

**EVALUACIÓN DE VERMICOMPOSTA DE CAFÉ COMO MEDIO
ALTERNO EN LA PRODUCCIÓN DE PIMIENTO TIPO
CUBANELLE (*Capsicum annum* L.)**

Por:

Mayra Enid González Santiago

MAESTRO EN CIENCIAS
en

Horticultura

UNIVERSIDAD DE PUERTO RICO
RECINTO UNIVERSITARIO DE MAYAGÜEZ
MAYAGÜEZ, PUERTO RICO
2012

Aprobado por:

Lizzette González-Gill, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

Francisco M. Monroig Saltar, PhD
Miembro, Comité Graduado

Fecha

María Del Carmen Librán Salas, PhD
Presidenta, Comité Graduado

Fecha

Margarita Fernández Vivo, PhD
Representante de Escuela Graduada

Fecha

Skip Van Bloem PhD
Director de Departamento

Fecha

ABSTRACT

A chemical and physical characterization of vermicompost from coffee pulp was conducted to determine nutrients content and its potential use as a substrate for germination when mixed with Pro-Mix ® and as growth substrate when mixed with soil. The electrical conductivity, the concentrations of N, P, K and the percentage of organic matter increased when we add the vermicompost while the pH decreased. The germination tests results shown that treatments that contained vermicompost had an adverse effect on germination of *Capsicum annuum* pepper. In the growth and development experiments of *Capsicum annuum*, it was observed that transplanted plants in treatments of 50% and 100% of vermicompost shown highest height, and more flowers and fruits production. The optimum size of peppers was obtained in treatments with 25% and 50% of vermicompost.

RESUMEN

Se realizó una caracterización química y física de la vermicomposta de la pulpa de café para determinar su contenido de nutrimentos y su potencial para utilizarse como sustrato de germinación al ser mezclada con Pro-Mix ® y como sustrato de crecimiento al ser mezclada con suelo. La conductividad eléctrica, las concentraciones de N, P, K y el porcentaje de Materia Orgánica aumentaron al añadir la vermicomposta mientras que el pH disminuyó. Los resultados de las pruebas de germinación mostraron que los tratamientos que contenían vermicomposta tuvieron un efecto adverso en la germinación del pimiento *Capsicum annuum*. En las pruebas de crecimiento y desarrollo de *Capsicum annuum*, se observó que las plantas trasplantadas en los tratamientos de 50% y 100% de vermicomposta mostraron una mayor altura, y mayor producción de flores y frutos. El tamaño óptimo de pimientos se obtuvo en los tratamientos con 25% y 50% de vermicomposta.

Derechos de autor reservados por © Mayra Enid González Santiago-2012

DEDICATORIA

Con mucho amor y cariño dedico éste logro a Dios por ser mi fortaleza y mi guía durante este largo caminar. A mis padres Denismark González y Mayra M. Santiago por ser mi ejemplo a seguir y enseñarme a luchar por las metas propuestas. A ellos por hacer de mí una persona de bien y creer en mis capacidades. A mi hermano Denismark por decir presente cada vez que necesite de su ayuda y a mi amado esposo Carlos por ser mi paño de lágrimas, siempre tener palabras de aliento adecuadas para animarme a seguir adelante y por acompañarme en esta importante etapa de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Primeramente le agradezco a Dios por darme la fortaleza y la salud para poder realizar ésta maestría y no permitir que me rindiera en los momentos de dificultades. A la Dra. María Del Carmen Librán por ser mi directora de tesis, compartir conmigo gratas experiencias a través de mis años de estudio y gracias por brindarme su confianza, su amistad, dirigirme y corregirme durante la realización de esta tesis. Agradezco al Dr. Francisco Monroig por permitirme vivir la experiencia de ser su ayudante de cátedra, por brindarme sus consejos, correcciones y recomendaciones para lograr terminar la tesis. A la Dra. Lizzette González por brindarme su apoyo y sus recomendaciones en este trabajo de investigación.

Gracias al personal de la Estación Experimental Agrícola de Limaní en Adjuntas por proveerme la vermicomposta de pulpa de café utilizada en esta investigación. Le agradezco al Dr. Ricardo Goenagas por permitirme realizar la caracterización química en las facilidades del laboratorio de química en TARS. Gracias a Delvis Pérez, químico de TARS por regalarme parte de su tiempo, compartir su experiencia y ayudarme en la realización de los análisis químicos. Al Dr. Víctor Snider por la colaboración de la caracterización física.

Agradezco a los técnicos de laboratorio Lilliam Cardona y a Miguel Ruperto por ayudarme en la búsqueda de materiales y con la preparación de las mezclas de sustratos utilizados en esta investigación. Al personal de la Finca Alzamora por permitirme localizar mi trabajo en la finca y prestarme las herramientas necesarias para trabajar en el mismo.

A la Dra. Linda Beaver y a Rocío Suarez agradezco sus orientaciones y correcciones de los análisis estadísticos realizados. A mis compañeras y amigas María Riojas, Adamaris Lamourt, Verónica Acevedo, Vanessa Rivera y mi prima Angie, mil gracias por escucharme, ayudarme en la toma de datos y brindarme sus consejos. Por último agradezco a mis padres, a mi hermano y a mi esposo que me han brindado el aliento y el apoyo necesario durante mi paso por la universidad.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
Lista de Tablas	ix
Lista de Figuras.....	x
Lista de Abreviaturas.....	xii
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS GENERALES	4
1.2 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
1.2.1 <i>Cultivo de pimientos (Capsicum annuum L.)</i>	4
1.2.2 <i>Vermicomposta</i>	5
1.2.3 <i>Características químicas y físicas del suelo</i>	9
CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SUSTRATOS CONTENIENDO VERMICOMPOSTA DE PULPA DE CAFÉ	14
2.1 RESUMEN	14
2.2 INTRODUCCIÓN	15
2.2.1 <i>Características Físicas</i>	17
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS.....	18
2.3.1 <i>Caracterización Química de los Sustratos Conteniendo Vermicomposta de Pulpa de Café.</i>	19
2.3.2. <i>Caracterización Física</i>	27
2.3.3 <i>Análisis Estadístico</i>	27
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
2.4.1 <i>Caracterización Química</i>	27
2.4.2 <i>Caracterización Física</i>	50
2.5 CONCLUSIONES	52
CAPÍTULO 3: RESPUESTA DE CRECIMIENTO DE PLANTAS DE PIMIENTO (<i>Capsicum annuum L.</i>) GERMINADAS EN VERMICOMPOSTA DE CAFÉ	53
3.1 RESUMEN	53
3.2 INTRODUCCIÓN	54
3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	57
3.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	58
3.4.1 <i>Germinación de semillas de pimiento</i>	58
3.4.2 <i>Producción de pimiento en el campo</i>	60
3.4.3 <i>Análisis Estadístico</i>	61

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
3.5.1 Prueba de germinación.....	61
3.5.2 Evaluación de parámetros de crecimiento.....	65
3.6 CONCLUSIONES	66
CAPÍTULO 4: PRODUCCIÓN DE PIMIENTOS (<i>Capsicum annuum</i> L.) EN ENVASES CONTENIENDO PROPORCIONES DE VERMICOMPOSTA DE CAFÉ COMO SUSTRATO.....	67
4.1 RESUMEN	67
4.2 INTRODUCCIÓN	67
4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	70
4.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	70
4.4.1. Sustratos.....	70
4.4.2 Diseño Experimental.....	70
4.4.3 Determinación de Parámetros de Crecimiento	72
4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	73
4.5.1 Altura de Plantas	73
4.5.2 Desarrollo de Flores	76
4.5.3. Peso Fresco y Peso Seco.....	78
4.5.4 Frutos	79
4.6 Conclusión	83
Recomendaciones.....	85
Literatura Citada.....	87

LISTA DE TABLAS

	Página
Tabla 2.1.Tratamientos caracterizados y utilizados en la germinación de semillas	20
Tabla 2.2.Tratamiento caracterizados y utilizados para la evaluación de parámetros de crecimiento de plantas de pimiento.....	20
Tabla 2.3.Análisis de los macro elementos en sustratos conteniendo vermicomposta de pulpa de café.	34
Tabla 2.4.Análisis de los micro elementos en sustratos conteniendo vermicomposta.....	43
Tabla 2.5.Conductividad eléctrica en los tratamientos de vermicomposta y Pro-Mix®.....	49
Tabla 2.6 Comparación de características químicas de macro elementos, pH y materia orgánica.....	50
Tabla 2.7 Comparación de microelementos de los sustratos de interés en la caracterización química.....	50
Tabla 3.1.Tratamientos utilizados como sustratos en las pruebas de la germinación de semillas de pimiento.....	55
Tabla 3.2.Parámetros de crecimiento de plantas trasplantadas en el campo.....	65
Tabla 3.3.Parámetros del desarrollo de los frutos en plantas trasplantadas en el campo.....	66
Tabla 4.1.Tratamientos utilizados en el trasplante de plantas en tiestos con diferentes proporciones de VC:Suelo.....	69
Tabla 4.2.Promedio de los parámetros de desarrollo de los frutos de pimientos....	93

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 2.1. Metro de pH Orion Research Modelo 01A/ digital Ion Analyzer.....	21
Figura 2.2. Tubos digestores con las muestras y la cápsula Kjeldahl.....	22
Figura 2.3. Reacción de las muestras con el ácido sulfúrico y la cápsula Kjeldahl.....	22
Figura 2.4 Destilador Foss Kjeltex™ 200.....	22
Figura 2.5. Destilador al vapor para la determinación de Nitrato y Amonio.....	23
Figura 2.6. Espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 30.....	24
Figura 2.7. Diagrama de flujo para la determinación de Fósforo por colorimetría.....	25
Figura 2.8. Niveles de pH según las proporciones de los sustratos vermicomposta de café ProMix®.....	28
Figura 2.9. Niveles de pH en los sustratos con diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo aluvión.....	29
Figura 2.10. Nitrógeno Total en las diferentes proporciones de vermicomposta de pulpa de café y Pro-Mix®.....	31
Figura 2.11. Concentraciones de Nitrógeno Total en las proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	35
Figura 2.12. Porcentaje de Fósforo en los tratamientos de vermicomposta de café y Pro- Mix®.....	36
Figura 2.13. Concentraciones de Fósforo para los tratamientos de vermicomposta de café y suelo.....	37
Figura 2.14. Porcentaje de Potasio (K ⁺), en los sustratos a base de vermicomposta de pulpa de café y Pro-Mix®.....	38
Figura 2.15. Porcentaje de Potasio (K ⁺) en el sustrato con diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	39
Figura 2.16. Porcentaje de Calcio (Ca ⁺²) en los sustratos con diferentes proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix® y suelo.....	40
Figura 2.17. Concentraciones de Calcio (Ca ⁺²) para los tratamientos de vermicomposta de café y Pro-Mix® y las proporciones de vermicompostade café y suelo.....	41

Figura 2.18. Porciento de materia orgánica en los tratamientos de vermicomposta de café y Pro-Mix®.....	47
Figura 2.19. Porciento de Materia Orgánica para los sustratos con vermicomposta de café y suelo.....	48
Figura 2.20. Densidad aparente de las proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	51
Figura 3.1. Diagrama de las etapas de la germinación de semilla.....	55
Figura 3.2. Diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) para la germinación de semillas de pimienta.....	58
Figura 3.3. Diseño experimental completamente aleatorizado del estudio de campo...61	
Figura 3.4. Promedio de la germinación en las semillas de pimienta utilizando diferentes proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix®.	62
Figura 3.5. Plántulas de pimienta el día del trasplante a los tiestos de 4 pulg. en el sustrato (Pro-Mix®).	63
Figura 4.1. Representación del Diseño Experimental en Bloque Completamente Aleatorizados (DBCA) utilizado en el estudio de campo.	71
Figura 4.2. Promedio de la altura final de las plantas de pimienta cultivadas en tiestos con diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.	74
Figura 4.3. Comparación visual del desarrollo de plantas cultivadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	75
Figura 4.4. Comparación visual del tamaño de hojas de plantas cultivadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	75
Figura 4.5. Promedio de la producción de flores por semanas en plantas de pimienta trasplantadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	77
Figura 4.6. Promedio del peso fresco y seco de plantas de pimienta cultivadas en diferentes proporciones de VC: Suelo.....	79
Figura 4.7. Promedio del peso total de pimientos cosechados en diferentes tratamientos de vermicomposta de café y suelo.....	80
Figura 4.8. Promedio del total de frutos de pimientos cosechados según las proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	81
Figura 4.9. Apreciación visual de los frutos de pimienta tipo Cubanelle (<i>Capsicum annuum</i> , L.), cultivados en las diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.....	82

LISTA DE ABREVIATURAS

VC	Vermicomposta de Café
S	Suelo
PM	Pro-Mix®
DCA	Diseño Completamente Aleatorizado
DBCA	Diseño Experimental en Bloque Completamente Aleatorizado
N	Nitrógeno
NO_3^- -N	Nitrógeno en forma de Nitrato
NH_4^+ -N	Nitrógeno en forma de Amonio
g	gramos
g/cm^3	gramos por centímetros cúbicos
K^+	Potasio
P	Fósforo
Ca^{+2}	Calcio
Mg	Magnesio
Mn	Manganeso
Fe	Hierro
Zn	Zinc
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
mL	mililitro
H^+	Hidrógeno
NaOH	Hidróxido de Sodio
H_3BO_3	Ácido Bórico
HCl	Ácido Clorídico
$\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}$	Ácido Sulfámico
MgO	Óxido de Magnesio
$\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$	Acetato de Amonio
$\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$	Dicromato de Potasio

$\text{Fe}(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$	Sulfato de Amonio Ferroso
CO	Carbono Orgánico
MO	Materia Orgánico
CE	Conductividad Eléctrica
Da	Densidad aparente
kPa	Kilo Pascales
DMS	Diferencia Mínima Significativa
ppm	partes por millón
dS/m	decisimens por metro
pulg	pulgadas
min	minutos

CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN

Durante los últimos tiempos se ha percibido una preocupación a nivel mundial por los problemas relacionados al deterioro del medio ambiente (Sharma, et. al, 2005). Debido al acelerado crecimiento poblacional, las prácticas agrícolas y la industrialización, ha habido un incremento en la producción de los desechos orgánicos. El aumento en el volumen de los residuos orgánicos es uno de los aspectos contribuyentes de la crisis ambiental. Algunos de los residuos orgánicos provenientes de la actividad agrícola son, excremento de animales, residuos de plantas y frutas, aguas residuales, residuos de ensilaje y desperdicios de cocina. La contaminación de los cuerpos de agua, la producción de olores ofensivos y la contaminación de suelos y la atmósfera son algunos de los problemas de mayor impacto ambiental, y trae consigo repercusiones a la salud humana (Zeller, 2007). Considerando el aumento continuo de la población en el mundo y los efectos perjudiciales de los sistemas agrícolas en el medio ambiente, es necesario desarrollar formas sustentables para la producción de alimentos y el manejo adecuado de los desechos.

La agricultura sustentable es el manejo exitoso de los recursos para satisfacer las necesidades humanas manteniendo o mejorando la calidad ambiental y conservando los recursos naturales al mismo tiempo (Geliessman, S.R. 2002). El objetivo principal de la agricultura sustentable es desarrollar sistemas agrícolas que sean productivos y rentables, conservando la base de los recursos naturales, protegiendo el medio ambiente, mejorando la salud y asegurándola por un largo término. El disponer de los diferentes residuos orgánicos generados tanto por la agricultura como por el hombre se ha convertido en un tema de importancia para mantener la salubridad del ambiente e incrementar la agricultura en diferentes países en el mundo (Senapati y Jalka, 1993).

En Puerto Rico por ser una Isla pequeña, existe la necesidad de encontrar alternativas viables para disposición de los residuos orgánicos generados a partir de las diferentes actividades agrícolas. En el beneficiado húmedo del café, proceso que

consiste en la remoción de la pulpa y el mucílago de la fruta, se producen grandes cantidades de desperdicios orgánicos ya que la pulpa y el mucílago componen alrededor del 40 al 50 por ciento del peso fresco del fruto (Monroig, 2010; Calle, V.H., 1977., Blandón, et al.; 1999). Los residuos y subproductos del café constituyen una fuente de contaminación y problemas en el medio ambiente, contaminando las aguas por lixiviados y generando CO₂ a la atmósfera.

Una alternativa para reutilizar los desechos generados durante el beneficiado es mediante la elaboración de vermicomposta. La vermicomposta es la conversión de materiales biodegradables mediante la digestión de las lombrices de tierra, de esta manera convirtiendo los desechos en un producto útil para la agricultura (Tripathi, et al.; 2005). La vermicomposta de pulpa de café puede tener un gran potencial como sustrato de propagación de los diferentes cultivos hortícolas y podría servir como un sustrato alternativo a la turba.

La turba ha sido el material orgánico de mayor demanda en la horticultura por ser una fuente de materia orgánica para las plantas (Abad et al., 2001; De Grazia, 2007). Este material es un recurso no renovable que se obtiene de los yacimientos de pantanos. Debido a los costos elevados de la turba y la incierta disponibilidad de este material en el futuro, en la industria agrícola existe la necesidad de encontrar otro sustrato alternativo a la turba (Bachman, G.R. y Metzger, 2007).

El uso de enmiendas orgánicas como las compostas tradicionales y las vermicompostas han sido reconocidas por su efectividad de incrementar la productividad y promover las propiedades físicas del suelo (Bwamiki, et al., 1998, Johnston et. al., 1995, Maynard, 1993, Arancon et al., 2004). La materia orgánica ha sido reconocida universalmente como uno de los factores responsables de la fertilidad del suelo, producción de cosechas, y la protección de los suelos de algunos contaminantes, erosión, degradación y desertificación de zonas áridas (Flaig et al., 1977; Chen y Arinimelech, 1986;) En la Estación Experimental Agrícola de Adjuntas se han realizado estudios en la producción de vermicomposta de los residuos de café

obtenidos del beneficiado por el método húmedo. Es de suma importancia la evaluación y caracterización física y química de este sustrato para así conocer y poder documentar la información a ser divulgada en el futuro. Este sustrato podría utilizarse como un sustituto de los sustratos comerciales a base de turba en la producción de hortalizas y plantas ornamentales.

Para evaluar la eficiencia de la vermicomposta como medio alternativo en la producción de plantas hortícolas se seleccionó el cultivo de pimientos *Capsicum annuum L.* tipo Cubanelle. El pimiento fue seleccionado por ser un cultivo de importancia económica en Puerto Rico. En el año fiscal 2010 al 2011, el cultivo de pimientos ocupó el cuarto lugar de importancia económica entre las hortalizas que se producen en el país, produciéndose un total de 33,932 quintales. Este cultivo aportó 1.9 millones al Ingreso Bruto Agrícola para el 2010 al 2011, con una aportación (Estadísticas Agrícolas 2010-2011).

Este proyecto de tesis consistió de tres fases experimentales en las cuales se utilizó la vermicomposta de pulpa de café como un sustrato en la producción de pimientos. En cada capítulo de esta investigación se describe cada una de las fases experimentales. En el capítulo 1 se encontrará información sobre la caracterización química y física de la vermicomposta de café. En el capítulo 2 se describe la prueba de germinación realizada con semillas de pimientos en diferentes proporciones de los sustratos vermicomposta de café y Pro-Mix®. En el capítulo 3 se evaluaron los parámetros de crecimiento de plantas de pimiento cultivadas en envases con proporciones de vermicomposta de café y suelo aluvión

1.1 OBJETIVOS GENERALES

- Caracterizar física y químicamente el sustrato vermicomposta de pulpa de café.
- Determinar el uso de una proporción óptima de vermicomposta en la germinación de semillas de pimientos.
- Evaluar la respuesta de crecimiento y desarrollo de plantas de pimiento (*Capsicum annuum* L.) tipo Cubanelle cultivadas en diferentes proporciones de vermicomposta de pulpa de café con suelo aluvión.

1.2 REVISIÓN DE LITERATURA

1.2.1 Cultivo de pimientos (*Capsicum annuum* L.)

El pimiento, *Capsicum annuum* L., es una hortaliza perteneciente a la familia Solanaceae. Es un cultivo oriundo de México y América Central (Wien, 1997). El pimiento es una planta dicotiledónea, herbácea y considerada perenne de vida corta, pero cultivada comercialmente como una planta anual (Martínez, Fornaris, 2005). Esta planta semi-arbustiva puede alcanzar de dos a cinco pies de altura con un crecimiento semi indeterminado. Las plantas de pimiento se caracterizan por ser hermafroditas, teniendo cinco estambres (estructura masculina) y un pistilo (estructura femenina) en cada flor (Martínez, Fornaris, 2005). El fruto de pimiento es una baya hueca con dos a cinco lóbulos y la fruta crece solitaria de forma colgante o erecta. Posee un sistema radicular vigoroso y extenso con la capacidad de penetrar en el suelo hasta unas profundidades de 36 a 48 pulgadas (Wien, 1997)

La producción de pimientos a nivel mundial es considerablemente alta. Un 46% de la producción de pimientos en el mundo se concentra en el continente Asiático siendo China el país de mayor producción. Los principales productores del cultivo de pimientos son China, México, Turquía, Indonesia y Estados Unidos, (FAO, 2010). En Puerto Rico la producción total de pimientos para el año fiscal 2010 al 2011, fue de

33,932 quintales, ocupando el cuarto lugar de importancia económica entre las hortalizas producidas en el país (Estadísticas Agrícolas 2010-2011).

1.2.2 Vermicomposta

Vermicultura es una palabra compuesta derivada de dos términos en latín donde 'vermi' significa lombrices y 'cultura' significa el arte de cultivar (Rao, 2005). La vermicultura es una disciplina de la biología que envuelve técnicas de producción de lombrices de tierra con diferentes propósitos tales como, suplemento de carnada en el arte de la pesca y facilitar el proceso de compostaje de algunos sustratos orgánicos (Fritsh et. al.; 2007, Estupiñan, 2008; Aalok et al., 2008). Este proceso de compostar por medio de las lombrices de tierra, se conoce como vermicompostaje y su producto final es la vermicomposta (Desai y Pujari, 2007).

La vermicomposta es el producto de la bioxidación de la materia orgánica por medio de la acción combinada de la lombriz de tierra y los microorganismos en el suelo (Domínguez et al., 1997, Subler et al., 1998, Edwards, et al., 2011). Aunque los microorganismos se encargan de realizar los procesos bioquímicos en el proceso de descomposición, las lombrices son los conductores cruciales del progreso ya que condicionan, airean y fragmentan el sustrato, con lo que incrementa drásticamente la actividad microbiana (Edwards et al., 2011). La conversión de materia orgánica en vermicomposta tiene como propósito mejorar el valor original de los residuos o desechos para poder ser reutilizados con fines agrícolas, éste proceso provee las condiciones adecuadas para la producción de cultivos (De Grazia et al., 2007).

La conversión de la materia orgánica en vermicomposta ocurre en dos fases: la primera es la fase activa y la segunda es la fase de maduración. Durante la fase activa las lombrices procesan los desperdicios modificando su estado físico y creando una descomposición microbiana mientras que en la fase de maduración, las lombrices migran a otros lugares en busca de nuevo material para la digestión de las mismas

(Edward et al., 2011). La primera fase de descomposición se considera la más importante porque con la interacción de las lombrices de tierra y los microorganismos del suelo se acelera la estabilización de la materia orgánica y ocurren modificaciones químicas, físicas y bioquímicas del material de origen de la vermicomposta (Domínguez, 2003, 2004).

1.2.2.1 Lombrices de Tierra

Las lombrices de tierra son ciliados macroscópicos, pertenecientes a la familia Lombricidae y dominan en climas tropicales y templados (Haimimi, 1999). Estos organismos juegan un papel fundamental en la conversión de los desechos en materia orgánica reutilizable. Su alimentación se compone de restos de materia orgánica en descomposición (Padilla y Cuesta, 2003). Las lombrices de tierra tienen la capacidad de descomponer la materia orgánica de manera rápida siendo el resultado final la vermicomposta (Edwards et al., 2011).

Aunque las lombrices son organismos saprófagos, basado en sus hábitos alimenticios se pueden clasificar por detrívoras y geófagas (Ismail, 1997). Las lombrices detrívoras se alimentan en o cerca de la superficie de los desechos de plantas, raíces muertas o de desechos de animales. Las geófagas se alimentan debajo de la superficie terrestre y necesitan ingerir grandes cantidades de suelo ricos en materia orgánica. (Sharma et al., 2005) Las lombrices detrívoras son las más utilizadas en el proceso de producir vermicomposta. Dentro de este grupo existen diferentes variedades ecológicas, éstas se clasifican en epígeas, endogénicas y anésicas, siendo las más eficientes las epígeas. Las epígeas son lombrices que habitan y se alimentan de materia orgánica en la superficie del suelo (Edwards et al., 2011). Las endogénicas son las que en la mayoría del tiempo se pasan en la capa mineral del suelo, y las anésicas son las que predominan y se movilizan en el suelo de manera vertical realizando túneles.

Los hábitos alimenticios de las lombrices y las actividades de excavación en el suelo contribuyen en la incorporación de los residuos orgánicos, propiciando una mejor descomposición, formación de humus, ciclo de nutrimentos y el desarrollo estructural del suelo (Kumar, 2005). Según Edwards et al., (2011), muchos de los desechos orgánicos pueden suministrar poblaciones de microorganismos que son necesarios para el crecimiento y la reproducción de las especies de las lombrices.

Se ha comprobado que el uso de la lombriz puede reducir de manera sustancial el tiempo de compostaje de desechos vegetales en un periodo de tiempo corto (Marerro, 2008., Edwards et al., 2011). Las acciones de las lombrices durante el vermicompostaje incluyen aeración del sustrato, mezclas, molienda, fragmentación, digestión enzimática y la descomposición microbiana del sustrato en el intestino de las lombrices (Hand et al., 1998; Sharma et al; 2005, Adi, Noor, 2009). Sobre un 5 a 10% del material ingestado por las lombrices es absorbido por su tejido para su propio crecimiento y actividad metabólica y el resto es excretado en forma de gránulos (Board, 1999).

El material obtenido de la digestión por las lombrices de tierra, brinda características físicas y químicas que benefician los medios de cultivos (Arancon et al., 2004). Morfológicamente la vermicomposta es de color oscuro, homogéneo y libre de olores (Edwards et al., 2011). Las lombrices influyen en la estructura del suelo formando macroporos lo cual permite que el O₂ entre en el suelo y por esto una mejor aireación en el mismo (Edwards et al., 2011). Arancon y Edwards (2004), reportaron que la vermicomposta, especialmente de origen de desechos animales contiene altas concentraciones de nutrimentos.

Se ha encontrado que las lombrices de tierra pueden reducir las poblaciones totales de bacterias coliformes durante el proceso de vermicompostaje (Edwards et al., 2011) En estudios realizados por Monroy et al., (2008, 2009) se ha confirmado que durante el paso del estiércol de ganado porcino a través del intestino de las especies de lombrices de tierra *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida* y *Eudrilus eugeniae* las

poblaciones totales de coliformes se reducen un 98% en comparación con el estiércol fresco. Las lombrices de tierra fragmentan los desechos orgánicos estimulando la actividad microbiana y aumentando la tasa de mineralización, convirtiendo los desechos en humus con una estructura más fina que la composta (Arancon et al., 2002).

Investigaciones han indicado que la actividad microbiana de la materia orgánica digerida por las lombrices de tierra producen cantidades significantes de reguladores de crecimiento como las auxinas, giberilinas y citoquininas (Atiyeh et al., 2002; Arancon et al., 2004; Kumar, 2005; Zeller, 2007.; Edwards et al., 2011).

