



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS
AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

GENERACIÓN DE INOCULANTE ACELERADOR DEL COMPOSTAJE

MA. SOCORRO MEDINA LARA

T E S I S
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

JUNIO 2015

La presente tesis, titulada: **GENERACIÓN DE INOCULANTE ACELERADOR DEL COMPOSTAJE**, realizada por la alumna: **Ma. Socorro Medina Lara**, bajo la dirección del consejo Particular indicado, ha sido aprobado por el mismo y aceptado como requisito parcial para obtener el grado de:

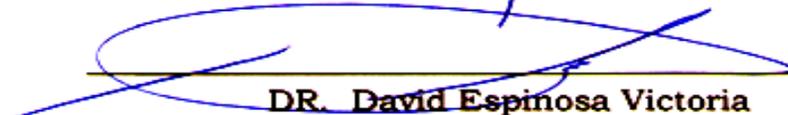
**DOCTORA EN CIENCIAS
EDAFOLOGÍA**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:


DR. Roberto Quintero Lizaola

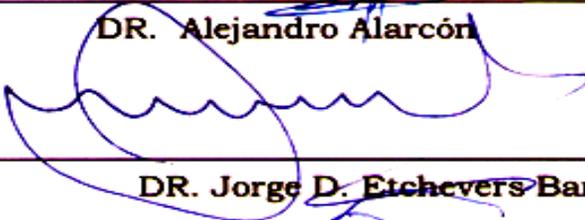
ASESOR:


DR. David Espinosa Victoria

ASESOR:


DR. Alejandro Alarcón

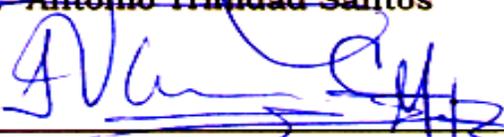
ASESOR:


DR. Jorge D. Etchevers Barra

ASESOR:


DR. Antonio Trinidad Santos

ASESOR:


DR. F. Víctor Conde Martínez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio 2015

GENERACIÓN DE INOCULANTE ACELERADOR DEL COMPOSTAJE

Ma. Socorro Medina Lara, Dra.
Colegio de Postgraduados, 2015

RESUMEN

En la actualidad, son generados gran cantidad de residuos sólidos en la zona urbana y en las granjas de producción animal, la demanda de alimentos es mayor cada vez, lo que hace necesario el tratamiento de los residuos sólidos orgánicos para transformarlos en abono orgánico, en un tiempo menor y que puedan proporcionar los nutrientes necesarios a los cultivos. El compostaje es un método eficiente en la biotransformación de estos residuos. Este proceso tiene una duración variable, que está relacionado con el origen de los residuos, el tamaño de partícula, disposición de la pila, aireación, humedad y población biológica activa. El período de transformación es cercano a 170 días. El presente trabajo se llevó a cabo el proceso de compostaje y se recolectaron muestras compuestas a los 18, 23, 28, 33 y 38 días después de iniciado el proceso de compostaje, se liofilizaron, para extraer y evaluar un inóculo, que reduzca el tiempo de biotransformación en compost del estiércol de ovino. El tratamiento cinco y dos que contenían paja de avena + estiércol de ovino +el inóculo de 23 y 38 días respectivamente después de iniciado el proceso de compostaje, mostró diferencias significativas entre tratamientos ($P= 0.05$), se evaluó la madurez del compost a través de la producción y acumulación de CO_2 , y otras variables como pH, C.E, materia orgánica total, carbono orgánico total, Nitrógeno total Orgánico, la relación C:N, densidad aparente, tamaño de partícula. Se utilizaron los productos del proceso de compostaje mezclado con diferentes porcentajes de perlita como un sustrato para evaluar el desarrollo fenológico de lechuga donde para la mayoría de las variables los mejores resultados se obtuvieron en la proporción del 25% compost 75% perlita.

Palabras claves: Compost, CO_2 , Residuos orgánicos, Inóculo, Sustrato, liofilizado

GENERATION OF ACCELERATOR COMPOST INOCULANT

Ma. Socorro Medina Lara, Dr.
Colegio de Postgraduados, 2015

ABSTRACT

At present, generated large amount of solid waste in urban areas and in the animal production farms, food demand is higher each time, what is necessary to the treatment of organic waste to transform them into organic fertilizer, in one shorter time and that can provide the necessary nutrients to crops. Composting is an efficient method in the biotransformation of these residues. This process has a variable duration, which is related to the origin of the waste, the particle size, and arrangement of the stack, aeration, moisture and active biological population. The transformation period is close to 170 days. This work was carried out the composting process and were collected composite samples at 18, 23, 28, 33 and 38 days after started the composting process, they are lyophilized, to extract and evaluate an inoculum, to reduce the time of biotransformation in sheep manure compost. Five and two treatment containing oat straw + sheep manure + the inoculum of 23 and 38 days respectively after the composting process started, showed significant differences between treatments ($P = 0.05$). The maturity of the compost through the production and accumulation of CO_2 , and other variables such as pH, C.E, organic matter was evaluated total, total organic carbon, total organic nitrogen, n, bulk density, particle size. They were the products of the composting process mixed with different percentages of Perlite as a substrate to assess the development of lettuce where for most of the variables the best results were obtained in the proportion of 25% 75% compost perlite.

Key words: Compost, CO_2 , organic waste, inoculum, substrate, lyophilised

DEDICATORIAS

EN MEMORIA A MIS PADRES

Juan Medina Ramírez y Florentina Lara Aguilar, la vida no les alcanzo para ver culminada esta etapa de mi vida, pero recibo sus bendiciones a diario, desde donde se encuentren, siempre vivirán en mí, porque me regalaron la vida, siempre me dieron su apoyo, amor, sus consejos y me enseñaron el camino correcto.

A MI TÍA JUANA

Siempre ha sido como una madre

MI ESPOSO

Crispín Cortés Flores por ser mi compañero y cómplice por toda la eternidad.

A MIS HIJOS

Diego Crispín, Marco Aldo y Victoria Cristina porque son mi tesoro más preciado y el motor que me impulsa a seguir día con día.

A MIS HERMANAS

Cristina, Rita, Ma. Guadalupe y Edith, gracias por compartir conmigo los buenos y malos momentos de la vida y porque unidas la vida se torna menos complicada.

A MIS SOBRINOS

Omar, Leonardo, Abraham, Itzel, Yesica, Miroslava, Diana, Gael y Roberto

A MIS BUENOS AMIGOS Y AMIGAS, Juan Miguel Castañeda y Ma. Fernanda Calderón, Mary, Violeta, Alejandra, Luis, Bety, por su amistad gracias

SINCERAMENTE

MA. SOCORRO

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico para la realización del Doctorado en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados y el Postgrado en Edafología por haberme dado la oportunidad en esta etapa profesional y darme una formación académica de calidad y alcanzar una más de mis metas.

A la Universidad Autónoma Chapingo, a la Preparatoria Agrícola, por darme la oportunidad de superación y a mis compañeros de la Academia de Sistemas de Producción Animal, por su apoyo incondicional gracias.

Al Dr. Roberto Quintero Lizaola por la dirección de la presente tesis, por compartir conmigo sus conocimientos científicos, técnicos y por ser un gran amigo, gracias.

Al Dr. Alejandro Alarcón por formar parte del consejo particular y asesor de esta tesis, por su apoyo durante todas las fases de la investigación hasta la culminación del presente trabajo, gracias.

A los Doctores: Jorge D. Etchevers Barra, Antonio Santos Trinidad y F. Víctor Conde Martínez, David Espinosa Victoria por formar parte del consejo particular, por asesorar esta tesis por sus consejos y sugerencias, gracias.

Al Departamento de fitotecnia de la UACH, en especial al laboratorista Sr. Cecilio por todo el apoyo brindado, gracias.

A Laurita Santamaría porque en lo urgente e importante, siempre tuve su apoyo gracias.

A las Ingenieras Claudia y Ma. Guadalupe por todo su apoyo gracias.

A la M.C. Alejandrina por el apoyo que me brindo en la fase experimental y a la M.C. Juliana por su apoyo incondicional en la fase de laboratorio, gracias.

A los Maestros del Postgrado en Edafología por compartir sus conocimientos contribuyendo en mi formación y por ser un gran equipo.

A todos aquellos que omití de nombre, una disculpa, les doy las gracias ya que de una u otra manera contribuyeron en la realización y culminación de este trabajo.

Contenido

I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
II. LITERATURA CITADA.....	2
OBJETIVO GENERAL E HIPÓTESIS	3
CAPÍTULO II BIOTRANSFORMACIÓN DE UNA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y PAJA DE AVENA EN COMPOST	4
2.1. INTRODUCCIÓN.....	6
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	12
2.3.1. Medición del CO ₂ en los diferentes tiempos de muestreo	12
2.3.2. Mineralización del CO ₂	17
2.4. CONCLUSIONES.....	21
2.5. LITERATURA CITADA	22
CAPÍTULO III COMPOST: ALTERNATIVA DE NUTRICIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA.....	26
3.1. INTRODUCCIÓN.....	28
3.2. MATERIALES Y METÓDOS.....	30
3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	33
3.4. CONCLUSIONES	43
3.5. LITERATURA CONSULTADA	44
CAPÍTULO IV GENERACIÓN DE UN INOCULANTE ACELERADOR DEL COMPOSTAJE.....	46
4.1. INTRODUCCIÓN.....	48
4.2. MATERIALES Y METÓDOS.....	52
4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
4.4. CONCLUSIONES	63
CAPÍTULO V DISCUSIÓN GENERAL.....	64
5.1. LITERATURA CITADA.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO II

Cuadro 2.1. Análisis de varianza para la producción de CO ₂ a diferentes tiempos de incubación en compost hecho a base de estiércol de borrego y paja de avena.	14
Cuadro 2.2. Comparación de medias de producción de CO ₂ en diferentes muestreos mediante la prueba de Tukey para el periodo de incubación de 24 h.	16
Cuadro 2.3. Comparación de medias, producción de CO ₂ mg en diferentes muestreos mediante la prueba de Tukey para 48 h de incubación de compost hecho de estiércol de borrego y paja de avena.	18
Cuadro 2.4. Comparación de medias de producción de CO ₂ en diferentes muestreos mediante la prueba de Tukey para el periodo de incubación de 72 h.	19
Cuadro 2.5. Propiedades químicas inicio del proceso de compostaje.	19
Cuadro 2.6. Propiedades químicas del compost final.	20

CAPITULO III

Cuadro 3.1. Características del compost utilizado en el desarrollo fenológico de la lechuga.	32
Cuadro 3.2. Muestra el comportamiento de las propiedades físicas del sustrato utilizados en el desarrollo fenológico de la lechuga, porosidad total en porcentaje (PT%), porosidad de aireación en porcentaje (PA%), porosidad de retención de humedad en porcentaje (PRH%).	37
Cuadro 3.3. Muestra el comportamiento del contenido de nitratos en las hojas de las plantas de lechuga crecidas en los diferentes tipos de sustratos.	37

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 2.1. Acumulación de C-CO₂ en mg en el compost de estiércol de borrego y paja de avena durante el periodo de incubación. 15

CAPÍTULO III

Figura 3.1. Altura de la planta en (cm) en los diferentes tratamientos de lechuga (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita). 38

Figura 3.2. Diámetro y la altura del tallo en lechuga (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0, compost/perlita). 38

Figura 3.3. Número de hojas de lechuga en los diferentes tratamientos. 39

Figura 3.4. Área foliar en lechuga en los diferentes tratamientos. 39

Figura 3.5. Peso fresco de la planta de lechuga. 40

Figura 3.6. Medias del peso seco de la planta de lechuga. 40

Figura 3.7. Peso fresco y seco del tallo de la planta de lechuga. 41

Figura 3.8. Longitud de raíz en la planta de lechuga. 41

Figura 3.9. Volumen de raíz en la planta de lechuga. 42

Figura 3.10. Peso fresco de raíz en la planta de lechuga. 42

Figura 3.11. Peso seco de raíz en la planta de lechuga. 43

CAPÍTULO IV

Figura 4.1. Proceso de compostaje de la primera fase donde se recolectaron las muestras para la liofilización. 54

Figura 4.2. Liofilizado de la muestras de la diferentes fases del proceso de compostaje. 54

Figura 4.3. Temperatura durante el proceso del compostaje de los tratamientos inoculados. 57

Figura 4.4. C.E. durante el proceso de compostaje en los tratamientos. 57

Figura 4.5. pH durante el proceso de compostaje en los diferentes tratamientos. 58

Figura 4.6. Producción de CO ₂ , promedio por día en los diferentes tratamientos.	58
Figura 4.7. Acumulación de CO ₂ , promedio en los diferentes tratamientos.	59
Figura 4.8. Producción de CO ₂ en los diferentes tratamientos.	59
Figura 4.9. Materia orgánica en los diferentes tratamientos.	60
Figura 4.10. Carbono orgánico total en los diferentes tratamientos.	60
Figura 4.11. Nitrógeno total en el compost de los diferentes tratamientos.	61
Figura 4.12. Relación carbono: nitrógeno en el compost.	61
Figura 4.13. Densidad aparente de los diferentes tratamientos.	62
Figura 4.14. Porcentaje de partícula obtenida del compost pasado a través de diferentes tamices, para cada tratamiento.	62

I. INTRODUCCIÓN GENERAL

En la actualidad, son generados gran cantidad de residuos sólidos en la zona urbana y en las granjas de producción animal, y la demanda de alimentos es mayor cada vez, lo que hace necesario el tratamiento de los residuos para transformarlos en abono orgánico, en un tiempo menor y que puedan proporcionar los nutrientes necesarios a los cultivos (Moreno y Moral, 2013). El compostaje es un método eficiente en la biotransformación de estos residuos, permite el aprovechamiento del producto final (Gómez-Brandón *et al.*, 2010). Este proceso tiene una duración variable, ya que está relacionado con el origen de los residuos, el tamaño de partícula, disposición de la pila, aireación, humedad y población biológica activa, el período de transformación es cercano a 170 días, e implica la acumulación de gran cantidad de material en las plantas de compostaje (Bustamante *et al.*, 2010).

Es necesario buscar alternativas como la generación de inoculante capaz de reducir el tiempo del proceso de compostaje, y de esta manera evitar la acumulación de materiales que llegan a ser contaminantes del ambiente o generadores de moscas (Fernández-Gómez *et al.*, 2011). El estiércol es un problema en las granjas, y mal manejado es fuente de contaminación, los gases como el metano (CH_4), tiene un efecto invernadero y los efluentes que se lixivian contaminan los mantos freáticos con nitratos (NO_3), es mayor en los sistemas de producción intensivo (Zhu, 2000). El inóculo microbiano debe garantizar la constitución de agregados significativos en número para producir una bioaumentación y la reducción del tiempo de formación y maduración del compost (Mupondi *et al.*, 2010). Por lo anterior el presente trabajo se planteó, extraer y evaluar un inóculo de las diferentes fases del proceso de compostaje que reduzca el tiempo de biotransformación en compost del estiércol de ovino, así como evaluar el desarrollo fenológico de lechuga cuando se utilizan los productos del proceso de compostaje.

II. LITERATURA CITADA

- Bustamante, M. A.; Suárez-Estrella, F.; Torrecillas, C.; Paredes, C.; Moral, R.; Moreno, J. 2010, Use of chemometrics in the chemical and microbiological characterization of composts from agroindustrial wastes, *Bioresource technology*, vol. 101, no. 11, pp. 4068-4074.
- Fernández-Gómez, M. J.; Nogales, R.; Insam, H.; Romero, E.; Goberna, M. 2011, Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity, and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides, *Bioresource technology*, vol. 102, no. 20, pp. 9638-9645.
- Gómez-Brandón, M., Lazcano, C., Lores, M., Domínguez, J. 2010. Detritivorous earthworms modify microbial community structure and accelerate plant residue decomposition. *Applied Soil Ecology* vol. 44 pp. 237-244.
- Mupondi, L. T.; Mnkeni, P. N. S.; Muchaonyerwa, P. 2010. Effectiveness of combined thermophilic composting and vermicomposting on biodegradation and sanitization of mixtures of dairy manure and waste paper, *African Journal of Biotechnology*, vol. 9, no. 30, pp. 4754-4763.
- Moreno, C. J. y Moral, H. R. 2013. *Compostaje*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid-Barcelona- México. ISBN: 978-84-8476-346-8, 570 p.
- Zhu J. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* vol. 78 pp. 93-106.

OBJETIVO GENERAL E HIPÓTESIS

OBJETIVO GENERAL

Extraer y evaluar un inóculo de las diferentes fases del proceso de compostaje que reduzca el tiempo de biotransformación en compost del estiércol de ovino

OBJETIVOS PARTICULARES

- a) Reducir el tiempo de biotransformación del estiércol de ovino cuando se aplica un inóculo obtenido en las diferentes etapas del proceso de compostaje.
- b) Evaluar la calidad y la madurez de los productos orgánicos obtenidos del compostaje del estiércol de ovino cuando se reduce el tiempo de biotransformación en compost.
- c) Evaluar el desarrollo fenológico de lechuga cuando se utiliza compost como un producto del proceso de compostaje.

HIPÓTESIS

- a) Cuando se inocula el estiércol de ovino se reduce el tiempo de biotransformación del compostaje que cuando no se aplica.
- b) La calidad y madurez de los productos obtenidos del proceso de compostaje se incrementa cuando se reduce el tiempo de biotransformación del estiércol de ovino inoculado, que cuando no se inocula.
- c) El desarrollo biológico del cultivo de lechuga se incrementa cuando se utiliza compost como un producto del proceso de compostaje que cuando no se aplican.

CAPÍTULO II BIOTRANSFORMACIÓN DE UNA MEZCLA DE ESTIÉRCOL Y PAJA DE AVENA EN COMPOST

RESUMEN

Una mezcla de estiércol con paja de avena fue sometida a un proceso de compostaje durante 120 días, utilizando el método de apilamiento con volteos al aire libre. La investigación se realizó con la finalidad de estudiar la mineralización del abono orgánico. De la pila donde se encontraba la mezcla de paja de avena con estiércol de ovino, se tomó una muestra compuesta del producto del proceso de compostaje para determinar la madurez del compost, y se estableció en el laboratorio un ensayo de tres tratamientos (24, 48, 72 h) de incubación del compost, con nueve repeticiones y un blanco para determinar la cantidad de mg de CO₂ producido durante 12, 24, 36 días del proceso. El tratamiento que se midió cada 24 horas de incubación alcanzó valores de CO₂ acumulado de 167.9 mg C-CO₂ g⁻¹ en el primer día del proceso y de 1285 mg C-CO₂ g⁻¹ al término de los 12 días, en el tratamiento de 48 horas de incubación alcanzó 203.48 mg C-CO₂ g⁻¹ y de 1743.74 mg C-CO₂ g⁻¹ en los 24 días, y en el de 72 horas de incubación 249.57 mg C-CO₂ g⁻¹ día⁻¹ y de 2390.6 mg C-CO₂ g⁻¹ en los 36 días del proceso para este último se encontraron diferencias significativas ($P = 0.05$) entre los valores a diferentes tiempos de evaluación. Los resultados indicaron que a medida que transcurren las horas, la acumulación de CO₂ se incrementó. El tratamiento donde se muestreó cada 72 h fue el que mostró la mayor acumulación de CO₂. La madurez del compost garantiza la disponibilidad de los nutrientes para los cultivos, cuando baja la cantidad de CO₂ en el compost, debido a la menor acción de la biomasa microbiana, lo cual indicaría la estabilización del compost.

Palabras clave: Mineralización, Compost, CO₂, Biotransformación, Residuos orgánicos, Respiración microbiana.

CHAPTER II BIOTRANSFORMATION OF A MIXTURE OF MANURE AND COMPOSTED OAT STRAW

SUMMARY

A mixture of oat straw manure was subjected to a composting process for 120 days, using the method of stacking with Volt outdoor. The research was conducted with the aim of studying the mineralization of organic manure. A compound sample was taken to determine the maturity of the compost, and settled in the laboratory a trial of three treatments (24, 48 and 72 h) with nine replicates and a white to determine the amount of mg of CO₂ produced for 12, 24, 36 days of the process. Treatment that was measured every 24 hours of incubation reached values of CO₂ accumulated 167,9 mg CO₂-C g⁻¹ on the first day of the process and 1285 mg CO₂-C g⁻¹ to the end of the 12 days, in the treatment of 48 hours of incubation reached 203.48 mg CO₂-C g⁻¹ and 1743.74 mg CO₂-C g⁻¹ in 24 days , and the 72 hours of incubation 249.57 mg C-CO₂ g⁻¹ day⁻¹ and 2390.6 mg g⁻¹ C-CO₂ in the 36 days of the process for the latter, significant differences were found (P = 0.05) between values at different times of evaluation. The results indicated that as the hours pass, the accumulation of CO₂ increased. Where is sampled every 72 h. was that showed greater accumulation of CO₂. The compost maturity guarantees the availability of nutrients for crops, when it lowered the amount of CO₂ in the compost, due to the lesser action of microbial biomass, indicating stabilization of compost.

Key words: mineralization, Compost, CO₂, biotransformation, organic residues, microbial respiration.

