C. 1994. La lombricultura, una opción para suelos y los desechos. La Jornada Ecológica. 20 de junio.
- Martínez C; C. 1996. Potencial de la lombricultura. Elementos básicos para su desarrollo. *Lombricultura Técnica Mexicana*. México, D.F. pp: 90-91.
- Meggelen-Laagland, I. V. 1995. Golden future for coco substrate. *FloraCulture International*. pp: 16-18 .
- Mitchell, A. and D. Alter. 1993. Supression of labile aluminium in acid soils by the use of vermicompost extract. *Commun. Soils Sci. Plant Anal.* 24 (11 & 12): 1171-1181.
- Mitchell, M. J., C. M. Parkinson., W. E., Halmilton., and D. L. Dindal. 1982. Role of earthworm, *Eisenia foetida* in affecting organic matter decomposition in microcosms of sludge-amend soil. *Journal of Applied Ecology*. 19: 805-812.
- Muscolo, A., M. Felici, G. Concheri., and S. Nardi. 1993. Effect of earthworm humic substances on esterase and peroxidase activity during growth of leaf explants of *Nicotiana plumbaginifolia*. *Biology and Fertility of Soils*. 15: 127-131.

- Nappi, P., R. Barberis., and M. Consiglio. 1992. Chemical-physical and biological parameters for evaluating compost quality . *Acta Horticulturae*. 302: 267-278.
- Nappi, P. and R. Barberis. 1993. Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Horticulturae*. 342: 249-257.
- Naranjo 1984. El uso del compost como mejorador del suelo en la agricultura. INIA. Jalisco, México. pp: 23.
- Nielson, R. L. 1965. Presence of plant growth substances in earthworms demonstrated by paper chromatography and the went pea test. *Nature* 11:1113-1114.
- Parle, J. N. 1963a. Micro- organisms in the intestine of earthworms. *J. Gen. Microbiol.* 31: 1-11.
- Parle, J. N. 1963b. A microbiological study of earthworm casts. *J. Gen. Microbiol.* 31: 13-22.
- Pinto R; J. J. 1995. Gestión y utilización de residuos urbanos para la agricultura. Editorial ADEOS. Barcelona, España. 181 p.
- Post, K. 1950. Florist crop production and marketing. Orange Judd Publications, New York. pp: 758-803.

- Reuter, D. J. and J. B. Robinson. 1988. Plant analysis an interpretation manual. Inkata Press. Molbourne, Sydney. pp: 212-215.
- Richter, G and W. A. Jury. 1986. A microlysimeter field study of solute transport through a structured sandy loam soil. Soil Sci. Soc. Am. J. 50:863 - 868 .
- Rodríguez S; F. 1982. Fertilizantes nutrición vegetal. AGT Editor. México, D. F. 157.
- Rosen, C. J.; T. R. Halbach., and B. T. Swanson. 1993. Horticultural uses of municipal solid waste composts. Hort Technology. 3 (2): 161-173.
- Ruiz F; J. F. 1991. Agricultura Bio-intensiva sostenible en el minifundio mexicano. Una alternativa para la producción de alimentos y el manejo ecológico del suelo. Universidad Autónoma Chapingo, Departamento de Suelos. Chapingo, México. pp: 46.
- Ruiz F., J. F. 1996. Los fertilizante y la fertilización orgánica bajo la óptica de un sistema de producción. Memorias del Primer Foro Nacional Sobre Agricultura Orgánica. Universidad Autónoma Metropolitana (UAM). Xochimilco, México. pp: 23-47.
- Ruiz F., J. F. 1999. Tópicos sobre agricultura orgánica. consejo nacional regulador de agricultura orgánica (CONARAO). Universidad Autónoma Chapingo. 338 p.

- Sacristán, E. 1994. Hay más organismos vivos un gramo de compost que seres humanos en todo el planeta. Muy Interesante. Enero-Diciembre. pp: 77-80.
- Schmilewski, G. K. 1991. Quality control and use of composted organic wastes as components of growing media in the Federal Republic of Germany. *Acta Horticultural* 24: 89-98.
- Sharpley, A. N. and J. K. Syers 1976. Potential role of earthworm cast for phosphorus enrichment of run-off waters. *Soil Biol. Biochem.* 8: 341-346.
- Shipitalo, M. J. and R. Protz. 1989. Chemistry and micromorphology of aggregation in earthworm cast. *Geoderma.* 45: 357-374.
- Sladk, Z. 1959. The effect of extracted humus substances on growth of tomato plants. *Biol. Plant.* 1: 9-15.
- Smidova, M. 1962. Effect of sodium humate on swelling and germination of plant roots. *Biol. Plant* 4: 112-118.
- Spain, A. V., P. Lavelle, and A. Mariotti. 1992. Stimulation of plant growth by tropical earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 24(12): 1629-1633.
- Syers, J. K., A. N. Sharpley., and D. R. Keeney. 1979. Cycling of nitrogen by surface-casting earthworms in pasture ecosystem. *Soil Biol. Biochem.* 11: 181-185.

