

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**VERMICOMPOSTEO DE LODOS RESIDUALES DERIVADOS DE
LA COMPAÑÍA COOPER STANDARD AUTOMOTIVE**

**POR:
OMAR OSWALDO ARELLANO RODRÍGUEZ**

TESIS

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DEL 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**TESIS QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO
EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER
EL TÍTULO DE**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

PRESIDENTE

DR. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

VOCAL

DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL

QFB NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO

VOCAL SUPLENTE

IIQ ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO

**ING. VICTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS**

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DEL 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**VERMICOMPOSTEO DE LODOS RESIDUALES DERIVADOS DE
LA COMPAÑÍA COOPER STANDARD AUTOMOTIVE**

ASESOR PRINCIPAL _____ **DR. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ**

ASESOR _____ **DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO**

ASESOR _____ **QFB NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO**

ASESOR _____ **IIQ ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO**

**ING. VICTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS**

TORREÓN, COAHUILA. DICIEMBRE DEL 2007

AGRADECIMIENTOS

A mi padre Dios, por la dicha de realizar un triunfo más en mi vida.

A la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” por brindarme la oportunidad de ser gente de profesión.

A mi asesores

Dr. Alejandro Moreno Reséndez

Dr. José Luís Reyes Carrillo

QFB. Norma Lydia Rangel Carrillo

IIQ. Elba Margarita Aguilar Medrano

Por su tiempo, dedicación, apoyo y experiencias compartidas para la realización de este proyecto.

A la empresa Cooper Estándar Automotive Fluis Systems de México por la oportunidad de experimentar mi proyecto con desecho residual de la empresa.

DEDICATORIAS

A mis padres, Sr. Edmundo Arellano Dimas y Sra. Ofelia Rodríguez García por darme el impulso, el ejemplo y los deseos de superación ante la sociedad.

Mi respeto y mi admiración para ellos;

Muchas gracias por existir.

A mis hermanos, Jorge y Christian, por su insistencia y por su comprensión en los momentos difíciles de mi carrera.

A mis Tíos, Primos, Sobrinos, Abuelos, por su apoyo, experiencias y ejemplo de vida, “Gracias” por enseñarme el camino de la superación.

A mis “amigos” Cintia, Paty, Califo, Freyre, Sofía, Cesar, Bebo, Sandra, Gera, Nidia, Américo, Fabiola, Ana, Carla, Lorena, Max, Pájaro, Nayeli, en fin.... Por las porras y experiencias de ellos para terminar mi carrera.

Al lic. Román de Luna Ramos y Al Lic. Rodrigo Romo Rangel, por su valioso tiempo, dedicación, comprensión y experiencias compartidas durante la realización de mi tesis.

A todos ellos G R A C I A S.....

ÍNDICE DE CONTENIDO

I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	5
1.2 Hipótesis.....	5
II REVISIÓN DE LITERATURA	6
2.1 Procesos de término de aguas residuales.....	6
2.2 Generación de biosólidos.....	7
2.3 Alternativas de tratamiento.....	9
2.3.1 Tratamientos físicos.....	11
2.3.2 Tratamiento químicos.....	12
2.3.3 Tratamiento térmico.....	13
2.3.4 Tratamiento biológico.....	14
2.4 El Vermicomposteo.....	16
2.4.1 Etapas del vermicomposteo.....	18
2.4.2 sobrevivencia y reproducción de la lombriz <i>E. fetida</i>	20
2.4.3 Vermicomposteo de biosólidos.....	21
2.5 Características químicas del vermicompost.....	22
2.5.1 pH.....	22
2.5.2 Conductividad eléctrica (CE).....	23
2.5.3 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	24
2.5.4 Materia orgánica (MO).....	24
2.5.5 Relación Carbono:Nitrógeno (C:N).....	24
III MATERIALES Y MÉTODO	26
3.1 Materiales y organismos utilizados.....	26
3.1.1 Biosólidos.....	26
3.1.2 Estiércol.....	27
3.1.3 Lombrices.....	27
3.1.4 Unidad experimental.....	27
3.1.5 Sustratos.....	27
3.2 Manejo de sustratos.....	28
3.2.1 Muestreo.....	28
3.2.1 Variables evaluadas.....	29
3.2.3 Procedimiento de análisis químicos para los sustratos.....	29
3.3 Análisis de datos.....	35
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
4.1 Dinámica del pH en los sustratos vermicomposteados.....	36
4.2 Conductividad eléctrica en los sustratos de vermicomposteo.....	39
4.3 Dinámica de la capacidad de intercambio catiónico en los sustratos Vermicomposteados.....	41
4.4 Dinámica de la materia orgánica en los sustratos Vermicomposteados.....	43
4.5 Dinámica de la relación Carbono:Nitrógeno en los sustratos Vermicomposteados.....	45
4.6 Conteo final de <i>E. fetida</i> en los sustratos vermicomposteados.....	47