2.1. INTRODUCCIÓN

La mineralización del carbono y la descomposición de residuos son características fundamentales del ciclo de nutrientes. El carbono orgánico de los residuos vegetales es la principal fuente de energía para el crecimiento celular y el metabolismo en el suelo (Bautista *et al.*, 2011). El metabolismo del carbono depende de si los microorganismos requieren compuestos que contienen carbono para su crecimiento y como fuente de energía (Hill *et al.*, 2013).

Con presencia del carbono orgánico la población microbiana aumenta, el metabolismo puede dar lugar a la mineralización (conversión de un compuesto orgánico de carbono para obtener compuestos inorgánicos (Hutchinson y Griffin, 2008). La señal más evidente de este proceso es la respiración en el compost. El metabolismo puede dar lugar a la producción de compuestos biológicamente activos o inactivos y al agregar un compost al suelo genera el incremento de la materia orgánica al suelo (Iqbal *et al.*, 2010).

La celulosa se encuentra en las plantas, árboles y paredes celulares de algunos hongos. Es probablemente el compuesto de carbono más abundante de la Tierra, es un polímero lineal de 1.000 subunidades de glucosa unidos por enlace beta (1-4). Su descomposición es lenta en relación a otros compuestos orgánicos (Islam *et al.*, 2012). Existen muchos microorganismos que descomponen la celulosa pero pocos descomponen la lignina que la acompaña. Tanto bacterias aerobias (*Pseudomonas*, *Chromobacteria*) como las anaerobias (*Clostridium*) descomponen la celulosa, al igual que lo actinomicetos (*Streptomyces*) y las mixobacterias. Los protozoos en especial los que habitan en el intestino de las termitas, también la descomponen. La descomposición es más habitual en los hongos (*Trichodera*, *Chaetomium* y *Penicillium*) que en bacterias (Komilis y Tziouvaras 2009).

La célula microbiana al ser impermeable a la celulosa (debido a que es una molécula muy grande), requiere de enzimas extracelulares (celulosa) para iniciar la descomposición sucesiva del material muerto. La materia orgánica

modificada va afectando las propiedades del suelo, incrementando la agregación del suelo y la estabilidad de los agregados; aumenta la capacidad de intercambio catiónico y aporta nitrógeno, fósforo y otros nutrientes (Kumar *et al.*, 2009). Durante la descomposición de la materia orgánica del suelo, los nutrientes orgánicos se convierten en formas inorgánicas disponibles para las plantas. Esta conversión se conoce como mineralización (Steubing *et al.*, 2001).

El compostaje constituye un procedimiento adecuado para la eliminación de diferentes tipos de microorganismos patógenos ya que durante el proceso de compostaje operan tres mecanismos en la destrucción o desactivación de patógenos: antagonismo microbiano (competición por los nutrientes con otros microorganismos no patógenos), liberación de productos con carácter antimicrobiano (como el amoníaco) y elevadas temperaturas un rango de 70°C. Este proceso se basa en la actividad de microorganismos que son los responsables de la descomposición de la materia orgánica bajo condiciones óptimas de temperatura (50 a 70°C), humedad (50 a 60%) y oxigenación (20%) (Velasco *et al.*, 2004). Experimentos realizados a nivel de microcosmos y de campo han demostrado que la aplicación de estas enmiendas orgánicas no solo mejora la estructura del suelo y actúan como una fuente de nutrientes, sino que además puede tener influencia sobre la microflora, aporta organismos (bacterias) capaces de transformar los materiales insolubles del suelo en alimento para las plantas (Makan *et al.*, 2013). La aplicación de compost al suelo incrementa la biomasa microbiana total del suelo, mejorando su actividad, la cual ha sido relacionada con algunos parámetros bioquímicos y biológicos indicadores de la calidad de la materia orgánica, tales como la respiración y la actividad enzimática, entre otros (Albiach *et al.*, 2000). Como los microorganismos son los responsables de la descomposición de la materia orgánica, es conveniente monitorear su actividad durante el proceso, ya que para que éstos puedan vivir y desarrollar la actividad transformadora necesitan condiciones óptimas de temperatura, humedad y oxigenación (Yang *et al.*, 2013).

Son muchos y muy complejos los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje, estando influenciados no solamente por las condiciones ambientales, sino también por tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada. El desprendimiento de CO₂ es una medida de la actividad biológica total del proceso de compostaje (Ahn *et al.*, 2011), y es uno de los parámetros más frecuentes y más antiguos para cuantificar la actividad microbiana, debido a que éste responde en forma diferente a los cambios ambientales. La mineralización de carbono, medida a través del CO₂ desprendido, es un proceso caracterizado por la disminución del contenido en materia orgánica, al tiempo que aumentan los nutrientes asimilables que previamente estaban inmovilizados en forma orgánica. La actividad microbiana depende en gran parte de la naturaleza del material orgánico, y la tasa de descomposición del mismo varía con su contenido de N, S, C soluble, lignina y varios carbohidratos (Janzen y Kucey, 1988). Se ha estimado que, bajo condiciones aeróbicas, entre 20 y 40% del C del sustrato carbonado es asimilado por los microorganismos y el resto es liberado como CO₂ (Alexander, 1977).

La evolución del CO₂ es un parámetro ligado al manejo de materiales orgánicos el cual representa una medición integral de la respiración del suelo, conocida como respiración edáfica basal (respiración de las raíces, fauna del suelo y la mineralización del carbono a partir de diferentes “pools” del carbono de suelo y desechos), es decir, representa la estimación de la actividad microbiana (García y Rivero, 2008). Ajwa *et al.*, 1999, señalaron que existe una relación muy estrecha entre la actividad biológica de un suelo y su fertilidad por lo que parámetros vinculados a la primera han sido propuestos como indicadores apropiados del mencionado impacto. Uno de ellos es la producción de CO₂ (como reflejo del sustrato carbonado consumido por los microorganismos), el carbono o el nitrógeno unido a la biomasa microbiana y la actividad de las enzimas del suelo (Ajwa *et al.*, 1999).

La descomposición de la materia orgánica es un proceso eco-sistémico mediado por organismos heterótrofos que utilizan al material orgánico muerto

o detritus como hábitat y fuente de carbono y energía. El carbono se produce, fundamentalmente, a través del metabolismo de la microflora y de las raíces de la planta, siendo la descomposición microbiana de compuestos orgánicos el proceso más importante que lo genera (Álvarez *et al.*, 2009).

Durante la descomposición una parte del carbono es devuelto a la atmósfera en forma de CO₂, mientras que otra se transforma en otros compuestos más sencillos o se almacena en las propias estructuras microbianas (Pérez *et al.*, 1998).

En particular, la respiración de la comunidad de organismos asociados al detritus orgánico es el proceso que libera el carbono hacia la atmósfera en forma de CO₂. De esta manera, el objetivo principal de este trabajo fue estudiar la evolución de CO₂ en un compost hecho de una mezcla de estiércol de borrego y paja de avena.

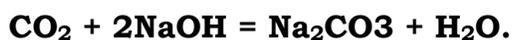
2.2. MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el colegio de posgraduados, los residuos orgánicos utilizados se obtuvieron del módulo de ovinos de la granja de la misma Institución. Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación se utilizó compost hecho de estiércol de borrego y paja de avena, los cuales se mezclaron (en una proporción 3:1) 900 kg de estiércol de borrego y 300 kg de paja de avena. La mezcla se hizo a partir de los análisis de laboratorio donde se determinó la relación carbono nitrógeno y se hizo con el fin de probar si esta dosis podría disminuir el tiempo del proceso del compostaje. Posteriormente la mezcla de estiércol con la paja se sometió a un proceso de compostaje durante 120 días, utilizando el método de apilamiento con volteos al aire libre. Durante el periodo de compostaje se midió diariamente la temperatura y se volteó la mezcla para permitir las condiciones idóneas y el proceso de compostaje se desarrollara de manera conveniente y en un menor tiempo. Se analizaron diferentes parámetros del compost obtenido como el pH (extracto acuoso relación 1:2) (Ansorena, 1994); conductividad eléctrica (extracto 1:5) mediante

conductivímetro (Ansorena, 1994); contenido de materia orgánica del suelo (MOS) (Walkley y Black, 1934); C-orgánico con base en los resultados de la MOS, mediante el factor de Van Bemmelen = 1.724; y N por el método de Kjeldahl (NOM-021-RECNAT-2000), Los cuales se realizaron en el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados. La caracterización del producto obtenido se determinó en el laboratorio de Fertilab de Celaya Guanajuato.

Se tomó una muestra compuesta de varios puntos de la composta para determinar la biomadurez del compost, y se estableció en el laboratorio un ensayo de tres tratamientos (24, 48, 72 h) de incubación, con nueve repeticiones y un blanco para determinar la cantidad de mg de CO₂ producido durante 12, 24, 36 días respectivamente.

Las unidades experimentales fueron frascos de plástico de 100 mL. Cada frasco se pesó y se agregó 25 g de compost, el sustrato se humedeció al 70% de su capacidad de retención hídrica al momento de inicio del experimento. Dentro del frasco se colocó un tubo que contenía una tira de papel filtro y 2.5 mL de NaOH 1N y se introdujo al frasco donde estaba el compost, se selló la boca del frasco con film y se colocó la tapa para comenzar la incubación que se realizó a temperatura ambiente. Cada unidad experimental fue replicada nueve veces más un blanco. El desprendimiento de CO₂ se midió en diferentes momentos, se usó el método de incubación en medio cerrado con 2.5 mL de NaOH 1N descrito por Anderson e Ingram (1993), y el desprendimiento de CO₂ se estimó mediante titulación con HCl 1N, en presencia de dos gotas de fenolftaleína al 1% y luego de la precipitación de los carbonatos con 3 mL de BaCl₂ al 2%. Se consideró un blanco para cada tratamiento, sin adición de sustrato, para controlar la presencia de CO₂ en los frascos. El CO₂ liberado durante la respiración aeróbica en el compost puede ser adsorbido en solución alcalina y medida como un índice de la tasa de respiración. La reacción en la cual el CO₂ es adsorbido es:



La cantidad de CO₂ adsorbido es equivalente a la cantidad de NaOH consumido. Para determinar esto, se precipitó el carbonato (CO₃) con BaCl₂ y se titula el remanente NaOH con HCl. De la diferencia entre la cantidad de NaOH presente inicialmente y el remanente después de la exposición al CO₂ se obtiene la cantidad de gas producido por respiración mediante la siguiente fórmula:

$$R = (B-M) NE \quad (1)$$

Dónde:

R = respiración microbiana en mg CO₂

B = volumen de ácido necesario para titular el NaOH del promedio de los blancos (en mL.)

M = cantidad de ácido necesaria para titular el NaOH de la muestra (en mL.)

N = normalidad del ácido

E = peso equivalente del CO₂ La acumulación de CO₂ se determinó únicamente sumando los mg de CO₂ que se producían cada día, con los mg de CO₂ de días anteriores. La tasa relativa de mineralización representa la eficiencia del material utilizado para mineralizarse en un tiempo determinado dado en gramos de mineralización ganados por gramo de mineralización existente por unidad de tiempo (g⁻¹ día⁻¹).

$$TRM = (\ln P2 - \ln P1) / (t2 - t1) \quad (2)$$

La tasa absoluta se determinó mediante la siguiente fórmula:

$$TAM = (P2 - P1) / (t2 - t1) \quad (3)$$

Dónde:

P = peso

t2-t1 = intervalo de tiempo entre el muestreo final e inicial, respectivamente

P2-P1 = mineralización medida por dos días consecutivamente.

El análisis estadístico para las variables medidas se llevó a cabo mediante un diseño completamente al azar y en los casos donde hubo diferencias se aplicó una prueba de diferencias mínimas significativas para determinar cuál fue el mejor tratamiento.

2.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1. Medición del CO₂ en los diferentes tiempos de muestreo

En los primeros días de la incubación la cantidad de C-CO₂ desprendido en los diferentes tratamientos se observó una mayor variación, esto debido a la presencia de sustancias fácilmente degradables como proteínas y azúcares que varían con el tipo de material con el que se realizó el compost (Lerch *et al.*, 1992). El compost en el primer muestreo de 24 h de incubación alcanzó valores de CO₂ acumulado de 167.9 mg C-CO₂ g⁻¹ en el primer día del proceso y de 1285 mg C-CO₂ g⁻¹ a los 12 días, en el muestreo de 48 h. de incubación alcanzo 203.48 mg C-CO₂ g⁻¹ y de 1743.74 mg C-CO₂ g⁻¹ en los 24 días, en el muestreo de 72 h. de incubación 249.57 mg C- CO₂ g⁻¹ día⁻¹ y de 2390.6 mg C-CO₂ g⁻¹ en los 36 días de incubación para este tiempo de muestreo encontrándose diferencias significativas para un (P=0.05) entre los valores a diferentes tiempos de evaluación (Figura 2.1). Los resultados obtenidos indicaron que a medida que transcurren mayor cantidad de horas, la acumulación de CO₂ es mayor, lo que indica que aún existe la actividad de los microorganismos en el proceso, un compost es maduro cuando disminuye la cantidad de CO₂. Sin embargo, se puede observar que a medida que transcurre el tiempo la cantidad de CO₂ que se produce es menor esto es debido a la menor acción de la biomasa microbiana, lo cual se puede atribuir a que el abono orgánico presenta diferentes etapas de descomposición. Los microorganismos respiran continuamente y la tasa de respiración es un índice confiable de la tasa de crecimiento. Esto coincide con los resultados obtenidos por Contreras *et al.* (2006). Que incubaron diferentes materiales y obtuvieron que la gallinaza y el estiércol de caprino muestran una mejor repuesta inicial. A medida que transcurre la incubación, los sistemas comienzan a entrar en la etapa de estabilidad por lo que el material, recientemente añadido de fácil degradación,

comienza a agotarse y, por lo tanto, el número de microorganismos disminuye al igual que el desprendimiento de CO₂ (Anda *et al.*, 2008).

En el Cuadro 2.1, se puede observar el análisis de varianza para la producción de CO₂ a diferentes tiempos de incubación en compost hecho a base de estiércol de borrego y paja de avena donde se presentan diferencias significativas en los distintos momentos del muestreo así como el día del muestreo. El desprendimiento de CO₂ acumulado para los distintos tratamientos tiempos de incubación fue creciente en el tiempo. Las mayores emisiones diarias de CO₂ se alcanzaron el tercer muestreo a los diferentes tiempos de incubación en cada uno de los tratamientos (Figura 2.1). Las grandes emisiones iniciales de CO₂, reflejarían la presencia de carbono disponible de manera inmediata en los sustratos orgánicos provenientes de compuestos fácilmente degradables (Santibáñez *et al.*, 2006). La mayor emisión de C-CO₂, se obtuvo para el periodo de 72 horas esto se debe a un crecimiento microbiano más constante (Barajas y Rodríguez 2013). Para este parámetro se encontraron diferencias significativas ($P = 0.05$) entre los diferentes tratamientos. La cantidad de C-CO₂ acumulado, mostró que hubo una mayor respiración por los microorganismos en el compost (Barrena *et al.*, 2006). El carbono final en los compost contribuye a mantener fracciones más estables, ya que los de fácil descomposición empiezan a agotarse, cambiando la relación C/N (Barrena *et al.*, 2006). Durante los primeros días se observó una respuesta inmediata con diferencias significativas entre ellos como resultado de la promoción del crecimiento y la actividad microbiana debido al aporte de carbono fácilmente asimilable. Después del octavo y noveno muestreo los cambios fueron menos significativos. Estos resultados coinciden con los obtenidos por (García y Rivero, 2008) quienes indicaron que las diferencias significativas en la descomposición de residuos, sólo son detectables como máximo hasta treinta días posteriores a la incorporación de los materiales orgánicos (García y Rivero, 2008). Sin embargo, la tendencia no es estable durante el período de incubación, por mostrar oscilaciones durante el mismo.

Esto evidencia el agotamiento del sustrato carbonado más lábil, los pequeños incrementos hacia el final de la incubación obedecen a la descomposición del material recalcitrante (Díaz *et al.*, 2012). Además, se debe considerar la dinámica del carbono unido a la biomasa microbiana misma: muerte de las células y reutilización del sustrato. Para el periodo de incubación de 24 horas se puede observar que existen diferencias significativas a medida que pasa el tiempo y en el último muestro es menor la cantidad producida de C-CO₂ en relación a la inicial esto muestra la estabilización y maduración del producto. Ayuso *et al.* (1996), indican que mientras más estable es la materia orgánica, la emisión de CO₂ y la actividad microbiana son menores ya que existe menos material de fácil descomposición lo que impide la degradación por parte de los microorganismos.

Cuadro 2.1. Análisis de varianza para la producción de CO₂ a diferentes tiempos de incubación en compost hecho de estiércol de borrego y paja de avena.

Tratamientos Horas de incubación	R²	Coficiente de variación	Media de producción de CO₂ mg
24	0.910	20.070	107.21
48	0.982	9.356	145.31
72	0.832	14.406	199.21

La fuente de variación es significativa si (Pr>F**) < α ; $\alpha=0.05$

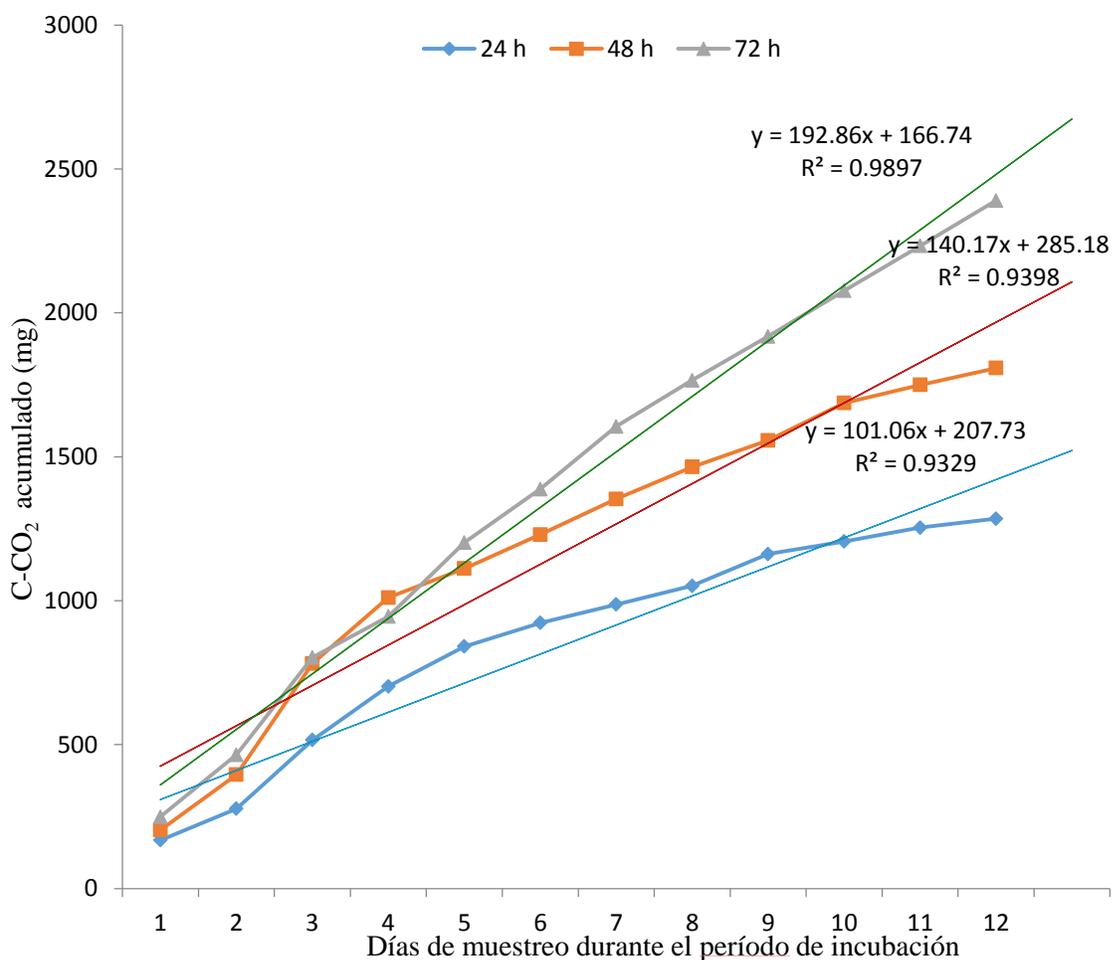


Figura 2.1. Acumulación de C-CO₂ en mg en el compost de estiércol de borrego y paja de avena durante el periodo de incubación.

En el Cuadro 2.2 se puede observar la comparación de medias de la prueba de Tukey de producción de CO₂ en mg de los diferentes muestreos para el periodo de incubación de veinticuatro horas. En las titulaciones realizadas por Acosta *et al.* (2006), hechas cada 7, 15, 39 y 106 días para la evolución de CO₂ de compostas elaboradas de estiércol de chivo, residuo del procesamiento de la sábila y lodo residual del tratamiento de aguas servidas, indican un decaimiento en los valores de C-CO₂ obtenido diariamente. Esta disminución en los valores C-CO₂, pone de manifiesto, que en el proceso global de la mineralización de carbono se definen secuencialmente y alternativamente dos etapas fundamentales. La primera etapa corresponde al incremento en la

actividad biológica y a la degradación por parte de los microorganismos de sustancias fácilmente biodegradables tales como azúcares, lípidos, fenoles, ácidos orgánicos, los cuales estimulan tanto el crecimiento como la respiración de un gran número de microorganismos, ya que son fuente de carbono y energía, de rápida utilización y de bajo costo. La segunda etapa, está definida por la disminución en el desprendimiento de C-CO₂, la cual define también un decrecimiento en la actividad biológica, como consecuencia de la disminución de las sustancias fácilmente biodegradables, provocando así su estabilización al final del proceso (Cuadros 2.2, 2.3 y 2.4). Almansa *et al.* (2007), trabajando con estiércol fresco encontraron, a través del desprendimiento de CO₂, una elevada tasa de descomposición paralela a una fuerte inmovilización del nitrógeno debido al grado de estabilidad del material. El estiércol estabilizado presenta una tasa de descomposición menor y una mineralización del nitrógeno orgánico del orden del 30-40% (Chen *et al.*, 2013).