Syers, J. K., and J. A. Springett. 1984. Earthworms and soil fertility. *Plant and Soil*. 76: 93-104.

Tavera S., G. G. 1985. Criterios para la interpretación y aprovechamiento de los reportes de laboratorios para las áreas de asistencia técnica Publicación 3. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Delegación de la laguna Matamoros, Coahuila México.

Thorpe, I. S., K. Killham; J I. Prosser., and A. Glover. 1993. Novel method for the study of the population dynamics of a genetically modified microorganism in the gut of the earthworm *Lumbricus terrestris*. *Biology and Fertility of Soils*. 15: 55-59.

Trojan, M. D. and D. R. Linden. 1992. Microrelief and rainfall effects on water and solute movement in earthworm burrows. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 56: 727-733.

Turner, D. P. and E. H. Franz. 1985. The influence of western hemlock and western red cedar on microbiana number, nitrogen mineralization and nitrification. *Plant and Soil* 88: 259-265.

Vaughan, D. and R. E. Malcolm. 1985. Influence of humic substances on biochemical processes in plants. *In: Soil organic matter and biological activity*. D. Vaughan and R. E. Malcolm (eds) Martinus Nijhoff/Dr. W Junk Publisher, Dordrecht Boston Lancaster, pp: 77-108.

- Withe, J. W. 1987. Fertilization *In*: Roses a Manual on the Culture, Management, Diseases and Insects of Greenhouse Roses. edited by R. W. Langhans. Cornell University, Ithaca, New York. pp: 87-142.
- Zhang, H. and S. Schrader. 1993. Earthworm effects on selected physical and chemical properties of soil aggregates. *Biology and Fertility of Soils*. 15: 229-234.
- Zhao Shi-Wei and Huong Fu-Zhen 1992. The nitrogen uptake efficiency from N^{15} labelled chemical fertilizer in the presence of earthworm manure (cast). *In* Advances Management and Conservation of Soil Fauna. edited by G. K. Veeresh, D. Rajagopal and C. A. Viraktamath. pp: 539-542.
- Zou, X. 1993. Species effects on earthworm density in tropical tree plantations in Hawaii. *Biology and Fertility of Soils*. 15: 35-38.
- Zucconi, F., A. Monaco., and M. Forte. (1985). Phytotoxins during the stabilization of organic matter. *In*: Composting of Agricultural and other wastes. edited by Gasser, J. K. R. Elvieser Aplied Science Publishers Co., Inc U.S.A. pp: 73-85.

7. ANEXOS

Anexo 1. Sistema de clasificación de suelos o soluciones en base al pH.

PH	Denominación
Inferior a 4.0	Extremadamente ácido
4.0 a 5.0	Muy fuertemente ácido
5.0 a 5.5	Fuertemente ácido
5.5 a 6.0	Moderadamente ácido
6.0 a 6.7	Ligeramente ácido
6.7 a 7.3	Rango neutro
7.0	Neutro
7.3 a 8.0	Débilmente alcalino
8.0 a 8.5	Moderadamente alcalino
8.5 a 9.0	Fuertemente alcalino
9.0 a 10.0	Muy fuertemente alcalino
Superior a 10.0	Extremadamente alcalino

Fuente: (Asorena, 1994).

Anexo 2. Interpretación de los niveles de nutrientes obtenidos por el método del extracto de saturación.

Niveles	Concentración de nutrimentos en (ppm)				
	N (nitrógeno)	Fósforo	Potasio	Calcio	Magnesio
Bajo	<19	<2	<59	<79	<29
Aceptable	40-99	3-5	60-149	80-199	30-60
Óptimo	100-199	6-10	150-249	>200	>70
Alto	200-299	11-18	250-349	--	--
Muy alto	>300	>19	>350	--	--

Fuente: (Asorena, 1994).

Anexo 3. Clasificación de nitrógeno total según Tavera (1985).

Clase	Nitrógeno total (%)
Muy pobre	< 0.05
Pobre	0.05 - 0.10
Medio	0.10 - 0.15
Rico	0.15 - 0.25
Muy rico	> 0.25

Anexo 4. Hierro, cobre, zinc y maganeso extractables con DTPA.

Clase	Hierro	Cobre	Zinc	Manganeso
	$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$			
Muy bajo	<5	<0.3	<1	<5
Bajo	5-10	00.3-0.8	1-3	5-14
Medio	10-16	0.8-1.2	3-5	14-29
Alto	16-25	1.2-2.5	5-8	29-50
Muy alto	>25	>25	>8	>50

Fuente: (Ankerman y Large, 1994).