Varios estudios han concluido, que la aplicación de vermicomposta en el suelo aumenta el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos. Esto se atribuye a la gran disponibilidad de nutrimentos minerales presentes en la vermicomposta al compararlos con los medios de crecimiento comerciales que solo contienen nutrimentos inorgánicos. (Arancon, et al., 2005). La caracterización química de vermicompostas de diferentes orígenes indican que la vermicomposta puede ser utilizada como un sustrato rico en nutrimentos (Kumar et al., 2005; Kalantari et al., 2010, Edwards et al., 2011)

Además de sus propiedades físicas, químicas y biológicas la vermicomposta está siendo utilizada por tener características relacionadas con la supresión de enfermedades de las plantas y la resistencia a plagas e insectos. En un estudio donde se inoculó el suelo y diferentes proporciones vermicomposta con la bacteria *Pseudomonas syringae*, causante de la pudrición del cuello de garbanzo (*Cicer arietinum*), se obtuvo una marcada reducción en la mortalidad de las plantas sembradas en la vermicomposta, debido a la presencia antagonista de *Sclerotium rolfsi* (Sahni, et al., 2008). En estudio realizado por Arancon et al., 2005 estudiaron la incidencia de áfidos *Myzus persicae*, *Pseudococcus* spp. y *Pieris brassicae* en tomates, pimientos y repollo. Sus resultados mostraron que al sustituir el sustrato a

base de turba por vermicomposta hubo una disminución en la infección por el áfido en las plantas de pimiento y que la utilización de la vermicomposta suprime los 3 tipos de ataques de los insectos masticadores y chupadores evaluados en el estudio (Arancón et al., 2005).

1.2.2.2 VERMICOMPOSTA DE CAFÉ

La pulpa de café es un residuo enriquecido con lignocelulosa que puede ser utilizados como fertilizantes del suelo por su alto contenido de macro y micronutrientes (Kurian, Velmourougane, 2011). En la revisión de literatura realizada se encontró poca información científica sobre los efectos de la utilización de la vermicomposta de café como sustrato durante las diferentes fases de crecimiento y desarrollo de los cultivos así como en el rendimiento de las cosechas. Aun así, existe una tendencia creciente en el uso de las vermicompostas originadas de diferentes fuentes de materia orgánica para fines agrícolas cuyo propósito principal es beneficiar los suelos y plantas y encontrar alternativas para manejar los desperdicios brindados por la naturaleza. Un estudio realizado por Orozco et. al., (1996), muestra un aumento en las concentraciones de P, Ca^{+2} y Mg^{+2} en la vermicomposta de la pulpa del café, mientras se obtuvo una disminución en la concentración K^{+2} . Kurian, Velmourougane (2011), se encontraron que la pulpa de café luego de ser digerida por la lombriz de tierra *E. eugeniae* hubo un aumento en la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, mientras que el pH disminuyó de su valor inicial.

1.2.3 Características químicas y físicas del suelo

1.2.3.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

El potencial de Hidrógeno (pH) es una medida de la concentración de hidrónio (H^+) en la disolución del suelo, expresado en términos logarítmicos. Los valores del pH se reducen cuando la concentración de los iones de H^+ aumentan, variando en un rango

entre 0 a 14. Los niveles de pH en el suelo se clasifican en la siguiente escala: menor de 5.5 son ácidos, entre 5.5 y 6.5 son levemente ácidos, entre 6.5 y 7.5 son neutros, y los valores mayores de 7.5 se consideran alcalinos. El pH es una característica química de importancia en el suelo ya que el influye en la disponibilidad de nutrimentos para la plantas. El cultivo de pimientos es moderadamente tolerante a la acidez de los suelos, este cultivo puede tolerar un pH de 5 aunque el nivel de pH ideal fluctúa entre 6.0 y 6.8 (Martínez, Fornaris, 2005).

1.2.3.2 Nitrógeno

El Nitrógeno es el nutrimento de mayor importancia en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Este nutrimento es constituyente de las proteínas, clorofila y los ácidos nucleicos (Klass, 2007). En el suelo el Nitrógeno se encuentra en forma de Orgánico e Inorgánico, siendo el N inorgánico última la que se encuentra disponible de manera rápida para el uso de las plantas (Miller, Gardnier, 1998). El Nitrógeno Total (N_{Total}), es la suma del Nitrógeno orgánico y el Nitrógeno inorgánico presente en el suelo. El Nitrógeno inorgánico en los suelos se encuentra en forma de Nitrato y Amonio. Estas formas del Nitrógeno son de importancia para el desarrollo de los cultivos ya que su solubilidad permite un mejor aprovechamiento por parte de las plantas.

1.2.3.3 Fósforo (P)

Uno de los elementos esenciales para el desarrollo de las plantas es el Fósforo (P). Este elemento es clasificado como un macro nutrimento ya que las plantas lo necesitan en altas concentraciones. El (P) participa en la división celular y en la estimulación del crecimiento de las raíces (Miller, Gardnier, 1995). También es importante en la aceleración del proceso de madurez de la planta y en la producción de frutos y semillas.

1.2.3.4 Potasio (K)

El potasio (K) es un elemento que presenta una alta solubilidad y es utilizado por las plantas de manera intercambiable K^+ y soluble. Este elemento es conocido por participar en la división celular, la formación de carbohidratos, translocación de azúcares y participa en reacciones enzimáticas (Duane y Gardnier, 1998). Este nutrimento juega un papel importante en la regulación del agua de las plantas. Para el cultivo de pimientos se recomienda una concentración 0.5 a 0.2% en el suelo.

1.2.3.5 Calcio (Ca^{+2})

El Calcio (Ca^{+2}) es necesario para la división celular y forma parte integral de la membrana celular (Duane, Gardnier, 1998). En el cultivo de pimientos el calcio es importante ya que deficiencias de este nutrimento pueden afectar la calidad de los frutos. Las plantas con deficiencia de calcio (0.2 y 0.3% de calcio en la planta) pueden producir lesiones circulares y oscuras en los frutos verdes y maduros conocidos como el “blossom end rot”.

1.2.3.6 Magnesio (Mg^{+2})

El magnesio (Mg^{+2}) es un elemento importante durante el desarrollo de las plantas ya que forma parte estructural de la molécula de clorofila y participa en el metabolismo de los carbohidratos (glucosa, fructosa, galactosa), provocando la activación enzimática mediante la incorporación de ATP (trifosfato de adenosina) (Klass D., 2007).

1.2.3.7 Manganese (Mn)

El Manganese (Mn) está involucrado en reacciones enzimáticas y en el transporte de electrones (Duane, Gardnier, 1998). Usualmente la toxicidad de Mn ocurre en suelos fuertemente ácidos. Según Russo (2012) los niveles óptimos de Mn en el suelo para el cultivo de pimientos se encuentran en el rango de 10 a 40 ppm.

1.2.3.8 Hierro (Fe)

El hierro (Fe) forma parte esencial de las plantas trabajando en reacciones de oxidación reducción. Un 75 por ciento del hierro en las células se encuentra asociado a los cloroplastos (Duane, Gardnier, 1998). Los niveles óptimos de hierro en el suelo para la producción de pimientos se encuentra entre 10 y 100 ppm (Russo, 2012).

1.2.3.9 Zinc (Zn)

El micro nutriente Zinc (Zn) es de gran importancia para las plantas. La presencia del Zn en los sustratos de cultivo son de gran importancia ya que este micro elemento participa en la biosíntesis de la auxina “ácido-indole-3-acético” (IAA), regulador de crecimiento muy importante en el ciclo de crecimiento de las plantas (Kass, 2007). La baja inmovilización del zinc en las plantas causa clorosis entre las venas de hojas nuevas así como en las hojas viejas. Los niveles óptimos de Zn para la producción de pimientos es de 3 a 15 ppm (Russo, 2012).

1.2.3.10 Materia Orgánica (MO)

La materia orgánica es uno de los parámetros e indicadores de la productividad del suelo y éste puede ser mejorado con la adición de residuos orgánicos (Barezegar et al., 2002). La materia orgánica en la vermicomposta generalmente puede proporcionar a las plantas una fuente equilibrada de nutrimentos que pueden influir en la composición y la fisiología de las plantas (Arancon et al., 2005). Russo, (2012), sugiere que valores de materia orgánica mayores a 3% son ideales para el desarrollo del cultivo de pimientos.

1.2.3.11 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la medida de las sales solubles que se encuentran en un medio. Su medida es en decismens por metro (dS/m). La alta salinidad del suelo es un factor limitante para el cultivo de pimiento, que es considerado moderadamente sensible al contenido de sales (Nuez et al., 1995). Los niveles altos de sales en los sustratos, causan marchitez en la planta, crecimiento lento, senescencia de las raíces y necrosis en las hojas (Nelson 1998).

1.2.3.12 Densidad aparente

La densidad aparente es un parámetro utilizado para estimar las diferencias en la compactación en el suelo (Miller, Gardnier, 1998, Moldes et al., 2007). Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo afectando el crecimiento de las plantas por la resistencia y porosidad del suelo sobre las raíces. Al incrementar la densidad aparente del suelo, aumenta la resistencia mecánica y la porosidad del suelo disminuye, limitando el crecimiento y desarrollo de las raíces (Miller, Gardnier, 1998)

CAPÍTULO 2: CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y QUÍMICA DE SUSTRATOS CONTENIENDO VERMICOMPOSTA DE PULPA DE CAFÉ

2.1 RESUMEN

Para determinar si la vermicomposta de café (VC) es un sustrato adecuado en la producción del cultivo de pimientos, se analizaron diferentes proporciones de VC y suelo. También se analizaron proporciones de VC y el sustrato comercial a base de turba Pro-Mix® (PM), sustratos utilizados en pruebas posteriores para la germinación de semillas de pimiento. Las proporciones de VC: PM caracterizadas fueron: 0:100, 25:75, 50:50 y 100:0. Los tratamientos con VC: S fueron 0:100, 15:85, 25:75, 50:50 y 100:0). La caracterización química de las diferentes proporciones se realizó para determinar el contenido de los siguientes nutrimentos N_{Total} , NH_4^+ , NO_3^- , P, K, Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, materia orgánica. El pH, la conductividad eléctrica y la densidad aparente fueron evaluados como parte de la caracterización. Las pruebas de pH indican valores decrecientes de pH, a la medida que aumentan las proporciones de vermicomposta en el medio. Las concentraciones de N, P, K fueron mayores conforme aumentaron la concentración de la vermicomposta en el sustrato.

2.2 INTRODUCCIÓN

En la superficie de nuestro planeta, alrededor de 155 billones de toneladas de materia orgánica son producidas mediante el proceso fotosintético, cada año (Arora et al., 1991). La industria cafetalera es uno de los principales contaminantes del continente Latinoamericano debido al manejo inadecuado de los desperdicios obtenidos del beneficiado de café por vía húmeda (González et al., 1999). La pulpa de café resulta ser uno de los contaminantes más agresivos por el contenido de diferentes componentes orgánicos, que provocan un fuerte impacto sobre la fauna, los cuerpos de agua y la flora del suelo. El proceso de beneficiado del café por vía húmeda consiste en la remoción de la pulpa y el mucílago de la fruta, subproductos más abundantes del proceso que representan alrededor del 40 a 50% del peso del fruto fresco (Calle, V.H., 1977, Blandón, et al.; 1999, Monroig, 2010). Este proceso es altamente demandante del recurso agua, por lo que los beneficiados se ubican en la cercanía de los ríos, tanto para la obtención del agua como una vía para la expulsión de desechos dando lugar al establecimiento de una fuente de contaminación (Marín et al., 2003).

En un mundo donde el crecimiento poblacional es acelerado, la exigencia de producción de alimentos cada vez es mayor. Para atender esta creciente demanda de alimentos, y ante la necesidad de una producción de calidad y la seguridad alimentaria para los consumidores, las prácticas de la agricultura sustentables se están considerando como una alternativa viable para la producción agrícola (Atiyeh, et al., 2000b). Estas prácticas promueven la conservación de los recursos naturales, la biodiversidad y el uso adecuado y eficiente de los residuos derivados del sector agrícola, así como también los desechos originados de las actividades realizadas por el hombre (Humpter, P., 2000).

La agricultura representa el principal mercado para el uso productivo de la mayoría de los materiales orgánicos. Algunos de los desechos utilizados en la agricultura han sido el estiércol animal, aserrín de madera, cáscara de arroz, aguas

residuales, residuos de alimentos y de plantas (Kumar, 2005, Edwards, et al., 2011). Tradicionalmente los residuos orgánicos han sido incorporados en los suelos para incrementar el contenido de materia orgánica y como fuente de nitrógeno. Si su aplicación en el campo no es la adecuada puede traer consigo daños al ecosistema como la lixiviación de nitrógeno y fosfatos a cuerpos de agua. El uso de estos desechos en forma de compostas y vermicompostas es una alternativa viable para reducir el impacto ambiental por ser productos estables y tener diversas maneras de aplicación como sustratos y enmiendas (Claassen, Carey 2004).

La composta es la oxidación biológica que ocurre bajo condiciones controladas de humedad, temperatura y aireación. Los microorganismos (bacterias, hongos y actinomicetos) utilizan el carbono y el nitrógeno disponible en los residuos orgánicos, liberando energía por la actividad metabólica y produciéndose mediante una serie de reacciones bioquímicas, agua, anhídrido carbónico y sales minerales (Avendaño, 2003). La vermicomposta es el producto de una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre la materia orgánica al pasar a través del tracto digestivo de las lombrices de tierra (Desai, B.K., Pujari, B. T., 2007).

La composición química y física de la vermicomposta difiere dependiendo de su material de origen (Handreck, K.A. 1986). Las cualidades químicas, físicas y biológicas, son los parámetros que determinan la calidad de las vermicompostas e influyen en el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos (Campelli, P., Ceppi S. 2008, Jain, P.K., et al., 2010). El uso de la vermicomposta como sustrato permite satisfacer la demanda nutritiva de los cultivos hortícolas en invernadero y reduce significativamente el uso de fertilizantes sintéticos. Además, la vermicomposta contiene sustancias activas que actúan como reguladores de crecimiento, elevan la capacidad de intercambio catiónico (CIC), tiene alto contenido de ácidos húmicos, y aumenta la capacidad de retención de humedad y la porosidad, lo que facilita la aireación, drenaje del suelo y los medios de crecimiento (Orozco et al., 1996, Edwards, 1998, Arzami et al., 2008, Jain, P.K., et al., 2010; Edwards 2011).

En una investigación realizada por Arancon (2004), se comprobó que la vermicomposta provee una mayor disponibilidad de nutrientes para las plantas, tales como el nitrógeno, fósforo y potasio, esto indica que podría ser un buen sustituto o un buen complemento de los fertilizantes inorgánicos. Otros estudios han reportado, que la aplicación de la vermicomposta en el suelo incrementa el crecimiento de las plantas y la productividad de los cultivos. Esto se atribuye a la gran disponibilidad de nutrientes presentes en la vermicomposta al compararlos con algunos medios de crecimiento comerciales que solo contienen nutrientes inorgánicos (Arancon, et al., 2005).

La utilización de la vermicomposta, puede causar diversos efectos en las condiciones del suelo y por consiguiente en el crecimiento de las plantas y los frutos. Según Arancón, (2003), la utilización de este producto como medio de cultivo puede tener un efecto positivo en el desarrollo de plantas pertenecientes a la familia solanácea, tales como el tomate y el pimiento los cuales respondieron con un aumento de follaje, tallos y cantidad de frutos mercadeables. Por otra parte Gutiérrez et al., (2007) señala que el uso de sustratos orgánicos promueve el aumento en las concentraciones de Ca^{+2} y Vitamina C en frutas de tomates, aspectos que benefician la salud tras su consumo.

2.2.1 Características Físicas

Algunas propiedades físicas del suelo como lo son la textura, estructura, densidad, porosidad y retención de agua, son factores determinantes que afectan el uso agrícola de los suelos. Estas propiedades determinan la disponibilidad de oxígeno en el suelo, la movilidad de agua y la facilidad de profundizar las raíces en el suelo (Miller, Gardnier, 1998). La densidad aparente del suelo se utiliza como una medida de la estructura del suelo, tomando en consideración los espacios porosos y materiales orgánicos por volumen (Miller, Gardnier, 1998). Los valores de densidad aparente son utilizados como un parámetro utilizado para estimar las diferencias en la compactación en el suelo (Miller, Gardnier, 1998, Moldes et al., 2007).

La densidad aparente del suelo cambia por la presencia de cultivos, las prácticas de manejo de tierras, la presencia de materia orgánica, estructura y porosidad de los suelos. Los valores de esta característica del suelo depende de la textura, la densidad mineral del suelo (arena, limo y arcilla) y las partículas orgánicas (USDA, 2008). Los cambios en la densidad aparente reflejan cambios en la estructura del suelo afectando el crecimiento de las plantas por la resistencia y porosidad del suelo sobre las raíces.

La alta densidad aparente del suelo es un indicador de baja porosidad, pobre movimiento de agua y un aumento en la resistencia mecánica por parte de las raíces, limitando su crecimiento y desarrollo y afectando el rendimiento de los cultivos (Miller, Gardnier, 1998, Moldes et al., 2007). Los suelos sueltos, permeables y ricos en materia orgánica, presentan una menor densidad aparente y facilitan el desarrollo de las raíces en los mismos (USDA, 2008). Las propiedades físicas de los sustratos son de gran importancia, ya que una vez se selecciona una mezcla sus características físicas son inmodificables, a diferencia de su composición química que puede ser alterada durante el desarrollo de la planta mediante la fertilización (Valenzuela et al., 1969).

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

En la Estación Experimental Agrícola de Limaní en Adjuntas, se han realizado proyectos de investigación utilizando la pulpa y el mucílago de café para la producción de composta y vermicomposta. Con el propósito de convertir estos subproductos contaminantes en materiales beneficiosos y utilizables para otros fines, como posibles soluciones a la disposición del material desechado durante el proceso en el beneficiado de café.

La vermicomposta utilizada para este estudio fue obtenida por medio de la lombriz de tierra *Eudrilus eugeniae*. El proceso de vermicompostaje se realizó en camadas con el conteniendo la pulpa de café e inoculados con poblaciones de

lombrices, por un periodo de tiempo de dos meses. El producto final se obtuvo mediante el método de separación con un cedazo donde se cernieron las lombrices para obtener la vermicomposta. El material utilizado en la caracterización química y física de este trabajo de investigación fue cosechado durante los meses de mayo a noviembre de 2010. La caracterización química y física se realizó durante los meses de mayo a julio de 2011, cuando la vermicomposta ya tenía un año de ser cosechada.

2.3.1 Caracterización Química de los Sustratos Conteniendo Vermicomposta de Pulpa de Café.

2.3.1.1 Caracterización Química

Con el propósito de seleccionar una proporción de vermicomposta de pulpa de café adecuada para la producción de pimiento (*Capsicum annuum* L.) se realizó la caracterización química de mezclas con distintas proporciones de vermicomposta pulpa de café (VC) y Pro- Mix® (Tabla 2.1). También se analizaron diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo aluvión (Tabla 2.2). Los análisis que comprendieron la caracterización química se llevaron a cabo en las facilidades del Laboratorio de química del Servicio de Investigación Agrícola Tropical conocido por sus siglas en inglés TARS (Tropical Agricultural Research Services), localizado en Mayagüez. Las proporciones de los tratamientos analizados se realizaron por volumen. Las muestras utilizadas para los análisis químicos se secaron a temperatura ambiente y se analizaron cuatro réplicas para cada tratamiento.

Los sustratos utilizados en la caracterización fueron vermicomposta de pulpa de café y suelo aluvión. La vermicomposta de café utilizada se obtuvo de la Estación Experimental Agrícola de Limaní en Adjuntas. El suelo aluvión utilizado fue obtenido de las sedimentaciones acumuladas en las canales de la Quebrada de Oro, aledaña al Recinto Universitario de Mayagüez. Las proporciones de vermicomposta de café con el

suelo y con la Pro-Mix® se realizaron por volumen con los sustratos secos y fueron homogenizadas manualmente.

Tabla 2.1. Tratamientos caracterizados y utilizados en la germinación de semillas

Tratamientos	Descripción
0:100	100% Pro-Mix® (PM)
15:85	15% Vermicomposta de Pulpa de Café: 85% Pro-Mix®
25:75	25% VC: 75% Pro-Mix®
50:50	50% VC: 50%Pro-Mix®
100:0	100%Vermicomposta de Café (VC)

Tabla 2.2. Tratamientos caracterizados y utilizados para la evaluación de parámetros de crecimiento de plantas de pimiento.

Tratamientos	Descripción
0:100	100% Suelo Aluvión
5:95	5% Vermicomposta de Café: 95% Suelo
15:85	15% Vermicomposta de Café: 85% Suelo
25:75	25% Vermicomposta de Café: 75% Suelo
50:50	50%: Vermicomposta de Café: 50% Suelo
100:0	100% Vermicomposta de Café

2.3.1.1 Determinación de pH

Para la determinación de pH se utilizó el método de pasta saturada (Sparks, 2007). Se requirió de una muestra de 20 gramos de suelo seco, saturados con 40 ml de agua destilada. Las muestras se colocaron en un agitador mecánico por un espacio de 15 minutos. Utilizando el metro de pH Orion Research Modelo 01A/ digital Ion Analyzer (Figura 2.1), previamente calibrado con las soluciones amortiguadoras estándares para pH de 7 y 4. Se tomó la lectura del pH por un período de 5 minutos.



Figura 2.1. Metro de pH Orion Research Modelo 01A/ digital Ion Analyzer.

2.3.1.2 Determinación de Nitrógeno Total (N_{Total})

La determinación de Nitrógeno total se realizó siguiendo el método de digestión de bloque y destilación de vapor Kjeldahl (Sarkar, 2005). Se obtuvo una muestra de 1 gramo (g) de cada tratamiento y se colocó en un tubo digestor con 3 cuentas de cristal y una cápsula de catalizador Kjeldahl (Figura 2.2). Se agregaron 5 mililitros (mL) de ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4) y las muestras se colocaron en un digestor a una temperatura de $360^{\circ}C$, por un periodo de dos horas (Figura 2.3). La destilación se realizó en un destilador Foss KjeltexTM 200 (Figura 2.4) por un período de tiempo de 5 minutos. El destilador automáticamente añadió 40 mL de NaOH 40% y la destilación se recogió en un frasco Erlenmeyer de 150 mL con una solución de ácido bórico (H_3BO_3) al 4%. Las muestras se titularon con una solución estandarizada de HCL 0.2 N para calcular el contenido de Nitrógeno total. El contenido de N_{Total} se calculó con la ecuación 2.1 con un NFactor de 2.9221.

$$\% N_{Total} = [mL HCl_{muestra} - mL HCl_{blanco} \times (N \text{ factor} / g \text{ de la muestra} \times 100)] \quad (2.1)$$

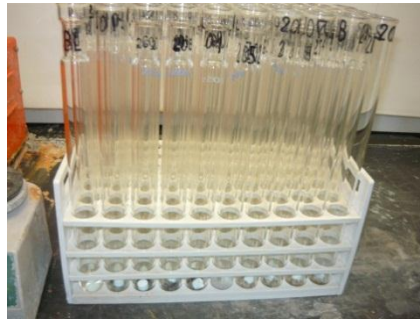


Figura 2.2. Tubos digestores con las muestras y la cápsula Kjeldahl

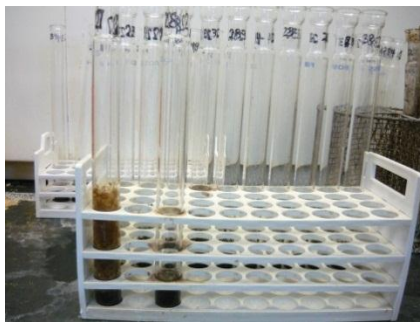


Figura 2.3. Reacción de las muestras con el ácido sulfúrico y la cápsula Kjeldahl.



Figura 2.4. Destilador Foss Kjeltec™ 200

2.3.1.3.1 Determinación de Nitrato (NO_3^-) y Amonio (NH_4^+)

La determinación de NO_3^- (Nitrato) y NH_4^+ (Amonio) se realizó mediante el método de extracción intercambiable amonio- nitrato de Sparks, 2007. Se utilizaron 10g de la muestra del sustrato para la realización de la extracción de suelo con agua destilada. Se obtuvieron 10 mL de la extracción de suelo y se agregaron 5 gotas de aceite mineral y 1 mL de ácido sulfámico ($\text{H}_2\text{NSO}_3\text{H}$) en un volumétrico de destilación, para dar lectura de NH_4^+ , se agregó 1g de MgO (hidróxido de Magnesio) y para la lectura de NO_3^- se añadió 1 g de Devarda 500. Cada muestra fue colocada en un destilador al vapor durante un periodo de 5 minutos, para recolectar 30 mL del destilado (Figura 2.5). Las muestras se titularon con (H_2SO_4) 5N y se obtuvieron los valores de NH_4^+ (Amonio) y NO_3^- (Nitrato).



Figura 2.5. Destilador al vapor para la determinación de Nitrato y Amonio

2.3.1.3 Determinación de Fósforo (P)

El contenido de Fósforo fue determinado mediante la técnica de colorimetría según Benton (2001). El procedimiento para la preparación de las muestras de suelo fue descrito en la Figura 2.6. Los métodos utilizados para la determinación de P fueron Bray II y Olsen. El método Bray II se utilizó con las muestras que obtenían un pH menor

de 7.30 y el método Olsen se utilizó con las muestras que tenían un pH mayor de 7.30. La técnica de colorimetría consistió en tomar la medida de intensidad de color del extracto de suelo. Luego de procesadas las muestras se le agregó ácido ascórbico, el cual desarrolló el color en las muestras. La intensidad de color se obtuvo midiendo la absorbancia en un espectrofotómetro de luz ultravioleta (UV).



Figura 2.6. Espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 30

2.3.1.3 Determinación de Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), hierro (Fe) y Zinc (Zn)

La determinación de Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Manganeso (Mn), hierro (Fe) y Zinc (Zn) se realizó por medio de absorción atómica. Para procesar las muestras de los sustratos se pesaron 5 gramos de suelo y se añadieron 50 mL de solución 1N de acetato de amonio ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$). Las muestras se agitaron durante 15 minutos en el agitador mecánico y se obtuvo un extracto de suelo por medio de un filtro #42. Para la lectura de los macro nutrientes K, Ca^{+2} y Mg^{+2} se tomó 1mL de la extracción de suelo y se transfirió a un volumétrico de 100 mL donde se completó el volumen total con agua destilada. Para la lectura del Mn, Fe y Zn se realizó la lectura directamente del extracto de la solución concentrada de un espectrofotómetro de absorción atómica Analyst 300 (Figura 2.6). El espectrofotómetro de absorción atómica se basa en la medida de una reacción electromagnética con una longitud de onda específica para cada elemento a ser analizado.