Cuadro 2.2. Comparación de medias, producción CO₂ mg en diferentes muestreos mediante la prueba de Tukey para veinticuatro horas de incubación de compost hecho de estiércol de borrego y paja de avena

Muestreo	Media de Producción de CO₂ mg	Agrupación (P=0.05)	Tukey
1	167.90	bc	
2	109.77	de	
3	238.51	a	
4	186.39	b	
5	138.58	cd	
6	82.16	ef	
7	63.64	fgh	
8	65.10	fg	
9	110.24	de	
10	43.94	gh	
11	48.03	gh	
12	30.74	h	

Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí para un valor de $\alpha=0.05$

2.3.2. Mineralización del CO₂

La mineralización se puede determinar por medio de la tasa de liberación de CO₂. Partiendo de materia orgánica fresca se presenta una etapa muy activa, que corresponde a la liberación de materiales orgánicos lábiles (azúcares, amino-azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos), seguida de una segunda etapa en la que la actividad biológica es decreciente. En ella se quedan los materiales recalcitrantes (Acosta *et al.*, 2006). La velocidad o tasa de mineralización de la materia orgánica expresa el porcentaje de carbono inicial que se mineraliza en un periodo de tiempo determinado; además, la mineralización constituye un indicador de la actividad biológica en un medio dado (Christensen *et al.*, 2009). En el presente estudio, aunque el compost tuvo un incremento en la evolución del C-CO₂. Tal comportamiento podría explicarse por una menor cantidad de carbono disponible para los microorganismos debido al mayor grado de estabilidad que alcanzó el compost y ya que durante el proceso de compostaje, los microorganismos rompen la materia orgánica y producen CO₂, agua, humus, el producto orgánico final más estable y calor (Clemente y Bernal 2006).

La tasa de mineralización relativa depende de la acumulación de carbono en el tiempo. Su tendencia fue decreciente para los tres tratamientos, ya que a medida que transcurrían los días, el carbono se iba agotando. Se observó que el compost donde se midió cada 24 h fue el tratamiento que presentó la tasa más alta de mineralización relativa al final del ciclo (Cochran *et al.*, 2007).

En el Cuadro 2.3 se puede observar que a partir del décimo muestreo no hay diferencias significativas lo que indica la estabilización del compost. El compostaje aerobio es un proceso de degradación biológica en donde los microorganismos transforman los compuestos orgánicos mediante reacciones metabólicas, en las que se separan los electrones de los compuestos y se oxidan las estructuras de carbono a dióxido de carbono y agua. Nunca se produce una oxidación completa debido a que una parte del material orgánico se transforma y otra no es biodegradable (Ammari *et al.*, 2012).

Cuadro 2.3. Comparación de medias, producción de CO₂ mg en diferentes muestreos mediante la prueba de Tukey para cuarenta y ocho horas de incubación de compost hecho de estiércol de borrego y paja de avena.

Muestreo	Media de Producción de CO₂	Agrupación Tukey (P=0.05)
1	203.678	c
2	192.156	c
3	386.222	a
4	228.667	b
5	101.122	ef
6	118.167	de
7	123.689	d
8	111.211	def
9	92.244	f
10	64.856	g
11	62.856	g
12	58.856	g

Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí para un valor de $\alpha=0.05$

En el cuadro 2.4 Se puede observar la producción de CO₂ en los diferentes muestreo observándose diferencias significativas entre los primeros muestreo y para el octavo muestreo hasta el doce no existe diferencias esto coincide con (Doelsch *et al.*, 2010) que menciona que la generación de calor incrementa la temperatura lo que da paso a una segunda fase, en la cual la materia orgánica alcanza su bioestabilización a través de reacciones bioquímicas de oxidación llevadas a cabo por organismos de naturaleza termofilicas; en la última fase denominada de maduración, la temperatura disminuye actuando mohos y actinomicetos que contribuyen a la estabilidad del compost.

Cuadro 2.4. Comparación de medias producción de CO₂ mg en diferentes muestreos mediante la prueba de Tukey para setenta y dos horas de incubación de compost hecho a base de estiércol de borrego y paja de avena.

Muestreo	Media de Producción de CO₂	Agrupación Tukey (P=0.05)
1	249.57	b
2	215.44	bc
3	338.18	a
4	141.96	d
5	257.00	b
6	185.91	cd
7	217.37	bc
8	160.69	d
9	152.52	d
10	158.51	d
11	155.88	d
12	157.57	d

Medias con la misma literal no son significativamente diferentes entre sí con un valor de $\alpha=0.05$

El cuadro 2.5 y 2.6 muestra las características del compost realizado en diferentes laboratorios estos datos nos garantizan una buena calidad nutritiva del compost, lo que garantizará un buen aporte nutrimental por lo tanto un buen desarrollo de las plantas en campo. El pH nos da un compost que se pudiera utilizar en suelos con un pH altamente ácido, la incorporación de compost a este tipo de suelos permitiría tener disponibles la mayoría de nutrimentos para la planta.

Cuadro 2.5. Propiedades químicas inicio del proceso de compostaje.

	pH	CE	C	Nt	P	K	Ca	Na	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn
		mmho/cm%		mg/kg.....							
Compost	8.8	7.17	3	1.64	0.5	3.3	1.9	0.3	1.12	11338	19	125	309
			2		7	4	9	0					

Cuadro 2.6. Propiedades químicas del compost fase final.

Elemento	Método	Unidades	Resultado	
			base seca	base húmeda
pH	NMX-FF-109-SCFI-2007		9.10	
Conductividad eléctrica	NMX-FF-109-SCFI-2007	dSm ⁻¹	12.2	
Nitrógeno total	Kjeldahl	%	1.65	
Fosforo (P ₂ O ₅)	Digestión húmeda/Espectrofotometría	%	1.48	
Potasio	Digestión húmeda/AA	%	3.31	
Calcio	Digestión húmeda/AA	%	1.76	
Magnesio	Digestión húmeda/AA	%	1.24	
Sodio	Digestión húmeda/AA	%	1.10	
Azufre	Digestión húmeda/Turbidimetría	%	0.23	
Hierro	Digestión húmeda/AA	%	0.65	
Cobre	Digestión húmeda/AA	mg/Kg	17.4	
Manganeso	Digestión húmeda/AA	mg/Kg	240	
Zinc	Digestión húmeda/AA	mg/Kg	127	
Boro	Calcinación/ Espectrofotometría	mg/Kg	24.9	
Cloro	Titulación con nitrato de plata	%	70.9	
N-NH ₄	Titulación con Formaldehido	%	0.31	
N-NH ₃	Ácido salicílico	mg/Kg	761	
DAP	Método de la probeta	g/cm ³	0.58	
Humedad	Método gravimétrico	%	31.9	46.9
Materia orgánica	Calcinación	%	45.9	67.5
Cenizas	Calcinación	%	54.1	79.5
C. Orgánico		%	26.6	39.2
Relación C/N	Base seca		10.9	16.0

2.4. CONCLUSIONES

- El periodo de incubación que presentó una mayor actividad microbiana fue el tratamiento de 48 horas con una acumulación de 1808.6 mg de C-CO₂.
- El tratamiento de 24 horas de incubación durante un periodo de 12 días acumulo la menor cantidad de mg de C-CO₂, éste presentó menor respiración, lo cual en su aplicación evita riesgos en el sistema suelo-planta asociados a la oxidación del material del suelo e incrementa la fertilidad del suelo.
- El desprendimiento de CO₂, puede considerarse como uno de los parámetros sensibles a los cambios que ocurren en la transformación de la materia orgánica.
- Los componentes orgánicos estables se mantuvieron e incrementaron el contenido de materia orgánica al permitir una menor pérdida de C orgánico en forma de CO₂.

AGRADECIMIENTOS

Le doy mis más sinceros agradecimientos a la M. C. Alejandrina Ruíz Bello por todo el apoyo brindado, su disposición y tiempo para la realización de esta investigación mil gracias.

2.5. LITERATURA CITADA

- Acosta, Y.; Cayama, J.; Gómez, E.; Reyes, N.; Rojas, D.; García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6: 220-227.
- Ahn, H. K.; Mulbry, W.; White, J. W.; Kondrad, S. L. 2011. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresource Technology* 102 (3): 2904-9.
- Ajwa, H. A.; Dell, C. J.; Rice, C. W. 1999. Changes in enzyme activities and microbial biomass of tallgrass prairie soil as related to burning and nitrogen fertilization. *Soil Biol. Biochem.* 31: 769-777.
- Albiach, R.; Canet, R.; Pomares, F.; Ingelmo, I. 2000. Microbial biomass content and enzymatic activities after the application of organic amendments to a horticultural soil. *Biores. Tech.* 75: 43-48.
- Alexander, M. 1977. *Introduction to soil microbiology.* John Wiley and sons, inc., New York. 467 p.
- Almansa, M.; Fernández, M.; Valero, J.; López, M.; Soliva, M. 2007. Velocidad de mineralización del estiércol vacuno según su estabilidad. *Residuos Ganaderos.* 96: 30-36.
- Álvarez, J. V. L.; Larrucea, M. A.; Bermúdez, P. A.; Chicote, B. L. 2009. Biodegradation of paper waste under controlled composting conditions. *Waste Management* 29 (5): 1514-9.
- Ammari, T. G.; Al-Omari, Q.; Abbassi, B. E. 2012. Composting sewage sludge amended with different sawdust proportions and textures and organic waste of food industry – assessment of quality. *Environmental Technology* 33 (14): 1641-9.
- Anda, M.; Syed-Omar, S. R.; Shamshuddin, J.; Fauziah, C. I. 2008. Changes in properties of composting rice husk and their effects on soil and cocoa growth. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 39 (15-16): 2221-49.
- Anderson, J. and Ingram, J. 1993. *Tropical soil biology and fertility: a handbook of methods.* Second edition. Cab international. Wallingford, uk. 62.
- Ansorena, M. 1994. *Sustratos propiedades y caracterización.* Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Ayuso, M.; Pascual, J. A.; García, C.; Hernández, T. 1996. Evaluation of urban wastes for agricultural use. *Soil Sci. Plant Nutr.* 42: 105-111.
- Barajas, A. M. and Rodríguez, V. R. 2013. Effects of organic amendments on the mobility of Pb and Zn from mine tailings added to semi-arid soils. *Journal of Environmental Science and Health – Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes* 48 (3): 226-36.

- Barrena, G. R.; Vázquez, L. F.; Sánchez, F. A. 2006. The use of respiration indices in the composting process: A review. *Waste Management and Research* 24 (1): 37-47. CITACION
- Bautista, J. M.; Kim, H.; Ahn, D. H.; Zhang, R.; Oh, Y. S. 2011. Changes in physicochemical properties and gaseous emissions of composting swine manure amended with alum and zeolite. *Korean Journal of Chemical Engineering* 28 (1): 189-94.
- Chen, C. Y.; Kuo, J. T.; Chung, Y. C. 2013. Effect of matured compost as an inoculating agent on odour removal and maturation of vegetable and fruit waste compost. *Environmental Technology* 34 (3): 313-20.
- Christensen, T. H.; Gentil, E.; Boldrin, A.; Larsen, A. W.; Weidema, B. P.; Hauschild, M. 2009. C balance, carbon dioxide emissions and global warming potentials in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Management and Research* 27 (8): 707-15.
- Clemente, R. and Bernal, M. P. 2006. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere* 64 (8): 1264-73.
- Cochran, R. L.; Collins, H. P.; Kennedy, A.; Bezdicek, D. F. 2007. Soil carbon pools and fluxes after land conversion in a semiarid shrub-steppe ecosystem. *Biology and Fertility of Soils* 43 (4): 479-89.
- Contreras, F.; Paolini, J.; Rivero, C. 2006. Efecto de la adición de enmiendas orgánicas sobre la cinética de la mineralización del carbono en suelos del municipio Rivas Dávila, estado Mérida, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 31: 37-52.
- Díaz, M. J.; Eugenio, M. E.; López, F.; García, J. C.; Yáñez, R. 2012. Neural models for optimizing lignocellulosic residues composting process. *Waste and Biomass Valorization* 3 (3): 319-31.
- Doelsch, E.; Mason, A.; Moussard, G.; Chevassus-Rosset, C.; Wojciechowicz, O. 2010. Impact of pig slurry and green waste compost application on heavy metal exchangeable fractions in tropical soils. *Geoderma* 155 (3-4): 390-400.
- Eweis, J. B. 1999. Principios de biorecuperación. Tratamiento para contaminación y regeneración de suelos y aguas subterráneas mediante procesos biológicos y fisicoquímicos. McGraw-Hill. España.
- García, A. y Rivero, C. 2008. Evaluación del carbono microbiano y la respiración basal en respuesta a la aplicación de lodo papelerero en los suelos de la Cuenca del Lago de Valencia, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (Maracay)* 34: 215-229.
- Hill, G. B.; Baldwin, S. A.; Vinnerås, B. 2013. Evaluation of solvita compost stability and maturity tests for assessment of quality of end-products from mixed latrine style compost toilets. *Waste Management* 33 (7): 1602-6.

- Hutchinson, M. and Griffin, T. S. 2008. Evaluation of fiber content relative to other measures of compost stability. *Compost Science and Utilization* 16 (1): 6-11.
- Iqbal, M. K.; Shafiq, T.; Ahmed, K. 2010. Effect of different techniques of composting on stability and maturity of municipal solid waste compost. *Environmental Technology* 31 (2): 205-14.
- Islam, M. K.; Mondelli, D.; Al Chami, Z.; Mimiola, G.; Dumontet, S. 2012. Comparison of maturity indices for composting different organic waste. *Journal of Residuals Science and Technology* 9 (2): 55-64.
- Janzen, H. and Kucey, R. 1988. C, N and S mineralization of crop residues as influenced by crop species and nutrient regime. *Plant and Soil*. 106: 35-41.
- Komilis, D. P. and Tziouvaras, I. S. 2009. A statistical analysis to assess the maturity and stability of six composts. *Waste Management* 29 (5): 1504-13.
- Kumar S. Y.; Kalamdhad, A. S.; Ali, M.; Kazmi, A. A. 2009. Maturation of primary stabilized compost from rotary drum composter. *Resources, Conservation and Recycling* 53 (7): 386-92.
- Lerch, R. N.; Barbarick, K. A.; Sommers, L. E.; Westfall, D. G. 1992. Sewage sludge proteins as labile carbon and nitrogen sources. *Soil. Sci. Soc. Am. J.* 56: 1470-1476.
- Makan, A.; Assobhei, O.; Mountadar, M. 2013. In-vessel composting under air pressure of organic fraction of municipal solid waste in azemmour, morocco. *Water and Environment Journal*.
- Pérez, B. P.; Ouro, G.; Merino, A.; Macías, F. 1998. Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO₂ en un suelo forestal bajo diferentes manejos sevícolas. *Edafología* 5: 83-93.
- Santibañez, C.; Varnero, M. T.; Ginocchio, R. 2006. Mineralización de carbono y nitrógeno en relaves mineros acondicionados con biosólidos. pp. 337-343. *In: J. F. Gallardo L. (ed). Medio ambiente en Iberoamerica. Visión desde la física y la química en los árboles del siglo XXI. Tomo III. Sociedad Iberoamericana de Física y Química Ambiental. Badajoz, España.*
- Steubing, L.; Godoy, R.; Alberdi, M. 2001. *Métodos de ecología vegetal. Universitaria. Santiago, Chile.*
- Velasco, V.; Figueroa, J. B.; Ferrera, R.; Trinidad, A.; Gallegos, J. 2004. CO₂ y dinámica de poblaciones microbianas en composta de estiércol y paja con aireación. *Terra Latinoamericana* 22: 307-316.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

Yang, F.; Li, G. X.; Yang, Q. Y.; Luo, W. H. 2013. Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. *Chemosphere* 93 (7): 1393-9.

CAPÍTULO III COMPOST: ALTERNATIVA DE NUTRICIÓN EN LA PRODUCCIÓN DE LECHUGA

RESUMEN

Se evaluó el desarrollo fenológico y la productividad de lechuga (*Lactuca sativa* L.), al aplicar los productos del proceso de compostaje obtenidos de la biotransformación de estiércol de ovino y paja de avena en compost. El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo Estado de México. Se compararon cinco tratamientos con nueve repeticiones, utilizando mezclas de compost con perlita, (T1=100% compost, 0% perlita, T2=50% compost 50% perlita, T3=75% de compost, 25% perlita, T4=25% compost 75% perlita, T5=80% compost 20% perlita, para el análisis estadístico se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se realizó ANDEVA y la comparación de medias a través de la prueba de Tukey (α 0.05). Las mezclas de sustrato se colocaron en macetas de unicel y se trasplantó la lechuga variedad Paspartú, se mantuvieron en condiciones de malla-sombra donde se regaron cada tercer día a capacidad de campo. Se realizaron muestreos cada tercer día de las variables: diámetro y altura del tallo, diámetro de cobertura, número de hojas, los componentes peso fresco de la planta, tallo y raíz, (longitud, volumen y peso seco), el área foliar, contenido de nitratos en las hojas estas fueron medidas hasta los 30 días después del trasplante. El mejor tratamiento fue (25% compost, 75% perlita), mostró diferencia significativa para la mayoría de las variables, el área foliar 858 cm², diámetro del tallo 1.887cm, altura del tallo 2.87 cm, diámetro de cobertura 7.09, número de hojas 19.69, (para longitud de raíz 25.33 cm, volumen 40.67 cm³, peso fresco 37.7 g, peso seco 3.611 g), en el tratamiento uno (100% compost y 0% perlita) las plantas tuvieron problemas en su desarrollo radical, debido a las características físicas del sustrato.

Palabras clave: Área foliar, biotransformación, crecimiento, nitratos, residuos orgánicos

CHAPTER III COMPOST: ALTERNATIVE NUTRITION IN THE PRODUCTION OF LETTUCE

SUMMARY

Assessed development phenology and productivity of lettuce (*Lactuca sativa*), to implement the composting process products obtained from the biotransformation of sheep manure and composted oat straw. The experiment was held at the Posgraduados College Campus Montecillo State of Mexico. Comparing five treatments with nine replications, using mixtures of composting with perlite, (T1 = 100% compost, 0% perlite, T2 = 50% 50% compost, perlite, T3 = 75% compost, 25% perlite, T4 = 25% 75% compost perlite, T5 = 80% compost 20% perlite, for statistical analysis, an experimental design was used completely at random.) He was ANOVA and means comparison through Tukey (α 0.05) test. Substrate mixtures were placed in styrofoam containers and transplanted the lettuce variety mat, were kept in conditions of mesh-shade where were watered every other day to field capacity. Samples were taken every other day of the variables: diameter and height of stalk coverage, number of leaves, the variables weight fresh from the plant, stem and root, (length, volume and dry weight), leaf area, content of nitrates in the leaves they were measured up to 30 days after the transplant. The best treatment was (25% compost, 75% perlite), showed difference for most of the variables, leaf 858 cm², stem diameter 1.887 cm, height of the stem 2.87 cm, diameter of coverage 7.09, the area number of leaves 19.69, (for length of root 25.33 cm, volume 40.67 cm³, fresh weight 37.7 g, dry weight 3.611 g), in one treatment (100% compost and 0% perlite) plants had problems in its radical development due to the physical characteristics of the substrate.