Anexo 5. Análisis de covarianza de la variable longitud de botón floral, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	0.96079376	0.13725625	0.6940
Error	13	2.66115723	0.20470440	
Total corregido	20	3.62195099		

F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.85818456	0.14303076	0.6557
NOPL	1	0.10260919	0.10260919	0.4914

F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.80488752	0.13414792	0.6863 NS
NOPL	1	0.10260919	0.10260919	0.4914

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 6. Análisis de covarianza de la variable diámetro de botón floral, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

FV	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	0.24018877	0.03431268	0.0703
Error	13	0.17618754	0.01355289	
Total corregido	20	0.41637631		
F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.21520917	0.03586820	0.0667
NOPL	1	0.02497960	0.02497960	0.1977
F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.23617915	0.03936319	0.0506 ^z
NOPL	1	0.02497960	0.02497960	0.1977

^z: existen diferencias significativas con $P \leq 0.05$.

Anexo 7. Análisis de covarianza de la variable peso fresco de botón floral, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	58.09440927	8.29920132	0.4892
Error	13	110.88884787	8.52991137	
Total corregido	20	168.98325714		
F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	54.12192381	9.02032063	0.4344
NOPL	1	3.97248546	3.97248546	0.5069
F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	47.15186688	7.85864448	0.5106 NS
NOPL	1	3.97248546	3.97248546	0.5069

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 8. Análisis de covarianza de la variable peso seco de botón floral, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	0.37090213	0.05298602	0.6300
Error	13	0.90735216	0.06979632	
Total corregido	20	1.27825429		

F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.31331029	0.05221838	0.6216
NOPL	1	0.05759184	0.05759184	0.3802

F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.26169739	0.04361623	0.7081 NS
NOPL	1	0.05759184	0.05759184	0.3802

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 9. Análisis de covarianza de la variable longitud de tallo, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	216.67133592	30.95304799	0.1025
Error	13	181.81037837	13.98541372	
Total corregido	20	398.48171429		

F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	92.91964762	15.48660794	0.4091
NOPL	1	123.75168830	123.75168830	0.0108

F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	183.04719528	30.50786588	0.1124 NS
NOPL	1	123.75168830	123.75168830	0.0108

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 10. Análisis de covarianza de la variable grosor de tallo, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	0.02173978	0.00310568	0.0700 Φ
Error	13	0.01592069	0.00122467	
Total corregido	20	0.03766047		

F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.01431493	0.00238582	0.1476
NOPL	1	0.00742485	0.00742485	0.0285

F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	0.02148560	0.00358093	0.0495 ^z
NOPL	1	0.00742485	0.00742485	0.0285

^z: existen diferencias significativas con $P \leq 0.05$.

Anexo 11. Análisis de covarianza de la variable peso fresco de tallo, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

FV	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	266.87737325	38.12533904	0.2262
Error	13	313.82532199	24.14040938	
Total corregido	20	580.70269524		
F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	244.39742857	40.73290476	0.2016
NOPL	1	22.47994468	22.47994468	0.3522
F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > Fi
Tratamiento	6	249.66065670	41.61010945	0.1930 NS
NOPL	1	22.47994468	22.47994468	0.3522

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 12. Análisis de covarianza de la variable peso seco de tallo, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	15.72081921	2.24583132	0.4188
Error	13	26.59568574	2.04582198	
Total corregido	20	42.31650495		
F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	11.37188162	1.89531360	0.5076
NOPL	1	4.34893759	4.34893759	0.1686
F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	13.85365435	2.30894239	0.3987 NS
NOPL	1	4.34893759	4.34893759	0.1686

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 13. Análisis de covarianza de la variable número de basales, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	507.27406282	72.46772326	0.0003
Error	13	96.53546099	7.42580469	
Total corregido	20	603.80952381		

F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	254.47619048	42.41269841	0.1936
NOPL	1	252.79787234	252.79787234	0.0001

F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	37.25140951	6.2085825	0.5634 NS
NOPL	1	252.79787234	252.79787234	0.0001

NS: No existen diferencias significativas.

Anexo 14. Análisis de covarianza de la variable número de flores, evaluada en el cultivo de rosal 'classic', fertilizado con vermicompostas y fertilización comercial (testigo).

F.V	GL	Suma de Cuadrados	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	7	1148.28723404	164.04103343	0.0003
Error	13	228.37943262	17.56764866	
Total corregido	20	1376.66666667		
F.V	GL	Error tipo I	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	334.66666667	55.77777778	0.0382
NOPL	1	813.62056738	813.62056738	0.0001
F.V	GL	Error tipo III	Cuadrado Medio	Pr > F
Tratamiento	6	99.44340910	16.57390152	0.4976 NS
NOPL	1	813.62056738	813.62056738	0.0001

NS: No existen diferencias significativas.