V CONCLUSIONES.....	49
VI RESUMEN.....	50
VII BIBLIOGRAFÍA CITADA.....	53
Apéndice A.....	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro

1	Limites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos	10
2	Aprovechamiento de biosólidos	11
3	Mezcla de sustratos elevados para el desarrollo de la lombriz <i>E. fetida</i>	28
4	Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas.	36
5	Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable pH	38
6	Comparación de valores promedio y prueba de significancia para valores de pH	38
7	Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable Conductividad Eléctrica	41
8	Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable Capacidad de Intercambio Catiónico	42
9	Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable Materia Orgánica	44
10	Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable Carbono:Nitrógeno	46

ÍNDICE DE FIGURAS

1	Comportamiento del pH durante el vermicomposteo de lodos residuales con <i>E. fetida</i> .	37
2	Comportamiento de la CE durante el vermicomposteo de lodos residuales con <i>E. fetida</i> .	41
3	Comportamiento de la CIC durante el vermicomposteo de lodos residuales con <i>E. fetida</i> .	42

4	Comportamiento de la MO durante el vermicomposteo de lodos residuales con <i>E. fetida</i> .	44
5	Comportamiento de la relación Carbono:Nitrógeno durante el vermicomposteo de lodos residuales con <i>E. fetida</i> .	46
6	Conteo final de las poblaciones de <i>E.fetida</i> en los sustratos de vermicomposteo.	48

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente uno de los problemas que preocupa al hombre es el aprovechamiento, manejo y destino de los subproductos de los recursos naturales que emplean en su quehacer diario. Por la naturaleza biológica de la mayoría de ellos, se hace necesario conocer a profundidad los procesos de biotransformación, lo cual permitiría darle un manejo y destino mas apropiados (Quintero-Lizaola *et al.*, 2003).

El tratamiento de las aguas residuales en México ha ido incrementándose notablemente en los últimos años, de acuerdo con las estadísticas que refleja la Comisión Nacional del Agua (CNA). Cabe mencionar que la Comarca Lagunera actualmente cuenta con 15 parques industriales que engloban poco más de 871 empresas demandantes de una gran cantidad de agua por lo tanto las plantas tratadoras de aguas residuales son de gran importancia en esta región (García, 2004).

En México sólo un bajo porcentaje de aguas residuales urbanas e industriales son tratadas adecuadamente. La mayor parte de las aguas residuales son utilizadas para riego agrícola sin un tratamiento previo, lo que representa un serio peligro para la salud humana y de los animales debido al contenido de materia orgánica e inorgánica contaminante. Sin embargo el establecimiento de

sistemas de tratamiento de aguas residuales puede ser útil para solucionar este problema (Rivas-Lucero *et al.*, 2003).

En los últimos años, y debido a una mayor normatividad ambiental, la descarga de aguas residuales contaminada hacia los ríos se ha ido reduciendo, pero el manejo de los biosólidos generados permanece como problemática debido al alto costo para la instalación de reactores de estabilización y sistemas de deshidratación de lodos residuales (biosólidos) y de transportación a los sitios de disposición. En diversos países, y en México no es la excepción, los biosólidos son incinerados o dispuestos en basureros sanitarios lo cual puede contaminar el agua superficial y el agua del subsuelo provocando riesgos a la salud pública (Contreras-Ramos *et al.*, 2005).

Por otro lado, se reconoce que la mayor parte de los sistemas de tratamiento de aguas residuales municipales e industriales instalados en Latinoamérica, no incluyen el manejo y disposición de lodos residuales que se generan. En la actualidad, los métodos de disposición que esencialmente son basureros a cielo abierto, rellenos sanitarios y el confinamiento controlado o la incineración (Cardozo-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2002).

La aplicación de residuos orgánicos, lodos de aguas negras, residuos agrícolas e industriales, a los suelos puede beneficiar su calidad debido a la incorporación de elementos nutritivos y materia orgánica. Sin embargo, los residuos pueden contener sustancias tóxicas, incluyendo metales pesados, compuestos orgánicos y organismos patógenos, los cuales son nocivos para la

calidad del recurso, donde pueden persistir durante largos períodos de tiempo (EPA, 2001).