Key words: leaf Area, biotransformation, growth, nitrates and organic waste

3.1. INTRODUCCIÓN

En México se producen 30 millones 733 mil toneladas al año de basura y 84 mil 200 toneladas diarias. Por otro lado, sólo el 77% de los residuos se recolecta de manera oportuna y únicamente el 50% se dispone o recicla de manera segura, por tanto, 57 mil toneladas quedan abandonadas en tiraderos a cielo abierto, en carreteras, caminos, lotes baldíos y ríos. Todo esto es considerado como desperdicios contaminantes, entre los que se encuentra el estiércol de ovino, que se genera en las diferentes unidades de producción ovina, hasta hace poco los desechos orgánicos han sido considerados como una fuente de contaminación y no se han valorado como el subproducto de la agricultura susceptible de originar abonos orgánicos de calidad (Arancon *et al.*, 2007). Se han registrado también problemas de fitotoxicidad, lixiviación de nitratos y contaminación de mantos acuíferos, debido al mal manejo de fuentes orgánicas al ser incorporadas al suelo sin un tratamiento previo (Arancon *et al.*, 2007)

La incorporación de fertilizantes y abonos orgánicos (estiércoles, desechos agrícolas verdes y secos, compost, vermicompost) con fines de biorremediación de los suelos agrícolas, es una práctica que ha recuperado importancia en los últimos años a nivel mundial por diversas razones (Azarmi *et al.*, 2009). El uso de abonos orgánicos mejora las condiciones del suelo que han sido deteriorados por el uso excesivo de agroquímicos y una sobre explotación, que ha provocado la disminución de la flora y fauna, la pérdida de materia orgánica, de la fertilidad y la contaminación de los suelos, incluyendo los productos agrícolas que también podrían estar contaminados (Azarmi *et al.*, 2008)

El número de existencias de ganado ovino, durante el periodo de 1991 al 2007, casi se duplicó en el país al pasar de 3,664982 a 7,306600 millones de cabezas; es decir, que se tuvo un incremento de 99.4 por ciento. Por su parte, el Estado de México ocupa el primer lugar a nivel nacional, por el número de existencias de cabezas de ganado ovino, al registrar una proporción de 12.8 y

12.2% durante los años señalados, asimismo, las entidades que sobresalen por concentrar el mayor número de cabezas son: Hidalgo, Puebla, Guanajuato y Zacatecas. Un ovino produce 0.7 Kg/día de estiércol en base seca por lo que la producción a nivel nacional en 1991 fue de 2,565.4874 t.día⁻¹ y la producción anual de 936402.901 t. para el año 2007 fue de 5,114.620 t. día⁻¹ y la producción anual de 1,866836.3 t. (INEGI, 2007), Por otro lado es necesario procesar adecuadamente el estiércol, es decir someterlo a un proceso de fermentación y transformación con lo que se consigue un producto final de innumerables ventajas que el de inicio no tenía. Se requiere de este proceso para tener un producto de calidad y conseguir un resultado aceptable. Es cierto que algunos cultivos hortícolas crecen bien en suelos donde el estiércol no ha llevado a cabo el proceso de compostaje, pero en general este proceso trae beneficios, ya que en su aplicación al suelo son múltiples en los aspectos físico, químico y microbiológico. Este uso adecuado del compost, contribuye a formar y estabilizar el suelo, aumentar su capacidad para retener agua y para intercambiar cationes, haciendo más porosos a los suelos compactos y mejorando su manejabilidad. Se consigue mayor cantidad de humus que con el mismo monto de materia aplicada directamente al suelo, elimina semillas de malas hierbas, transforma y pone disponibles muchos de los nutrientes por la acción de los microorganismos, elimina virus, hongos y bacterias indeseables y finalmente mejora la estructura físico-química y biológica del suelo (Babaj *et al.*, 2009)

La utilización del estiércol y demás subproductos de origen animal hacen un ahorro en la fabricación de abonos químicos, por tanto el uso de éstos contribuyen a aliviar el impacto de una industria pesada altamente contaminante. Algunos estiércoles muy ricos en macronutrientes como el nitrógeno si no se mezclan con otros componentes o con restos vegetales, a pesar del compostaje, tienen tendencia hacia el desequilibrio. Es de suma importancia buscar alternativas donde estos subproductos de origen orgánico puedan compaginar, agricultura y ganadería, el estiércol puede reingresar de nuevo al sistema de producción, cerrando así el ciclo (Baishya *et al.*, 2010).

Con la finalidad de utilizar las excretas de ovino se realizó la biotransformación de una mezcla de estiércol de borrego con paja de avena por medio del compostaje. Se utilizó como un sustrato mezclándolo con perlita a diferentes proporciones y se evaluó la producción y desarrollo fenológico de lechuga al aplicar los productos del compostaje.

3.2. MATERIALES Y METÓDOS

La investigación se realizó en el colegio de posgraduados, los residuos orgánicos utilizados se obtuvieron del módulo de ovinos de la granja de la misma Institución. Para llevar a cabo el desarrollo de la investigación se utilizó compost hecho de estiércol de ovino y paja de avena, los cuales se mezclaron (en una proporción 3:1). La mezcla se hizo a partir de los análisis de laboratorio donde se determinó la relación carbono nitrógeno y se hizo con el fin de probar si esta dosis podría disminuir el tiempo del proceso del compostaje. Posteriormente la mezcla de estiércol con la paja se sometió a un proceso de compostaje durante 120 días, utilizando el método de apilamiento con volteos al aire libre. Durante el periodo de compostaje se midió diariamente la temperatura y se volteó la mezcla para permitir las condiciones idóneas y el proceso de compostaje se desarrollara de manera conveniente y en un menor tiempo. Se analizaron diferentes parámetros del compost obtenido como el pH (extracto acuoso relación 1:2) (Ansorena, 1994); conductividad eléctrica (extracto 1:5) mediante conductivímetro (Ansorena, 1994); contenido de materia orgánica del suelo (MOS) (Walkley y Black, 1934); C-orgánico con el factor de Van Bemmelen = 1.724; y N por el método de Kjeldahl (NOM-021-RECNAT-2000), Los cuales se realizaron en el laboratorio de fertilidad de suelos del Colegio de Postgraduados. Se evaluaron cinco tratamientos con nueve repeticiones, utilizando mezclas de compost con perlita a diferentes dosis (T1= 100% compost/0% perlita, T2=50% compost/50% perlita, T3= 75% compost/25% perlita, T4= 25% compost/75% perlita y T5= 80% compost/20% perlita), se empleó un diseño experimental completamente al azar. Las mezclas

de sustrato se colocaron en macetas de unicel con una capacidad de 2 Kg, para la siembra se utilizaron semillas de lechuga cv. "Paspartú". La siembra se efectuó en charolas de poliestireno expandido de 200 cavidades rellenas con turba como sustrato, se mantuvo en condiciones de invernadero, con el manejo de nutrición y fitosanidad acostumbrado por los horticultores. El trasplante de la plántula de lechuga cv. Paspartú se llevó a cabo en abril del 2013, en macetas de unicel de una capacidad de dos kilogramos donde se colocó la mezcla de compost con perlita con las distintas proporciones de acuerdo al tratamiento. El sustrato de las diferentes macetas se regó a capacidad de campo y se llevó a cabo el trasplante de la plántula de lechuga, durante un periodo de 30 días se mantuvieron en condiciones de malla-sombra, durante este periodo a todas las plantas se les dio riego a capacidad de campo, durante este periodo no se aplicó ningún tipo de fertilizante, ya que se busca determinar en qué tratamiento la lechuga tiene el mejor desarrollo. Se realizaron muestreos cada tercer día de las variables: diámetro y altura del tallo, diámetro de cobertura, número de hojas, los componentes peso fresco de la planta, tallo y raíz, (longitud, volumen y peso seco), el área foliar, contenido de nitratos en las hojas estas fueron medidas hasta los 30 días después del trasplante. Las variables medidas en la plantas fueron: diámetro de tallo, con un vernier CALDI-6MP® (Truper Herramientas; México); el diámetro de cobertura, la altura de la planta y tallo, se midieron con una regla graduada, se contaron el número de hojas cada tercer día para ver el desarrollo de la lechuga en los diferentes tratamientos, al término del periodo de las evaluaciones la planta se cortó y se pesó para tomar el peso fresco de la parte aérea de la planta, luego se separaron las hojas y se hizo el conteo final del número total de hojas de cada repetición de los diferentes tratamientos. El Cuadro 3.1 Muestra las características del compost al momento de comenzar la investigación.

Cuadro 3.1. Características del compost utilizado en el desarrollo fenológico de la lechuga

Elemento	Método	Unidades	Base seca	Base húmeda
pH	NMX-FF-109-SCF1-2007		9.10	
Conductividad eléctrica	NMX-FF-109-SCF1-2007	dSm ⁻¹	12.2	
Nitrógeno total	Kjeldahl	%	1.65	
Fosforo (P ₂ O ₅)	Digestión húmeda/Espectrofotometría	%	1.48	
Potasio	Digestión húmeda/AA	%	3.31	
Calcio	Digestión húmeda/AA	%	1.76	
Magnesio	Digestión húmeda/AA	%	1.24	
Sodio	Digestión húmeda/AA	%	1.10	
Azufre	Digestión húmeda/Turbidimetría	%	0.23	
Hierro	Digestión húmeda/AA	%	0.65	
Cobre	Digestión húmeda/AA	mg/Kg	17.4	
Manganeso	Digestión húmeda/AA	mg/Kg	240	
Zinc	Digestión húmeda/AA	mg/Kg	127	
Boro	Calcinación/ Espectrofotometría	mg/Kg	24.9	
Cloro	Titulación con nitrato de plata	%	70.9	
N-NH ₄	Titulación con Formaldehido	%	0.31	
N-NH ₃	Ácido salicílico	mg/Kg	761	
DAP	Método de la probeta	g/cm ³	0.58	
Humedad	Método gravimétrico	%	31.9	46.9
Materia orgánica	Calcinación	%	45.9	67.5
Cenizas	Calcinación	%	54.1	79.5
C. Orgánico		%	26.6	39.2
Relación C/N	Base seca		10.9	16.0

En el tallo se midió el diámetro, la altura y el peso fresco y el peso seco, para esta variable se utilizó una báscula digital METTRIA con una capacidad de 1000 g x 0.1 g para el área foliar se utilizó un método destructivo al término de las evaluaciones y se midió con el medidor de área foliar LI – 3100C del laboratorio de microbiología, las hojas el tallo se metieron en bolsas de papel de estraza por separado y se llevaron a una estufa de aire forzado para tomar el peso seco, para la raíz se sacó de la maceta y se le retiro todo el sustrato una vez que estuvieron libres de sustrato se midió la longitud con una regla graduada. Para medir el volumen de raíz se colocó en una probeta graduada,

que contenía un volumen de agua conocido y por medio del agua desplazada de la probeta, se tomó el peso fresco de la raíz, se puso en bolsa de papel de estraza para llevarla a una estufa de aire forzado donde se colocaron a 60 °C durante 72 h para tomar el peso seco. Para medir la cantidad de nitratos en las hojas de lechuga se utilizó un medidor portable de Nitratos, se cortaron hojas de lechuga se hicieron pedacitos y se colocaron en una jeringa para extraer la savia y colocar una gota en el medidor y tomar la lectura en el instante de las distintas muestras, también se hicieron análisis de las propiedades físicas del sustrato de los diferentes tratamientos en los que fue trasplantada la lechuga, la porosidad total en porcentaje (PT%), porosidad de aireación en porcentaje (PA%), porosidad de retención de humedad en porcentaje (PRH%), estos se hicieron en el laboratorio de física de suelos del Colegio de Postgraduados por el método del permeámetro.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar donde se tuvieron cinco tratamientos con nueve repeticiones. Se analizaron los datos recabados, durante el periodo de evaluación, previa verificación de los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, se sometieron a análisis de varianza y prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) para la comparación de medias, con el programa SAS® 9.4.

3.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el tratamiento uno donde se tenía 100% de compost las plantas de lechuga se comenzaron a morir desde el tercer día del trasplante (Figuras 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7, 3.8, 3.9, 3.10, 3.11, 3.12) se puede observar que el menor desempeño para todas las variables fue en este tratamiento debido a la toxicidad por exceso de todos los nutrientes y esto también se debió a que la conductividad eléctrica observada en los sustratos donde se colocó la lechuga fue de 12.2 ds m^{-1} , un valor por encima de la tolerancia establecida para la lechuga por Maas (1994) y Ayers *et al.* (1951). La lechuga esta reportada como una especie moderadamente sensible a la salinidad, presenta un umbral de

tolerancia a la salinidad de 1.3 ds m^{-1} en pasta saturada del suelo, con un porcentaje de reducción de la producción de 13% por cada ds m^{-1} adicional (Maas, 1994). En estudios realizados en condiciones de campo en el Laboratorio de Salinidad de Estados Unidos, se determinó que la lechuga es una especie moderadamente sensible a la salinidad, a 1.3 ds m^{-1} (Ayers *et al.*, 1951). De Pascale y Barbieri (1995) determinaron que la lechuga puede llegar a bajar su rendimiento hasta en 50% en condiciones de CE de 11.4 ds m^{-1} en suelo. Mizrahi y Pasternak (1985) encontraron que en cultivos hortícolas irrigados con aguas a diferentes concentraciones de sal, disminuye la producción de los cultivos, pero también aumenta la calidad de los productos a costa de una vida pos cosecha más corta. Moderados niveles de salinidad pueden ser benéficos para los cultivos por aumentos en la calidad del fruto (Petersen *et al.*, 1998; Auerswald *et al.*, 1999) y también por la reducción del excesivo vigor vegetativo de los cultivos hortícolas usualmente observados durante los estados de crecimiento (Savvas y Lenz, 2000). Estudios realizados por Del Amor *et al.* (1998) para determinar el efecto de la salinidad y calidad del fruto en diferentes estados de crecimiento demostró disminuciones en el área foliar de las plantas tratadas, como la altura, el número total de nudos y la distancia entre nudos. El número de frutos y el peso de los frutos por planta fueron significativamente más bajos en plantas tratadas comparadas con los controles. Sin embargo se observó un incremento de los sólidos solubles totales, acidez y contenidos de azúcares en los frutos de las plantas tratadas. Pero en el caso específico de la lechuga, disminuye la producción más no aumenta la calidad del producto significativamente. No obstante, en resultados de estudios en campo en Israel, el rendimiento y la calidad de la lechuga no fueron afectados por la irrigación con aguas salinas hasta 4.4 ds m^{-1} (Pasternak *et al.*, 1986). Además, se encontró que diferentes tipos de lechuga fueron más significativos a la tolerancia a sales que otros, y que en la lechuga la tolerancia a la salinidad se incrementa con la edad (Shannon y Grieve, 1999).

Para las variables altura de planta, diámetro y altura de tallo, diámetro de cobertura, longitud de la raíz, volumen de la raíz peso fresco de la raíz y peso seco de la raíz el mejor tratamiento fue el cuatro, donde hubo una proporción de 25% compost y 75% perlita, mostró diferencia significativa para un (α 0.05) esto muestra que la composición del sustrato provee a la planta de lechuga mejores condiciones tanto químicas, físicas y biológicas, que permite un mejor desarrollo en la raíz y en consecuencia una mejor absorción nutrimental, diluyendo el efecto nocivo de la conductividad eléctrica y en las proporciones que se aplicó se hace un mejor aprovechamiento del compost, el tratamiento tres donde la composición del sustrato estuvo al 75% compost y el 25% perlita.

Para las variables altura de planta, diámetro y altura de tallo, diámetro de cobertura hubo un comportamiento semejante al del tratamiento cuatro, aunque las proporciones de la mezcla están invertidas esto favoreció una mayor disposición de nutrientes, permitiendo un mejor desarrollo de la planta en general, el tratamiento cuatro por las características de un mayor porcentaje de aireación permite un mejor desarrollo en la raíz lo que hace que la planta sea más eficiente para poder tomar los nutrientes disponibles que el sustrato le provee (Cuadro 3.2., Figuras. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5). La perlita es un aluminosilicato de origen volcánico, con propiedades semejantes a la arena. Llevada a una temperatura aproximada de 1,000°C se expande hasta 20 veces su volumen inicial, convirtiéndose en un sustrato de color blanco o grisáceo de baja densidad con excelentes propiedades en cuanto a retención de humedad.

La perlita se expande mucho para dar partículas livianas con orificios que retienen el aire. También se utiliza con frecuencia para la obtención de plántula. Por su facilidad de manejo y por sus excelentes resultados (Abad, 1997). La perlita cuenta con una superficie rugosa, lo que le proporciona una gran área superficial y le permite retener agua en su superficie; como su estructura celular es cerrada, el agua es retenida solo en la superficie o en los poros existentes entre las partículas, lo que permite que con bajas tensiones

pueda ser liberada; por lo tanto, las mezclas de materiales con elevada proporción de perlita están usualmente bien aireadas y no retienen cantidades considerables de agua, lo que permite una buena aireación (Florian; 1998).

Su principal ventaja como sustrato es la capacidad que presenta para mantener un perfil de humedad constante a lo largo de la zona radicular, así como su capacidad de aireación; estas características son las que permiten un buen desarrollo de la raíz, al distribuir mejor los nutrientes del compost, disminuir la conductividad eléctrica en la mezcla del compost con la perlita, sin embargo, esto no sucedió donde el compost se colocó puro, para el tratamiento donde las proporciones estuvieron al 50% compost/ 50% perlita mostró los mejores resultados para área foliar no existiendo diferencias significativas entre este y el tratamiento tres, también los mejores resultados fueron en peso fresco y seco de la planta y del tallo y área foliar presentaron un incremento progresivo a través del tiempo hasta alcanzar un máximo de 56.63 g peso fresco de planta (Figura 3.5) y 5.66 g peso seco de la planta (Figura 3.6) para peso fresco del tallo fue 3.36 g, y el peso seco de 3.17 g (Figura 3.7) y un área foliar máxima de 977 cm² para el tratamiento dos y para el tratamiento tres de 859 cm² (Figura 3.4). El crecimiento de las hojas depende de la masiva e irreversible expansión de células jóvenes, las cuales son producidas por la división celular en los tejidos meristemáticos. De este modo, el suministro de nutrientes podría afectar la tasa de crecimiento de las hojas por la inhibición de la tasa de producción y expansión de nuevas hojas (Neumann, 1997). El crecimiento de las plantas es un resultado directo de la intensiva división y expansión de células meristemáticas. La respuesta primaria en un principio está asociada con la tasa de transporte de nutrientes a los meristemas de los brotes apicales y con otros procesos en la planta que pueden resultar afectados por el incremento en la concentración de nutrientes dentro del tejido de crecimiento. Para la variable contenido de nitratos en las hojas de lechuga no hay diferencias significativas entre el (T1= 100% compost/0% perlita, T3= 75% compost/25% perlita, y T5= 80% compost/20% perlita) (Cuadro 3.3) estos tratamientos presentaron los contenidos más altos de ppm de nitratos

contenidos en las hojas, las proporciones mayores de compost se tenían en estos tratamientos, lo que indica que las plantas tenían mayor cantidad de nutrientes disponibles y acumularon mayor cantidad de nitratos en las hojas lo que no es beneficioso para los consumidores, sin embargo, los tratamientos (T2=50% compost/50% perlita, T4= 25% compost/75% perlita) mostraron los contenidos más bajos de nitratos lo que está dentro de un rango permitido para el consumo y la lechuga no llegó a la madurez comercial y que por ello se encontraron rangos muy elevados.

Cuadro 3.2. Propiedades físicas del sustrato utilizado en el desarrollo fenológico de la lechuga, porosidad total en porcentaje (PT%), porosidad de aireación en porcentaje (PA%), porosidad de retención de humedad en porcentaje (PRH%).