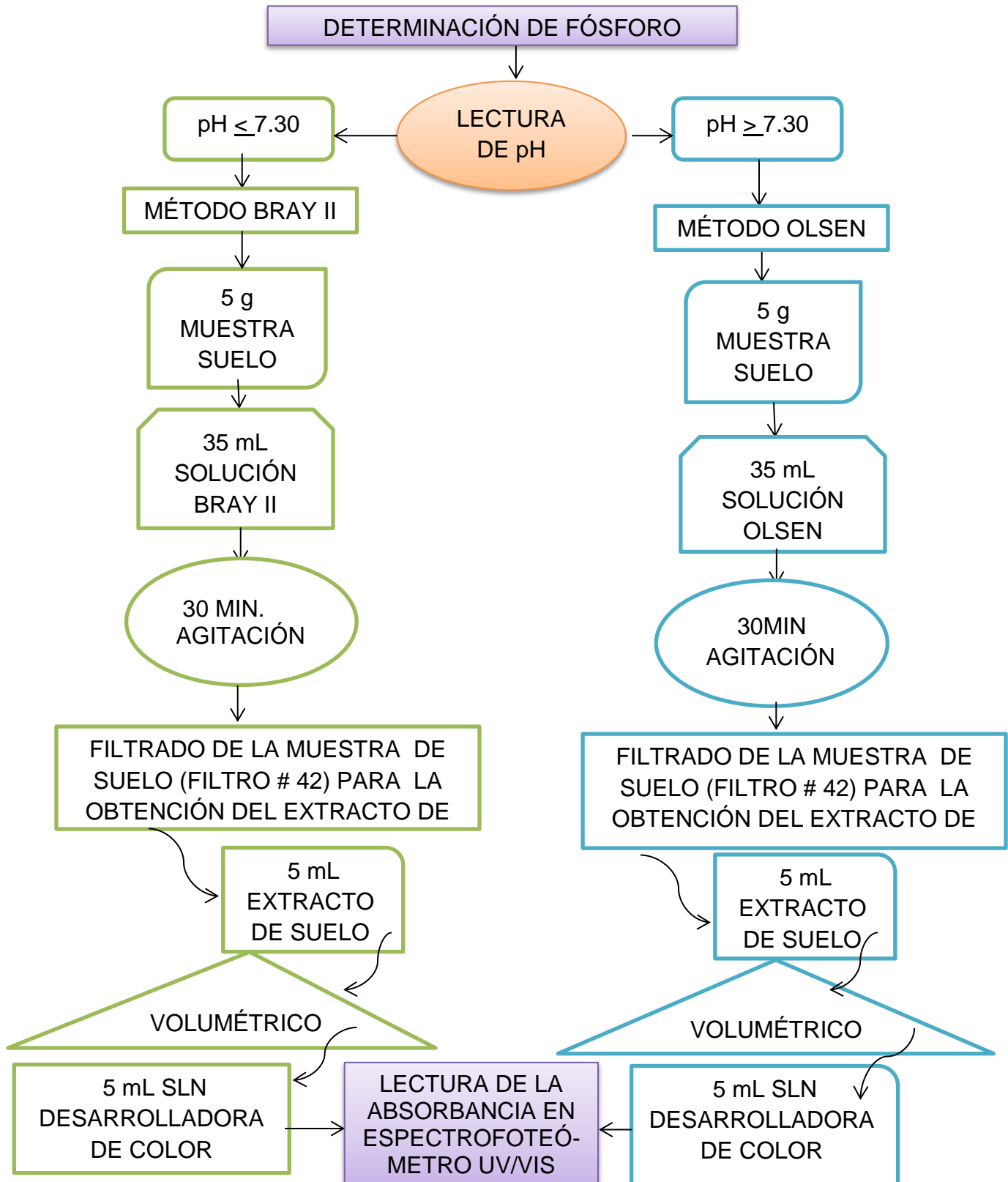


Figura 2.7. Diagrama de flujo para la determinación de Fósforo por colorimetría, metodología adaptada (Benton 2001).

2.3.1.5 Carbono Orgánico (CO) y Materia Orgánica (MO)

La determinación de Carbono Orgánico y Materia Orgánica se realizó siguiendo el método Walkley- Black (Benton, 2001). Se requirió una muestra de 0.5 g de suelo y se añadieron 10 mL de Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N con 20 mL de H_2SO_4 . Dada la reacción exotérmica, se dejaron enfriar las muestras por un periodo de 30 minutos y se agregaron 200 mL de agua destilada. Las muestras se titularon con $Fe (NH_4)_2SO_4$ 0.5N y 2 gotas del indicador de color Ferroína. La cantidad de carbono orgánico y de materia orgánica se obtuvo con las ecuaciones correspondientes para Carbono Orgánico (Ecuación 2.2) y para Materia Orgánica (Ecuación 2.3).

$$\% \text{ Carbono Orgánico} = \text{meq } K_2Cr_2O_7 - \text{meq } Fe (NH_4)_2SO_4 \times 0.3 \times 1.15 / \text{gramos} \quad (2.2)$$

$$\% \text{ Materia Orgánica} = \% \text{ Carbono Orgánico} \times 1.724 \quad (2.3)$$

2.3.1.6 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica es la medida de las sales solubles que se encuentran en un medio. Su medida es en decisimens por metro (dS/m). Para la determinación de la conductividad eléctrica (CE) se seleccionaron las cuatro proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix® utilizadas en la prueba de germinación de semillas de pimiento. Los tratamientos fueron: 0:100, 25:75, 50:50 y 100:0 (V: PM), cuatro réplicas por tratamiento. Se realizó una pasta saturada con 30g del sustrato y agua destilada. Las muestras se dejaron reposar durante 30 minutos y se obtuvo la solución extraída del sustrato a la cual se le tomó la lectura con un metro de conductividad Blue Lab Combo Meter®.

2.3.2. Caracterización Física

La caracterización física de la vermicomposta de café consistió de la evaluación de la densidad aparente. El análisis se realizó en el Laboratorio de Física de Suelos de la Estación Experimental Agrícola de Rio Piedras. Se determinó la densidad aparente (Da) de las proporciones 0:100, 5:95, 15:85, 25:75, 50:50, 100:0 (VC: Suelo). Se utilizó el método de celdas de presión continua (Pressure Flow Cell), que consiste de platos porosos dentro de las celdas conectadas a una cámara de presión (Summer, 2000).

2.3.3 Análisis Estadístico

En el análisis estadístico de la caracterización química y física, se utilizó el modelo lineal LSD Fisher, y las medias se separaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS) en donde se declaró un efecto de significancia en valores de $\alpha \leq 0.05$ utilizando el programa estadístico InfoStat®.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Caracterización Química

2.4.1.1 Determinación de pH

Se observó que en los tratamientos de vermicomposta de café y Pro-Mix® el valor de pH disminuyó a medida que aumentó la proporción de vermicomposta en las mezclas realizadas (Figura 2.8). Entre los tratamientos 0%, 15% y 25% de vermicomposta no se presentó diferencia significativa comparados entre si, siendo estos tratamientos los de mayor valor de pH. Se reportó que en las proporciones conteniendo un 50% o más de vermicomposta en las proporciones de VC: PM se

obtuvo diferencia significativa siendo los tratamientos de 50% y 100% VC los de menor pH. Aunque el análisis estadístico indicó diferencia significativa, los valores de pH obtenidos en los tratamientos se encuentran dentro de los límites de pH recomendados por Martíenz y Fornaris (2005) para el cultivo de pimientos (5.5 a 6.8).

La disminución en el pH de los sustratos se puede atribuir a que durante el proceso de digestión de la materia por parte de las lombrices de tierra se producen ácidos húmicos, por lo que tiende a acidificar el sustrato. Resultados similares encontraron Tyler et al., (1993), donde el pH de mezclas de vermicomposta de pavo con un sustrato comercial, disminuyó al incrementar la vermicomposta.

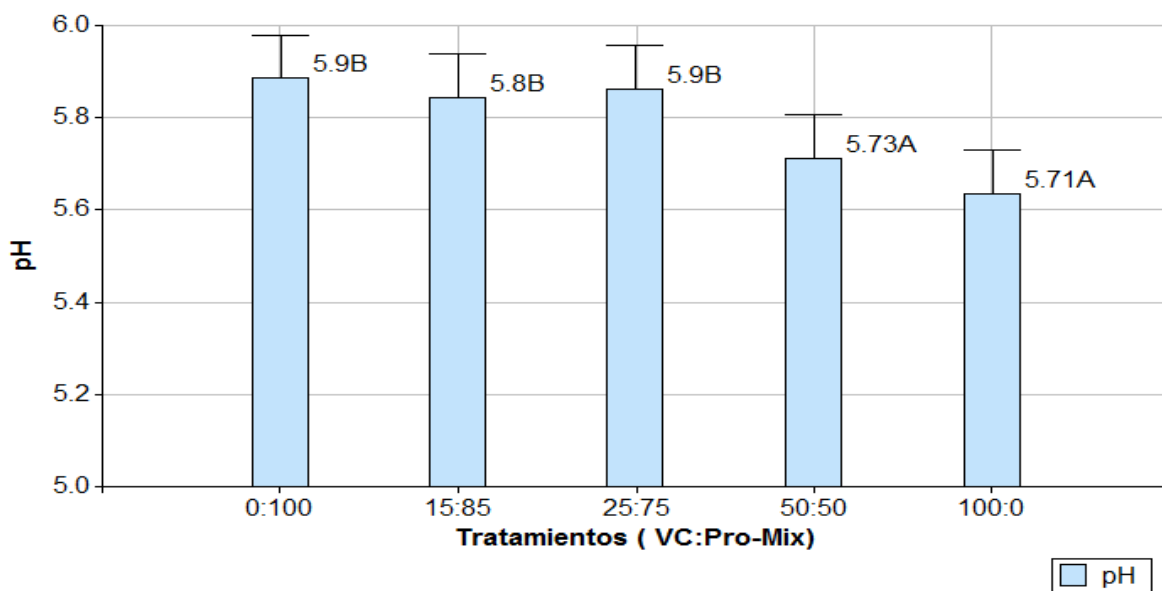


Figura 2.8. Niveles de pH según las proporciones de los sustratos vermicomposta de café y Pro-Mix®

Los resultados de pH para las proporciones de vermicomposta de café con suelo (VC: S), mostraron diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 2.9). A diferencia de los resultados presentados en las proporciones de vermicomposta de café con el Pro-Mix®, hubo una tendencia marcada a disminuir los valores de pH según aumentaban las concentraciones de vermicomposta en las mezclas. El valor más alto

de pH lo obtuvo el tratamiento de 100% suelo con un pH de 7.67 y el valor más bajo fue 5.71 para el tratamiento de 100% vermicomposta de café, siendo éste tratamiento el de mayor grado de acidez entre todas las proporciones de VC: PM y VC: S realizadas. El pH del suelo es neutral, por lo que al añadir la vermicomposta de café que es ligeramente ácida, el pH de los proporciones VC: S disminuyó. Los resultados indican que entre las proporciones conteniendo 25% y 100% de vermicomposta se encuentra el rango óptimo de pH para la producción de pimientos que según Martínez, Fornaris (2005) es de 5.5 a 6.8. Estudios previos han confirmado que la disminución del pH en el suelo tras la aplicación de la vermicomposta se debe a la producción de NH_4^+ , CO_2 y ácidos orgánicos durante el metabolismo microbiano en la vermicomposta (Albanell, et al., 1988, Sánchez et al., 2007). La descomposición de residuos animales y vegetales envuelve un proceso biológico en el cual el carbono se recicla en la atmósfera, el nitrógeno se libera en forma disponible como nitrato y amonio (Quintero et al., 2003).

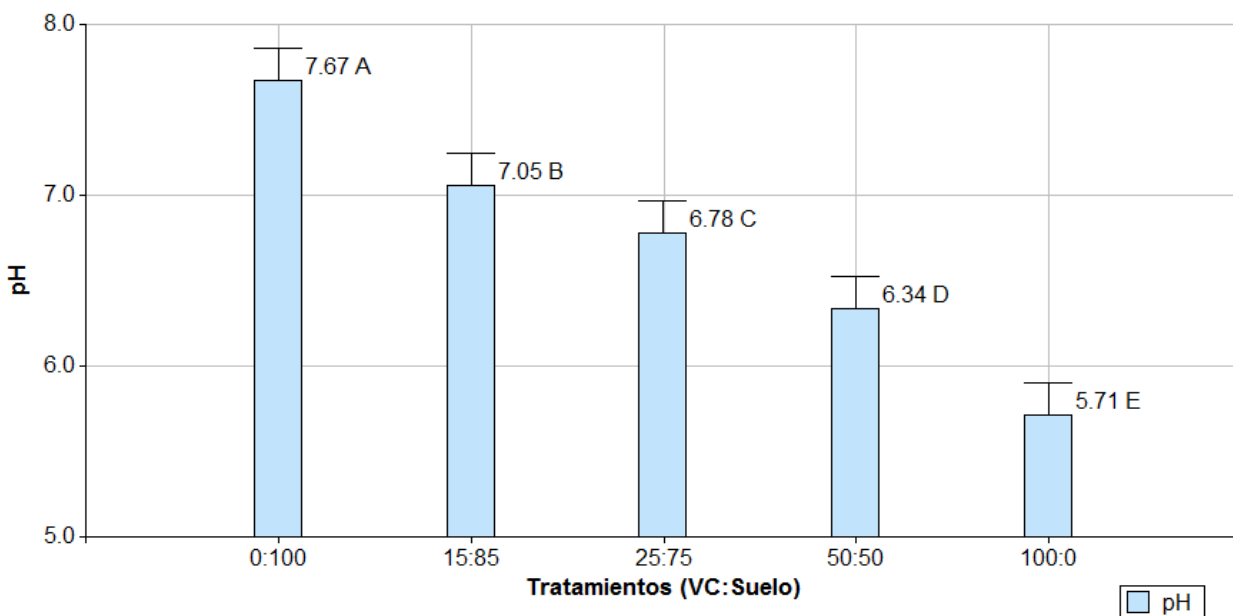


Figura 2.9. Niveles de pH en los sustratos con diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo aluvión.

2.4.1.2 Nitrógeno Total (N_{Tot})

La Figura 2.10 muestra que el Pro-Mix® obtuvo la menor concentración de Nitrógeno siendo significativamente diferente en comparación con las demás proporciones de VC: PM. Al añadir un 15 por ciento o más de vermicomposta de pulpa de café hubo un aumento significativo en las concentraciones de Nitrógeno Total. Al comparar el contenido de N_{Total} entre los tratamientos con 15%, 25% y 100% vermicomposta de café, no hubo diferencia significativa. Los tratamientos con 50% y 100% vermicomposta de café no mostraron diferencias significativas entre sí, siendo estos dos tratamientos los de mayor contenido de Nitrógeno. La vermicomposta de café contiene una mayor concentración de Nitrógeno Total en comparación con el suelo. Por esta razón se observó un aumento significativo en el contenido de N_{Total} al aumentar las proporciones de VC en las mezclas realizadas.

Estos resultados concuerdan con resultados por otros investigadores donde la práctica de añadir vermicomposta en el suelo aumenta las concentraciones de Nitrógeno total. Bansal y Kapoor (2000), informaron un aumento significativo en el contenido de Nitrógeno en residuos de caña de azúcar y estiércol de ganado luego de haber sido inoculados con la lombriz de tierra *Eisenia foetida*. Arzami et al., (2008), concluyeron también que al incorporar vermicomposta de ovejas en el suelo para la siembra de tomates, los niveles de N_{total} aumentaron. Kurian y Velmourougane (2010) reportaron un aumento en las concentraciones de N en la pulpa de café luego de ser digerida por la lombriz de tierra *Eudrilus egeinae*.

El Nitrógeno es un nutrimento que se puede perder fácilmente ya sea por lixiviado o por volatilización. Se encontró que el suelo en este estudio contenía un 0.04 por ciento (%) de N_{Total} , concentración significativamente menor en comparación con el 2% de N_{Total} de la vermicomposta de café (Figura 2.10). Esta diferencia en las concentraciones de N_{Total} de estos dos sustratos se debe a que el suelo aluvión provino de los sedimentos de las canales de la Quebrada de Oro en Mayagüez, por lo cual

estuvo expuesto a condiciones de inundaciones y el nitrógeno presente en el suelo pudo haberse lixiviado.

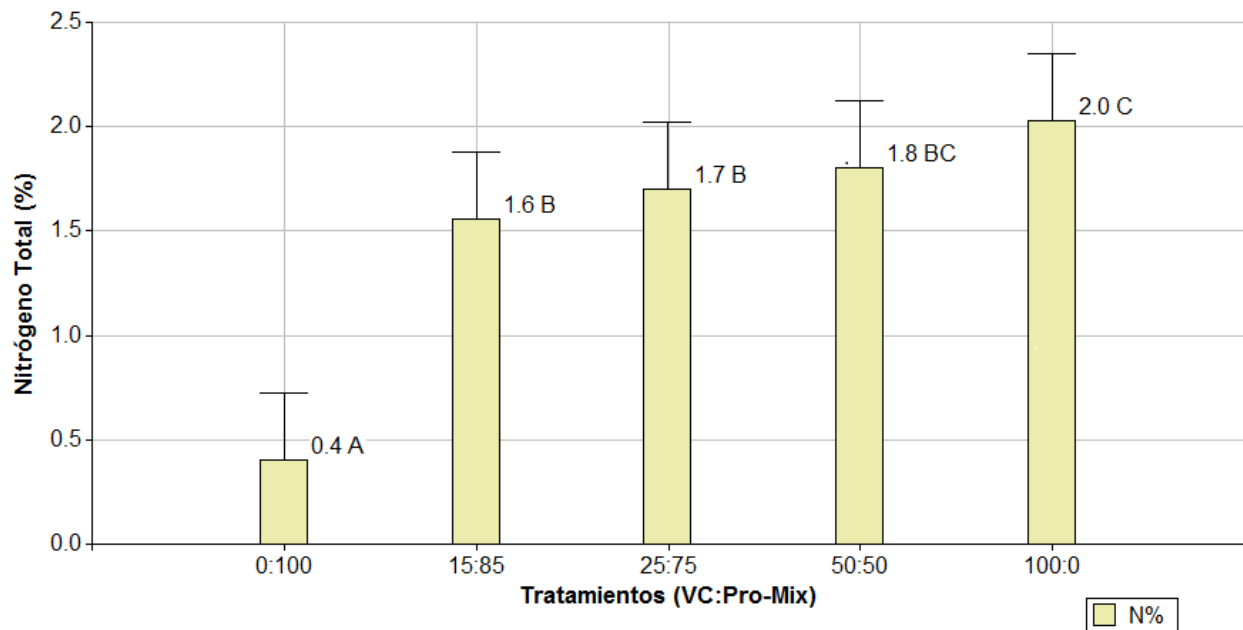


Figura 2.10. Nitrógeno Total en las diferentes proporciones de vermicomposta de pulpa de café y Pro-Mix®.

En el análisis de varianza de N_{Total} en las proporciones de vermicomposta de café (VC) y suelo (S), se encontró que con un 50% o más de vermicomposta hubo un aumento significativo en el contenido de N_{Total} (Figura 2.11). En los tratamientos 100% suelo y 5:%, 15:% y 25:% de vermicomposta de café no se encontraron diferencias significativas al compararse entre sí, siendo estos tratamientos los de menor concentración de N_{Total} . El tratamiento con 100% vermicomposta de café fue el de mayor contenido de N_{Total} , siendo significativamente diferente de los demás tratamientos.

Estudios previos confirman que el nitrógeno puede aumentar a consecuencia del proceso metabólico de las lombrices de tierra, donde el N es excretado en forma de amonio a través de la orina y las mucoproteínas (Willems et al., 1996, Tripathi,

Bhardwaj, 2004, Louduraj, Kumar, 2005, Domínguez et al., 2009). Las lombrices de tierra, tienen influencia en el proceso de mineralización del Nitrógeno reteniéndose el Nitrógeno en forma de Nitrato y Amonio, y así estar disponibles de manera rápida para las plantas Orozco et al., (1996).

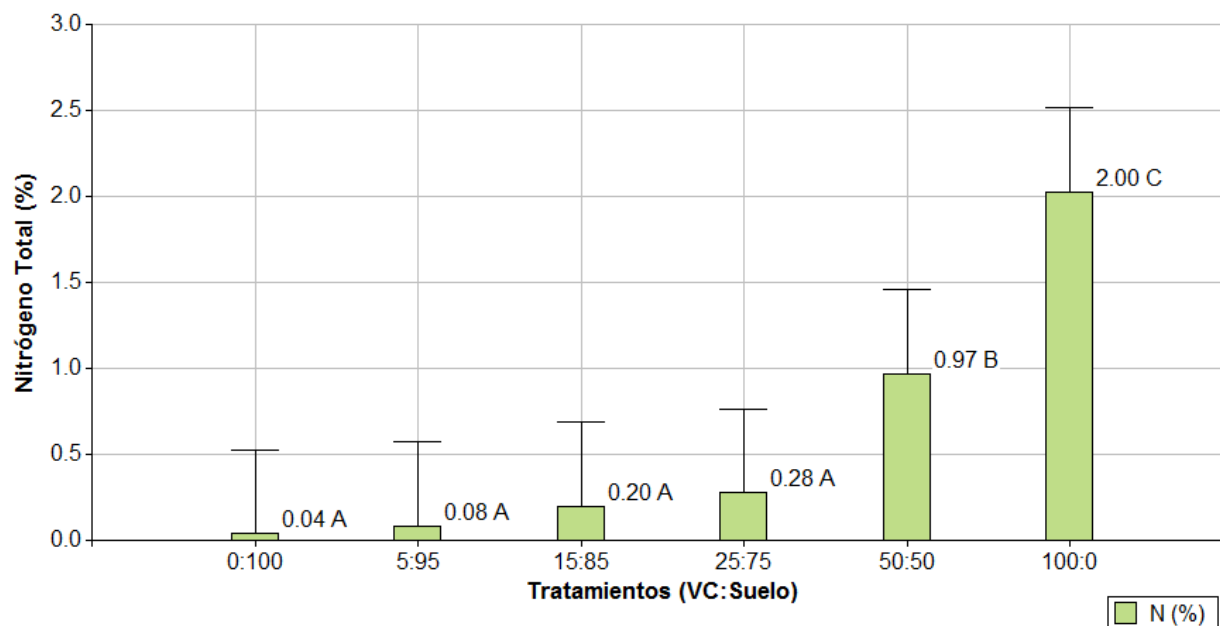


Figura 2.11. Concentraciones de Nitrógeno Total en las proporciones de vermicomposta de café y suelo.

2.4.1.2.1 Nitrato (NO_3^-)

En las proporciones evaluadas de vermicomposta de café (VC) y Pro-Mix®, los tratamiento cuya proporción de vermicomposta fue de un 50% o menor del volumen total, no se encontró diferencia significativa en las concentraciones de Nitrato (Tabla 2.3). El tratamiento control 100% vermicomposta de café, resultó ser significativamente mayor en las concentraciones de Nitrato al compararse con el restante de los tratamientos.

El análisis de varianza de Nitrato en los tratamientos de vermicomposta de café y suelo (VC: S), mostró un aumento gradual en las concentraciones de NO_3^- a medida que aumentaron las proporciones de vermicomposta de pulpa de café en las mezclas evaluadas. El tratamiento 100% suelo aluvión fue el de menor contenido de Nitrato seguido por los tratamientos con 5% y 15% de vermicomposta los cuales no presentaron diferencia significativa. Al mostrarse una baja concentración de Nitrato (NO_3^-) en el suelo, para obtener un aumento significativo fue requerido añadir una proporción de 50% o más de vermicomposta de café. Los tratamientos con 50% y 100% de vermicomposta de café mostraron diferencias significativas, siendo la vermicomposta el tratamiento con la mayor concentración de NO_3^- .

El Nitrato (NO_3^-) y el Amonio (NH_4^+), representan las dos formas inorgánicas de N, que puede ser absorbido por las plantas. Según Kass, (2007) las hortalizas se desarrollan mejor cuando el nitrógeno es suplido en forma de Nitratos. Los resultados de una investigación realizada por Marti, Mills (1991), con el cultivo de pimientos, comprobó que los rendimientos del cultivo fueron mayores cuando el NO_3^- fue la forma predominante del Nitrógeno. La absorción de Nitratos es generalmente alta y favorecida por valores de pH de suelo bajo, que tiendan hacia la acidez (Kass 2007). Esto es una característica favorable a considerarse en la vermicomposta de pulpa de café, que es ligeramente ácida y pudiese ayudar en la absorción de nitratos.

2.4.1.2.2 Amonio (NH_4^+ - N)

El análisis de varianza realizado de las concentraciones de NH_4^+ - N, indicó que no hubo diferencia significativa entre las proporciones evaluadas de vermicomposta de pulpa de café y Pro-Mix® (VC: PM) (Tabla 2.3). En las proporciones de VC:S, al igual que las proporciones VC: PM, no se observó diferencia significativa (Tabla 2.3).

Tabla 2.3. Análisis de los macroelementos en sustratos conteniendo vermicomposta de pulpa de café.

Tratamientos	N%	NO ₃ ⁻ %	NH ₄ %	P%	K%	Ca%	Mg %
VC: PM							
0:100	0.40A	0.05A	0.05 ^a	0.013 ^a	0.21A	0.36C	0.11A
15:85	1.56B	0.07A	0.05A	0.021B	0.48B	0.34BC	0.27A
25:75	1.70B	0.06A	0.05A	0.025C	0.63BC	0.30AB	0.08A
50:50	1.80BC	0.07A	0.06A	0.026D	0.74C	0.27A	0.06A
100:0	2.03C	0.12B	0.11A	0.027E	0.75C	0.26A	0.07A
DMS (0.05)¹	0.321	0.041	NS	0.001	0.022	0.05	NS
VC:S							
0:100	0.04A	0.00A	0.04 ^a	0.00035 ^a	0.0022A	0.16 A	0.0410A
5:95	0.08A	0.01AB	0.04A	0.00082A	0.01AB	0.16A	0.0438B
15:85	0.20A	0.02AB	0.04A	0.0078B	0.03BC	0.17AB	0.0435B
25:75	0.28A	0.04BC	0.04A	0.0100C	0.05C	0.17AB	0.0461C
50:50	0.97B	0.03C	0.05A	0.0129D	0.15D	0.18B	0.0477C
100:0	2.03C	0.12D	0.11A	0.0275E	0.74E	0.27C	0.0744D
DMS (0.05)¹	0.490	0.033	NS	0.00086	0.020	0.015	0.002

1. DMS= Diferencia Mínima Significativa ($p \leq 0.05$). Letras en común no son significativamente diferentes

La mayoría de las plantas absorben el Nitrógeno en forma de Nitrato (NO₃⁻), mientras que el Amonio (NH₄⁺) puede ser tóxica para muchas de las plantas, incluso cuando se encuentra en bajas concentraciones o cuando el Amonio es la única fuente de Nitrógeno (Salsac. et al., 1987 y Kass 2007). En el análisis químico realizado, se encontró que la concentración de Nitrato en la vermicomposta de café fue mayor que la concentración de Amonio. Este resultado demuestra que la vermicomposta podría utilizarse efectivamente como un sustrato ya que las plantas podrían utilizar el Nitrógeno de manera eficiente. El suelo aluvión a diferencia de la vermicomposta de café posee NH₄⁺ como la única fuente de Nitrógeno inorgánico, por lo que las plantas cultivadas en este suelo podrían presentar algunos síntomas de toxicidad.

2.4.1.3 Fósforo (P)

El Fósforo (P) es uno de los nutrimentos importante para el desarrollo de las plantas. Este elemento interviene en los procesos bioquímicos de las células y contribuye en el desarrollo de raíces. Las plantas sólo pueden absorber el Fósforo cuando se encuentran en forma iónica soluble de ortofosfatos (HPO_4^{-2} y HPO_4^1). Según Russo (2012), la concentración de Fósforo ideal en el suelo para el cultivo de pimientos se encuentra entre 0.002% y 0.008%.