Tratamiento	PT%	PA%	PRH %
100/0	70.2 a	56.90 a	13.412 c
50/50	68.4 ab	32.744 b	35.502 b
75/25	69.5 ab	33.132 b	36.216 b
25/75	70.7 a	26.222 bc	44.222 ab
80/20	63.3 b	17.318 c	50.038 a

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, para un valor de $\alpha=0.05$)

Cuadro 3.3. Contenido de nitratos en las hojas de las plantas de lechuga crecidas en los diferentes tipos de sustratos

Tratamiento	NO₃
100/0	2700 a
50/50	1292.5 b
75/25	2450 a
25/75	407.5 c
80/20	2275 a

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, para un valor de $\alpha=0.05$)

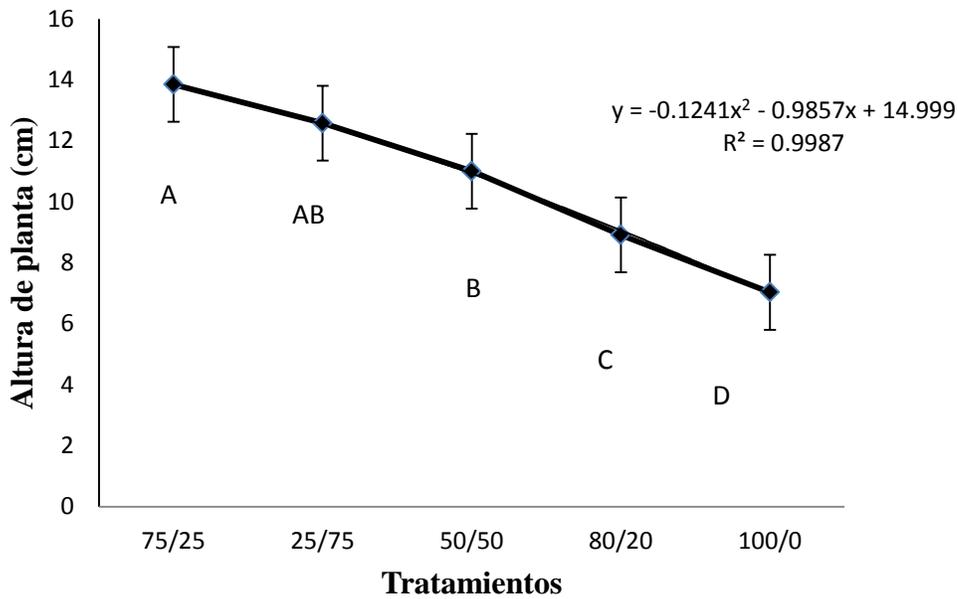


Figura 3.1. Altura de la planta de lechuga en cm. (ALTDEPLAN) a los treinta días después del trasplante en los diferentes tratamientos de lechuga (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

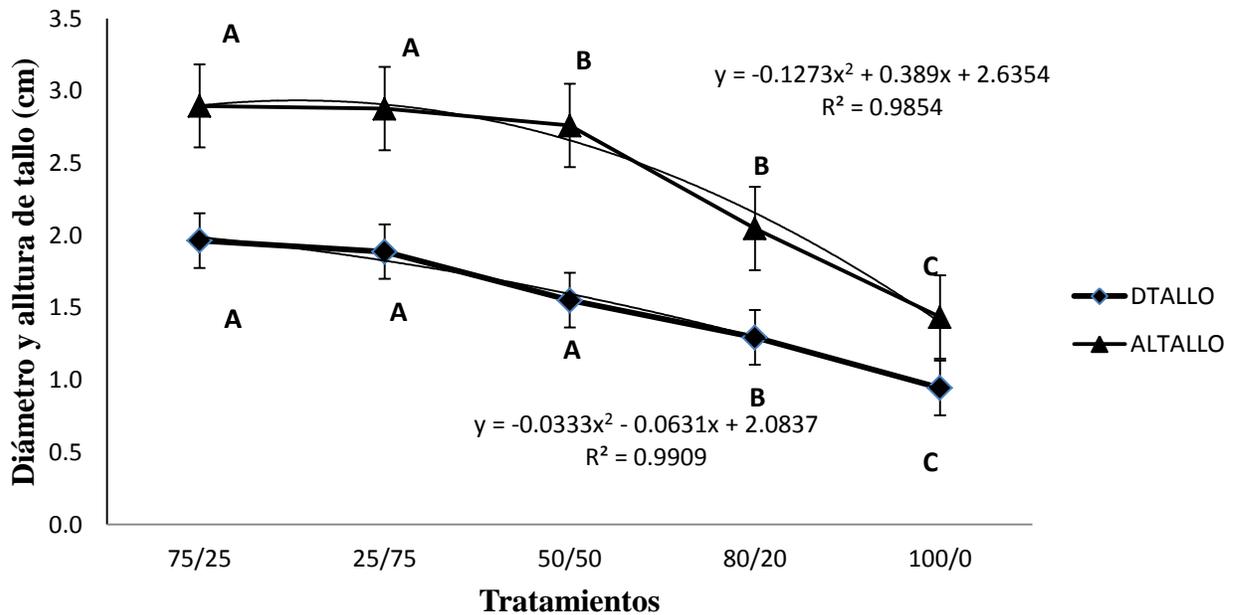


Figura 3.2. Diámetro y altura del tallo cm. en lechuga, de los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

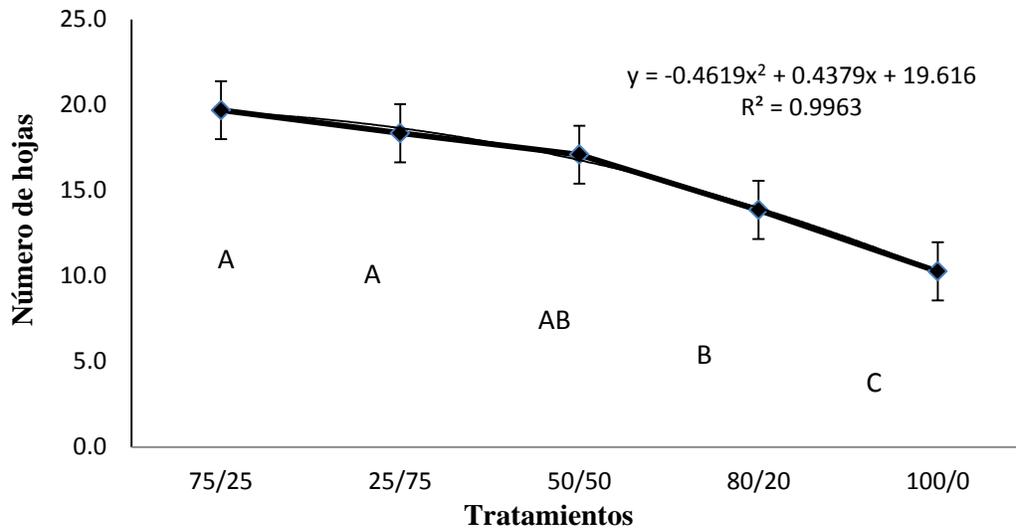


Figura 3.3. Medias de número de hojas de lechuga en los diferentes tratamientos. (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

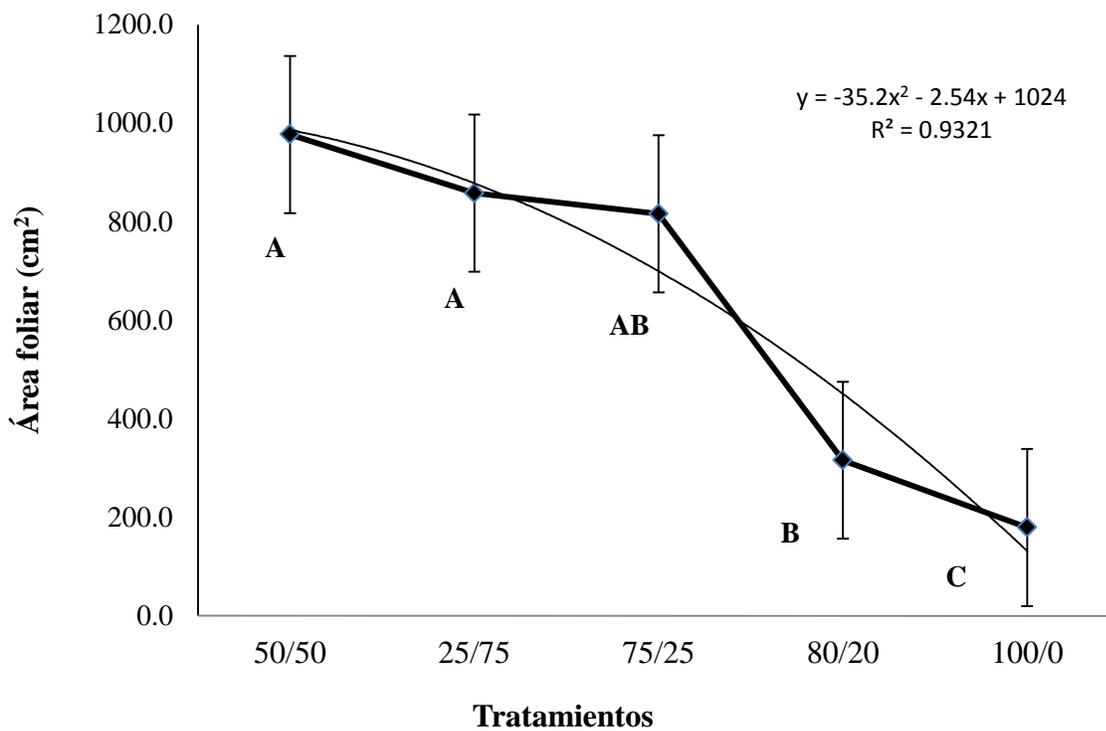


Figura 3.4. Medias del área foliar en lechuga en los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

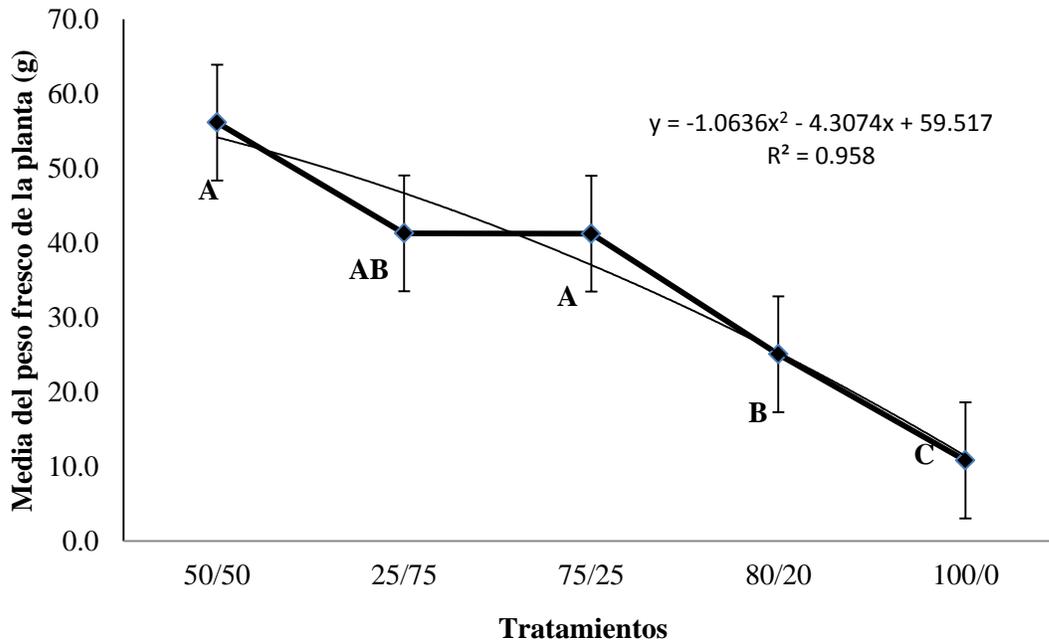


Figura 3.5. Medias del peso fresco g de la planta de lechuga (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

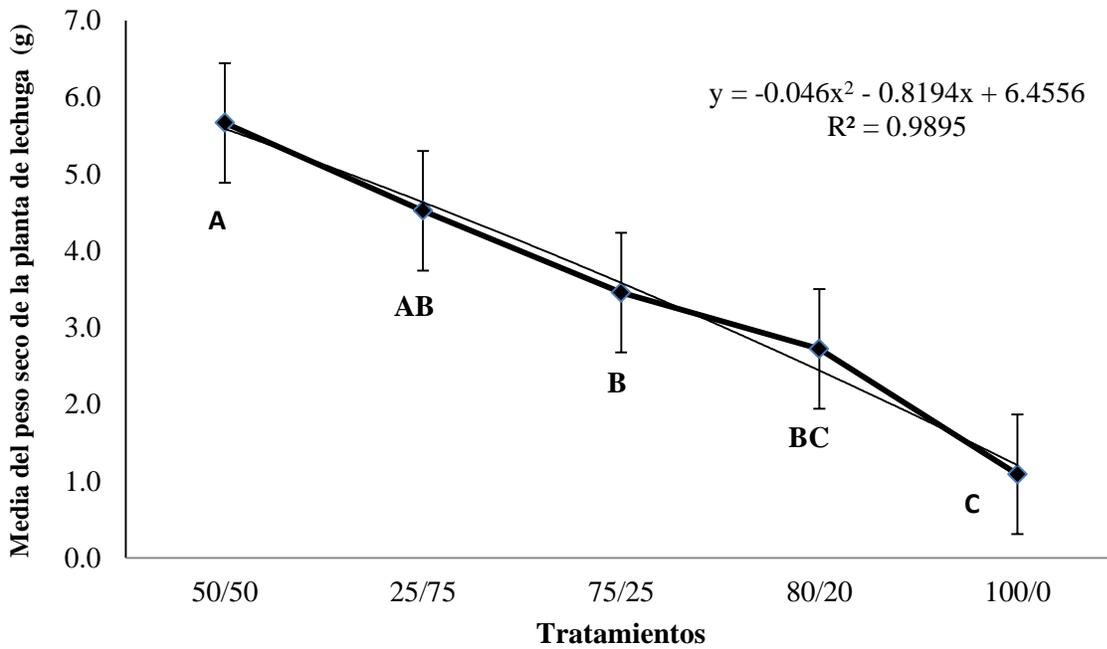


Figura 3.6. Peso seco de la planta de lechuga en los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

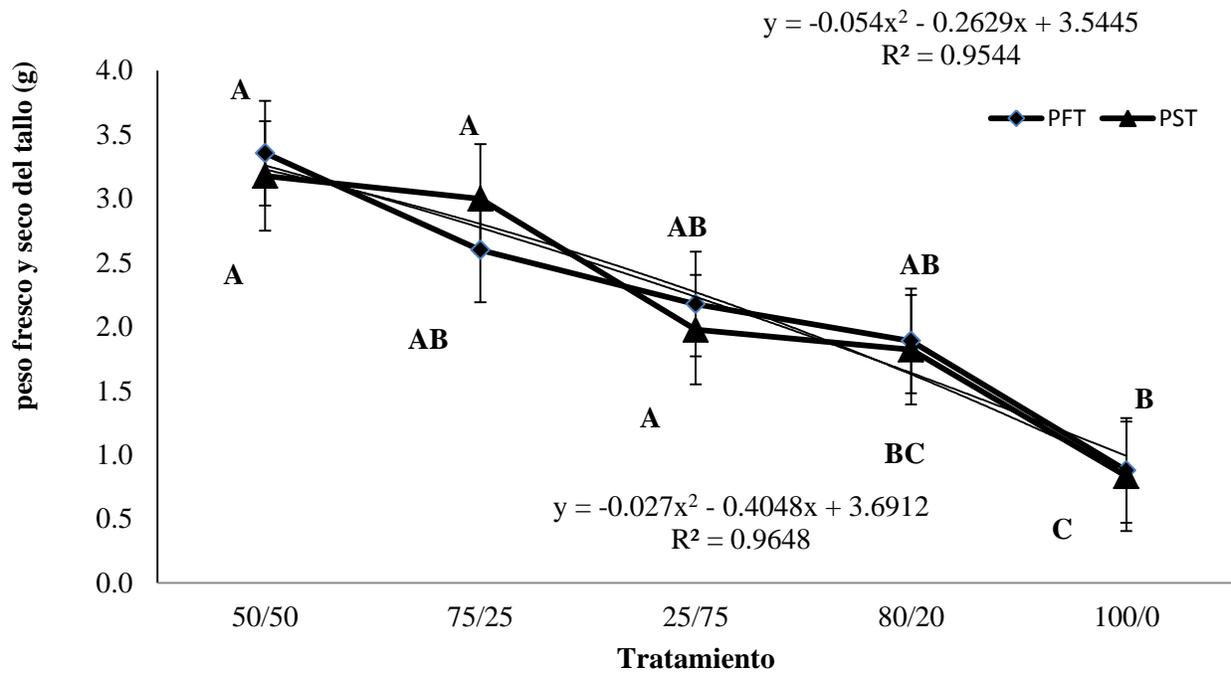


Figura 3.7. Medias del peso fresco y seco del tallo de la planta de lechuga g de los diferentes tratamientos. (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

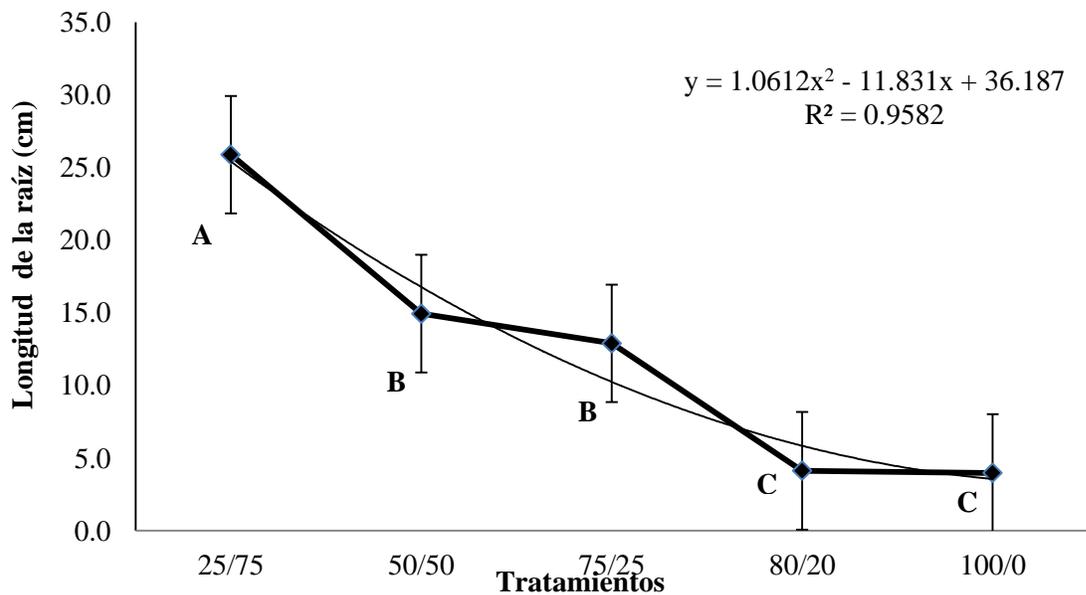


Figura 3.8. Medias de longitud de raíz en la planta de lechuga cm. de los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

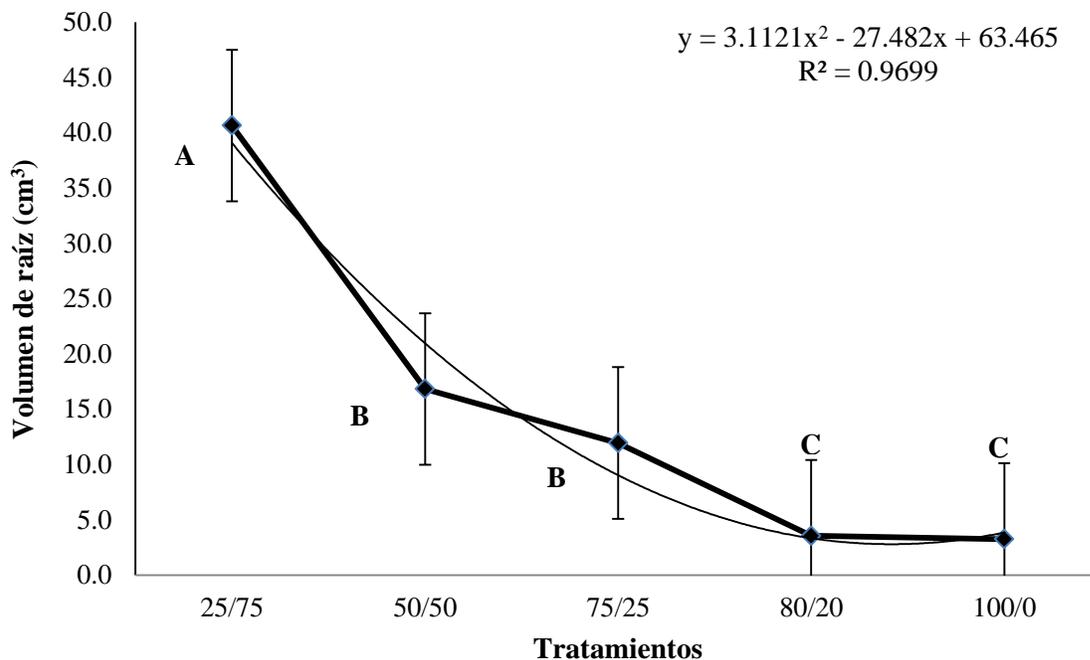


Figura 3.9. Medias de volumen de raíz en la planta de lechuga cm³. En los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

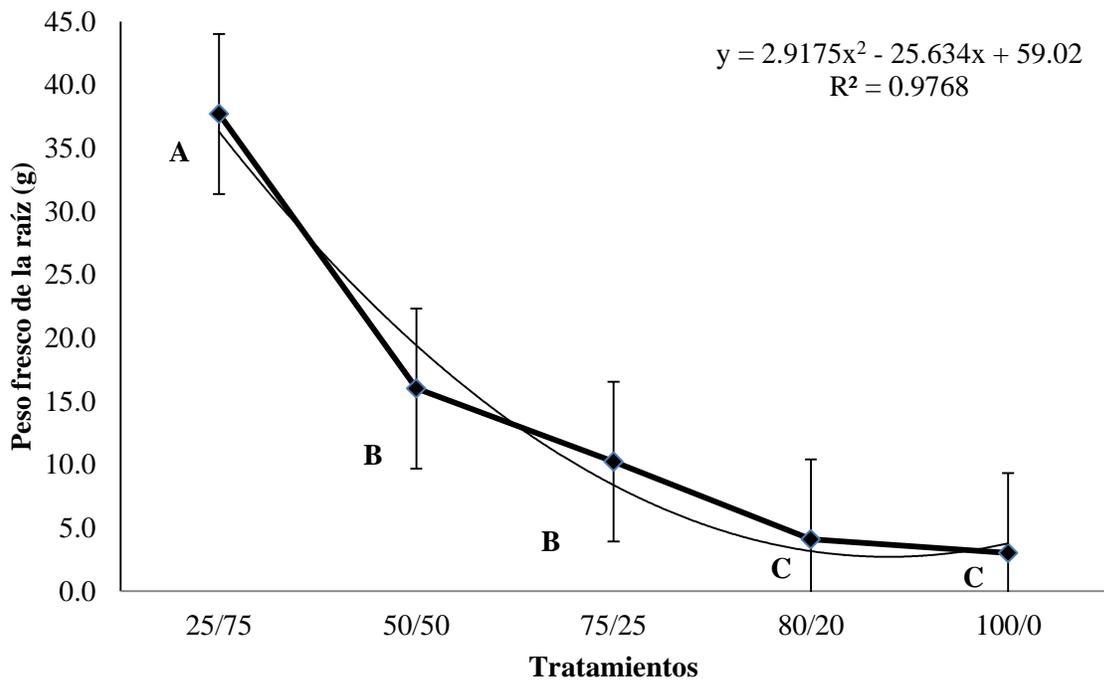


Figura 3.10. Medias de peso fresco de raíz en la planta de lechuga g de los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

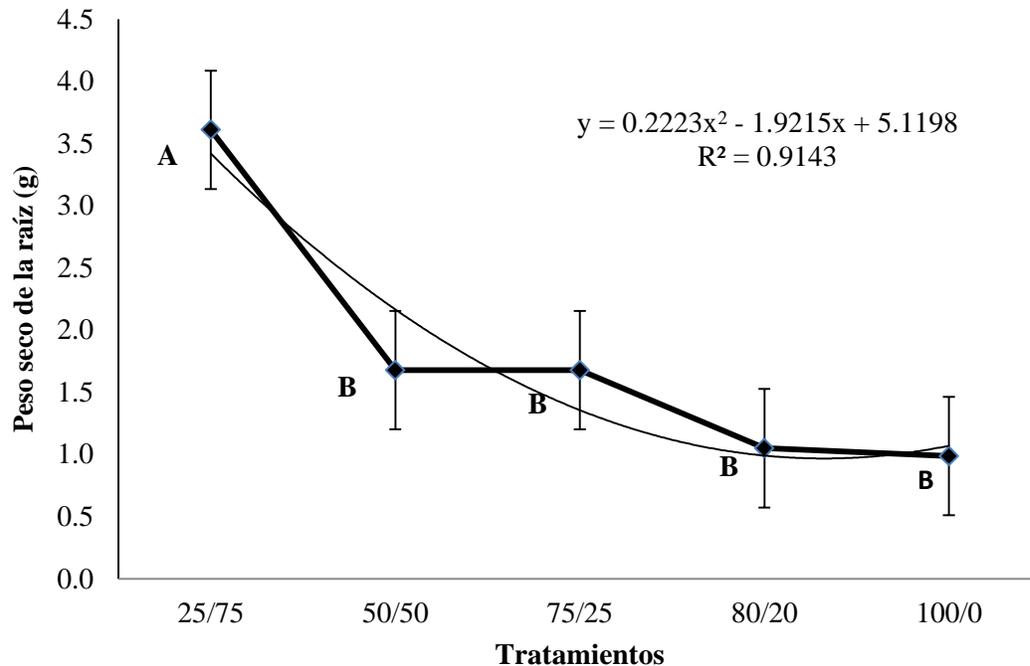


Figura 3.11. Medias de peso seco de raíz en la planta de lechuga en g de los diferentes tratamientos (75/25, 25/75, 50/50, 80/20, 100/0 compost/perlita).

3.4. CONCLUSIONES

- La mezcla de compost al 25% y la perlita al 75% mejoró el desarrollo fenológico de la lechuga acortando su ciclo al tiempo de cosecha.
- Los mejores resultados se obtuvieron en la proporción del 25% compost 75% perlita.
- El compost es una alternativa de nutrición en la producción de lechuga y cuando se mezcla con otro sustrato (25% compost + 75 perlita) para mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas del sustrato.
- Los productos obtenidos del compostaje mezclados con perlita mostraron mejor desempeño en la nutrición de la lechuga que cuando se coloca por ciento compost.

3.5. LITERATURA CONSULTADA

- Abad, M. 1997. Sustratos: propiedades y manejo de materiales orgánicos, minerales y sintéticos inertes y activos. Hidroponía. Una esperanza para Latinoamérica. Curso Taller Internacional de Hidroponía, Lima-Perú, 25-29 Marzo 1996. Ed. Alfredo Rodríguez Delfin.
- Ansorena, M. 1994. Sustratos propiedades y caracterización. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Babenko, A.; Cannon, J.; Galvis, P.; Metzger, J. D. 2008. Influences of vermicompost, produced by earthworms and microorganisms from cattle manure, food waste and paper waste, on the germination, growth and flowering of petunias in the greenhouse, *Applied Soil Ecology*, vol. 39, no. 1, pp. 91-99.
- Arancon, N. Q.; Edwards, C. A.; Dick, R.; Dick, L. 2007, "Vermicompost tea production and plant growth impacts", *Biocycle*, vol. 48, no. 11, pp. 51-52.
- Auerswald, H.; Schwarz, D.; Kornelson, C.; Krumbein, A.; Brukner, B. 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Scientia Hort.* 82, 227-242.
- Ayers, A. D.; Wadleigh, C. H.; Bernstein, L. 1951. Salt tolerance of six varieties of lettuce. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 57, 237-242.
- Azarmi, R.; Giglou, M. T.; Hajieghrari, B. 2009. "The effect of sheep-manure vermicompost on quantitative and qualitative properties of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in the greenhouse, *African Journal of Biotechnology*, vol. 8, no. 19, pp. 4953-4957.
- Azarmi, R.; Giglou, M. T.; Taleshmikail, R. D. 2008, Influence of vermicompost on soil chemical and physical properties in tomato (*Lycopersicum esculentum*) field, *African Journal of Biotechnology*, vol. 7, no. 14, pp. 2397-2401.
- Babaj, I.; Kaçiu, S.; Sallaku, G.; Balliu, A. 2009. The influence of different substrate composition on growth parameters and dry mass partitioning of cucumber (*Cucumis sativum* L.) seedlings. *Acta Hort.* (ISHS) 830:419-424 http://www.actahort.org/books/830/830_59.htm
- Baishya, L. K.; Kumar, M.; Ghosh, D. C. 2010. Effect of different proportion of organic and inorganic nutrients on productivity and profitability of potato (*Solanum tuberosum*) varieties in Meghalaya hills, *Indian Journal of Agronomy*, vol. 55, no. 3, pp. 230-234.
- De Pascale, S. and Barbieri, G. 1995. Effects of soil salinity from longterm irrigation with saline-sodic water on yield and quality of winter vegetable crops. *Scientia Hort.* 64, 145-157.
- Del Amor, F. M.; Carvajal, M.; Martínez, V.; Cerda, A. 1998. Response of muskmelon plants (*Cucumis melo* L.) to irrigation with saline water. *Acta Hort.* 456, 263-268.

- Florian, P. 1998. Sustratos: propiedades, ventajas y desventajas. Hidroponía comercial. Una buena opción en agronegocios. Conferencia Internacional 6-8 Agosto 1998. Lima-Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Centro de Investigación de hidroponía y nutrición mineral. Hydroponic Society of America. Ed. Alfredo Rodríguez Delfin.
- INEGI. 2007. Panorama agropecuario en Oaxaca. Censo agropecuario 2007. http://www.inegi.org.mx/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/censos/agropecuario/2007/panora_agrop/oax/PanagroOax3.pdf
- Maas, E. V. 1994. Testing crops for salinity tolerance. Salinity Laboratory U.S., USDA-ARS, Riverside, CA.
- Mizrahi, Y. y D. Pasternak. 1985. Effect of salinity of various agricultural crops. *Plant Soil* 89, 301-307.
- Neumann, P. 1997. Salinity resistance and plant growth revisited. *Plant Cell Environ.* 20, 1193-1198.
- Pasternak, D.; De Malach, Y.; Borovic, I.; Shram, M.; Aviram, C. 1986. Irrigation with brackish water under desert conditions. IV. Salt tolerance studies with lettuce (*Lactuca sativa* L.). *Agric. Water Mgt.* 11, 303-311.
- Petersen, K. K.; Willumsen, J.; Kaack, K. 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73(2), 205-215.
- Savvas, D. and Lenz, F. 2000. Response of eggplants grown in recirculating nutrient solution to salinity imposed prior to the start of harvesting. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 75(3), 262-267.
- Shannon, M. C. and Grieve, C. M. 1999. Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia Hort.* 78, 5-38.
- Walkley, A. and Black, I. A. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the chromic acid titration method. *Soil Sci.* 37: 29-38.

CAPÍTULO IV GENERACIÓN DE UN INOCULANTE ACELERADOR DEL COMPOSTAJE

RESUMEN

Una mezcla de estiércol de ovino con paja de avena fue sometida a un proceso de compostaje, utilizando el método de apilamiento con volteos al aire libre. La investigación se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo Estado de México. Con la finalidad de extraer y evaluar un inóculo de las fases del proceso de compostaje que reduzca el tiempo de biotransformación en compost del estiércol de ovino. Se obtuvieron cinco muestras, cada una de diferentes fases del proceso del compostaje, éstas se conservaron en un ultra congelador, después se liofilizaron para obtener el inóculo que se agregó a los tratamientos en la segunda fase experimental. Se establecieron seis tratamientos con tres repeticiones, uno contenía solo el material original (paja de avena y estiércol de ovino) y el resto de los tratamientos se les adiciono 50 g de inóculo de 18, 23, 28, 33 y 38 días después de iniciado el proceso de compostaje. Se instalaron en una cámara donde se mantuvo la humedad y temperatura controlada. A la par se colocaron frascos con material de los diferentes tratamientos para medir la producción diaria y acumulación de CO₂ en mg. Se midió temperatura, pH, C.E, materia orgánica, nitrógeno y carbono total, la relación C:N, tamaño de partícula, densidad aparente. La variable producción de CO₂ mostró diferencia significativa para ($P \leq 0.05$), demuestra que el inóculo acelero la dinámica de los microorganismos, reduciendo el tiempo del compostaje. La calidad del compost y la madurez se garantiza a medida que disminuye la cantidad de CO₂, ya que el abono orgánico presenta diferentes etapas de biotransformación.

Palabras clave: Mineralización, madurez, Compost, CO₂, Biotransformación, Residuos orgánicos

CHAPTER IV GENERATION OF AN INOCULANT, COMPOST ACCELERATOR SUMMARY

A mixture of sheep with oat straw manure was subjected to a process of composting, using the method of stacking with Volt air free. The research was held at the College of Postgraduados Campus Montecillo State of Mexico. In order to extract and evaluate an inoculum of the phases of the process of composting that reduces time of biotransformation in sheep manure compost, obtained five samples, each of different phases of the process of composting, are they kept in a ultra freezer, they then lyophilized to obtain inoculum that was added to the second experimental treatments six treatments with three replications, settled one contained only the original material (OAT straw and manure of sheep) and the rest of the treatments are added the inoculum of the different phases of the process of composting, were placed in a Chamber where it was kept the humidity and temperature controlled, while jars of material of different treatments were placed to measure daily production and accumulation of CO₂ in mg. Measured temperature, pH, C.E, organic matter, nitrogen and total carbon, particle size, bulk density, the ratio. The variable production of CO₂ showed significant differences ($P \leq 0.05$) for, shows inoculum to speed up the dynamics of micro-organisms, reducing the time of composting, the quality of the compost and the maturity is guaranteed as it decreases the amount of CO₂, since organic manure has different stages of biotransformation.

Key words: mineralization, maturity, Compost, CO₂, biotransformation, organic waste

4.1. INTRODUCCIÓN

La importancia de los microorganismos y sus actividades en el proceso de compostaje no finaliza una vez que se ha obtenido el compost. A pesar de que el compost es un producto biológicamente estable, contiene una serie de compuestos microbianos que lo hacen un producto de elevada calidad para su utilización en agricultura o como agente soporte para procesos de biorremediación mediante biofiltros. Estos constituyentes pueden además ser extraídos a partir del compost y ser utilizados para distintas finalidades como por ejemplo volver a darle vida a un suelo que está muerto, árido que no produce porque ha sido invadido por contaminantes, desde basura hasta sustancias tóxicas. En este sentido se ha sugerido la obtención de extractos acuosos, también denominados tés de compost, o el aislamiento de microorganismos tales como antagonistas microbianos o microorganismos lignocelulolíticos que tienen un amplio rango de aplicaciones (Moreno *et al.*, 2013)

La utilización de (inoculos) preparados microbiales como aceleradores de la degradación de materia orgánica en el compostaje es una práctica que ha sido implementada en diversos sistemas agropecuarios alrededor del mundo. Incluso existen diversas marcas comerciales registradas como el EM® las cuales se venden a nivel internacional para acelerar procesos de compostaje y reducir los problemas de mal olor en sistemas agropecuarios o en el manejo de desechos orgánicos en general (Ferrer *et al.*, 2010).

En la actualidad, se generan gran cantidad de residuos sólidos urbanos y otros son originados por las granjas de producción animal, hace necesario su tratamiento (Profepa, Semarnat, 2010). El compostaje es un método eficiente en la eliminación de estos residuos, permite el aprovechamiento del producto final (Zhu, 2000). Este proceso tiene una duración variable, ya que está relacionado con el origen de los residuos, el tamaño de partícula, disposición de la pila, aireación, humedad y población biológica activa, el período de

transformación es cercano a 170 días, e implica la acumulación de gran cantidad de material en las plantas de compostaje (Zhu, 2000). Por lo que es necesario buscar alternativas como la generación de un inoculante que sea capaz de reducir el tiempo del proceso del compostaje, y de esta manera evitar la acumulación de materiales que llegan a ser contaminantes del ambiente o generadores de moscas. El estiércol es un problema para las granjas, ya que mal manejado es fuente de contaminación dentro y fuera de las unidades de producción los gases tóxicos que genera, como el metano (CH_4), tiene un efecto invernadero y los efluentes que se lixivian causan la contaminación de los mantos freáticos con nitratos (NO_3), son mayores en los sistemas de producción animal en condiciones de estabulación (Zhu, 2000). El inóculo microbiano debe garantizar la constitución de agregados significativos en número para producir una bioaumentación y la reducción del tiempo de formación y maduración del compost (De Carlo *et al.*, 2001). Por lo anterior el presente trabajo se planteó, extraer y evaluar un inóculo de las diferentes fases del proceso de compostaje que reduzca el tiempo de biotransformación en compost del estiércol de ovino.

En el campo de inóculos o aceleradores microbiológicos se ha venido desarrollando un tipo de producto casero denominado “Microorganismos de Montaña Activados” (MMA). El principio de preparación y de multiplicación de este tipo de inóculo es sencillo, convirtiéndolo en una herramienta utilizada en múltiples sistemas agroproductivos y de manejo de desechos orgánicos. En este caso se busca la producción de un inóculo que se ha recolectado de las diferentes fases del proceso del compostaje y que en cada una de ellas se encuentra el pool de microorganismos que degradan las sustancias contenidas en los sustratos en el proceso del compostaje para posteriormente colocarlos en un determinado medio que proporcione una elevada y diversa calidad nutricional para su multiplicación y posterior utilización como inóculo. Estos sustratos preparados para albergar los microorganismos presentan diferentes nichos ecológicos donde puedan establecerse y multiplicarse de manera acelerada las unidades formadoras de colonias (UFC) de las múltiples especies de microorganismos (Vargas *et al.*, 2007) La introducción de este producto en

las pilas demostró la eficacia del producto acelerador observándose un incremento en la temperatura y multiplicando las (UFC). El inóculo por lo tanto tuvo éxito en el compostaje debido a la aceleración del proceso. Es importante generar este tipo de inóculos ya que el planeta lo pide a gritos cada día se justifica este tipo de investigaciones ya que las toneladas de residuos orgánicos cada día nos superan, “La ciencia sabe ahora que el más fértil y efectivo abono es el abono generado a partir de los desechos orgánicos, China es un país que por mil años ha utilizado todo tipo de desechos orgánicos incluyendo los de origen humano y no tiene suelos erosionados sus suelos siguen tan jóvenes incluso como si fueran vírgenes (Vivas *et al.*, 2009).

Raut *et al.* (2007) llevaron a cabo una investigación para determinar la dinámica microbiana y las actividades enzimáticas durante el compostaje rápido de residuos sólidos urbanos. Diversos tratamientos como la aireación, la adición de agentes químicos como glucosa y ácido acético, así como la aplicación de un inóculo microbiano especializado en la degradación de celulosa (*Phanerochaete chrysosporium* y *Trichoderma reesei*) fueron utilizados para facilitar la descomposición de los residuos orgánicos sólidos urbanos. El resultado de la investigación reveló que la degradación de sustratos orgánicos fue acelerada (dentro de 9 a 12 días) alcanzando una relación C/N por debajo de 20. El compostaje normal tardó más de 20 días para alcanzar la relación C/N por debajo de 20. Otro tipo de investigación realizada sobre inóculos microbianos en el proceso de compostaje fue realizada por Shiho *et al.* (2008) la cual presenta una perspectiva *sui generis* en cuanto al objetivo de su investigación. Shiho *et al.* (2008) plantearon como objetivo del estudio investigar el destino de los microorganismos inoculados procedentes de productos comerciales en composteras. Lo anterior se lograría mediante el uso de métodos de cultivo así como en un análisis de ADN. Dentro de los resultados obtenidos señala que ninguna de las especies microbianas identificadas en las diferentes etapas del compostaje correspondió a los microorganismos identificados en el inóculo comercial evaluado, ya sea por el

método de cultivo o por el análisis de ADN. Los resultados en lo que respecta a los microorganismos predominantes en el inóculo evaluado no corresponden con los detectados en los procesos de compostaje. Además no se hallaron pruebas de que las especies predominantes en el inóculo pudieran llegar a ser dominantes en el proceso de compostaje, sin embargo, Shiho *et al.* (2008) señala que algunos microorganismos que se detectaron en el inóculo podrían actuar eficazmente en la degradación de materia orgánica y por consiguiente en el proceso de compostaje.

En cuanto a investigaciones realizadas sobre inóculos bien caracterizados biológicamente Vargas *et al.* (2007) utilizaron tres cepas microbianas: *Bacillus shackletonni*, *Streptomyces thermovulgaris* y *Ureibacillus thermosphaericus* las cuales fueron probadas en aras de determinar su potencialidad para mejorar la degradación de la lignocelulosa en los procesos de compostaje. Se utilizaron diferentes residuos de la agricultura como materia prima para conformar las pilas de compost: residuos de plantas de pimienta como componente principal y de forma suplementaria residuos de un molino aceite de oliva, cáscara de almendra, residuos de poda y paja de arroz. La investigación en cuestión determinó una mayor eficacia en la degradación de la lignina por parte de *U. thermosphaericus*, ya que se determinaron concentraciones más bajas de este polímero en las pilas de compost inoculadas frente a los otros tratamientos. La investigación destaca que *U. thermosphaericus* fue el microorganismo más eficiente desde la inoculación ya que redujo el contenido de lignina en un rango superior al de los otros tratamientos. De esta forma se concluyó que el proceso de compostaje puede ser mejoradas por medio de la inoculación si los microorganismos utilizados para este fin son los adecuados.

Además Vargas *et al.* (2007) concluyen que la utilidad de la inoculación en el compostaje depende de las condiciones en las que el proceso se lleva a cabo, en particular la interacción entre las características de las materias primas y del inoculante.

La implementación de inóculos microbianos para mejorar los procesos de compostaje ha sido un tema controversial. Algunas investigaciones describen la ausencia completa de los efectos de este tipo de tratamiento (Vargas *et al.*, 2007) mientras que otros comentan mejorías en el proceso de compostaje (Raut *et al.*, 2007). Esta importante discusión sobre los inóculos microbiológicos y su impacto en la degradación de la materia orgánica plantean un importante horizonte para la investigación Finalmente es necesario citar una frase muy atinada “Los Inóculos pueden ser una herramienta útil en los procesos de compostaje siempre y cuando la capacidad de los microorganismos sea la adecuada a las características de los residuos que se vayan a utilizar” (Vargas *et al.*, 2007).

4.2. MATERIALES Y METÓDOS

El experimento se llevó a cabo en el Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Estado de México, una mezcla de estiércol de ovino con paja de avena fue sometida a un proceso de compostaje, utilizando el método de apilamiento con volteos al aire libre (Figura 4.1). La investigación se realizó con la finalidad de extraer y evaluar un inóculo de las diferentes fases del proceso de compostaje que reduzca el tiempo de biotransformación en compost del estiércol de ovino, a los 18 días se hizo el primer muestreo, en donde se tomaron cinco puntos y se recolecto una muestra de cada uno, se unieron para formar una muestra compuesta homogénea, se realizaron cinco muestreos en total, obteniéndose una muestra compuesta de cada fase del proceso. Estas se conservaron en un ultra- congelador vertical (-86°C) marca Sanyo MDF-U76VC-PA, 25.7 pies/518 litros, después cada una se liofilizo (Figura 4.2), la liofilización es un proceso en el que se congela el producto y posteriormente se introduce en una cámara de vacío para realizar la separación del agua por sublimación. De esta manera se elimina el agua desde el estado sólido al gaseoso del ambiente sin pasar por el estado líquido. Para acelerar el proceso se utilizan ciclos de congelación-sublimación con los que se consigue eliminar

prácticamente la totalidad del agua libre contenida en el producto original, pero preservando la estructura molecular de la sustancia liofilizada. Se utilizó un liofilizador Labconco freeze Dry- System/lyph Lock 4.5 para obtener el inóculo que se agregó a los tratamientos en una segunda fase experimental, para este se establecieron seis tratamientos con tres repeticiones, T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje, se mezcló el inóculo con la paja y el estiércol y se agregó un litro de agua hasta obtener una mezcla homogénea, después se colocaron en charolas con capacidad de 2 Kg, se pasaron a una cámara de ambiente controlado para mantener la humedad y temperatura controlada durante el proceso, al mismo tiempo se colocaron frascos con material de los diferentes tratamientos para medir la producción diaria y acumulación de CO₂ en mg, la temperatura se registró diariamente utilizando termómetros de reloj (Figura 4.3), para el pH, C.E, al final del proceso el compost se secó en la estufa de aire forzado para llevarlo a peso constante y luego se molió para facilitar el manejo de las muestras y lograr mayor homogeneidad. En el laboratorio se determinó el porcentaje de nitrógeno total con el método de Microkjeldahl (Bremer, 1965), (porcentaje de materia orgánica, carbono total), la relación C:N, el tamaño de partícula por medio de los tamices, la densidad aparente, pH y la conductividad eléctrica se determinaron durante el proceso (inicio, en la fase intermedia y al final del proceso), en la determinación de pH se utilizó una relación de 1:2 H₂O, en el caso de la conductividad eléctrica (CE) la relación fue 1:5 H₂O y fue determinada en mmhos/cm dSm⁻¹, Una vez terminados los análisis de laboratorio mediante los resultados se determinó cuáles fueron los mejores tratamientos, y decidir cuál de los inóculos de las diferentes fases del proceso fue el que redujo el tiempo de biotransformación.