Los resultados de por ciento de Fósforo (P) en las proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix® evaluadas muestran diferencia significativa. Se observó un aumento gradual en las concentraciones de P al añadir la VC en las proporciones de VC: PM evaluadas (Figura 2.12). El tratamiento 100% Pro-Mix®, en comparación con el restante de los tratamientos mostró la menor concentración de (P), mientras que el tratamiento con 100% vermicomposta, fue el de mayor contenido de (P). El análisis de varianza mostró una diferencia mínima significativa (DMS) de 0.001 con un α de 0.05, por lo que las concentraciones de Fósforo encontradas en las diferentes proporciones de VC: PM analizadas se encuentran dentro los valores óptimos de Fósforo (P) reportados para el cultivo de pimientos.

En las proporciones evaluadas de vermicomposta de café y suelo (VC: S) se observó que a medida que se aumentaron las proporciones de vermicomposta aumentó el % de P. En el tratamiento 100% suelo se encontró la menor concentración de fosforo seguido por el tratamientos 5 % VC, siendo no significativa la diferencia de P entre estos tratamientos. La Figura 2.13 demuestra que un 15 % de vermicomposta o más en el sustrato aumenta significativamente el contenido de P. El tratamiento con 15% de vermicomposta es el único que se encuentra dentro del rango óptimo de P para el cultivo de pimientos.

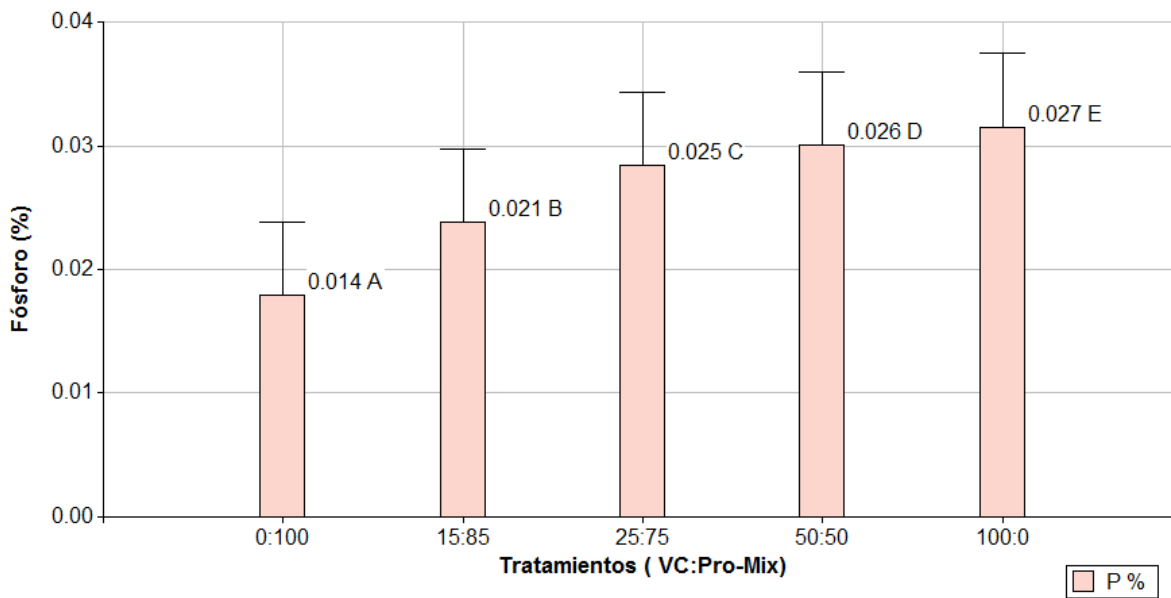


Figura 2.12. Porcentaje de Fósforo en los tratamientos de vermicomposta de café y Pro-Mix®

Los resultados obtenidos en éste estudio concuerdan con los hallazgos de Marinari et al., (2000), donde informaron un aumento similar en las concentraciones de P en el suelo luego de la aplicación de enmiendas orgánicas. Según Orozco et al., (1996) la conversión de pulpa de café, por medio de la lombriz *Eisenia foetida* mostró un aumento en el contenido de fósforo. En otro estudio realizado por Arancon et al., (2005), donde compararon el desarrollo de pimientos en suelos enmendados con vermicomposta de diferentes materias primas y un fertilizante inorgánico como control, encontraron que los suelos enmendados con vermicomposta tenían cantidades superiores de ortofosfatos (H_2PO_4^- y HPO_4^-). Cuando el suelo tiene valores de pH ácido en el suelo, se forman otros compuestos fijando HPO_4^- con cationes como el Fe^{+2} , Al^{+3} y Mn^{+2} los cuales ayudan a aumentar la solubilidad del P a medida de que disminuye el pH (Miller, Gardiner, 1998; Kass, 2007).

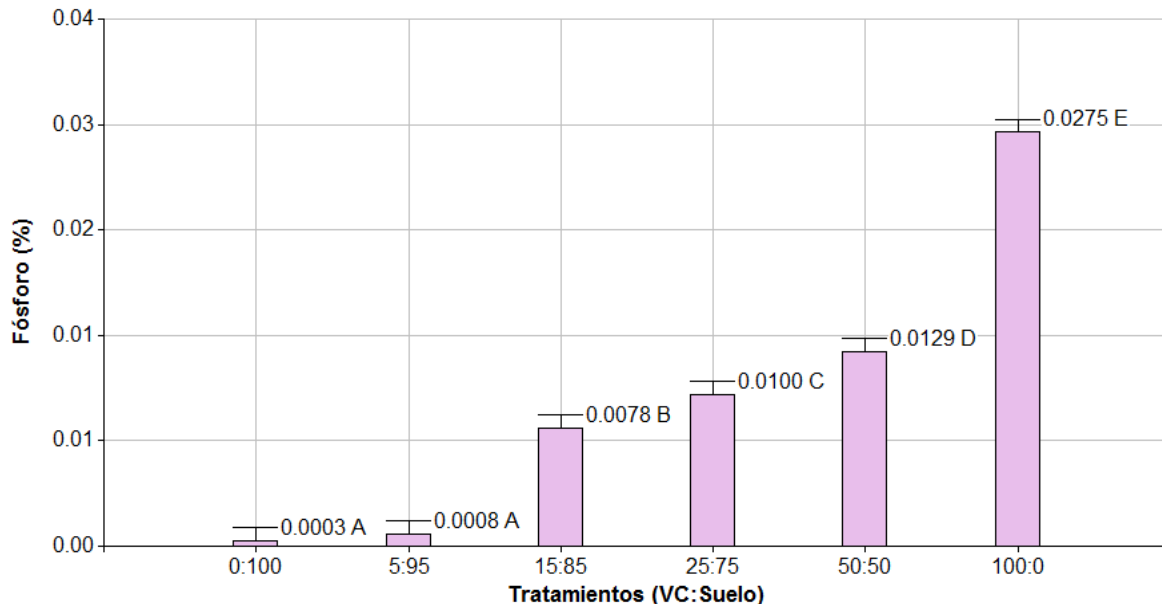


Figura 2.13. Concentraciones de Fósforo para los tratamientos de vermicomposta de café y suelo

2.4.1.4 Potasio (K^+)

El análisis de varianza de las concentraciones de Potasio (K^+) en los tratamientos de VC: PM mostró que a medida que se aumentaron las proporciones de vermicomposta de café, mayor fue el contenido de K^+ (Figura 2.14). El tratamiento con el menor contenido de K^+ fue el 100% Pro-Mix®, siendo significativamente diferente al compararse con los demás tratamientos. Los sustratos conteniendo un 15% o más de vermicomposta fueron significativamente mayor al compararse con el tratamiento 100% Pro-Mix®. Los resultados indican que en las proporciones con un 25% o más de vermicomposta de café hubo un mayor contenido de K^+ , siendo estos tratamientos significativos entre sí. Los resultados obtenidos concuerdan con los obtenidos por Arzami et al., (2008), donde las concentraciones de Potasio fueron mayores a medida que se aumentaron las concentraciones de la vermicomposta de estiércol de ovejas en el de sustrato.

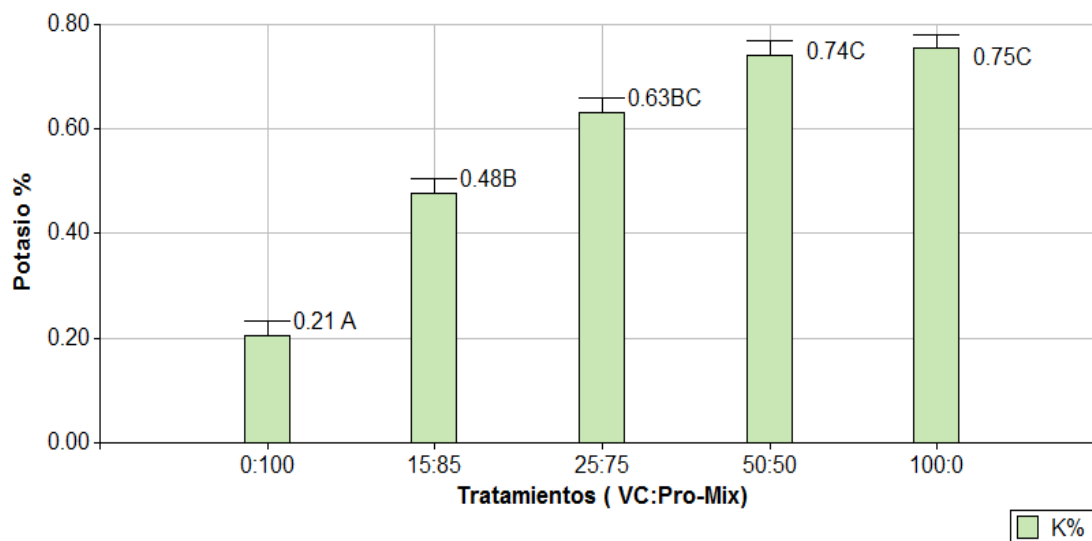


Figura 2.14. Porcentaje de Potasio (K^+), en los sustratos a base de vermicomposta de pulpa de café y Pro-Mix®.

En los resultados obtenidos para el contenido de K en los tratamientos VC: Suelo, se observó una tendencia de aumentar la concentración de K, según se aumentaron las proporciones de VC en las mezclas evaluadas (Figura 2.15). El tratamiento 100% suelo en comparación con el tratamiento que contenía un 5% de vermicomposta no mostró diferencia significativa, siendo estos tratamientos los de menor contenido de Potasio. Los tratamientos 15:85 y 25:75 (VC: S), presentaron diferencias significativamente mayores, al ser comparados con los tratamientos 0:100 y 5:95. Las proporciones 50:50 y 100:0, fueron los de mayor concentración de Potasio, siendo significativamente diferentes al ser comparados con los demás tratamientos.

El aumento en la concentración de Potasio en las diferentes proporciones de VC: S, se puede deber a que el suelo aluvión al estar expuesto a condiciones de humedad, el Potasio se pudo lixiviar. Según Basker et al., (1993), el aumento en las concentraciones de K en la vermicomposta se debe a que la disponibilidad de K^+ mejora significativamente en el suelo tras la ingestión por parte de las lombrices y el cambio en la distribución del K^+ de formas no intercambiables a intercambiables.

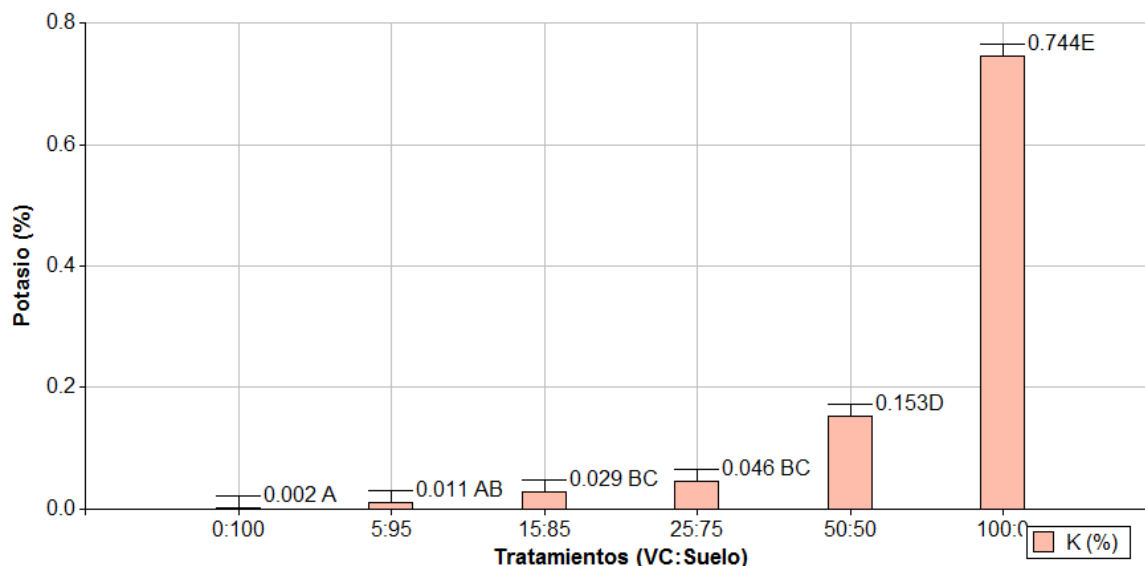


Figura 2.15. Porcentaje de Potasio (K^+) en el sustrato con diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.

2.4.1.5 Calcio (Ca^{+2})

Los resultados mostraron una tendencia que al aumentar la proporción de vermicomposta en las mezclas con Pro-Mix® disminuyó la concentración de Ca^{+2} , al aumentar la proporción de vermicomposta en las mezclas realizadas de vermicomposta de café y (Figura 2.16). Los tratamientos que contenían un 25%, 50% y 100% de vermicomposta presentaron concentraciones de Ca^{+2} significativamente menores, comparados con los demás tratamientos de VC: PM. Entre los tratamientos con un 15% y 25% de VC no hubo diferencia significativa y se encontraron concentraciones de Ca^{+2} mayores a las de los tratamientos 100:0, 50:50 y 25:75. El tratamiento con la mayor concentración Ca^{+2} fue el tratamiento 100% Pro-Mix® seguido por el tratamiento 15:85 y entre estas proporciones de VC: PM no hubo diferencias significativas. El Pro-Mix®, es un sustrato compuesto por la mezcla de turba, vermiculita, perlita y rocas sedimentarias “limestone”. Las rocas sedimentarias están compuestas de por minerales de Carbonato de Calcio y Magnesio ($(CaMgCO_3)_2$), por lo que son una fuente adicional de éstos nutrimentos en el sustrato Pro-Mix®.

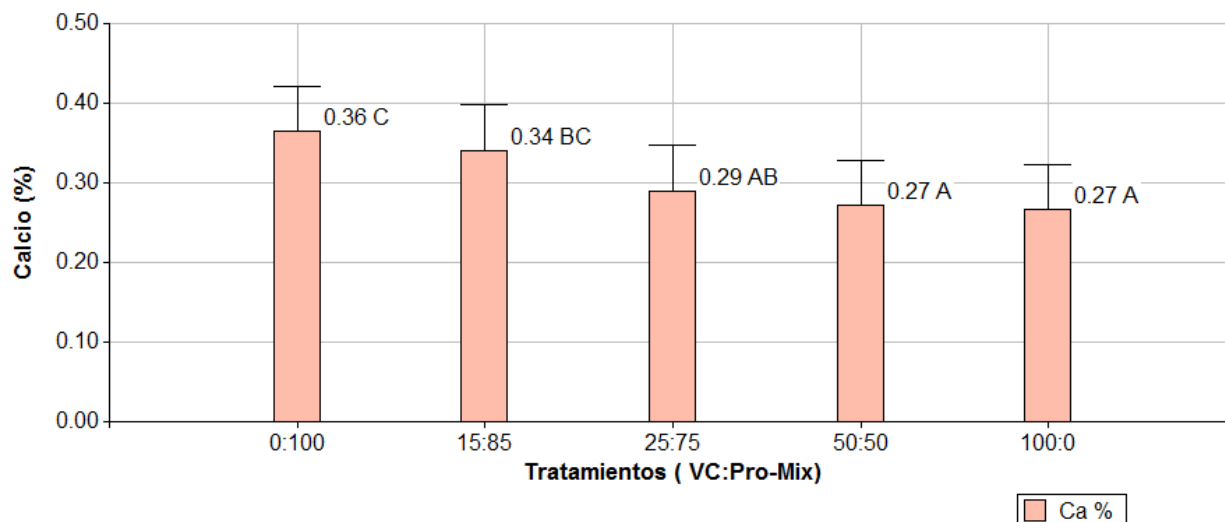


Figura 2.16. Porcentaje de Calcio (Ca^{+2}) en los sustratos con diferentes proporciones de de vermicomposta de café y Pro-Mix® y suelo.

Los análisis de varianza de Ca^{+2} en las proporciones de vermicomposta de café y suelo presentaron un aumento significativo al añadir un 50% o más de vermicomposta en las mezclas evaluadas (Figura 2.17). Entre los tratamientos 0:100, 5:95, 25:75 y 15:85 no se observaron diferencias significativas, siendo estos los de menor concentración de Calcio. En los tratamientos 15:85, 25:75 y 50:50, no se mostraron diferencia significativa, aunque se mostraron niveles de calcio mayores a los de los tratamientos 0:100 y 5:95. La proporción con mayor concentración de Ca^{+2} , fue la vermicomposta de café (100:0), siendo significativamente diferente al compararse con los demás tratamientos. El aumento en las concentraciones de Ca^{+2} al añadirse la vermicomposta de café en el suelo, puede deberse a que las lombrices de tierra poseen glándulas calcíferas por las cuales aportan calcio durante el proceso de la digestión. Según Pandmavathianna, et al., (2008), las lombrices de tierra pueden producir calcio excretándolo a través de las glándulas de calcio en forma de CaCO_3 .

Durante el proceso de ingestión de la materia prima por parte de las lombrices, el material descompuesto tiene una gran área superficial, esto propicia un microambiente favorable para las actividades microbiológicas y una efectiva retención

de nutrientes (Kumar et al., 2005; Singh et. al 2008). Como consecuencia de esta acción muchos de los nutrientes están disponibles en formas de nitratos, fosfatos, calcio intercambiable y potasio soluble (Orozco et al., 1996; Hidalgo et al., 2002, Edwards et al., 2011)

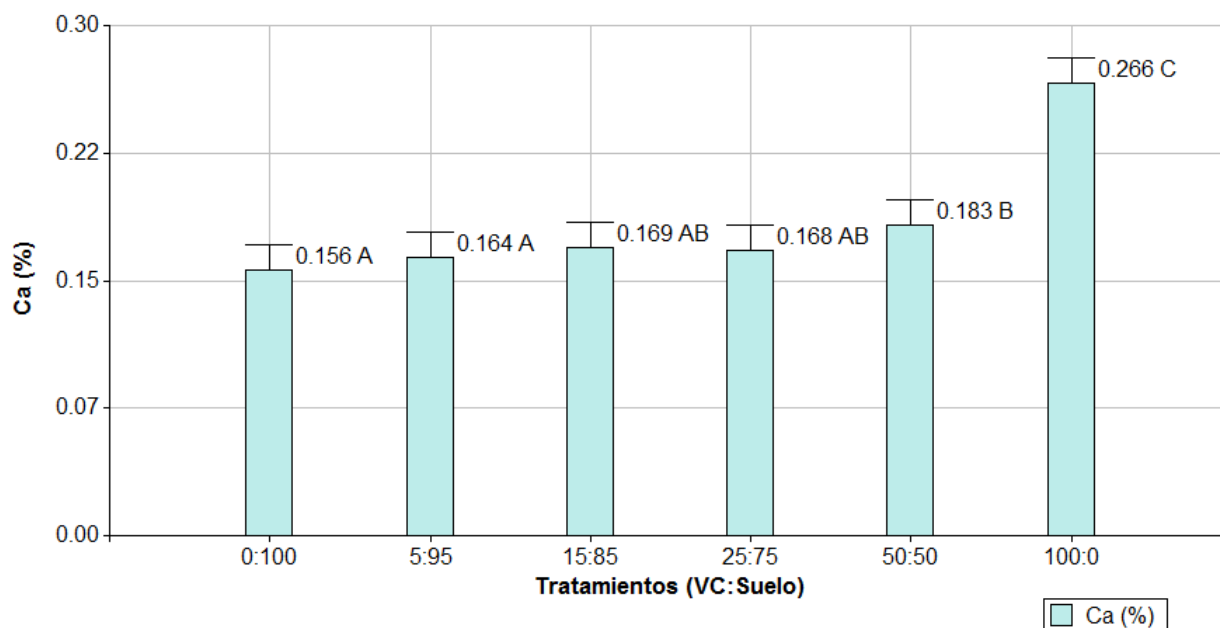


Figura 2.17. Concentraciones de Calcio (Ca^{+2}) para los tratamientos de vermicomposta de café y Pro-Mix® y las proporciones de vermicompostade café y suelo.

2.4.1.6. Magnesio (Mg^{+2})

Los resultados del análisis de varianza del contenido de Magnesio, en los tratamientos de VC: Pro-Mix® muestran que no hubo diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 2.3). Se observó una tendencia que al aumentar la proporción de vermicomposta en el sustrato disminuyó la concentración de Magnesio. La tendencia a la disminución de Mg^{+2} en los sustratos se puede deber a que el Pro-Mix® posee "limestone", mineral compuesto de Carbonato de Calcio y Magnesio y la vermicomposta tiene bajas concentraciones de este elemento.

Los resultados del contenido de Mg en las proporciones de vermicomposta de café y suelo (VC: S) mostraron un aumento significativo en el contenido de Magnesio en las proporciones con un 15% o más de vermicomposta de café (Tabla 2.3). El tratamiento 100 % suelo, presentó la menor concentración de Mg^{+2} , siendo significativamente diferente al compararse con los demás tratamientos. Los tratamientos 5:95 y 15:85 no mostraron diferencias significativas al ser comparados entre sí. El tratamiento 25:75 en comparación con el tratamiento 50:50 no presentaron diferencias significativas. La proporción 100% vermicomposta de café, mostró la mayor cantidad de Mg^{+2} , siendo significativamente mayor a los demás tratamientos.

El Mg tiene relaciones antagónicas con el Calcio y el Potasio, si la cantidad de Mg^{+2} es baja en relación con éstos dos elementos, disminuye su velocidad de absorción por las raíces de las plantas (Klass, D., 2007). Una característica importante de las vermicompostas es que durante el proceso de degradación de la materia orgánica por parte de las lombrices muchos de los nutrimentos quedan disponibles de manera que las plantas lo pueden obtener de manera rápida, entre estos nutrimentos se encuentra el Magnesio (Suthar, S. 2009).

2.4.1.7 Micronutrimentos: Manganeso (Mn), Hierro (Fe^{+2}) y Zinc (Zn)

2.4.1.7.1 Manganeso (Mn)

El análisis de varianza para la concentración de Mn, mostró un aumento significativo en los tratamientos de VC: Pro-Mix®, al aumentar un 50% de vermicomposta o más en las mezclas evaluadas (Tabla 2.4). Los tratamientos 0:100, 15:85, y 25:75 y (VC: PM), no presentaron diferencias significativas, siendo estos tratamientos los de menor concentración de Mn. Los tratamientos 15:85, 50:50 y 100:0 no fueron significativamente diferentes comparados entre si y presentaron la mayor concentración de Mn.

Las concentraciones de Mn en las mezclas de vermicomposta de café y suelo no mostraron diferencia significativa al ser comparadas con el tratamiento 100% suelo. El tratamiento 100% vermicomposta fue significativamente menor en comparación con el restante de los tratamientos, se observó una reducción significativa en el contenido de Mn según aumentó el contenido de VC. Las bajas concentraciones de Mn en sustratos con pH ligeramente ácidos favorecen la oxidación por la acción biológica en suelos bien aireados por lo que disminuye su disponibilidad.

Tabla 2.4. Análisis de los microelementos en sustratos con vermicomposta

Tratamientos	Mn (ppm) ²	Fe (ppm)	Zn (ppm)
VC: PM			
0:100	42.97 A	31.85 A	19.85 A
15:85	49.41AB	40.55 AB	28.58B
25:75	46.26 A	43.28B	34.85C
50:50	59.98B	41.78 B	35.68C
100:0	60.19B	42.53B	39.05D
DMS (0.05)¹	0.0011	0.009	0.00022
VC:S			
0:100	114.60 B	186.75E	7.85 A
5:95	113.90 B	182.0DE	7.55 A
15:85	119.95 B	174.75D	8.78 AB
25:75	118.80 B	165.75C	10.0 B
50:50	102.33B	125.75B	18.53 C
100:0	60.20 A	42.53A	39.05 D
DMS(0.05)¹	18.32	7.66	1.94

1. DMS= Diferencia Mínima Significativa ($p \leq 0.05$). Letras en común no son significativamente diferentes

2. ppm= partes por millón

2.4.1.7.1 Hierro (Fe^{+2})

El contenido de hierro en el Pro-Mix® (tratamiento 0:100) resultó ser menor (31.85 ppm) en comparación con los demás tratamientos (Tabla 2.4). Se observó que a medida que aumentó las proporciones de vermicomposta en el sustrato, el contenido de hierro fue mayor siendo significativamente diferente cuando la vermicomposta de café formaba parte de un 25% o más del sustrato. La menor concentración de hierro se observó en los tratamientos (0:100 y 15:85, VC: PM) con algún o poco contenido de vermicomposta los cuales no mostraron diferencia significativa entre si. Los tratamientos 15:85, 25:75, 50:50 y 100:0 no fueron significativamente diferentes entre ellos, siendo los tratamientos de mayor concentración de hierro. Según Russo (2012) las concentraciones ideales de hierro en el suelo para el cultivo de pimientos se encuentran entre 10 ppm a 100 ppm. Los valores obtenidos en éste análisis cumplen con los valores recomendados por Russo, (2012), incluyendo al Pro-Mix®.

En los resultados obtenidos de la evaluación de las concentraciones de Hierro en los tratamientos de vermicomposta de café y suelo, se observó que hubo diferencia significativa (Tabla 2.4). Se observó una disminución gradual en las concentraciones de (Fe), al añadir la vermicomposta en las proporciones evaluadas. En el tratamiento 100% suelo se encontró la mayor concentración de hierro, seguido por el tratamiento 5% VC, en los cuales no hubo diferencias significativas al compararse entre sí. Los tratamientos con un 15% o más de VC mostraron diferencia significativa, conteniendo niveles de Fe^{+2} menores a los del suelo debido a que la vermicomposta de café fue el tratamiento con la menor concentración de este micronutriente. Según Klass (2007) en condiciones de humedad el hierro se reduce de su forma iónica oxidada (Fe^{+3}) la forma iónica reducida (Fe^{+2}) por lo que aumenta su solubilidad y disponibilidad del hierro.

Es probable que el suelo aluvión utilizado contenía una mayor concentración de Fe^{+3} que la vermicomposta por que estuvo expuesto a condiciones de alta humedad

Según Russo (2012), el rango óptimo de hierro en el suelo para el cultivo de pimientos es de 10 ppm a 100 ppm. Comparando los resultados obtenidos con los valores de hierro recomendados por Russo (2012), la vermicomposta de café es el único sustrato que contiene las concentraciones ideales para el desarrollo del cultivo de pimiento.

2.4.1.7.1 Zinc (Zn)

A pesar de que los micro nutrientes se utilizan en cantidades más pequeñas, en la producción de los cultivos son tan importantes como lo son el Nitrógeno, Fósforo y el Potasio (Tunnisen, J. et al., 2010). La presencia de Zn en los medios de cultivos son de gran importancia ya que este micro elemento participa en la biosíntesis de la auxina “ácido-indole-3-acético” (IAA), regulador de crecimiento muy importante en el ciclo de crecimiento de las plantas (Kass, 2007).