El análisis estadístico para las variables respuesta, producción diaria de CO₂ mg, CO₂ mg, acumulado, densidad aparente, porcentaje de tamaño de partícula, relación C:N, (porcentaje de nitrógeno total, carbono orgánico, materia orgánica, conductividad eléctrica y pH, se analizaron mediante el paquete SAS[®], se les aplicó el análisis de varianza, la prueba de medias de Tukey con un $\alpha=0.05$ con el fin de detectar las diferencias significativas entre los resultados obtenidos para cada tratamiento.



Figura 4.1. Proceso de compostaje donde se recolectaron las muestras para la liofilización.



Figura 4.2. Liofilizado de la muestras de la diferentes fases del proceso de compostaje.

4.3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Figura 4.6. Se puede observar que la mineralización se puede determinar por medio de la tasa de liberación de CO₂ y donde el tratamiento T5= (paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje) mostró la mejor actividad, acelerando con esto el proceso y por consecuencia redujo el tiempo de compostaje, obteniendo un compost en menor tiempo lo cual también manifiesta que los microorganismos segregan un conjunto de enzimas que degradan los componentes existente. Partiendo de materia orgánica fresca se presenta una etapa muy activa, que corresponde a la liberación de materiales orgánicos lábiles (azúcares, amino-azúcares, aminoácidos y ácidos orgánicos), seguida de una segunda etapa en la que la actividad biológica es decreciente. En ella se quedan los materiales recalitrantes (Acosta *et al.*, 2006). La velocidad o tasa de mineralización de la materia orgánica expresa el porcentaje de carbono inicial que se mineraliza en un periodo de tiempo determinado; además, la mineralización constituye un indicador de la actividad biológica en un medio dado (Christensen *et al.*, 2009).

Figura 4.7. A medida que avanzó el proceso el compost tuvo un decremento en la producción del C-CO₂. Tal comportamiento puede explicarse por una menor cantidad de carbono disponible para los microorganismos debido al mayor grado de estabilidad que alcanzó el compost ya que durante el proceso de compostaje, los microorganismos rompen la materia orgánica y producen CO₂, agua, humus, el producto orgánico final más estable y calor (Clemente y Bernal 2006).

La tasa de mineralización relativa depende de la acumulación de carbono en el tiempo. Figura 4.8. Para las variables producción de CO₂ el tratamiento cinco y dos mostraron diferencias significativas para ($P = 0.05$) esto muestra que el inóculo tuvo una dinámica que mantuvo activos los microorganismos reduciendo el tiempo del compostaje, a medida que la actividad de los microorganismos es mayor, la acumulación de CO₂ es mayor, la calidad del compost y la madurez se garantiza a medida que disminuye la cantidad de CO₂,

lo cual se puede atribuir a que el abono orgánico presenta diferentes etapas de descomposición, los microorganismos respiran continuamente y la tasa de respiración es un índice confiable de la tasa de crecimiento. Los factores que afectan el crecimiento también influyen en la respiración en el mismo grado.

Las tasas de descomposición y liberación de los nutrientes están determinadas por la calidad de la materia orgánica. La calidad del material utilizado es definida por los constituyentes orgánicos y los contenidos de nutrientes. La calidad del carbono de un material orgánico depende de las proporciones del carbón soluble, la celulosa (hemicelulosa) y la lignina; en este caso la calidad se refiere a la energía disponible para los organismos descomponedores (Sánchez *et al.*, 2008). (Figura 4.9, 4.10, 4.11, 4.12, 4.13, 4.14) Para el resto de las variables no mostraron diferencias. Los resultados obtenidos indicaron que el contenido de materia orgánica, nitrógeno total, pH, C.E, el tamaño de la partícula, densidad aparente, el carbono orgánico, CO, afecta la mayoría de las propiedades químicas, físicas y biológicas del compost vinculadas con su: 1) calidad (Carter, 2002, Wander *et al.*, 2002), 2) sustentabilidad de cultivos cuando es mezclado con otros sustratos (Carter, 2002, Acevedo y Martínez, 2003) y 3) capacidad productiva (Sánchez *et al.*, 2004, Bauer y Black, 1994) por lo que en un buen manejo permitiría sustentabilidad que debe mantenerse o aumentarse. Todas estas propiedades del compost favorecen el desarrollo de los cultivos, la activación de los suelos degradados. El hombre en busca de satisfacer sus necesidades de supervivencia principalmente, altera el equilibrio dinámico provocando condiciones menos propicias para los microorganismos, implantando cultivares para beneficio propio, rompiendo con ello la simbiosis existente, afectando la propiedades físicas, químicas y ambientales, que sin duda alguna restringen el crecimiento y desarrollo de lo simbiotes.

La biomasa microbiana es altamente sensible a los cambios físicos, químicos y ambientales que provocan variaciones en su tamaño y diversidad. Para alcanzar altos rendimientos en la en los cultivos, es necesario primero crear la biomasa microbiana del suelo, suministrando las fuentes necesarias de

energía y nutrimentos apropiados y a la vez crearle un ambiente más estable de temperatura y humedad.

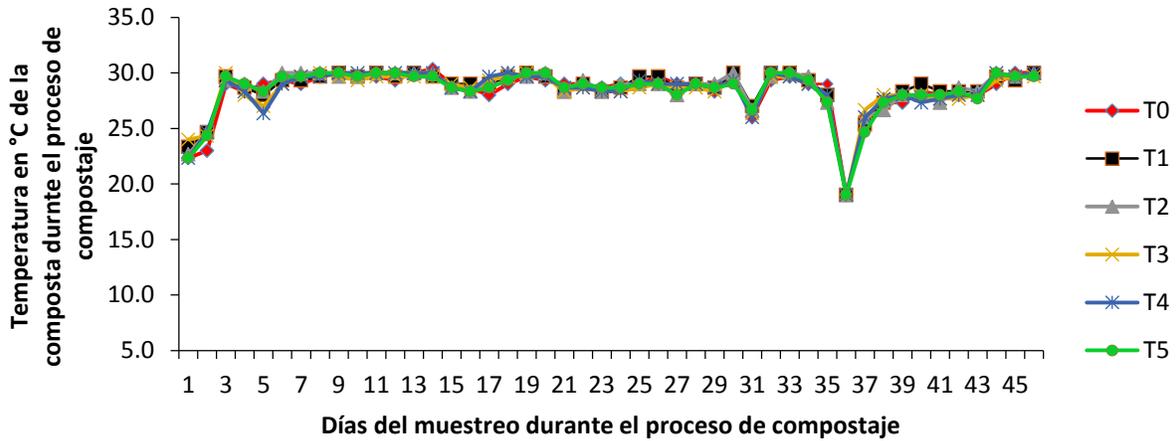


Figura 4.3. Temperatura durante el proceso del compostaje de los tratamientos inoculados donde: T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

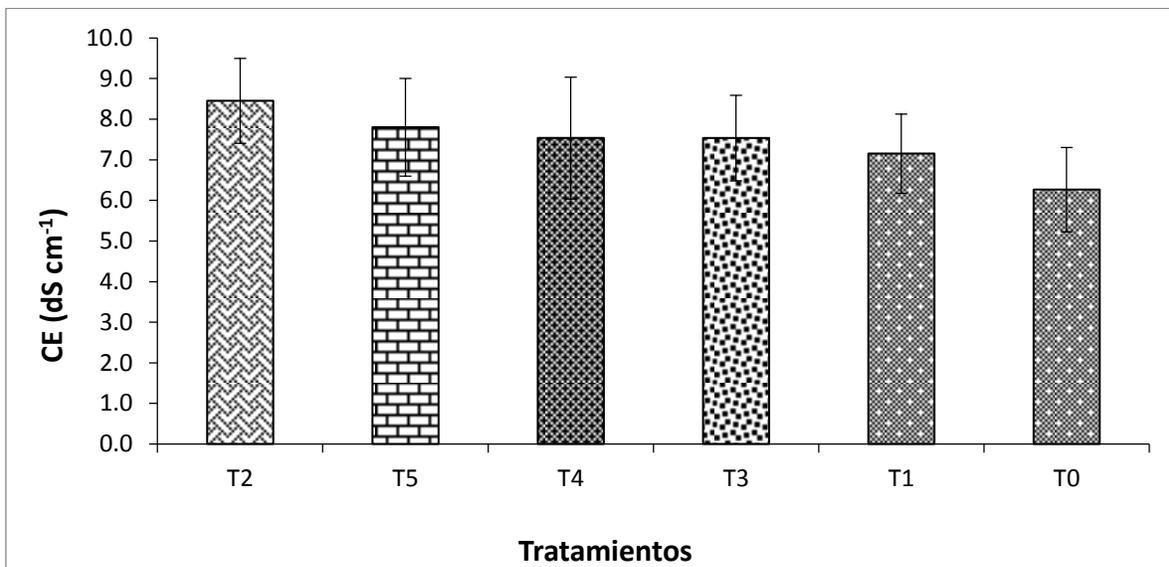


Figura 4.4. Media de la CE durante el proceso de compostaje en los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

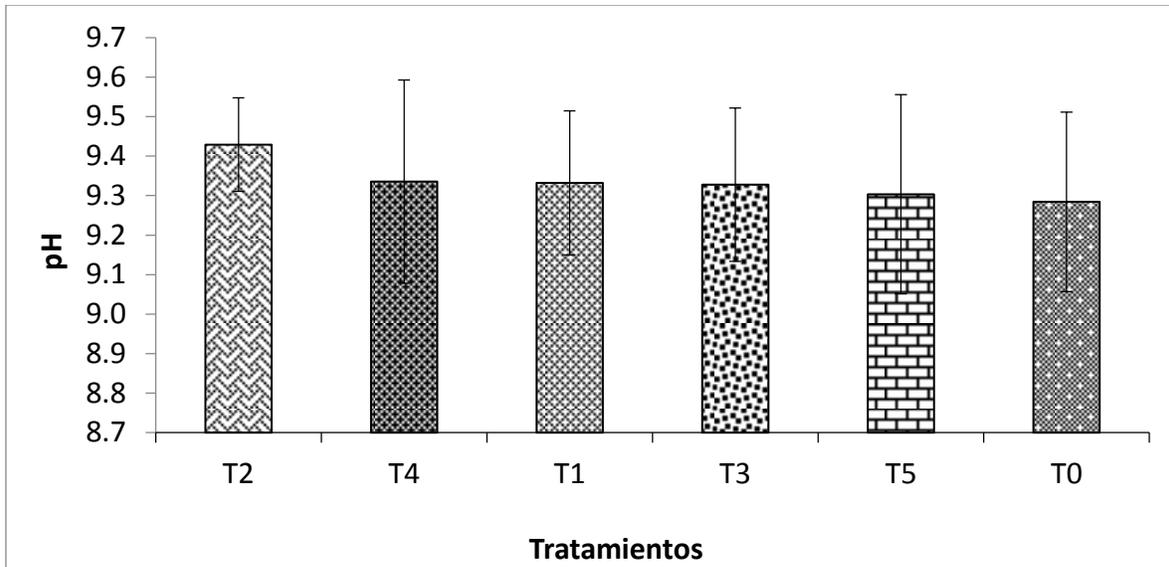


Figura 4.5. Media de pH durante el proceso de compostaje en los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

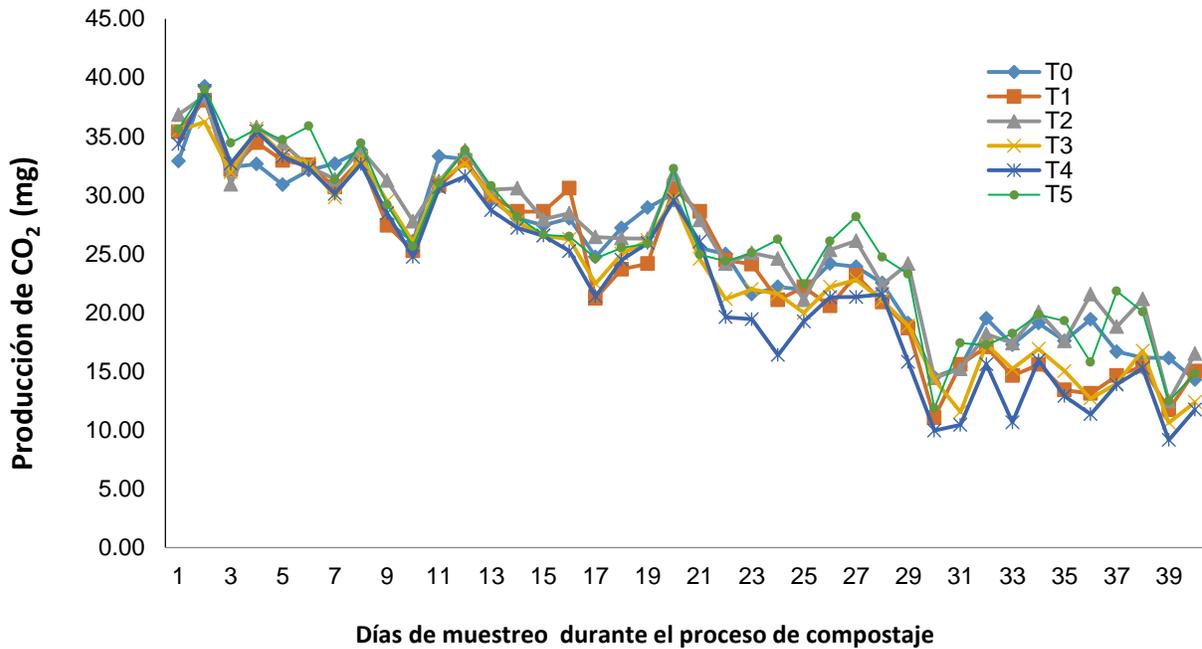


Figura 4.6. Producción de CO₂ en mg Promedio por día en los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

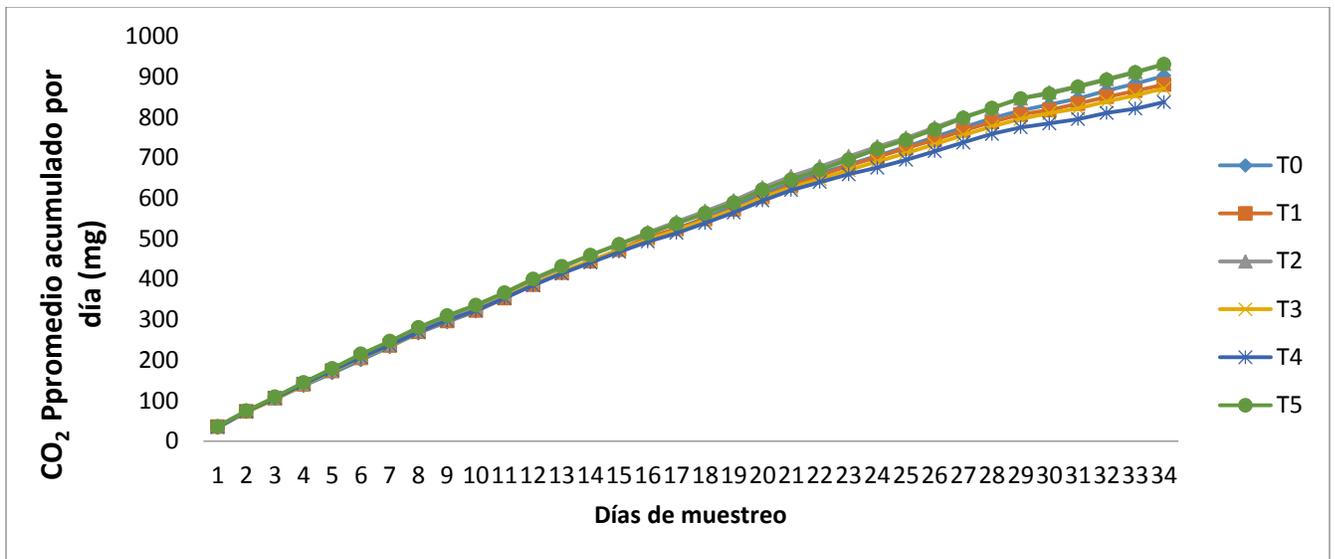


Figura 4.7. Acumulación de CO₂ mg promedio en los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

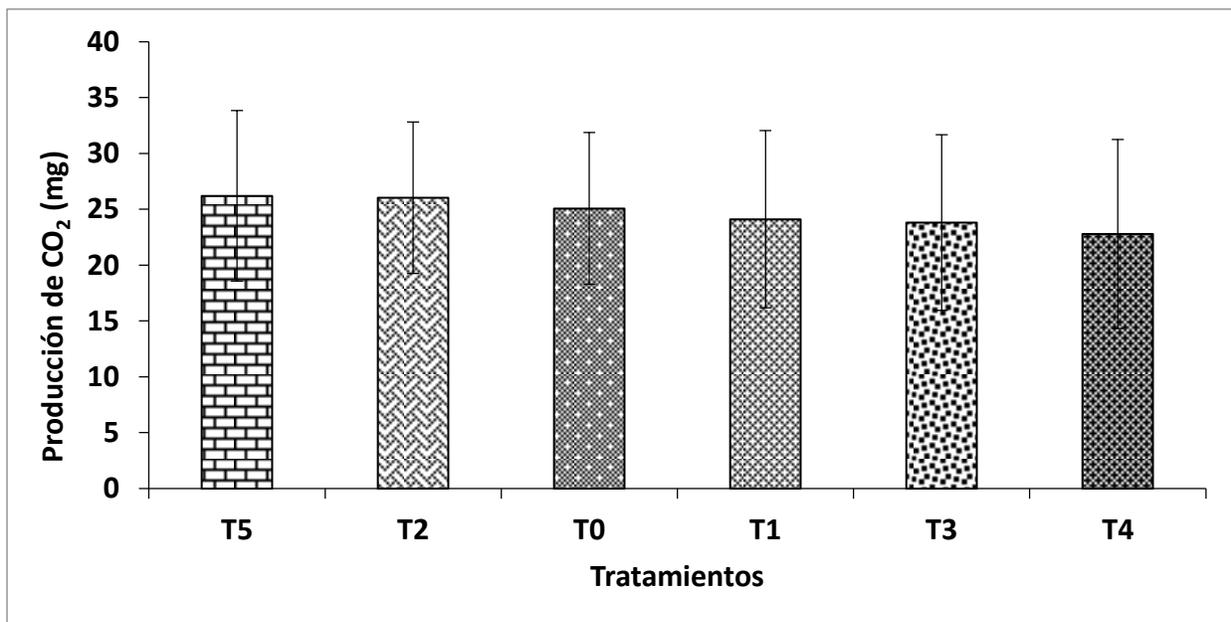


Figura 4.8. Muestra la media de producción de CO₂ mg en los tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

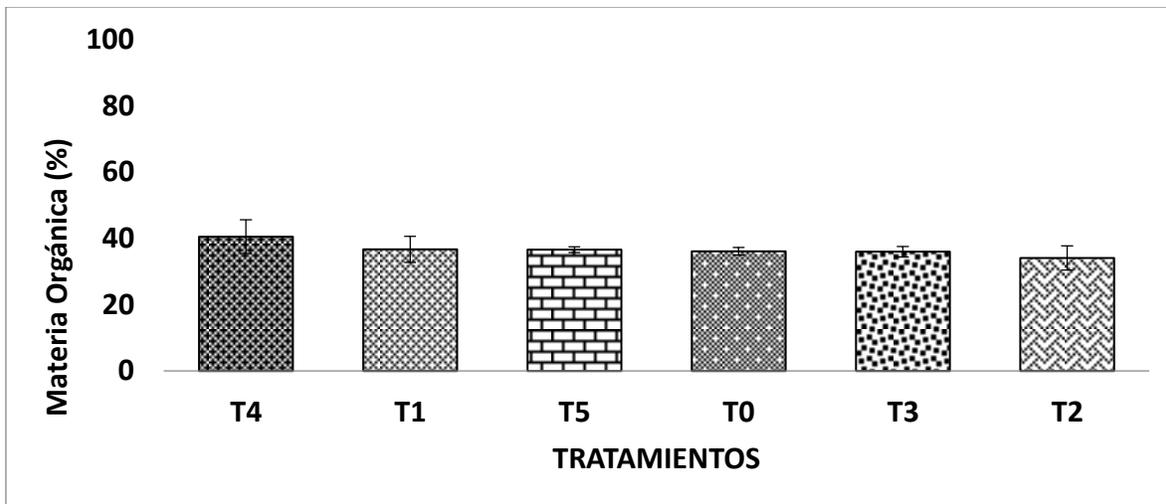


Figura 4.9. Media de materia orgánica en porcentaje en los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