En el análisis realizado para determinar los niveles Zn en los sustratos VC: PM, se observó un aumento significativo en las concentraciones de este micro elemento conforme aumentó 3ª cantidad de VC en las proporciones (Tabla 2.4). El tratamiento con la menor concentración de vermicomposta fue el Pro-Mix® (0:100), siendo significativamente diferente a las demás proporciones (VC: PM). Los tratamientos con un 25% y 50% de VC, no presentaron diferencias significativas entre sí. Según Russo, 2012 las concentraciones ideales de Zn en el suelo para el cultivo de pimientos se encuentran entre 3 a 15 ppm., por lo que todos los tratamientos analizados muestran concentraciones de Zn mayores a las óptimas para el cultivo de pimientos.

Los resultados del análisis de Zn para los tratamientos de vermicomposta de café y suelo mostraron que a mayores proporciones de VC, mayor fue el contenido de Zn (Tabla 2.3). Los tratamientos con el menor contenido de Zn fueron las proporciones con ningún o poco contenido de VC (0:100, 5:95, 15:85), siendo estos tratamientos no significativos en el contenido de Zn. En las proporciones evaluadas fue requerido un

25% o más de VC para que se mostrara un aumento significativo en los niveles de Zn. A partir del tratamiento 25:75 se observó un aumento gradual en el contenido de Zn, siendo significativamente diferente. El tratamiento 100% vermicomposta mostró la mayor concentración de este micro elemento. Aun siendo menores en el contenido de Zn, los tratamientos con 25% o menos de vermicomposta de café cumplen con los valores de Zn recomendados por Russo, (2012).

Según Shuman and Li, (1972), el pH del suelo es el factor más importante en el control de la disponibilidad del Zn en el suelo, el cual disminuye con el aumento del pH. Esto confirma lo antes mencionado ya que el suelo utilizado tenía un pH de 7.67, lo cual pudo contribuir en la a disminución de la disponibilidad de este elemento.

2.4.1.8 Materia Orgánica (%)

El análisis para la determinación de la materia orgánica (MO) en los sustratos con vermicomposta de café y Pro-Mix®, se mostró que no hubo diferencia significativa en las mezclas evaluadas (Figura 2.18). El Pro-Mix® es un sustrato orgánico por lo que presenta mayor concentración de MO. El análisis estadístico mostró una diferencia significativamente menor en el tratamiento 100% VC, al compararse con los demás tratamientos. Los resultados indican que ambos sustratos, la vermicomposta de café y el Pro-Mix® son ricos en materia orgánica y aunque la VC tiene un 1.8 por ciento menos de materia orgánica que el Pro-Mix®, esta diferencia no es detrimental ya que las proporciones evaluadas contienen mas del nivel critico requerido para el cultivo.

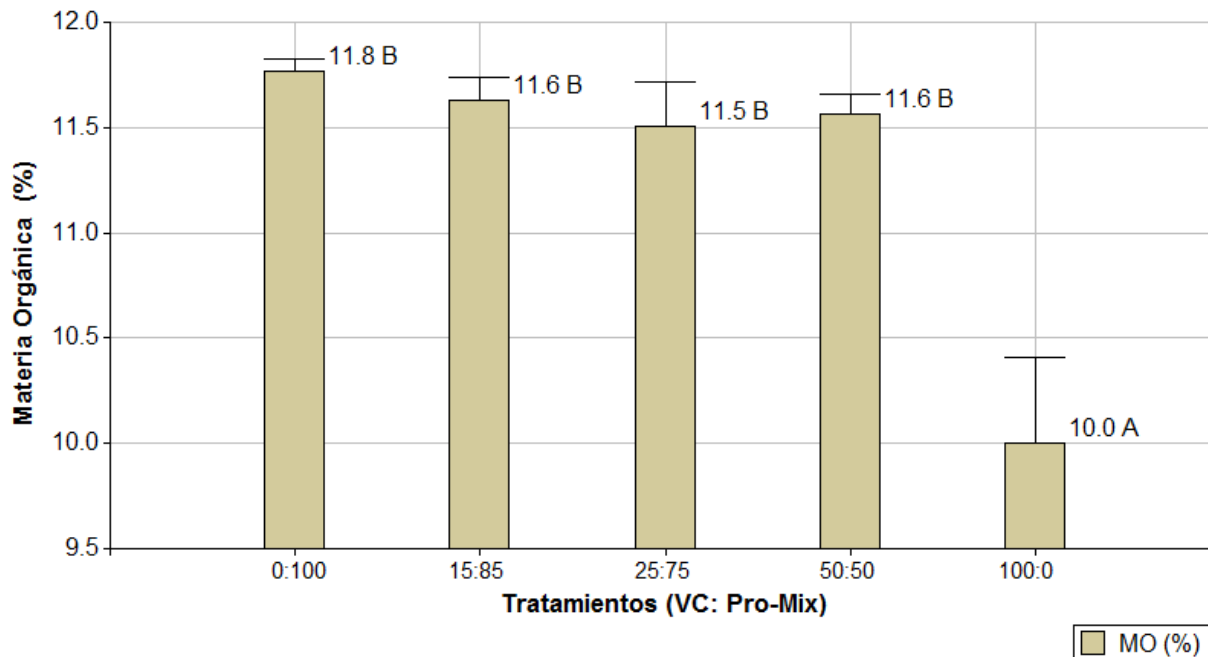


Figura 2.18. Porcentaje de materia orgánica en los tratamientos de vermicomposta de café y Pro-Mix®.

Los tratamientos de vermicomposta de café y suelo, presentaron diferencias significativas, con relación al contenido de materia orgánica (Figura 2.19). Se observó un aumento gradual en el contenido de materia orgánica al aumentar las proporciones de vermicomposta en las mezclas realizadas. El tratamiento de 100% suelo mostró la menor concentración de materia orgánica siendo significativamente diferente al compararse con los demás tratamientos. Al añadir 5% o más de vermicomposta de café en el suelo fue notable un aumento significativo en el contenido de materia orgánica. Los tratamientos con 25% y 50% de VC, no mostraron diferencias significativas para las concentraciones de MO, teniendo un 2.38% y 4.64 % de MO respectivamente. Sin embargo 50% de VC sobrepasó el porcentaje de MO adecuado para el cultivo de pimientos.

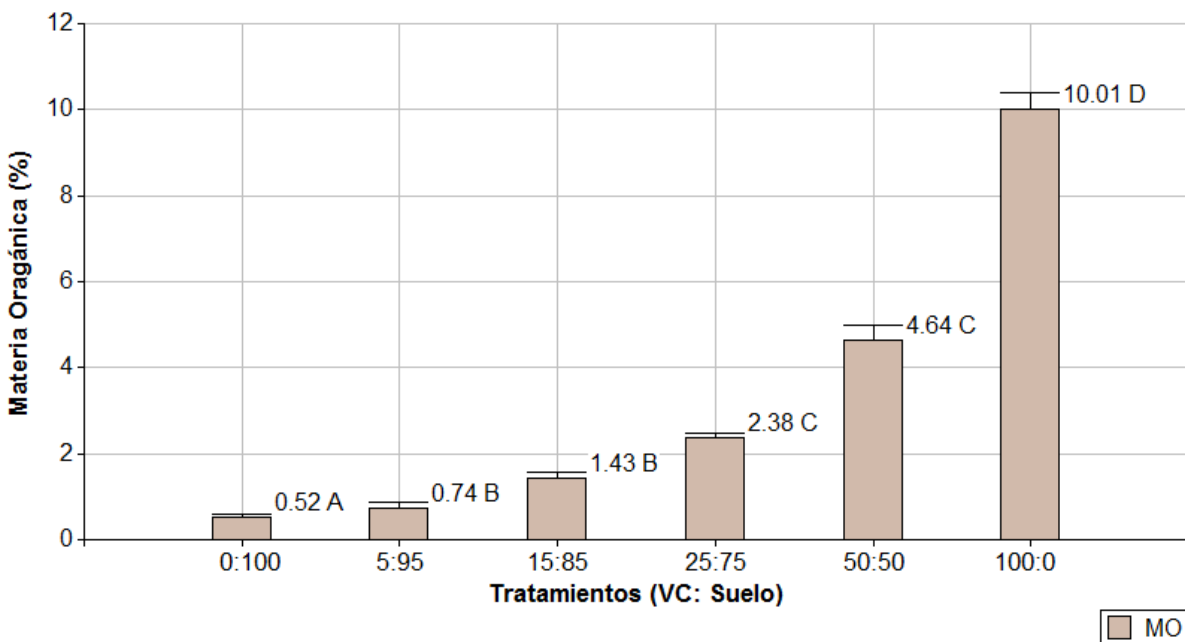


Figura 2.19. Porcentaje de Materia Orgánica en los sustratos con vermicomposta de café y suelo.

2.4.1.9 Conductividad Eléctrica (CE)

El sustrato a base de turba Pro-Mix® resultó ser el de menor nivel de conductividad (0.6 dS/m), mientras que los tratamientos 25:75, 50:50 y 100:0 (VC: Pro-Mix®) tuvieron valores de 2.6 dS/m hasta 5.8 dS/m, siendo estos significativamente diferentes. A mayor proporción de VC en el sustrato, mayor fue el contenido de sales solubles (Tabla 2.5). El tratamiento que consistió en 100% VC, fue el de mayor conductividad eléctrica. Según Nuez et al., (1995) el rango óptimo de la conductividad eléctrica para el cultivo de pimiento es de 2 dS/m a 4 dS/m, comparando estos valores con los resultado obtenidos las proporciones de VC: PM con un contenido de 25% de vermicomposta o más exceden los valores de conductividad eléctrica recomendados para la siembra del cultivo de pimientos.

Los resultados obtenidos por Arzami et al., (2008) apoyan los obtenidos en este estudio, al encontrar que, la vermicomposta de ovejas tuvo una mayor conductividad eléctrica en comparación con el suelo. Los resultados de Atiyeh et al., 1998 afirman que la CE aumenta al añadir vermicomposta de cerdo a un sustrato comercial a base de turba; estos investigadores concluyeron que el alto contenido de sales era la posible razón por la cual las plantas no tuvieron un crecimiento adecuado.

Tabla 2.5. Conductividad eléctrica en los tratamientos de vermicomposta y Pro-Mix®.

Tratamientos (VC:Pro-Mix)	Conductividad Eléctrica (dS/m)
0:100	0.6 A
25:75	2.6 B
50:50	4.4 C
100:0	5.8 D

* Letras diferentes indican que son significativamente diferentes ($\alpha \leq 0.05$)

* dS/m = desicimens/ milimohs

2.4.1.10 Comparación de las caracterización química de los tres sustratos de interés: vermicomposta de café (VC), Pro-Mix® (PM) y Suelo aluvión(S).

Las Tablas 2.6 y 2.7, muestran una comparación de las características químicas entre los sustratos vermicomposta de pulpa de café, Pro-Mix® y suelo. Los resultados obtenidos mostraron que la vermicomposta de café contiene valores superiores de pH, N, P, K, Mg y MO, Mn y Zn. El suelo aluvión estudiado no satisface los requerimientos nutricionales de pH, N, P, K, necesarios para el cultivo de pimientos.

Tabla 2.6 Comparación de características químicas de macro elementos, pH y materia orgánica.

Sustrato	pH	%N	%NO ₃	%NH ₄	%P	%K	%Ca	%Mg	MO
VC	5.71	2.03	0.00	0.11	0.027	0.75	0.26	0.77	10.1
PM	5.90	0.40	0.05	0.05	0.013	0.21	0.36	0.11	11.8
S	7.67	0.04	0.04	0.04	0.00035	0.0022	0.16	0.041	0.52

Tabla 2.7 Comparación de micro elementos de los sustratos de interés en la caracterización química.

Sustrato	Mn (ppm)	Fe (ppm)	Zn (ppm)
VC	60.19	42.53	39.05
PM	42.97	31.85	19.85
S	114.60	186.75	7.85

2.4.2 Caracterización Física

2.4.2.1 Densidad Aparente

Se observó una tendencia a disminuir la densidad aparente a medida de que aumentó la vermicomposta de café en proporciones mayores a 25% de vermicomposta (Figura 2.20). El tratamiento 100% Pro-Mix®, fue significativamente mayor en comparación con los tratamientos 5:95, 25:75, 50:50 y 100:0. Entre los tratamientos 5:95 y 15:85 no hubo diferencia significativa. El tratamiento 25:75 al compararlo con el tratamiento 50:50, no se observó diferencia significativa.

Resultados similares fueron encontrados por Azarmi et al., 2008 donde reportaron una disminución significativa en la densidad aparente del suelo tras añadir vermicomposta animal. Igualmente Atiyeh et al., (1998), reportaron que la densidad

aparente en los tiestos disminuyó significativamente cuando se añadió vermicomposta de estiércol de cerdo en el sustrato comercial MM360®.

El crecimiento de los cultivos se ve afectado por la estructura del suelo y el comportamiento del suelo y la densidad de aparente muy baja puede causar una aireación excesiva en el sustrato y causa una disminución en la disponibilidad de agua. En cambio, la alta densidad aparente tiene la desventaja de aumentar el costo de transporte del medio contenedor y la reducción de la porosidad de aire, que deben evitarse en medios de cultivos comerciales (Corti, et al., 1998).

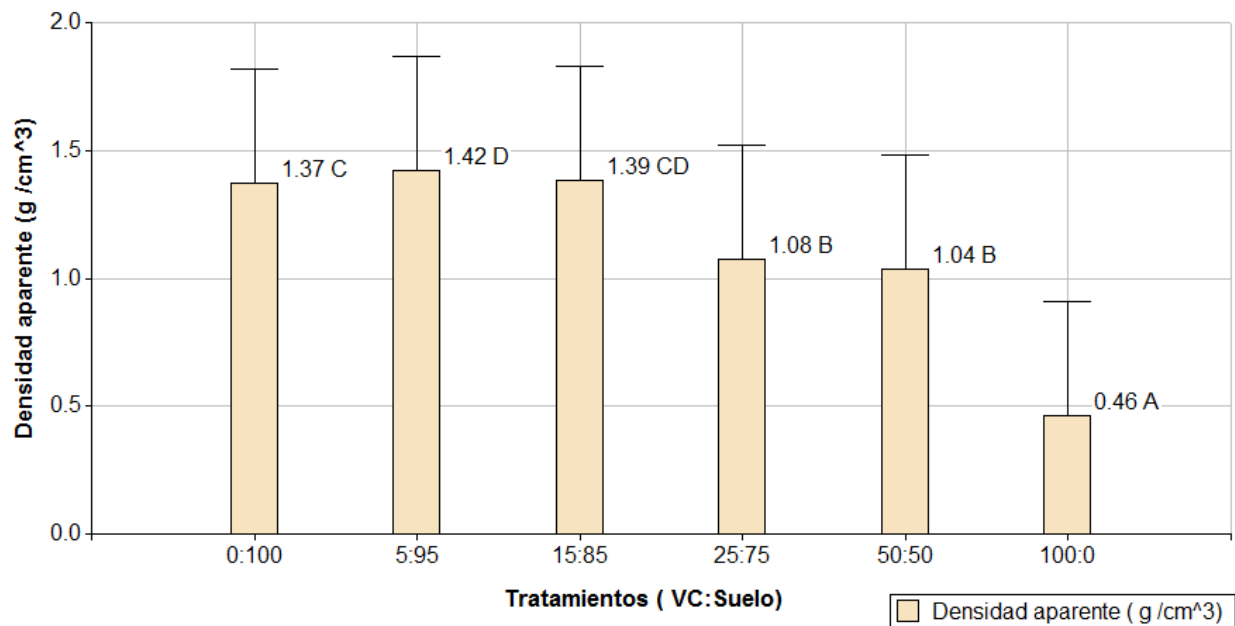


Figura 2.20. Densidad aparente de las proporciones de vermicomposta de café y suelo

2.5 CONCLUSIONES

La caracterización química de los sustratos con vermicomposta de café, demuestra que la vermicomposta contiene se puede concluir que la vermicomposta contiene los nutrimentos esenciales para ser considerado como un sustrato viable para el crecimiento, desarrollo y productividad de los cultivos. La vermicomposta de pulpa de café es un sustrato rico en Nitrógeno y puede utilizarse en la realización de mezclas de sustratos.

Para lograr un aumento significativo en el contenido de Nitrógeno en el sustrato de vermicomposta de café y Pro-Mix® se necesita que la proporción contenga un 15 % o más de vermicomposta de café, mientras que en las proporciones de vermicomposta de café y suelo es necesario un 50% o más de vermicomposta de pulpa de café. Las proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix® con un 15% o más de vermicomposta muestran aumentos significativos en las concentraciones de Fósforo y Potasio. El contenido de materia orgánica de la vermicomposta de café se encuentra dentro del porcentaje recomendado para el cultivo de pimientos.

Los estudios realizados en esta investigación demostraron que la conductividad eléctrica de la vermicomposta de café es muy alta para utilizarse como sustrato en la germinación de semillas. Su alto contenido de sales, puede retardar la germinación de las semillas. La densidad aparente de la vermicomposta de café es baja, por tanto como sustrato de cultivo puede ayudar a disminuir la compactación, y de esa forma proveer mayor aireación. Esta característica física de la vermicomposta de café demuestra su efectividad como un complemento de otros sustratos de cultivos que requieran de sustratos livianos, de poca compactación y que no mantengan la saturación con agua.

CAPÍTULO 3: RESPUESTA DE CRECIMIENTO DE PLANTAS DE PIMIENTO (*Capsicum annuum L.*) GERMINADAS EN VERMICOMPOSTA DE CAFÉ

3.1 RESUMEN

La vermicomposta es el proceso de degradación de materia orgánica por medio de la acción combinada de las lombrices de tierra y los microorganismos del suelo. Se realizó un estudio para evaluar la vermicomposta de pulpa de café (VC) como medio alternativo al sustrato a base de turba Pro-Mix® (PM) en la producción de pimientos (*Capsicum annuum L.*). Se realizó una prueba de germinación en semillas de pimiento utilizando diferentes proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix®. Los tratamientos utilizados fueron 0:100, 25:75, 50:50 y 100:0 (VC: PM). Se evaluó el porcentaje de germinación de las semillas y las plántulas se trasplantaron directamente en el campo para evaluar la efectividad de los tratamientos en el desarrollo de las plantas. El diseño experimental utilizado fue uno completo aleatorizado (DCA). Los parámetros de crecimiento evaluados fueron; altura de las plantas, cantidad de flores y frutos, y el peso fresco y seco de las plantas. Los resultados mostraron que la VC no tiene un efecto positivo en la germinación de las semillas. El PM solo, provee las condiciones ideales para promover la germinación comparado con la vermicomposta.

3.2 INTRODUCCIÓN

El ciclo de vida de las plantas se compone de una serie de etapas donde nacen, crecen, se reproducen y mueren (Kass, D., 2007). La reproducción sexual de plantas requiere de la existencia de gametos sexuales que a través de la polinización y la fecundación, ocurre la formación de una semilla (Sadhu, 1989). En términos botánicos, la semilla es el óvulo fecundado de una planta madre que contiene la planta embrionaria y dará origen a una nueva planta (Bansal et al., 1980). La germinación es el proceso de reanudación del metabolismo interno de una semilla luego de un periodo de descanso. Para que ocurra la germinación es necesario que las semillas tengan las condiciones externas adecuadas para que proceda la germinación. Algunas de estas condiciones requeridas son alta humedad, baja salinidad, oxígeno, temperatura y luz.

La fisiología de la germinación se puede describir en tres etapas sucesivas donde ocurren cambios físicos y en el metabolismo de la semillas. La fase I, es la conocida como la fase de hidratación de la semilla, donde se inicia la entrada de agua en la semilla. La hidratación depende de la composición de la semilla, la permeabilidad de la cubierta de la semilla y la disponibilidad de humedad (Bansal, et al., 1980). Durante el periodo de descanso de las semillas el embrión se encuentra seco. En esta fase ocurre la rehidratación del embrión desde el medio exterior causando hinchamiento de la semilla (Nuez et al., 1995).

En la fase II de la germinación, hay disminución en la absorción de agua (Figura 3.1). Ocurre hidrólisis enzimática y se inicia la movilización de las sustancias de reserva. Las diferentes enzimas descomponen los nutrientes almacenados en el endospermo que son transportados al interior del embrión y luego hacia los puntos de crecimiento. Esta fase culmina con el comienzo de la emergencia de la radícula. La apariencia externa del endospermo cambia un día antes de la emergencia de la radícula,

cuando el endospermo frente a la radícula se alarga y sobre sale hacia el exterior (Bosland, Votava, 2000).

Durante la fase III (Figura 3.1), ocurren cambios visibles en la cubierta de la semilla, se rompe y comienza la germinación con la salida de la radícula. La radícula es la primera parte de la planta embrionaria en brotar, ocurre la formación de los vellos radiculares que absorben el agua del sustrato de cultivo y sujetan en el embrión de la semilla al sustrato. En esta fase el hipocotilo se alarga e impulsa la plúmula y los cotiledones hacia la superficie del sustrato (Pita, Pérez 1998). Los cotiledones, al exponerse a la luz forman las moléculas de clorofila para llevar a cabo el proceso de fotosíntesis hasta desarrollar las primeras hojas verdaderas.

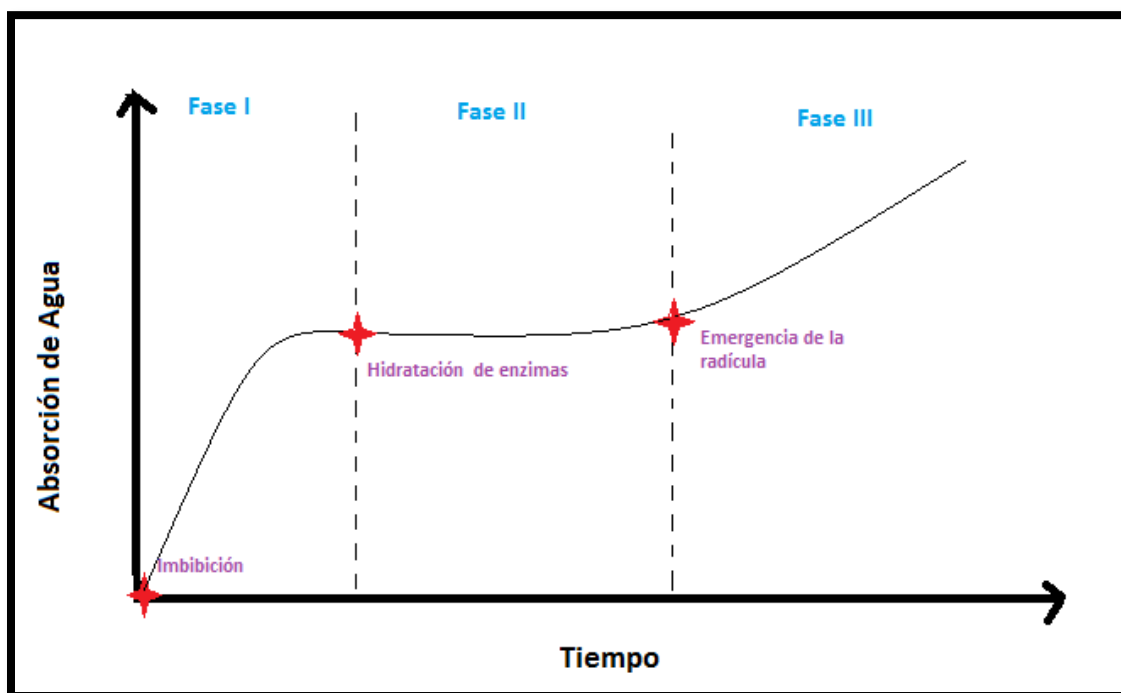


Figura 3.1: Diagrama de las etapas de la germinación de semilla. (Figura adaptada de Herrera et al., 2006)

El desarrollo de las plántulas luego de la salida de la radícula de las semillas puede variar dependiendo del tipo de germinación. Los dos tipos de germinación principales son las hipógeas y las epígeas. En el tipo de germinación hipogea el hipocotilo no se desarrolla y los cotiledones permanecen en el suelo o justamente en la superficie del suelo. En este caso el epicótilo se alarga empujando la plúmula hacia arriba. Algunos ejemplos de semillas con germinación hipógeas son el maíz, pimiento, mango, cebolla y guisantes entre otras. En la germinación epigea los cotiledones salen hacia la superficie del sustrato en contacto con la luz solar y el aire ocurre la elongación del hipocotilo. En este tipo de germinación, a diferencia de la hipógea, el hipocótilo crece primero y los cotiledones salen fuera de la superficie del sustrato y actúan como las primeras hojas. Algunos ejemplos de este tipo de germinación son la habichuela, algodón y calabaza entre otras. La semilla de pimiento tarda en germinar de 6 a 8 días. Entre los 25 a 30 días plántulas han desarrollado 4 hojas verdaderas o más y se procede a trasplantar. Luego de los 45 días de la siembra de la semilla, las plantas han desarrollado de 9 a 10 hojas y comienza la floración. El fruto se forma y una vez la flor ha sido polinizada y el ciclo completo de la producción del pimiento tarda de entre 120 a 140 días.

Para el establecimiento de siembras exitosas, la germinación es la etapa crucial en el ciclo de vida de las plantas. La calidad genética, física y fisiológica son los factores que influyen en la capacidad de desarrollo de semillas a plántulas y eventualmente su establecimiento en el campo (Nuez et al., 1995). En la producción de hortalizas, la etapa de germinación juega un papel fundamental en el desarrollo de la siembra, es de suma importancia producir plantas vigorosas y uniformes para asegurar el establecimiento de cultivos rápidos y un buen rendimiento en el campo (Jack, et al., 2011).

Para la propagación de semillas de hortalizas, el medio de cultivo utilizado comercialmente es la turba. La turba *Sphagnum* spp., ha sido el material orgánico de mayor demanda en la horticultura por poseer las características óptimas para el desarrollo y el crecimiento de las plantas (Zeller, 2007). Sin embargo, durante los últimos años se ha percibido una preocupación a nivel mundial por el medio ambiente y en contra el uso de la turba, ya que su cosecha está destruyendo los ecosistemas de pantano en peligro de extinción en diversos lugares del planeta (Barkham, J.P; 1993; Robertson R.A., 1993).

Desde el pasado periodo glacial (hace cerca de 11,000 a 13,000 años) los depósitos del musgo de pantanos han estado formándose en la provincia de Nueva Escocia y extendiéndose ampliamente hasta Canadá, acumulándose en un índice de 30 cm por cada mil años (Anderson, 1993). El uso de la turba ha ido en aumento, mientras que su disponibilidad ha ido disminuyendo (Llynn et al., 1995; Nelson, 2003). Es por lo antes mencionado que existe la necesidad de encontrar medios alternos a la turba para la propagación de las diferentes especies de plantas (Nelson, 2003; Vázquez, 2004; Gruda, N y Schnitzer, 2004, Llynn et al., 1995; Bachman & Mezger 2007; Cardona, 2008).

3.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la viabilidad del uso de vermicomposta de café como sustrato alternativo para la germinación de semillas de pimiento tipo Cubanelle utilizando proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix ®
- Evaluar los parámetros de crecimiento en las plantas de pimiento tipo Cubanelle, trasplantadas en el campo luego de su germinación en las diferentes proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix ®.