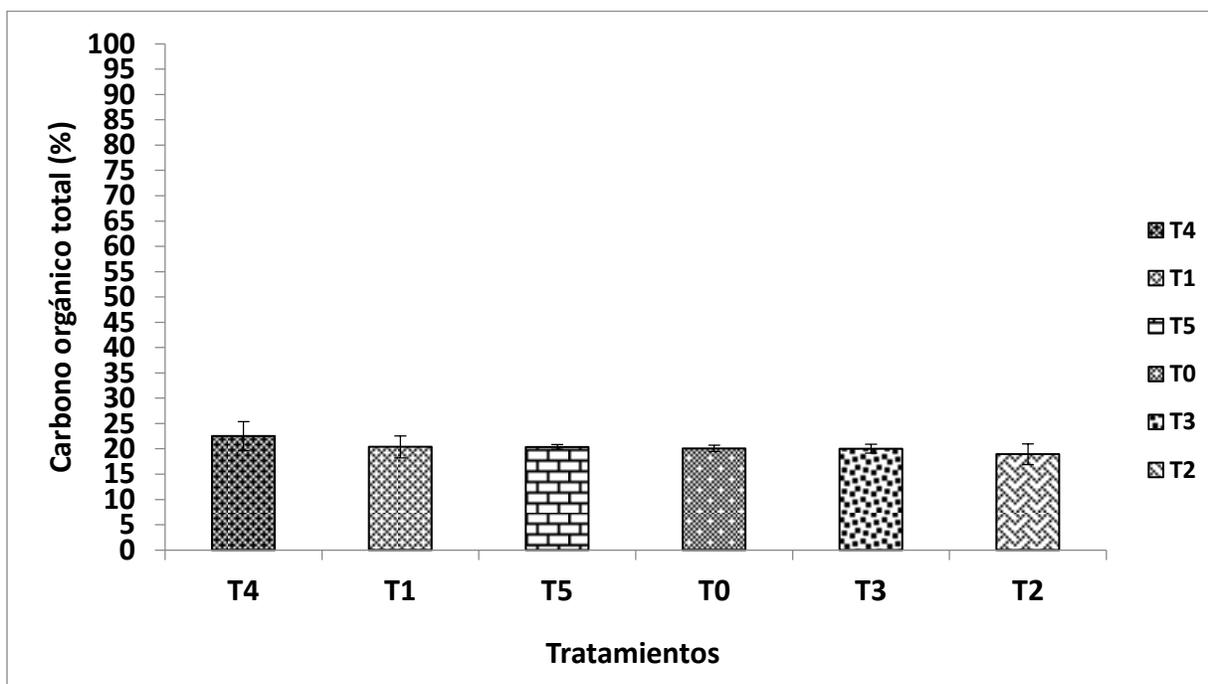


Figura 4.10. Media del carbono orgánico total porcentaje en los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

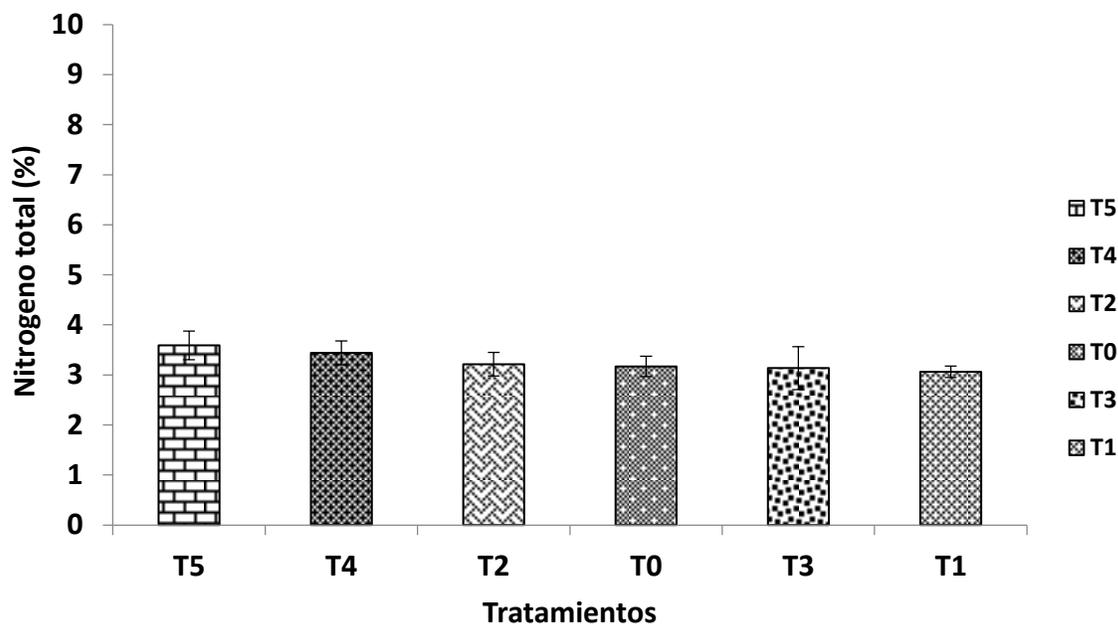


Figura 4.11. Media del nitrógeno total en porcentaje en el compost de los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

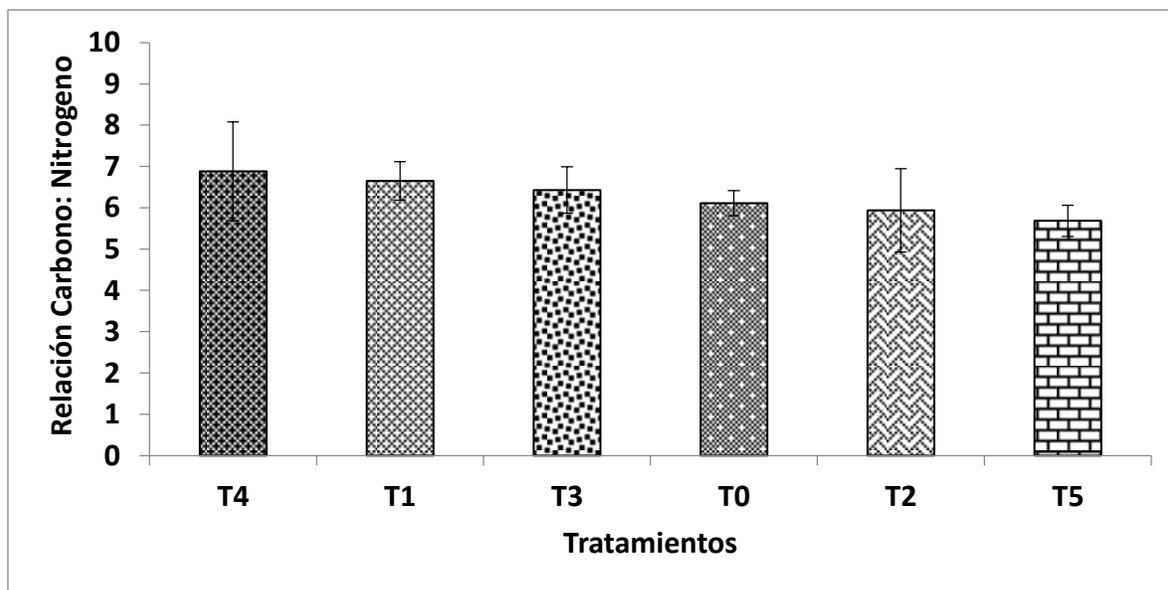


Figura 4.12. Media de la relación carbono: nitrógeno en el compost de los diferentes tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

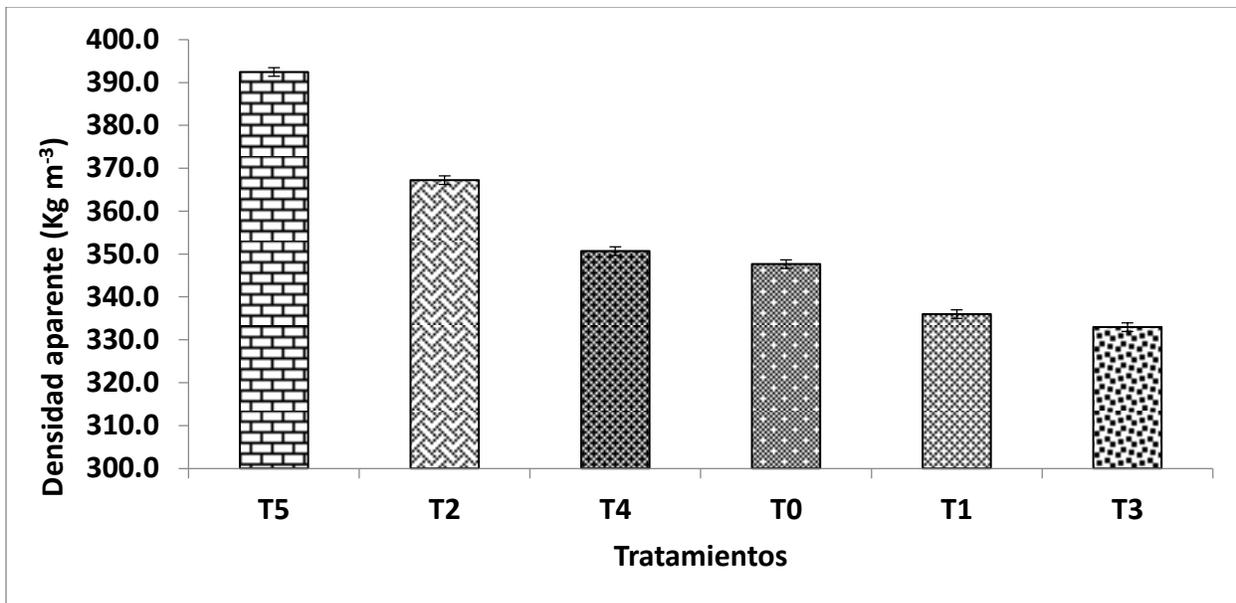


Figura 4.13. Densidad aparente en Kg m⁻³ de los diferentes tratamientos T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje.

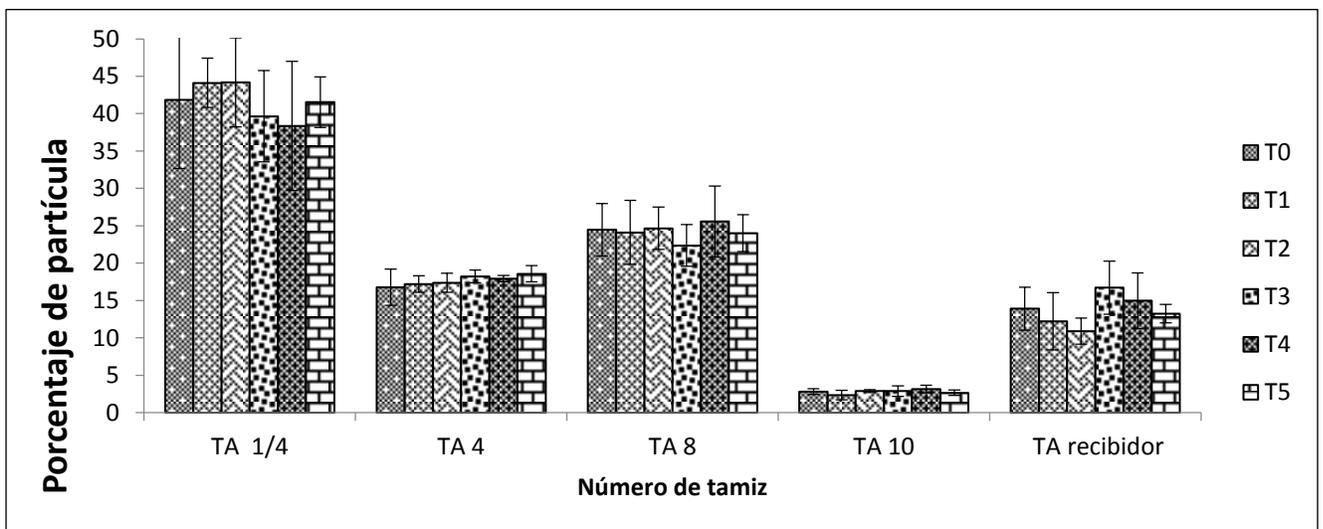


Figura 4.14. Porcentaje de partícula obtenida del compost pasado por los diferentes tamices de los distintos tratamientos; T0= paja + estiércol de ovino original, T1= paja + estiércol+ inóculo de 18 días de iniciado el proceso de compostaje, T2= paja + estiércol+ inóculo de 23 días, T3= paja + estiércol+ inóculo de 28 días, T4= paja + estiércol+ inóculo de 33 días, T5 paja + estiércol+ inóculo de 38 días de iniciado el proceso de compostaje. Dónde: TA 1/4= Tamiz de ¼ 6.350 mm, TA 4= Tamiz 4 4.760 mm, TA 8= Tamiz 8 2.0 mm, TA 10= Tamiz 10 2.0mm, TA= Tamiz receptor

4.4. CONCLUSIONES

- El inóculo disminuyó el tiempo del proceso de compostaje por lo menos para dos de los tratamientos (T2= estiércol de ovino + paja de avena+ inóculo de 23, T5= estiércol de ovino + paja de avena+ inóculo de 38 días después de iniciado el proceso de compostaje).
- El uso del inoculante es una tecnología que ayuda a reducir la cantidad de residuos orgánicos biotransformándolos para usarlos como un abono orgánico en los cultivos
- El inóculo promete mucho y se sugiere que se siga trabajando en estas investigaciones ya que es un recurso que ayuda en la mejora y limpieza del ambiente y la recuperación de los suelos áridos, muertos por la contaminación con sustancias tóxicas.

CAPÍTULO V DISCUSIÓN GENERAL

Las concentraciones de CO₂ se encuentran relacionadas con la temperatura que alcanzan las pilas del compostaje, esto es debido a que el proceso de degradación fracciona las fuentes de carbono. La descomposición en el proceso de compostaje evoluciona debido a las pérdidas de carbono, principalmente en forma de CO₂ como producto metabólico, el contenido de carbono del material composteable disminuye en el tiempo y el contenido de nitrógeno por unidad de material aumenta, dando lugar a la disminución de la relación entre el carbono y el nitrógeno (C:N), durante el periodo de incubación se pudo observar que la mayor actividad microbiana se presentó en el tratamiento de 48 horas con una mayor acumulación de C-CO₂. Esto es comprensible ya que los microorganismos requieren una fuente de carbono y macronutrientes como el N, P, K y elementos traza para su desarrollo, el carbono es la fuente principal de energía y una fracción de esta se almacena en sus paredes celulares. Parte de este carbono es utilizado como energía por los microorganismos, y el resto es liberado en forma de calor, cuando hay poco nitrógeno el proceso se torna lento, el desprendimiento de CO₂, puede considerarse como uno de los parámetros sensibles a los cambios que ocurren en la transformación de la materia orgánica.

Los componentes orgánicos estables mantuvieron e incrementaron el contenido de materia orgánica al permitir una menor pérdida de C orgánico en forma de CO₂. Al haber una menor concentración de CO₂ es una manifestación de madurez y estabilidad del producto lo que permite la utilización en la producción de cultivos, cuando el compost se mezcla con la perlita en un 25 por ciento mejoro el desarrollo fenológico de la lechuga acortando su ciclo al tiempo de cosecha, esto se debió que el mejor desarrollo de raíz, se aprovechó de una mejor manera ya que esta mezcla permitió que el cultivo tuviera disponibles los nutrientes en las diferentes etapas, el compost es una alternativa de nutrición en la producción de lechuga siempre y cuando se mezcle con otro tipo de sustrato para mejorar las condiciones físicas, químicas

y biológicas del sustrato. Se observó que cuando el compost se aplicó sin mezclar la lechuga se intoxicó y provocó la muerte de la planta, por lo que se sugiere siempre hacer la mezcla de compost con perlita u otro sustrato, ya que los productos obtenidos del compostaje mezclados con perlita mostraron mejor desempeño en la nutrición de la lechuga que cuando se coloca solo el compost. Cuando a los residuos orgánicos se les aplica un inóculo de microorganismos para reducir el proceso de compostaje se pudo observar que ese pool de microorganismos, incrementaron la temperatura a medida que el proceso caminaba, y efectivamente, el inóculo, ayudo a reducir el tiempo del proceso de compostaje por lo menos para dos de los tratamientos.

Los núcleos de microorganismos y la cantidad de enzimas existentes aceleraron el proceso de degradación de los componentes de los residuos orgánicos, el uso del inoculante es una tecnología que ayuda a reducir la cantidad de residuos orgánicos biotransformandolos para usarlos como un abono orgánico en los cultivos, se sugiere seguir desarrollando más investigaciones relacionadas con el tema ya que esta podría ser la solución a muchos de los problemas del ambiente y la recuperación de los suelos áridos, muertos por la contaminación con sustancias tóxicas, esto es una problemática a nivel mundial, la contaminación por residuos orgánicos, lleva a un deterioro ambiental la desertificación de los suelos sin posibilidad de dar más vida, porque se perdieron los microorganismos vivos que le dan esa actividad dinámica al suelo, mediante el uso de los compost que mantienen un pool de microorganismos vivos y ayudan a mantener las características físicas, químicas y biológicas del suelo, y de esta manera mantener la nutrición de los cultivos que al final de cuentas son de beneficio para el hombre.

5.1. LITERATURA CITADA

- Acevedo, E. y Martínez, E. 2003. Sistema de labranza y productividad de los suelos, en Acevedo, E.: *Sustentabilidad en Cultivos Anuales*. Santiago, Universidad de Chile, Serie Ciencias Agronómicas N° 8, p. 13-25.
- Acosta, Y.; Cayama, J.; Gómez, E.; Reyes, N.; Rojas, D.; García, H. 2006. Respiración microbiana y prueba de fitotoxicidad en el proceso de compostaje de una mezcla de residuos orgánicos. *Multiciencias* 6: 220-227.
- Bauer, A. and Black, A. L. 1994. Quantification of the effect of soil organic matter content on soil productivity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58, 185-193
- Carter, M. R. 2002. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions. *Agron. J.* 94, 38-47.
- Christensen, T. H.; Gentil, E.; Boldrin, A.; Larsen, A. W.; Weidema, B. P.; Hauschild, M. 2009. C balance, carbon dioxide emissions and global warming potentials in LCA-modelling of waste management systems. *Waste Management and Research* 27 (8): 707-15.
- Clemente, R. and Bernal, M. P. 2006. Fractionation of heavy metals and distribution of organic carbon in two contaminated soils amended with humic acids. *Chemosphere* 64 (8): 1264-73.
- De Carlo, E.; Rosa, A.; Benintende, S.; Cariello, M.; Castañeda, L.; Figoni, E.; Grasso, N.; Ruiz, A.; Mascheroni, F. 2001 Estudio de la población microbiana en las etapas iniciales del compostaje; *Rev. Ceres*; 48(280); 699-715.
- Ferrer, I.; Palatsi, J.; Campos, E.; Flotats; X. 2010. "Mesophilic and thermophilic anaerobic biodegradability of water hyacinth pre-treated at 80 °C", *Waste Management*, vol. 30, no. 10, pp. 1763-1767.
- Moreno, C. J. y Moral, H. R. 2013. *Compostaje*. Ediciones Mundi Prensa, Madrid-Barcelona- México. ISBN: 978-84-8476-346-8, 570 p.
- PROFEPA, SEMARNAT. Informe Anual PROFEPA. 2010. México. 2011.
- Raut, M. 2007. Microbial dynamics and enzyme activities during rapid composting of municipal solid waste – A compost maturity analysis perspective. *Bioresource Technology* 99: 6512-6519
- Sánchez, J. E.; Harwood, R. R.; Willson, T. C.; Kizilkaya, K.; Smeenk, J., Parker, E.; Paul, E. A.; Knezek, B. D.; Robertson, G. P. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron. J.* 96. 769-775.
- Sánchez, S.; Crespo, G.; Hernández, M.; García, Y. 2008. Factores bióticos y abióticos que influyen en la descomposición de la hojarasca en pastizales. *Pastos y Forrajes* 31: 99-108.

- Shiho, W.; Hiraku, S.; Kenichi, O.; Osamu, K.; Jun, N.; Masaaki, S.; Takako, S.; Yutaka, N. 2008. Investigation of the microbial community in a microbiological additive used in a manure composting process. *Bioresource Technology*. 99: 2687–2693.
- Vargas, G. M.; Suarez, E. F.; López, M.; Moreno, J. 2007. Effect of inoculation in composting processes: Modifications in lignocellulosic fraction. *Waste Management*, 27: 1099–1107.
- Vivas, A; Moreno, B.; Garcia, R.; Benítez, E. 2009. Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Technology Bio-resource* 100: 1319–1326.
- Wander, M. M.; Walter, G. L.; Nissen, T. M.; Bollero, G. A.; Andrews, S. S.; Cavanaugh-Grant, D. A. 2002. Soil quality: Science and process. *J. Agron.* 94, 23-32.
- Zhu, J. 2000. A review of microbiology in swine manure odor control. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 78:93-106.