3.4 MATERIALES Y MÉTODOS

3.4.1 Germinación de semillas de pimiento

3.4.1.1 Diseño Experimental

La prueba de germinación para las semillas de pimiento (*Capsicum annuum*) se realizó con un diseño experimental completo aleatorizado (DCA), con 4 tratamientos y 4 réplicas (Figura 3.2). Los tratamientos consistieron en mezclas de vermicomposta de pulpa de café y Pro-Mix®. Las proporciones de sustratos evaluadas como tratamientos fueron 0:100, 25:75, 50:50 y 100:0 (VC: Pro- Mix®) (Tabla 3.1). Las mezclas de los sustratos fueron preparados midiendo el volumen seco de cada sustrato. Se sembraron 27 semillas para cada réplica. La Figura 3.2 muestra el diseño experimental utilizado (DBCA), cada cuadro representa una bandeja de propagación y cada círculo una celda de la bandeja de propagar.

Tabla 3.1. Tratamientos a utilizados como sustratos en las pruebas de la germinación de semillas de pimiento

Tratamientos	Sustratos para la germinación de semillas de pimiento (VC: Pro-Mix®)
I	100 % Pro-Mix®
II	50% de vermicomposta y 50% de Pro-Mix®
III	25% de vermicomposta y 75% de Por-Mix®
III	100 % Vermicomposta de pulpa de café

0:100	50:50	25:75	100:0
25:75	0:100	100:0	25:75
50:50	100:0	0:100	50:50
100:0	25:75	50:50	0:100

Figura 3.2. Diseño experimental completamente aleatorizado (DCA) para la germinación de semillas de pimiento

3.4.1.2 Metodología

Durante el mes de septiembre de 2011 se realizaron los semilleros de pimiento Cubanelle en las facilidades del vivero en el Edificio Piñero del Recinto Universitario de Mayagüez. Este vivero tiene cubierta de policarbonato con 50% de sombra. Se utilizaron semillas certificadas adquiridas de la compañía Harris Seeds® con una viabilidad de 95% y tratadas con el fungicida Thiram®. Las semillas se sembraron en bandejas de propagación cuyas celdas medían 1.5 pulgadas de diámetro y se colocó una semilla por celda. Las bandejas fueron colocadas bajo un sistema de riego de llovizna,

Los datos de la germinación se tomaron por un periodo de 35 días comenzando el día siguiente de la siembra. La mayoría de las plántulas desarrollaron 4 hojas verdaderas a los 26 días y fueron trasplantadas en tiestos de 4 pulgadas conteniendo el sustrato Pro-Mix®. Las plantas permanecieron en los tiestos de 4 pulgadas durante 8

semanas (56 días), antes de ser sembradas en el campo, esto debido a que las condiciones ambientales de lluvia y saturación del terreno no permitieron la preparación y acondicionamiento del mismo. Durante la etapa de semillero no se realizaron aplicaciones de fertilizante.

3.4.2 Producción de pimiento en el campo

3.4.2.1 Diseño Experimental

Se realizó un estudio para evaluar la respuesta de crecimiento de plántulas de pimiento tipo Cubanelle, germinadas en los diferentes tratamientos de VC: Pro-Mix® (Tabla 3.1). Las plántulas de pimiento se trasplantaron directamente al suelo durante el mes de noviembre, 82 días después de la siembra de las semillas. Los parámetros de crecimiento evaluados fueron altura de plantas, florecida y la cantidad y el peso de los frutos. Los datos fueron tomados cada 7 días. El diseño experimental utilizado fue completamente aleatorizado (DCA) con 4 tratamientos y 12 repeticiones, un total de 48 plantas (Figura 3.2). Se realizaron aplicaciones foliares del fertilizante soluble 20-10-20 a una concentración de 200ppm una vez por semana. También se realizaron aplicaciones foliares a intervalos de tres días del insecticida Dipel DF® para el control del gusano cuernudo (*Manduca sexta*).



Figura 3.3: Diseño experimental completamente aleatorizado del estudio de campo

3.4.3 Análisis Estadístico

El análisis estadístico utilizado en la evaluación de los parámetros de crecimiento, fue un análisis de varianza. Las medias se compararon mediante la prueba LSD con diferencia mínima significativa (DMS) en donde se declaró un efecto de significancia en valores de $\alpha \leq 0.05$ utilizando el programa estadístico InfoStat®.

3.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.5.1 Prueba de germinación

En la Figura 3.4, se observó que en los tratamientos utilizados para la germinación con una mayor proporción de vermicomposta de café en el sustrato, el porcentaje de germinación fue menor. Al día sexto luego de la siembra se observaron emergidos los primeros cotiledones en los tratamientos 0:100 y 25:75, siendo las

semillas del tratamiento 100% Pro-Mix®, las de mayor porcentaje de germinación. Para este día, los tratamientos 50:50 y 100:0, no presentaron diferencia significativa entre sí, y no se observó germinación para éstos tratamientos. A los 10 días luego de la siembra por primera vez se observaron los cotiledones en los tratamientos 50:50 y 100:0, siendo significativamente menor al porcentaje de germinación obtenido en las proporciones con 0:100 y 25:75. Se encontró un aumento en la germinación y en el desarrollo de las plántulas el día 26 días luego de la siembra .Se observó mayor por ciento de germinación en los tratamientos 0:100, 25:75 y 50:50.

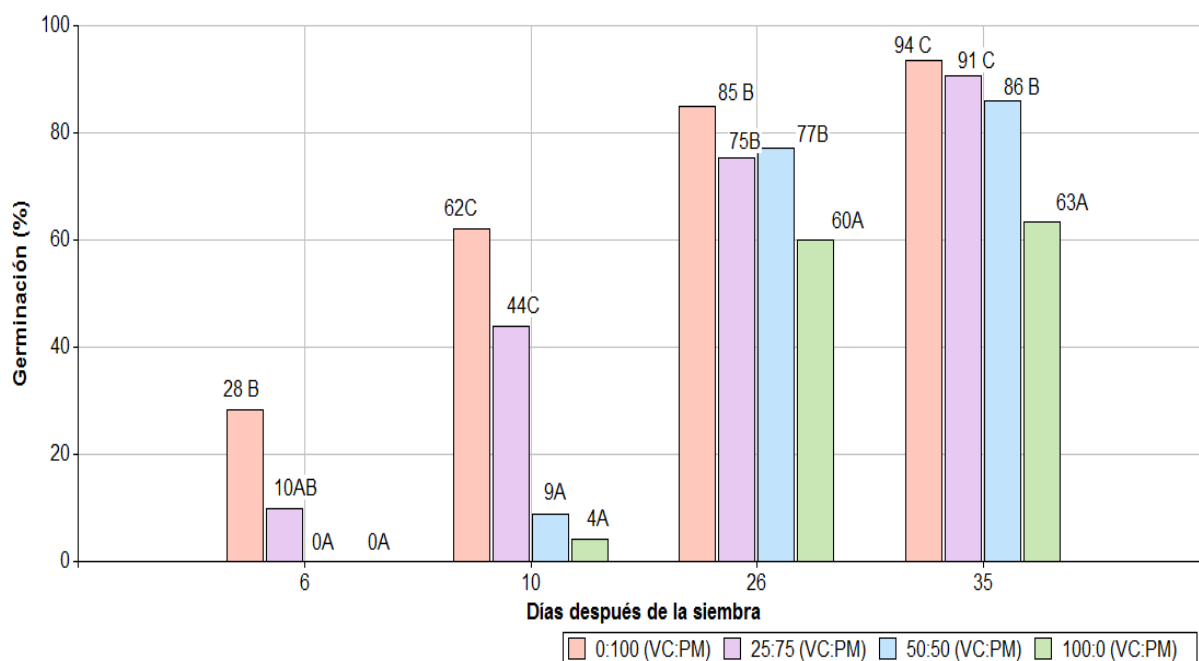


Figura 3.4. Promedio de la germinación en las semillas de pimienta utilizando diferentes proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix®.

El tratamiento 100:0 fue significativamente diferente presentándose el menor porcentaje de germinación (60%) de las semillas. Debido a que el día 26 luego de la siembra las plántulas habían desarrollado 4 hojas verdaderas, se realizó el trasplante de las plántulas a tiestos de 4 pulgadas de diámetro conteniendo el sustrato Pro-Mix® (0:100). Estas fueron utilizadas en la siguiente fase del estudio donde se trasplantaron directamente en el campo. La toma de datos continuó hasta el día 35 luego de la

siembra de las semillas y se encontró que en los tratamientos 0:100 y 25:75 no hubo diferencia significativa entre los tratamientos, siendo los tratamientos con mayor porcentaje de germinación. En el tratamiento 50:50 la germinación fue significativamente menor que en los tratamientos 0:100, 25:75 y significativamente mayor que el tratamiento 100% VC el cual presentó el menor porcentaje de germinación.

En la Figura 3.5 se puede visualizar el desarrollo de las plántulas de pimiento en los diferentes tratamientos de vermicomposta de café, El día 26 luego de la siembra las plántulas fueron trasplantadas de las bandejas de propagación a los tiestos de 4 pulgadas. En los tratamientos 0:100 y 25:75 (VC: PM), se desarrollaron plántulas con hojas de mayor tamaño en comparación con los tratamientos 50:50 y 100:0 (VC: PM). En la práctica de trasplante de plántulas a los tiestos, las plántulas se retiran de las celdas de las bandejas de propagación y conteniendo el sustrato en las raíces las plántulas.

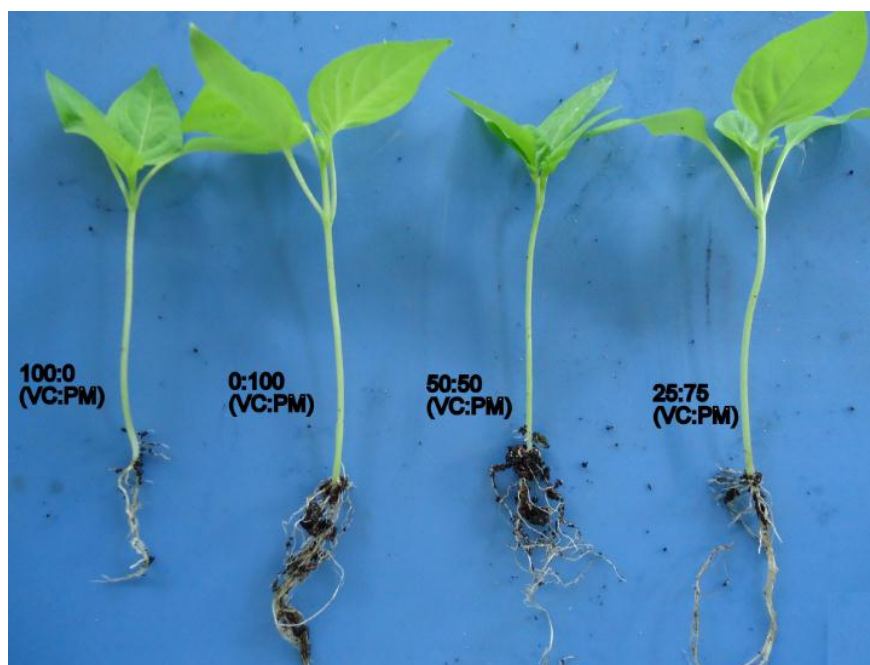


Figura 3.5. Plántulas de pimiento el día del trasplante a los tiestos de 4 pulg. en el sustrato (Pro-Mix®).

La vermicomposta de café es un sustrato muy aireado por lo que no permite una fuerte retención de humedad. La baja densidad aparente de este sustrato no brindó un soporte adecuado para el desarrollo de las raíces ya que al retirar las plántulas de las bandejas de propagación, el sustrato permaneció en las bandejas, dejando las raíces expuestas. Esto es una característica que desfavorece el uso de la vermicomposta en la etapa de semillero por que durante la práctica del trasplante las plantas podría sufrir daños en las raíces.

Evaluando los resultados de la caracterización química encontramos que la vermicomposta obtuvo una conductividad eléctrica de 5.77 dS/m (Tabla 2.3), la cual es considerada alta. La razón por la cual no se obtuvo una germinación exitosa en los tratamientos con la mayor proporción de vermicomposta de café fue probablemente causada por la alta salinidad. Según Nuez et al., (1995), en los suelos que presentan una conductividad eléctrica mayor de 2 dS/m se presentan reducciones en los rendimientos de las plantas de los géneros *Capsicum*.

La mayoría de las plantas son sensibles a la salinidad durante las primeras etapas de desarrollo, las sales actúan en forma tóxica en lugar de estimular la germinación de la semilla (Ayers, 1950; Lucero, 1970) La presencia de sales en los sustratos de cultivo provocan una disminución del potencial hídrico del suelo y hay una menor disponibilidad de agua para la semilla, por ende se dificulta la imbibición de agua por parte de la semilla, se detienen los procesos metabólicos en el interior de la misma y hay una disminución en la germinación (Bradford, 1995). Ivinsh (2011), encontró una disminución en la germinación de semillas de guisantes en proporciones de vermicomposta de vaca y sustrato a base de turba al aumentar la proporción de la vermicomposta en la mezcla. En otro estudio realizado por Bacham, Metzger (2008), encontraron que la vermicomposta de cerdo no promovió la germinación de las plantas de pimiento, tomate y marigold.

3.5.2 Evaluación de parámetros de crecimiento

El análisis de varianza para la evaluación de parámetros de crecimiento de las plantas de pimiento germinadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix® no presentó diferencias significativas en ninguno de los parámetros de crecimiento evaluados (Tablas 3.2 y 3.3). Las plantas evaluadas en esta investigación no desarrollaron un cuerpo vegetativo vigoroso y la producción de flores comenzó una semana después del trasplante por que las plantas tenían más de 9 hojas verdaderas.

El tiempo de trasplante pudo ser la razón por la cual las plántulas de pimiento no alcanzaron un desarrollo óptimo por lo que no se observaron diferencias significativas en los parámetros de crecimiento. El estudio realizado por Lim, Wong (1985) apoyan lo antes mencionado, donde evaluaron la edad de trasplante de plantas de pimiento (*Capsicum annuum L.*) y encontraron que las plántulas que permanecieron en las bandejas de 21 a 28 días tuvieron una mayor producción que las plántulas que se trasplantaron de 35 a 40 días. NeSmith (1993), reportó que el crecimiento y el desarrollo de plantas de calabaza (*Cucurbita pepo L.*) fue más lento en las plántulas trasplantadas luego de los 21 días de haber germinado.

Tabla 3.2. Parámetros de crecimiento de plantas trasplantadas en el campo

Tratamientos Germinación (VC:PM)	Altura (pulg)	Flores/ semana	Cantidad de Frutos/ tratamiento	Peso fresco de plantas	Peso seco de plantas
0:100	10.59 A	9.42 A	10.75 A	60.95 A	26.56 A
25:75	10.73 A	9.33 A	10.42 A	61.36 A	28.07 A
50:50	10.23 A	9.17 A	11.33 A	59.43 A	27.51 A
100:0	10.42 A	9.50 A	10.75 A	61.28 A	27.08 A
DMS ¹ (0.05)	NS	NS	NS	NS	NS

1. Diferencia Mínima Significativa

Tabla 3.3. Parámetros del desarrollo de los frutos en plantas trasplantadas en el campo.

Tratamientos	Diámetro	Largo	Peso de frutos (lb) / planta
0:100	1.03 A	2.50 A	0.11 A
25:75	1.12 A	2.43 A	0.10 A
50:50	1.08 A	2.39 A	0.16 A
100:0	1.12 A	2.48 A	0.05 A
DMS ¹ (0.05)	0.163	0.269	0.12

1. Diferencia Mínima Significativa

3.6 CONCLUSIONES

Al finalizar esta investigación se puede concluir que la vermicomposta de café no es un sustrato viable para promover la germinación de semillas de pimiento (*Capsicum annuum* L). La alta conductividad eléctrica de la vermicomposta de pulpa de café, no permitió la disponibilidad de agua necesaria para promover la germinación de las semillas. La vermicomposta de pulpa de café no se puede considerar un sustrato de germinación sustituto para el Pro-Mix® debido a que se demostró que a mayor proporción de vermicomposta, menor fue el porcentaje de germinación.

La germinación de semillas en las proporciones de vermicomposta de café y Pro-Mix® no influyó en el crecimiento y desarrollo de las plantas de pimiento bajo las condiciones de esta investigación. Mantener las plántulas en tiesto durante 80 días demostró ser detrimental para el desarrollo normal de las plantas de pimiento y esto se confirma con el bajo rendimiento que tuvieron todas esas plantas.

CAPÍTULO 4: PRODUCCIÓN DE PIMIENTOS (*Capsicum annuum* L.) EN ENVASES CONTENIENDO PROPORCIONES DE VERMICOMPOSTA DE CAFÉ COMO SUSTRATO

4.1 RESUMEN

Una alternativa viable para la producción de hortalizas en espacios reducidos es la siembra en envases. En este estudio se evaluaron los parámetros de crecimiento de plantas de pimientos (*Capsicum annuum* L.) sembradas en tiestos con diferentes mezclas con combinaciones de vermicomposta de café (VC) y suelo (S). Los seis tratamientos utilizados fueron las proporciones 0:100, 5:95, 15:85, 25:75, 50:50 y 100:0 (VC: S) Los parámetros de crecimiento evaluados fueron: altura de las plantas, cantidad y peso de frutos y el peso fresco y peso seco de las plantas. Los tratamientos fueron distribuidos con un diseño en bloques completos aleatorizados con seis repeticiones. Se observó que a mayor proporción de vermicomposta, mayor fue la altura de las plantas, mayor la producción de flores y mayor el peso de las plantas. El tamaño óptimo de pimientos se obtuvo de los tratamientos con 25% y 50% entre vermicomposta.

4.2 INTRODUCCIÓN

La alimentación es la necesidad básica primordial que garantiza la supervivencia de los seres vivos. La agricultura es la actividad que se dedica al cultivo de la tierra con el fin de obtener productos para el consumo de los humanos y animales, así como materias primas para el desarrollo de otros productos (Raeburn, J.R., 1987). Durante los últimos tiempos se ha percibido un crecimiento poblacional acelerado y en consecuencia se han desarrollado otras industrias con el propósito de cubrir otras necesidades. El crecimiento poblacional y el desarrollo urbano han afectado muchas de las actividades agrícolas ya que las tierras fértiles se han utilizado para fortalecer el desarrollo económico, lo que ha provocado una reducción en la disponibilidad de los terrenos agrícolas. Por otra parte, la producción de desperdicios orgánicos generados a partir de las actividades agrícolas y las actividades realizadas por el hombre, ha sido otro aspecto de gran preocupación ya que crean una serie de problemas que afectan la salud humana y al medio ambiente (Nadi et al., 2011).

Tras la problemática de reducción de espacios agrícolas y los problemas de contaminación del medio ambiente, los investigadores han creado conciencia sobre las repercusiones a la salud, el agotamiento de los recursos naturales y la posible escasez de alimentos. Algunos métodos alternos a las siembras convencionales en espacios amplios han sido utilizados para asegurar las cosechas de productos agrícolas en espacios limitados. Las siembras de huertos caseros en escalas pequeñas ya sea en tierra, jardineras o en tuestos han sido utilizados para asegurar como alternativas para la obtención de alimentos en la cercanía del hogar adaptadas a los estilos de vida de las personas (Díaz, 2008). Algunas de las ventajas de la producción de alimentos en huertos caseros son el uso máximo de los espacios, se pueden sembrar en lugares con superficies impermeables, baja inversión de dinero, diversidad de especies, se consumen productos frescos y se reducen los gastos de alimentos (Díaz, 2008, Hudak, 2009). Algunos de los cultivos que se pueden sembrar en envases son las berenjenas, tomates, pimientos, ajíes, cilantrillo, culantro, plantas medicinales, plantas aromáticas, lechuga, espinaca, rábanos, zanahorias y fresas entre otros (Hudak, 2009).

Esta investigación está enfocada en el cultivo de pimientos (*Capsicum annuum* L.) en envases (contenedores, tiestos) por ser un cultivo de interés en Puerto Rico que se utiliza como fruto fresco, condimento y especia. El pimiento es una especie oriunda de México y América Central (Wien, 1997). Es una planta herbácea que se cultiva como una planta anual y tiene un crecimiento semi-indeterminado, crece como un arbusto y puede alcanzar de 2 a 5 pies de altura (Martínez, Fornaris, 2005). Su sistema radical consta de una raíz axonomorfa de la que se ramifica un conjunto de raíces laterales (Nuez et al., 1995). Esta especie produce un fruto comestible en forma de baya hueca con dos a cinco lóbulos (Arancon et al., 2004; Martínez, Fornaris, 2005).

Los sustratos para la producción de plantas en recipientes deben ser livianos, que provea aireación para permitir el desarrollo de las raíces y buena retención de humedad (Hudak, R. 2009). El uso de sustratos orgánicos ha cobrado gran importancia en los últimos tiempos por tener una respuesta de crecimiento positiva en el desarrollo de los cultivos (Arancon et al., 2003; De la Cruz et al., 2009,).

La vermicomposta es el producto de la degradación de la materia orgánica por medio de la digestión de las lombrices de tierra (Zaller, 2007). Los nutrimentos en la vermicomposta están disponibles en forma de nitratos, fósforo intercambiable, potasio, calcio y magnesio (Edwards y Burrows, 1988; Orozco et al., 1996). Según Paul et al., (2001), las vermicompostas pueden ser mercadeadas para el trasplante de plántulas de vegetales por que se reduce el tiempo de producción de las mismas. La vermicomposta tiene características físicas favorables para el desarrollo de las plantas tales como partículas pequeñas, buen drenaje y retención de humedad. (Arancon et al., 2004; Atiyeh et al., 2000, Subler et al., 1998).

4.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar la respuesta de crecimiento y desarrollo de plantas de pimiento tipo Cubanelle (*Capsicum annuum L.*) cultivadas en envases y diferentes proporciones de vermicomposta de café con suelo.

4.4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.4.1. Sustratos

Para el trasplante de plantas de pimiento (*Capsicum annuum L.*) se realizaron diferentes proporciones de vermicomposta de café con suelo. Los sustratos utilizados fueron suelo aluvión y vermicomposta de pulpa de café. El suelo aluvión, obtenido de la Finca Alzamora el cual fue extraído de la Quebrada de Oro de Mayagüez, quebrada aledaña al Recinto Universitario de Mayagüez. La vermicomposta de pulpa de café utilizada tenía aproximadamente un año de ser cosechada y se obtuvo de la Estación Experimental de Adjuntas en Limaní. Esta vermicomposta fue compostada por medio de la lombriz de tierra *Eudrilus eugeniae*.

4.4.2 Diseño Experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques completamente aleatorizado (DBCA), con 6 tratamientos y 6 replicas. La Figura 4.1 muestra el diseño experimental utilizado donde cada círculo representa un tiesto de 2.5 galones. Los tratamientos utilizados fueron las mezclas de suelo con 5%, 15%, 25% y 50% de vermicomposta de pulpa de café. (Ver Tabla 4.1).

Tabla 4.1. Tratamientos utilizados en el trasplante de plantas en tiestos con diferentes proporciones de VC: Suelo

Tratamientos	Proporción - (Vermicomposta : Suelo)
100:0	100% vermicomposta de café
25:75	25% vermicomposta y 75% suelo
50:50	50% vermicomposta y 50% suelo
15:85	15% vermicomposta y 85% suelo
5:95	5% vermicomposta y 95% suelo
0:100	100% suelo

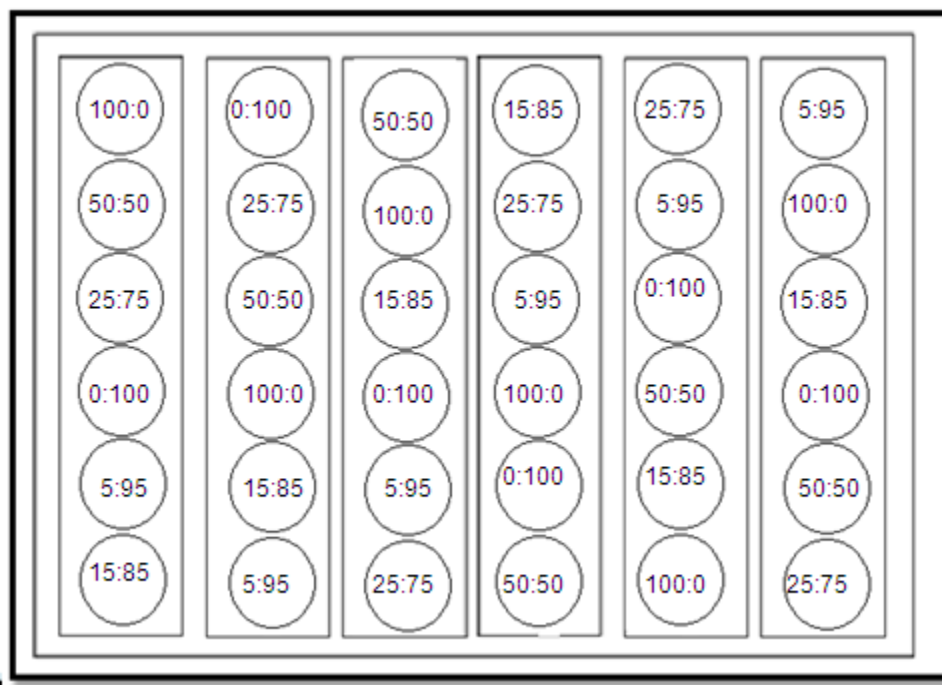


Figura 4.1. Representación del Diseño Experimental en Bloque Completamente Aleatorizados (DBCA) utilizado en el estudio de campo.

4.4.3 Determinación de Parámetros de Crecimiento

El experimento se realizó durante los meses de diciembre a marzo en un predio localizado en la Finca Alzamora, en el Recinto Universitario de Mayagüez. Se utilizaron plántulas de pimiento tipo Cubanelle propagadas en Jardines Eneida en Cabo Rojo. Se prepararon las proporciones por volumen de vermicomposta de café y suelo descritas en la Tabla 4.1. Las mezclas preparadas se homogenizaron con una pala y se llenaron tiestos de 2.5 galones para el trasplante de las plántulas. Los tiestos se colocaron en un predio de terreno en hileras de 6 tiestos con un pie de separación entre cada uno y 4 pies de separación entre hileras. El agua fue suplida con un sistema de riego por goteo.

Los datos de los parámetros de crecimiento fueron tomados semanalmente, a partir de la primera semana luego del trasplante. Los parámetros de crecimiento evaluados fueron, altura de las plantas, producción de flores por semana, el número de frutas y peso de frutos por tratamientos y las medidas de los frutos (largo y diámetro). Se realizaron aplicaciones foliares del fertilizante soluble 20-10-20 a una concentración de 200ppm una vez por semana. Se encontró la presencia del gusano cuernudo (*Manduca sexta*), gusano que se alimenta del follaje y frutos del pimiento y se removieron mecánicamente y también se realizaron aplicaciones foliares a intervalos de tres días del insecticida Dipel DF® para el control del mismo.

Las plantas se cosecharon en su totalidad 125 días después de su trasplante removiendo todo el suelo y la vermicomposta de las raíces y se determinó el peso fresco y el peso seco de las plantas. El peso fresco de cada planta se obtuvo en el momento de la cosecha, pesándolas en una balanza de precisión Ohaus®, y se colocaron las plantas en bolsas de papel de estraza. Las plantas fueron colocadas en un horno durante 72 horas a una temperatura de 70°C para que perdieran el agua y luego se tomó el peso seco de cada una de las plantas.

4.4.4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Para el análisis estadístico se utilizó el modelo lineal LSD Fisher, y las medias se separaron mediante la prueba de diferencia mínima significativa (DMS). Se declaró un efecto de significancia en valores de $\alpha \leq 0.05$ utilizando el programa estadístico InfoStat®.

4.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.5.1 Altura de Plantas

El análisis de varianza para la altura de las plantas de pimientos presentó una diferencia significativa entre todos los tratamientos (Figura 4.2) al incorporar la vermicomposta de café en el suelo. Se observó que a medida que aumentó la proporción de vermicomposta en las mezclas, hubo un mayor crecimiento en las plantas. Las plántulas sembradas en 100% suelo tuvieron un menor desarrollo de altura en comparación con el resto de los tratamientos. El tratamiento 100% vermicomposta le proveyó las condiciones necesarias para que las plantas fueran más altas y de mayor vigor en comparación con las demás mezclas de vermicomposta y suelo.

Los resultados de este estudio coinciden con el estudio realizado por Gutiérrez, et al., (2007), donde se mostró un aumento similar en la altura de plantas de tomate al suplementar el suelo con vermicomposta de ovejas. En otro estudio realizado por Paul y Metzger (2005), muestran que las plantas de pimiento y berenjenas cultivadas en vermicomposta de vaca obtuvieron una mayor altura. Peyrast et al., 2008, reportaron un aumento significativo en el tamaño de las plantas y hojas de espinaca al utilizar vermicomposta de ganado como sustrato. Arancon et al., (2004) reportó un aumento significativo en la altura de pimientos 32 días después de haber sido trasplantados en la proporción 20:80 VC: Metro-Mix 360.

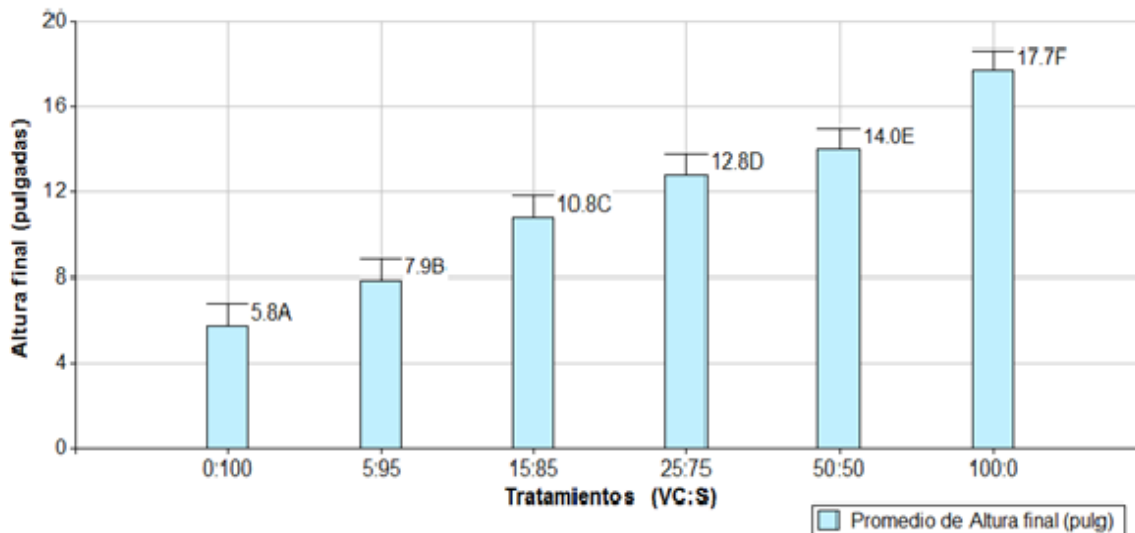


Figura 4.2. Promedio de la altura final de las plantas de pimiento cultivadas en tiestos con diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.

El aumento en la altura de las plantas de pimiento se pudo deber a el contenido de nutrimentos en los sustratos. Los resultados de la caracterización química de la vermicomposta de café mostraron que al añadir la vermicomposta de café en el suelo, incrementaron los niveles de Nitrógeno en el sustrato. Debido al aumento en las concentraciones de N en los sustratos (VC: S), al incrementar la proporción de VC en las mezclas, se observaron plantas de mayor vigor.

En la Figura 4.3 se muestra la diferencia visual entre las plantas de pimiento en los diferentes tratamientos, el desarrollo de la altura, de follaje y tamaño de hojas. Se pudo observar que el desarrollo de las plantas fue proporcional a la cantidad de vermicomposta presente en el sustrato. Las plantas cultivadas en el tratamiento 100% suelo, fueron las plantas menos desarrolladas, observándose el menor tamaño, el menor cantidad de follaje y las raíces más pequeñas en comparación los demás tratamientos.

La Figura 4.4, muestra una comparación del tamaño de hoja y fue notable que la hoja de las plantas cultivadas en el tratamiento 100% suelo, fue la de menor tamaño

y se observó amarillamiento en la hoja. Las plantas en los tratamientos con proporciones de vermicomposta 5%, 15% y 25% fueron más altas que las cultivadas en el tratamiento 100% suelo aunque al igual que las plantas cultivadas en el suelo mostraron amarillamiento en el follaje (Figura 4.3). A mayor proporción de vermicomposta de café se observó un desarrollo abundante de raíces. Las plantas en los tratamientos con proporción de 50% y 100% de vermicomposta, mostraron el mayor tamaño de hojas, hojas de color verde intenso y plantas de mayor altura. Comparando el desarrollo de raíces de las plantas, en el tratamiento 100% VC, se desarrollaron raíces más abundantes (Figura 4.3).

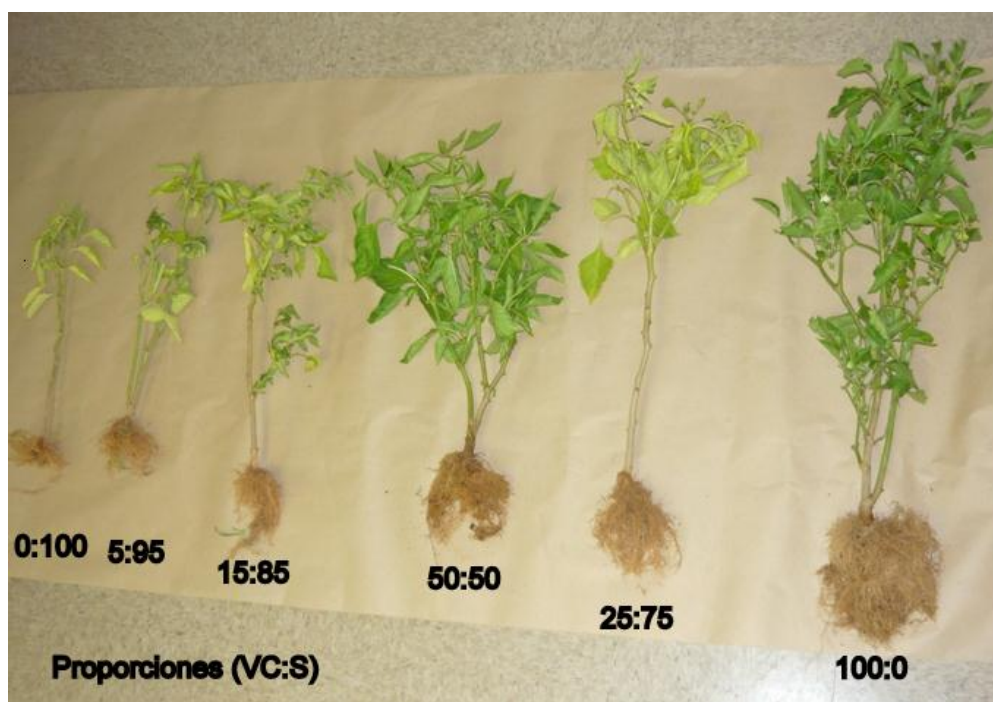


Figura 4.3. Comparación visual del desarrollo de plantas cultivadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.

La presencia de ácidos húmicos y reguladores de crecimiento en la vermicomposta, pudo contribuir con el crecimiento y desarrollo de las plantas de pimienta en los tratamientos con las mayores proporciones de vermicomposta de café. En el estudio realizado por Arancon et al., (2006), se comprobó que la presencia de las sustancias húmicas producidas por la interacción de las lombrices de tierra actúan

como reguladores de crecimiento promoviendo el desarrollo y la productividad de plantas de pimientos, fresas y tomates.

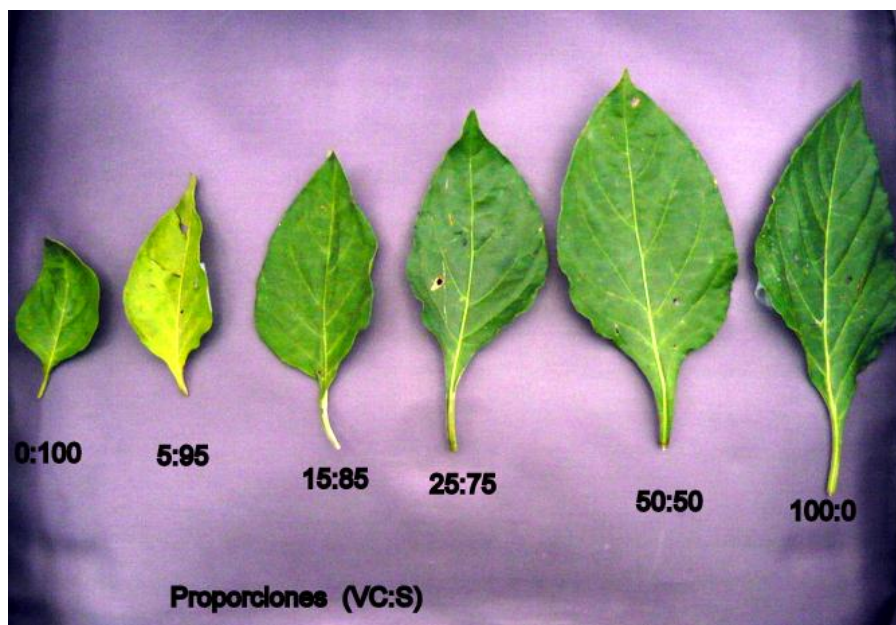


Figura 4.4. Comparación visual del tamaño de hojas de plantas cultivadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.

La densidad aparente de las proporciones de vermicomposta de café y suelo también pudo ser otro factor que afecta el desarrollo de las plantas. En la caracterización física (Figura 2.15) se demostró que a mayor proporción de VC, menor fue la densidad aparente de los sustratos. En los sustratos con menor proporción de VC se observó un pobre desarrollo de raíces debido a que la compactación del suelo no permitió que las raíces penetraran en el mismo.

4.5.2 Desarrollo de Flores

En la producción de flores por semanas de las plantas de pimiento se observó que fue mayor en los tratamientos con mayor proporción de vermicomposta (Figura 4.5). En los tratamientos 100% suelo y las proporciones 5% y 15% de vermicomposta en la producción de flores no hubo diferencias significativas, siendo estos los tratamientos de menor producción de flores por semana. En las proporciones con un

25 por ciento o más de vermicomposta se observó un aumento significativo en la producción de flores por semana. Las plantas cultivadas en la proporción 100% vermicomposta de café fueron las plantas de mayor producción de flores y fueron significativamente diferentes al restante de los tratamientos.

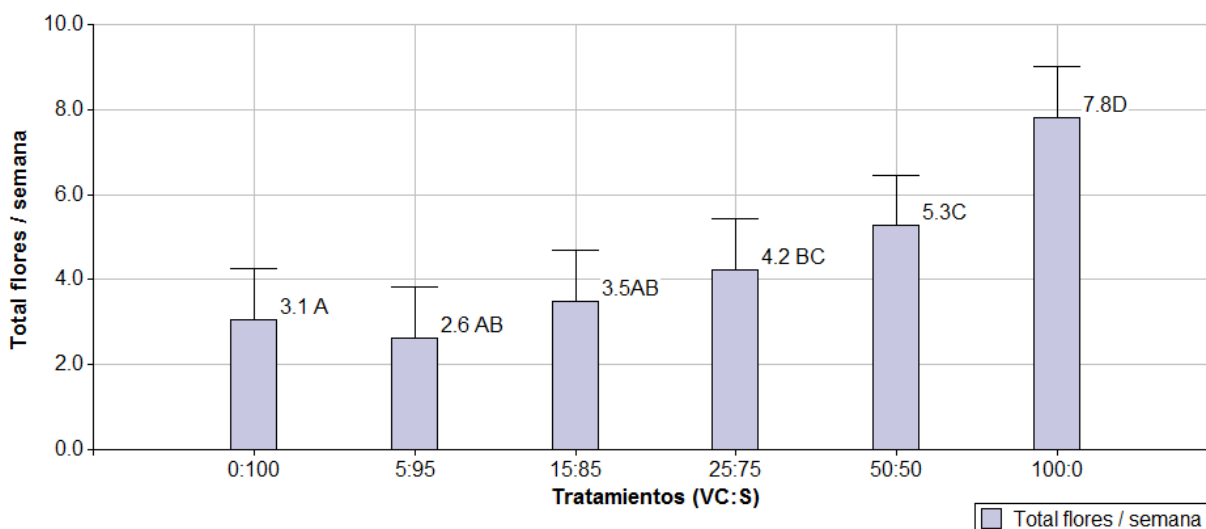


Figura 4.5. Promedio de la producción de flores por semanas en plantas de pimienta trasplantadas en diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo.

La disponibilidad de los macro elementos en los sustratos con mayores proporciones de vermicomposta influye en el aumento en el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Un estudio realizado por Hadi et al., (2011), apoya los resultados obtenidos en este estudio al reportar un aumento en la producción de flores en plantas de manzanilla cultivadas en suelos enmendados con vermicomposta. Atiyeh et al., 2002, afirma que el aumento en la producción de flores en los cultivos se debe a que la vermicomposta influye de manera positiva en la mejora de las actividades biológicas del suelo y la absorción de los elementos esenciales.

4.5.3. Peso Fresco y Peso Seco

Las plantas de pimiento se cosecharon al finalizar el estudio (22 semanas después de la siembra) y se tomó el peso fresco de las raíces y vástagos de la planta. Los tratamientos 0:100, 5:95 y 15:85 (VC: S), no mostraron diferencias significativas en el peso fresco al compararse con el restante de los tratamientos. Las plantas cultivadas en la proporción 15:85 y 25:75 no presentaron diferencias significativas y obtuvieron un peso significativamente mayor al compararse con los tratamientos 0:100 y 5:95, respecto al peso fresco de las plantas. La proporción 25:75 (VC: S) comparada con el tratamiento 50:50 no fue significativamente diferente. El peso fresco de las plantas cultivadas en los tratamientos 50:50 y 100:0 mostraron diferencias significativas al compararse con los demás tratamientos, estos tratamientos fueron los de mayor promedio de peso fresco en las plantas.

El análisis estadístico para el peso seco de las plantas de pimiento mostró diferencia significativa entre los tratamientos (Figura 4.6). Las plantas cultivadas en la proporción 0:100 no presentaron diferencias significativas en comparación con los tratamientos 5:95, y 15:85, siendo estos tres tratamientos los de menor peso seco. Los tratamientos 25:75, 50:50 y 100:0, fueron las plantas con el mayor peso seco, siendo significativamente diferente del restante de los tratamientos (VC: S). Los resultados presentaron que a mayor proporción de vermicomposta, mayor fue la diferencia entre el peso fresco y peso seco de las plantas de pimiento.

El estudio realizado por Arancon et al., 2002, apoya los resultados obtenidos en este estudio, donde se encontró mayor peso seco en plantas de tomates cultivadas en suelos con vermicompostas en comparación con las plantas tratadas con fertilizantes inorgánicos. En otro estudio realizado por Arancon et al., 2004 reportaron que al aumentar las concentraciones de vermicomposta en el sustrato realizado, aumentó en el peso seco de las plantas de pimiento y tomates. Según Paul, Metzger (2001), los pimientos trasplantados en vermicomposta de ganado lechero obtuvieron una mayor área foliar y mayor peso seco. Singh et al., 2008, reportaron que la materia seca de las

plantas de fresas aumentó significativamente al aumentar la cantidad de vermicomposta de residuos vegetales y de ganado en el suelo.

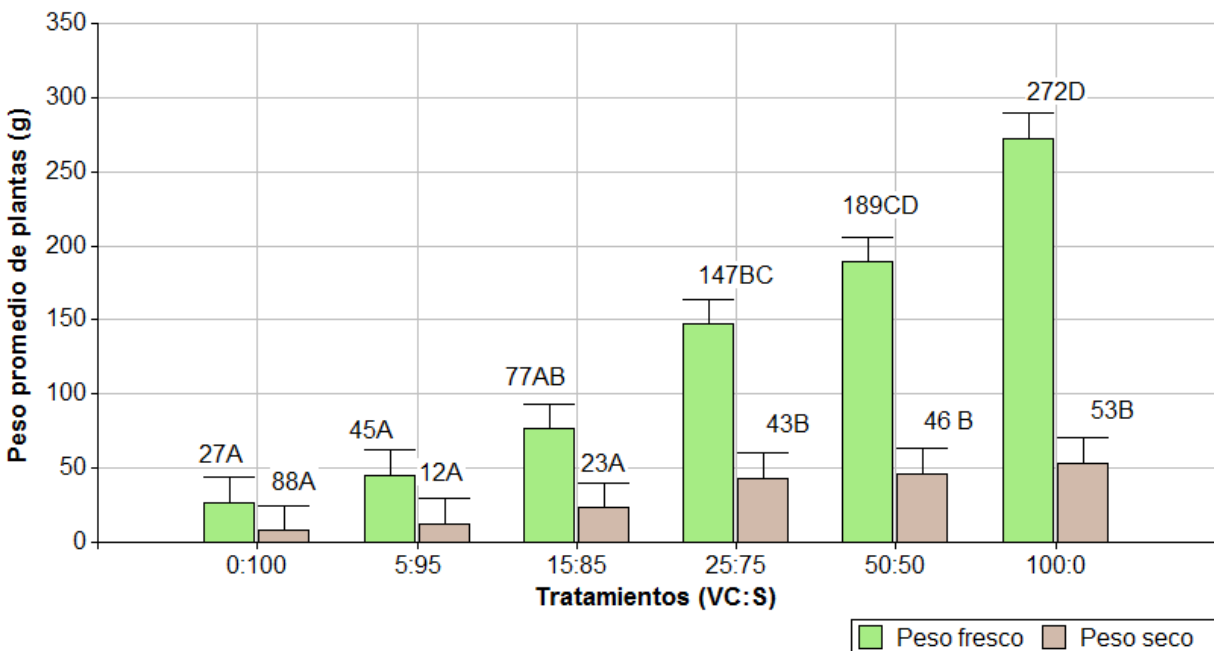


Figura 4.6. Promedio del peso fresco y seco de plantas de pimienta cultivadas en diferentes proporciones de VC: Suelo

4.5.4 Frutos

4.5.4.1 CANTIDAD Y PESO DE FRUTOS

Los resultados de la producción de frutos de pimientos se observó que en los tratamientos con 25% o más de vermicomposta hubo mayor producción de frutos. La Figura 4.7 muestra que la cantidad de pimientos cosechados de las plantas en las proporciones 100% suelo y las proporciones de 5% y 15% de vermicomposta, hubo la menor producción de frutos, siendo estos tratamientos no significativamente diferentes entre sí. En las proporciones con 25% y 50% de vermicomposta se observó un aumento en la producción de pimientos, sin presentarse diferencia significativa entre

estos dos tratamientos. En tratamiento 100% VC, fue donde mayor cantidad de pimientos se cosecharon con un promedio de 24 pimientos por planta.

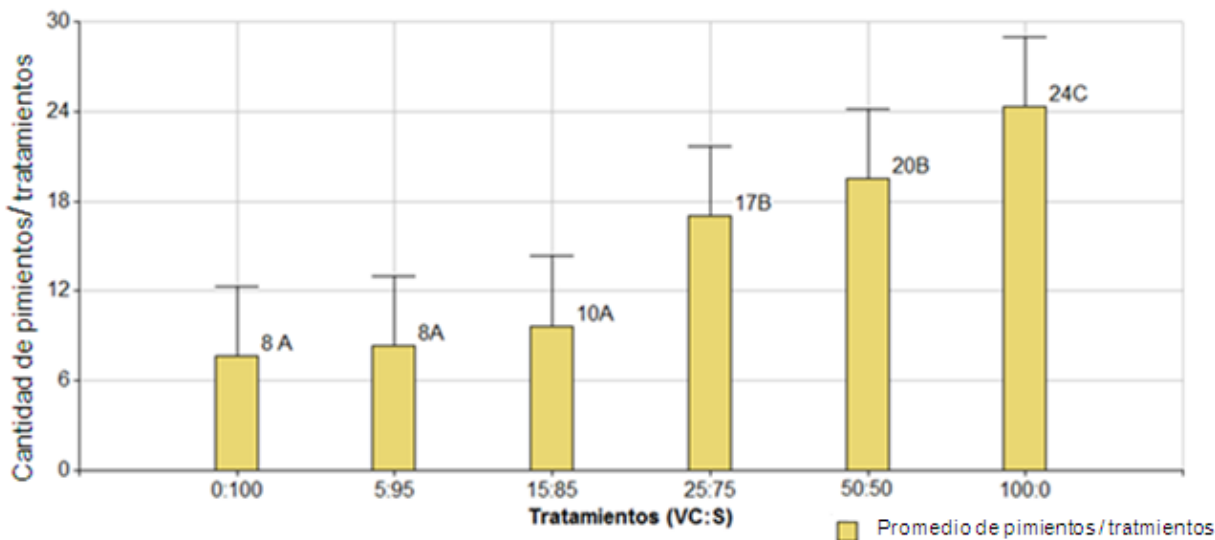


Figura 4.7. Promedio del peso total de pimientos cosechados en diferentes tratamientos de vermicomposta de café y suelo

El análisis estadístico mostró que no hubo diferencia de peso de frutos recolectados en las proporciones 0:100, 5:95, 15:85 y 25:75 (VC:S) según se aprecia en la Figura 4.8. El tratamiento 25:75, no mostró diferencias significativas en comparación con los tratamientos 50:50 y 100:0, las plantas cultivadas en estos tratamientos de VC: S produciendo los mayores pesos (lbs.) de pimientos. En un estudio realizado por Arancon, et al., 2004, el mayor rendimiento en el cultivo de pimiento se obtuvo cuando la vermicomposta se encontraba entre un 40-60% del volumen total del sustrato.

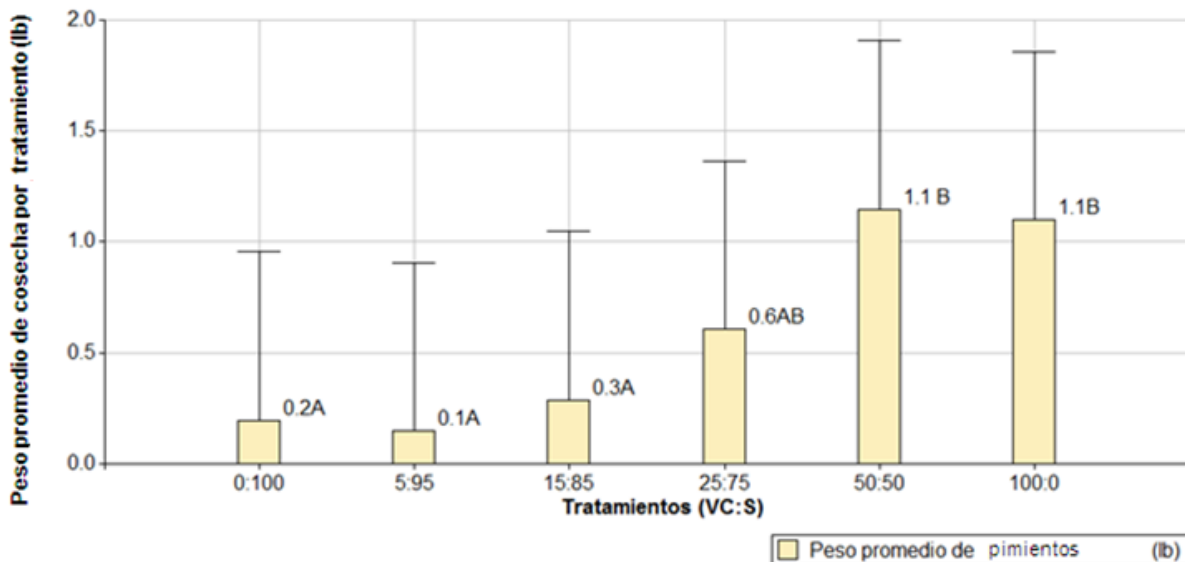


Figura 4.8. Promedio del total de frutos de pimientos cosechados según las proporciones de vermicomposta de café y suelo.

4.5.4.2 PARÁMETROS DE DESARROLLO DE FRUTOS

La Tabla 4.2, muestra que el diámetro de los frutos en el tratamiento 100% suelo fue significativamente menor al ser comparado con los demás tratamientos. En las proporciones conteniendo 5%, 15% y 25% de vermicomposta en las mezclas, no se encontró diferencia significativa al compararse entre sí, pero el diámetro fue mayor que los frutos de la proporción 100% suelo. En los sustratos con un 50% y 100% de vermicomposta de café se observó que el diámetro de los frutos fue significativamente mayor que el de los restantes tratamientos, siendo estas dos proporciones no significativas entre sí.

El análisis realizado muestra que el largo de los frutos cosechados en los tratamientos conteniendo poco o ningún por ciento de vermicomposta (0:100 y 5:95, VC: S), fue significativamente menor (Figura 4.9). El fruto de los pimientos cultivados en sustratos con 15% y 25% de vermicomposta de pulpa de café fueron significativamente más largos que las proporciones 0:100 y 5:95, siendo los sustratos con 15% y 25%

VC, no significativos comparados entre sí. En los tratamientos con 50% y 100% de vermicomposta de café, se obtuvieron los frutos de pimientos más largos (Figura 4.9), sin mostrar diferencia significativa entre estos dos tratamientos.

Tabla 4.2. Promedio de los los parámetros de desarrollo de los frutos de pimientos

Tratamientos (VC:S)	Diámetro (pulgadas)	Largo (pulgadas)
0:100	1.09 A	3.36 A
5:95	1.41 B	3.42 A
15:85	1.43 B	3.73B
25:75	1.41 B	3.86B
50:50	1.88 C	4.11C
100:0	1.58 BC	4.09C
DMS ¹	0.376	0.085

1. DMS Diferencia Mínima Significativa

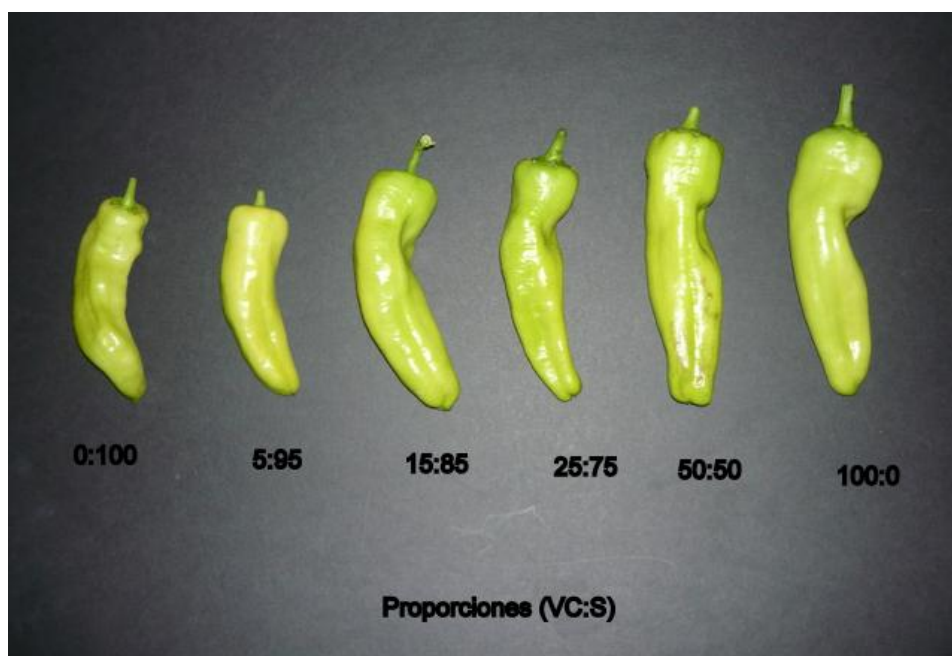


Figura 4.9. Apreciación visual de los frutos de pimiento tipo Cubanelle (*Capsicum annuum*, L.), cultivados en las diferentes proporciones de vermicomposta de café y suelo

Los pimientos cosechados en sustrato 100% vermicomposta mostraron ser los de mayor desarrollo siendo los de mayor diámetro y largo. Sin embargo no se encontró diferencias significativas en el diámetro y el largo de los frutos de pimientos cosechados en el tratamiento conteniendo 50% de vermicomposta en comparación con el tratamiento 100% vermicomposta. De estos resultados se puede recomendar el uso de las proporciones entre 25% y 50% de vermicomposta para obtener buen tamaño de frutos.

4.6 Conclusión

Luego de evaluar los resultados se puede concluir que la vermicomposta de café influye de manera positiva en los parámetros de crecimiento la planta y frutos de pimiento cultivados en tiestos. El uso de la vermicomposta de café es una alternativa viable para la siembra de plantas hortícolas en lugares y/o espacios donde el área para la creación de huerto caseros en el suelo sea limitado. El contenido de nutrimentos y la presencia de ácidos húmicos en la vermicomposta de pulpa de café contribuyeron al buen desarrollo de las plantas.

Se observó que a mayor proporción de vermicomposta en las mezclas de vermicomposta y suelo, mejor fue el desarrollo de las plantas. En los tratamientos 50:50, y 100:0 (VC: S) se obtuvieron los rendimientos más altos en la producción de frutos, en el tratamiento 100:0, se obtuvo mayor cantidad de frutos pero en el peso de los frutos fue similar al del tratamiento 50:50 y no hubo diferencia significativa. Es por esto que recomendamos el uso de la proporción 50:50; además este tratamiento tiene una mejor densidad aparente que la vermicomposta de café sola y los tiestos tendrán un mejor soporte ya que las plantas cultivadas en la vermicomposta de café tendieron a virarse por el peso de los frutos y tamaño de la planta.

El suelo aluvión utilizado en este estudio no mostró las características físicas y químicas adecuadas para el cultivo de pimiento. Este sustrato utilizado para la venta en la Finca Alzamora no es un sustrato adecuado para utilizarse en siembra de hortalizas en envases ya que por su bajo contenido de nutrimentos y sus características físicas, no se obtiene un buen desarrollo de plantas. Por los resultados obtenidos en esta investigación, es de gran importancia que la vermicomposta de café se continúe produciendo y se promueva su uso. Se podría implantar un sistema de producción para la realización de la misma en las facilidades de la finca Alzamora y poder mercadearlo en el área de ventas ya sea la vermicomposta de pulpa de café sola o en la mezcla con el suelo aluvión en la proporción 50:50.

En este estudio se observó que el desarrollo de follaje fue influenciado por la vermicomposta de café, siendo las plantas cultivadas en este sustrato puro las de mayor vigor. Este sustrato podría evaluarse como una alternativa para la siembra de plantas cuyo follaje sea de importancia económica por ser comestible, medicinales o plantas ornamentales algunas de estas plantas podrían ser la espinaca, lechugas, mentas, orégano, cilantro, culantro, perejil, entre otras.

RECOMENDACIONES

- Para estudios futuros de la vermicomposta de café sería de gran utilidad realizar una caracterización microbiológica para identificar cuales son los microorganismos presentes en este sustrato, posibles patógenos u organismos antagonistas.
- Una característica de gran interés de la vermicomposta es la presencia de ácidos húmicos en el sustrato, en estudios futuros se podría determinar la cantidad de ácidos húmicos presentes en el sustrato y buscar posibles usos para éstos.
- Debido a la alta conductividad eléctrica por la presencia de sales solubles en la vermicomposta de pulpa de café, los resultados de la germinación de semillas pimienta demostraron que a menor proporción vermicomposta mayor fue el porcentaje de germinación. En futuros estudios de germinación de semillas se podría saturar de agua la vermicomposta y luego pasarla por un proceso de filtrado para obtener un lixiviado de nutrientes. Al reducir la cantidad de sales solubles en la vermicomposta se podría probar la viabilidad del uso de esta vermicomposta en la germinación de semillas. El lixiviado obtenido rico en nutrientes podría utilizarse en pruebas con aspersiones foliares para evaluar su efectividad en los parámetros de crecimiento. También se podría evaluar
- Estudios previos han demostrado que el uso de aspersiones foliares con lixiviados de vermicomposta de origen animal, los cuales también se conocen como té de vermicomposta, ha ayudado a disminuir el ataque de insectos y en la supresión de enfermedades en plantas. . En estudios posteriores se podría evaluar la efectividad de este sustrato como una posible alternativa de uso y mercadeo el mismo.
- De acuerdo a los resultados obtenidos en la evaluación de parámetros de crecimiento y desarrollo del cultivo de pimientos en envases, con la proporción

50:50 de vermicomposta de café y suelo hubo un mejor desarrollo de las plantas, mientras que entre la proporción 25:75 y 50:50 se cosecharon los frutos de mayor tamaño. Considerando que el costo de la vermicomposta es \$2.00 la libra, sería de gran aportación encontrar la proporción optima para el desarrollo del cultivo, minimizando los costos de la producción. Una alternativa sería evaluar el crecimiento del pimiento conteniendo proporciones de 30%, 35%, 40% y 45 % de vermicomposta de café.

LITERATURA CITADA

Aalok, A. Tripathi, A.K. y Soni, P. 2008. Vermicomposting: A Better Option for organic Solid Waste Management. *Journal of Human Ecology*. 24(1): 59-64.

Abad, M., Noguera, P. y Bures, S. 2001. National inventory of Organic Wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77 (2):1817-2000.

Albanell, E. Plaixtas, J. y Cabreo T. 1988. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia foetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. *Biology and Fertility Soils* 6: 266-269.

Anderson, A.R. 1993. Peat Moss in Nova Scotia. Department of Natural Resources Branch Information Circular ME 18, Second Edition.
www.gov.ns.ca/natr/meb/ic/ic18.html

Arancon, N.Q., Edwards, C.A., Atiyeh, R. y Metzger, J.D. 2004. Effects of vermicompostas produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. *Bioresource technology*. 93:139-144

Arancon, N.Q., y Edwards, C.A. 2004. Vermicompost suppress plant pest and disease attacks. *BioCycle March*: 51-53.

Arancon, N.Q., Edwards, C. A. y Bierman P., 2005. Influences of vermicompost on field strawberries: Part II. Effects on soil microbiological and chemical properties. *Bioresource Technology* 97(2006) 831-840

Arancon N.Q., Glavis P.A. y Edwards C.A., 2005, Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposta. *Bioresource technology* 96: 1137-1142.

Arora, D., Mukerijik y Math, E. 1991. (Eds). *Handbook of Applied Mycology. Foods and Feeds*. Volume 3. Marcel Dekker, Inc. New York.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C. A. y Metzger, J., 1999. Growth of tomato plants in horticultural potting media amended with vermicompost. *Pedobiologia* 43: 1-5.

Atiyeh, R. M., Arancon, N., Edwards, C.A. y Metzger, J.D. 2000a. Influence of earthworm- processed pig manure on the growth and yield of greenhouse tomatoes. *Bioresource Technology* 75: 175-180.

Atiyeh, R. M., Subler, S., Edwards, C.A., Bachman y G., Metzger, J.D., Shuster, W., 2000b. Effects of vermicompost and compost on plant growth in horticulture container media and soil. *Pedobiologia*. 44:579-590.

Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S. y Metzger, J.D., 2000c. Earthworms processed organic waste as component of horticultural potting media for growing marigolds and vegetable seedlings. *Compost Science and Utilization* 8(3), 215-223.

Atiyeh, R.M., Edwards, C.A., Subler, S. y Metzger, J.D. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a Horticultural bedding plant medium. Effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78:11-20.

Atiyeh, R.M., Lee, S., Edwards, C.A. Arancon, N.Q. y Metzger, J.D. 2002. The influence of humic acids derived from organic waste on plant growth. 2002. *Bioresource Technology* 84:7-14.

Ayers, A.D. 1950. Seed germination as effects of Soil Moisture and Salinity. *Agronomy Journal* 44:82-84.

Azarmi, Giglou y Taleshmikail. 2008. Influence of vermicomposta on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field. *African Journal of Biotechnology*. 7(4) pp 2397-2401.

Bachman, G., R., Metzger, J., D. 2007. Growth of bedding plans in commercial potting substrate amended with vermicomposta. *Bioresource Technology* 99: 3155-3161.

Bansal S y Kappor K. 2000. Vermicomposting of crop residues and cattle dung with *Eisenia foetida*. *Bioresource Tachnology* 73(2):95-98.

Barezegar, A., Yousefi y S., Danyashenas, A. 2002. The effects of addition of different amounts end types of organic materials on soil physical properties and yield of wheat. *Plant Soil*, 247:295-301.

Barkham, J. P. 1993. For peat's sake: conversation or exploitation? *Biodiv. Conserv.*, 2 pp. 255-566

Basker, A., A.N. Macgregor y J.H. Hirman. 1993. Exchangable potassium ans other cations in non-ingested soil and casts of two species of earthworms. *Soil Biol. Biochem.* 25(2):1673-1677.

Benton J. 2001. *Laboratory Guide Conducting Soil Test and Plant Analysis*. Printed in USA. p. 363

Board, N. 1999. *The complete technology book on vermiculture and vermicompost*. Published by National institute of industrial Research. Pag. 10 pp329.

Blandón G., Dávila y M.T., Rodríguez, N. 1999. Caracterización microbiológica y fisicoquímica de la pulpa de café sola y con mucilago en proceso de lombricompostaje, *Cenicafé*. 50(1):5-23.

- Bradford, K.J. 1995. Water relations in seed germination. In J. Kigel, Galili, eds, *Seed Development and Germination*. Marcel Dekker, New York, pp 351–396.
- Bwamiki, D.P., Zake, J., Bekunda, M.A, Woomer, P.L., Bergstrom y L. Kirchman, A. 1998. Use of coffee husks as an organic amendment to improve soil fertility in Ugandan banana production. Carbon and nitrogen dynamics in natural and agricultural tropical ecosystem. 113-127.
- Bustamante M. A., Paredes C., Moral R., Agulló E., Pérez. D.y Abad. 2008. Compost from distillery wastes as peat substitutes for transplant production. *Resources, Conservation and Recycling*. 52 (5): 792-799.
- Cardona Méndez, L. I. 2008. Efectos del Biosólido Municipal Compostado como medio de cultivo alternativo a la turba utilizado en la producción de pascuas (*Euphorbia pulcherima* Willd. Ex Koltzsch). Universidad de Puerto Rico.
- Campbell, P. y Ceppi, S. 2008. Chemical, Physical and Biological Compost and Vermicompost Characterization: A chemometric study. *Chemometric and Intelligent Laboratory systems*. 90(1) p 64-71.
- Chen, Y. y Avanimelch, Y., 1986. *The role of Organic Matter in modern agriculture* Nijhoff, Dordrecht, The Netherlands.
- Claassen, VP y Carey JL .2004. Regeneration of nitrogen fertility in disturbed soils using composts. *Compost Sci & Utiliz* (2):145-152.
- Clearly, J., Roulet, N. T. y More T. R., 2005. Moore, Green House gas emissions from Canadian Extraction, 1990-2000: a life- cycle analysis. *Ambio* 34 p. 456-461.
- Corti, C., Carippa, L. Genevini, P.y Centemiro, M. 1998. Compost use in plant nurseries: hydrological and physicochemical characteristics. *Compost Science and Utilization*, 6:35-45.
- De la Cruz, E. Estrada, M., Robledo V, Osorio, R, Marques C. y Sánchez, R. 2009. Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia Trópico Humedo*. 25(1):59-67
- De Grazia, J., Tittonell, P. A. y Chiesa, A. 2007. Efecto de sustratos con compost y fertilización nitrogenada sobre la fotosíntesis, precocidad y rendimiento de pimiento (*Capsicum annum* L.). *Cien. Inv. Agr.* 34(3): 195-204.
- Desari, B.K. y Pujari, B.T. 2007. *Sustainable Agriculture: A Vision for Future*. Published by Sumit Pal sain for New India Publishing Agency. pp.365. p.300.
- Díaz, M. 2008. Huerto en Tiestos. *Agrotemas*, El portal de la agricultura en Puerto Rico. <http://agrotemasonline.blogspot.com/2008/07/huerto-en-tiestos.html>

Domínguez J., Parmelee y RW, Edwards C.A. 2003. Interactions between *Eisenia andrei* (Oligochaeta) and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia* 47:53-60.

Domínguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. In: Edwards C.A. (ed) *E Arthworm ecology*, 2nd ed CRC, Boca Raton, pp 401-424.

Domínguez, J. Hira, M. and Gómez M. 2010. Vermicomposting: Earthworms Enhance the work of Microbes p 93.

Edwards C.A. and Beter, J.E. 1992. The use of earthworm in environmental management, *Soil Biol Biochem* 24 pp 1683-1689.

Edwards, C.A. 1998. The use of earthworm in the breakdown and management of organic wastes. *Earthworm ecology*. pp. 327-354.

Edwards, C., Arancon, N. y Sherman, R. 2011. *Vermiculture Technology Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. Tylor & francis Group, an Informa business

El-Keblawy, A. y Al-Rawai. 2005. Effects of salinity, temperature and light on germination of invasive *Prosopis juliflora* (Sw.) D.C. *J. Arid Environ.*, 6: 555–565.

El-Keblawy, A. y Al-Rawai. 2006. Effects of seed maturation time and dry storage on light and temperature requirements during germination in invasive *Prosopis juliflora*. *Flora*, 201, pp. 135–143

Estadísticas Agrícolas de Puerto Rico. Fecha de recuperación: octubre de 2012; <http://www2.pr.gov/agencias/Agricultura/PrimerasEmpresasAgricolas/Documents/Ornamentales/Ingreso%20Bruto%20Agricola%202010-2011.pdf>

Estupiñan, M.F. 2008. Evaluación económica de un sistema de vermicomposta para la industria cafetalera de Puerto Rico. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico.

Flaig, W., Nagar, B., Sochting, H. y Tietjen, C. 1977. Organic material and soil productivity *FAO Soil Bulletin* 35, Rome, Italy.

Flynn, R.P., Wood, C.W y E.A. Guertal. 1995. Lettuce response to composted broiler litter as potting substrate component. *Journal of American Society for Agricultural Science*. 100(3):213-216.

Geliessman, S.R. 2002. Agroecología: procesos ecológicos en agricultura sostenible. *Turrialba, C.R. CATIE*, p 359.

Goh, K.M. and Haynes y R.J., 1977. Evaluation of potting media for commercial nurse production of container grown plants. *New Zeland Journal of Agricultural Research*, 20, 363-370.

Gruda, N. y Schnitzer.2004. Suitability of wood fiber substrate for production of vegetable trasplants: I Physical properties of wood fiber substrate. *Scientia Horticulturae* 100(1-4):309-322.

Grusak, M.A. y DellaPenna.1999.Improving the nutrient composition of plants to enhance human nutrition and health. *Plant Mol. Biol.* 50:133-161

Gutiérrez, F., Santiago, D., Montes J., Nafatec, C., Abud,M., Oliva, M., Rincon, R. y Dendooven, L.2004. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*) 98(15):2781-2786.

Gutiérrez, F., Santiago, J. Adolfo, J, Nafati, C. Abud, M., Olivia, M. Rincón,R, y Dendooven, L. 2007. Vermicompost as a soil supplement to improvegrowth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresour Technology* 98(15):2781-2786.

Hadi, M., Darz , M., Ghandehari , Z. y G. Riazzi. 2011. Effects of vermicompsot and amino acids on the flower yield and essential oil production from *Matriacaria chamomile* L. *Journal of Medicinal Plants Research* 5(23):5611-5617.

Haimimi J. 1990. Growth and reproduction of the compost living earthworms *Eisenia andrei* and *E. foetida*. *Reve d' Ecologie et. De Biologie du So.* 27(4), 415-21.

Hand,P., Hayas, W.A., Stachell, J.E., Frankland, J.C. y Edwards, C.A. 1998. The vermicomposting of cow slurry earthworm waste. *Environment Management New Hauser, E.F.*, 49-63.

Handreck, K.A. 1986. Vermicomposta as a component of potting media. *Biocycle* 22(9):.58-62.

Hidalgo, P. Matta, F. y Harless, R. 2006. Physical and chemical Properties of Substrates containing Earthworm Castings and Effects on Marigold Growth. *Hort Science* 4(16):1474-1476.

Huang, X.S. Zhang, G.H. Zheng, y Y. 2003. Gutterman Influence of light, temperature, salinity and storage on seed germination of *Haloxylon ammodendron* J. *Arid Environ.*, 55: 453–46

Ismail, S.A., 1997. Vermicology: The biology of earth orients Longman. Press, Hydirabas, pp 92.

- levinsh,G. 2011. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological states of vegetable crop species. *Plant growth regulation* 65(1):169-181.
- Jain, P.K., Chakraborty, K.S. y Kurup, J.M. 2010. Sustainable Food Security. A Mittal Publication. pp158
- Johnston, A.M., Janzen, H.H. y Smith, E.G. 1995. Long-term spring wheat response to summer fallow frequency and organic amendment in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*. 75(2), 347-354.
- Kalantri, S., Hatami, S., Ardalan M., Alikhani H.A., y Shorafa. M. 2010. The effect of compost and vermicomposta of yard leaf manure on growth of corn. *African Journal of Agricultural Research*.Vol. 5(11): 1317-1323
- Kumar, A., 2005. *Vermis & Vermitechnology*. A.P.H. Publishing Corporation: 1- 99. Printed in India at Efficient Offset Printers. pp. 200.
- Kurian,R. y Velmourougane, 2011. Chemical and Microbiological changes during vermicomposting of coffee pulp using exotic *Eudrilus eugeniae*) and native earthworm (*Perionyx ceylanesis*) species. *Biodegradation* 22:497-507.
- Lim H.E. y K.C. Wong 1985. Influence of seedling age transplanting on thepreformance of chillies (*Capsicum chinense*). Faculty of Agriculture University of Malasya. Kuala 10p.
- Lfati, J., Madeni, S. y Forghani, A. 2008. Effect of vermicompost on the growth and field of Spinach (*Spinacia oleracea*, L.). *Journal of Food, Agriculture and Environment* 6(1):110-113.
- Lucero, J.C. 1970. Germinación de cuatro gramíneas forrajeras bajo distintas condiciones de salinidad. *Revista de Información sobre investigación y desarrollo Agropecuario* 273:60-64.
- Marinari S, Masciandaro G, Ceccanti B, Grego S. 2000. Influence of organic and mineral fertilizers on soil biological and physical properties, *Bioresour. Technol.* 72: 9-17.
- Marti, H.R. y H.A.Mills. 1991. Calcium uptake and concentration in bell pepper plants as influenced by nitrogen form and stage of development. *Journal of Plant Nutrition* 14: 1165-1175.
- Martínez, S. y Fornaris, G. 2005. Conjunto Tecnológico para la producción de pimientos. *Estación Experimental Agrícola*.164:7-85.
- Maynord A. 1993. Evaluation the sustainability of MSW compost as a soil amendment in fiel- grown tomatoes. *Compost Science and utilization* 1: 34-36

Miller, C.H.1961. Some effects of different levels of five nutrient elements on bell pepper. Proceeding of the American Society of Horticulture Science. 77, 440-448.

Moldes, A., Cendón y MT, Barral. 2007. Evaluation of municipal solid waste compost as a plant growing media component, by applying mixture design. Bioresource Technology 98: 3069-3075.

Monriog, M. 2010. Lombricomposta. Ecos del café. Recuperado el 1 de abril de 2011, de: <http://academic.uprm.edu/mmonroig/id54.htm>

Monroy, F. Aira, M. y Domínguez, J. 2008. Changes in density of nematodes, protozoa and total coliforms after transit through the gut of four epigenic earthworms (*Oligochaeta*). Appl. Soil Ecol. 39:127-132.

Monroy, F. Aira, M., y Domínguez, J. 2009. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effect of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. Sci. Total. Environ. 407:5411-5416.

Nagaraja, J.S., Shanmukappa, D.R., Velmourougane, K., Panneerselvam P, Alwar RPA.2000. Production of compost from coffee pulp. Proceedings on recent advances in plantation crops research, pp 121-124

Ndegwa, P.M. y Thompson, S. A. 2000. Effects on stocking density and feeding rate on vermicomposting of biosolids. Bioresource Technology 71(1):5-12.

Nelson, P.V. 1998. Greenhouse operation and management. Fifth Edition. Prentice Hall, Englewood Cliffs New Jersey 0763. pp 248-250

Nelson, P.V. 2003. Greenhouse operation and management 6th Edition. Department of Horticultural Science North Carolina State University Printing Hall; New Jersey 074258. pp 197-198.

NeSmith, D.S. 1993. Transplant Age influences Summer Squash Growth and Yield. HortScience 28(6):618-620.

Nuez, F., Gil, R. y Costa, J. 1995. El cultivo de pimientos, chiles y ajíes. Ediciones Mundi-Prensa. Depósito legal: M. 13,922. Pág. 456- 479.

Orozco, Cegarra, Trujillo y Roig. 1996. Vermicomposting of coffee pulp using the earthworm *Eisenia foetida*. Effects on C and N contents and the availability of nutrients. Biology of Fertility soils 22: 162-166.

Paul,L. y Metzger J.2005. Impact of vermicomposta on vegetable transplant quality. Hort Sience 40(7):2020-2023.

Pita J.M. y Pérez F. 1998. Germinación de semillas. Hojas Divulgadas. Publicaciones Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. P 2-20

Quintero, R., Ferrera, R. Etchevers, Eugenia J., Rodríguez, R. Alcantar. G y Aguilar, A. 2003. Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje. Terra Latinoamericana 21(1):73-80.

Robertson, R.A. 1993. Peat, horticulture and environment. Biodiv. Conserv. 2, pp. 541–547

Rodríguez, L. G., Cardoso L., Carvajal y J. De la Cruz, S. 2010. Production of Habanero Pepper Seedlings with Vermicompost Geberated from sewage sludge. Compost Science & Utilization, vol.18, No. 1, 42-46.

Rodríguez, N., Ríos P. Figueroa, U., Gil, A., Chávez, E. Álvarez, V., Márquez C.y Moreno, A. 2008. Producción de tomate en invernadero con humus de lombriz como sustrato. Rev. Fitotec. Mex. 31(3):265-267

Romic, D., Borsoic y J, Poljak, M. 2003. Mulching decreases nitrate leaching in bell pepper (*Capsicum annum* L.) cultivation. Agricultural Water Management. 60(2):87-97.

Russo, V. 2012. Peppers. Botany, Production and uses. Illus. p280

Sahni, S. Kumar, B. y singht, K. 2008. Management of *Sclerotium rolfsii* with integration of nonconventional chemicals, vermicomposta and *Pseudomonas syringae*. World Journal of Microbiology 24(4) 517-522.

Salsac, L. Chailloce, S., Morot, J.F., Lesaint, C y Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. Plant Physiol. Biochem. 25(6):805-812.

Sánchez, R., Ordaz, V., Benedicto, G., Palma, D. y Sánchez, J. 2007. Chemical Characteristics of several vermicompost in Mexico. Compost Science and Utilization 15(1):47-52.

Sharma, S., Pradhank., Safya, S. y Vasudevan, P. 2005. Potentially of earth worms for waste management and in other uses a review. The Journal of American Science 1 (1), 4-16.

Sharpley, A.N. y J.K. Syers.1997. Earthworms and vermicomposting to waste based agriculture. Biology and Biochemistry, 24:1629-1633.

Shuman, L.M. y Li, Z.B. 1972. Amelioration of zinc in cotton using lime or mushroom using lime or mushroom compost. S. Soil Cont. 6”425-438.

- Singh, R., Sharma R., Kumar, K Gupta y R, Patil, R. 2008. Vermicompost substitution influences growth, physiological disorders, fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) *Bioresource Technology* 99: 8507-8511.
- Soane, B.D., 1990. The role of organic matter in soil compatability: a review of some practical aspects. *Soil and Tillage Research* 16, 179-201.
- Sparks D. 2005. *Physical and Chemical Methods in Soil Analysis*. New Age International (Ltd), Publisher. P177.
- Sparks, D.L. (Ed.) 2007. *Methods of Soil Analysis*. Part 3. Chemical methods, SSSA Book Ser. 5. ASA, Madison, WI. 1309 pp
- Suthar, S. 2009. Impact of vermicompost and compost farmyard manure on growth and yield of garlic (*Allium sativum* L.) field crop. *International Journal of Plant Production* 3(1): 1735-8043.
- Thunissen, J., Nasakidemi, P.A y Laubscher C. P. 2010. Potential of Vermicompost product from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. *International Journal of the physical sciences*. 5(13) pp. 1964-1973.
- Tripathi, Y.C., Hazaria, P., Kaushik y Kumar, A. 2005. *Vermitechnology and Waste Management*. Rain Forest Institute, Deovan, Sotai-Ali Jorhat, p.7.
- Tyler, H.H., Warren, S.L., Bilderback, T.E. y Fonteno, W.C. 1993. Composted turkey litter: I Effect on chemical and physical properties of a pine bark substrate. *Journal of Environmenal Horticulture*. 11:131-136.
- Ungar, 1995. I.A. Ungar. Seed germination and seed-bank ecology of halophytes. J. Kigel, G. Galili (Eds.), *Seed Development and germination*, Marcel Dekker, New York (1995), pp. 599–627
- Valenzuela O., Lallana, V.H y Guemen A. 1969. Caracterización física y química de lombricompostas originadas a partir de residuos de conejos, estiércol vacuno y residuos domiciliarios. *Revista Científica Agropecuaria* 2:45-48
- Vance, C.P. 2001. Symbiotic nitrogen fixation and phosphorus acquisition. *Plant Nutrition in a world of declining renewable resources*. *Plant Physiology* 127: 390-397
- Vázquez Rosa, J.C. 2004. Absorción y lixiviación de nitrógeno y fósforo en sustrato a base de biosólido municipal compostado. Tesis de Maestría, Universidad de Puerto Rico.
- Vives, V. 2002. *Biología*. Ediciones Vicen Vives. S.A. Editorial Limusa, S.A. de C.V. Grupo Noriega Editores

Wien, H.C. 1997. *The Physiology of Vegetable Crops*. CAB International. Printed and bound in the UK at the University Press Cambridge. p 40-60.

Wittermayer L., y Merbach, W. 2005 .Plant responses to drought and phosphorus deficiency: contribution of phytohormonus in root- related processes. *Journal of Plant Nutrition, Soil Science*. 168(4): 531-540.

Zhang, F.S., Yamasaki, S>, Nanzyo, M. 2002. Waste ashes for use in agricultural production I. Limiting effect, contents of plant nutrients and chemical characteristics of some metals. *Sci. Total. Environ.*, 284:215-225.

Zeller, J., G. 2007. Vermicompost as a substitute for peat in potting media. Effects on germination, biomas allocation, yields and fruit quality of three tomato varieties. *Scientia Holticulture*.112: 191-199.