Como resultado de su actividad, la humanidad genera residuos orgánicos en grandes cantidades los cuales, en la mayoría de los casos, se depositan directamente en los suelos o en los sistemas de drenaje, ubicados cerca del área de influencia de las ciudades y la industria, provocando la contaminación. Los riesgos a la salud y del ambiente, derivados de la contaminación, se han vuelto más evidentes en las últimas décadas. El aire, el agua y el suelo contaminados pueden incluir numerosas sustancias orgánicas e inorgánicas, las cuales pueden provocar que el suelo y el agua del subsuelo no puedan ser utilizados para ninguna actividad. Por otra parte, cualquiera de los organismos que existen en la naturaleza puede ponerse en contacto o consumir un material contaminante, provocando con ello la introducción de una sustancia, posiblemente tóxica a la cadena trófica (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2000).

Para evitar su manejo y no generar posibles problemas con el olor, los agentes de patógenos y el contenido de compuestos tóxicos, los residuos deben ser tratados, de esta manera, existen diversos métodos para su tratamiento como la estabilización alcalina, la digestión aeróbica y anaeróbica o el composteo (EPA, 2000).

La generación de grandes cantidades de residuos orgánicos puede ocasionar problemas de tipo ambiental y económico, por lo tanto la práctica del reciclado

de este tipo de residuos en la agricultura se ha convertido en una solución apropiada para la recuperación de residuos. Sin embargo, la incorporación al suelo de residuos orgánicos de cualquier naturaleza requiere, el que estos materiales hayan sido previamente tratados de manera apropiada. Estos tratamientos tienden, por un lado, a minimizar o eliminar un gran número de probables efectos adversos relacionados a esta práctica y, por otro lado, a optimizar la eficiencia de estos materiales una vez que son depositados en el suelo. El proceso de composteo es uno de los tratamientos apropiados para generar un producto estable, rico en sustancias como el humus que son ambientalmente seguros y factibles a costos operativos aceptables (Amir *et al.*, 2003).

La investigación sobre el potencial del vermicompost de lodos residuales data de los años 1970, esta tecnología fue llamada vermiestabilización. Derivado de este proceso se ha demostrado a escala de laboratorio, que los lodos residuales potencialmente pueden emplearse como sustrato de la lombriz *E. fetida*. En este proceso, los lodo se estabilizan aproximadamente tres veces mas rápido que los lodos no vermicomposteados y que los olores inaceptables desaparecen rápidamente (Neuhauser *et al.*, 1988; Blackemore, 1995; Naddafi *et al.*, 2004).

En la actualidad, el empleo de las lombrices en el manejo de biosólidos se lleva a cabo en Estados Unidos, Europa, Nueva Zelanda y Australia (Blackemore, 1995; Cameron *et al.*, 2004). Sin embargo aunque el vermicomposteo es una tecnología innovadora en el tratamiento de lodos

residuales en México, (Aranda *et al.*, 1999; Cardozo-vigueros y Ramírez-Camperos, 2002), aun que falta profundizar en la generación de conocimiento sobre el mezclado de lodos residuales a través de este proceso. Debido de lo anterior, en este trabajo se estableció el siguiente objetivo:

1.1 Objetivo

-Determinar el comportamiento de la lombriz *Eisenia fetida* cuando se aplican lodos de la planta tratadora de aguas residuales de la compañía Cooper Standard Atomotive como sustrato para su crecimiento.

1.2 Hipótesis

- La supervivencia de la lombriz *Eisenia fetida* se reduce al utilizar lodos residuales como sustratos para su desarrollo y/o reproducción.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- Proceso de tratamiento de aguas residuales

Las aguas de desecho que se generan en áreas urbanas, residenciales o comerciales y que fueron utilizadas en operaciones de lavado, en servicios sanitarios u otro uso doméstico, son llamadas “aguas residuales municipales” en algunos casos esta agua incluyen efluentes de origen industrial con cierto grado de tratamiento, mismo que les permite ser descargados en los sistemas de drenaje municipales (Serrano-Espinosa, 1997).

El tratamiento convencional para el manejo de aguas residuales municipales comprende tratamiento preeliminar, primario y secundario. El tratamiento terciario se lleva a cabo para obtener un efluente de alta calidad. Las etapas de los tratamientos anteriores se describen a continuación (Serrano-Espinosa, 1997; Metcalf y Hedí, 1999; Kiely, 1999):

- En el tratamiento preeliminar, las aguas crudas son cribadas para la remoción de objetos de tamaño considerable como madera, botellas, papel o tela. En esta etapa también se retienen sólidos inorgánicos finos, arena, piedras y arcillas.
- El tratamiento primario involucra operaciones de sedimentación por gravedad y flotación que remueven aproximadamente la mitad de los

materiales sólidos presentes en el afluente. El material sólido orgánico e inorgánico que fue retenido es arrastrado al fondo y retirado del proceso, pues constituye lodo primario junto con el material sobrenadante (aceites, grasas, madera y residuos vegetales).

- El tratamiento secundario puede considerarse como un proceso de fermentación, en el cual una población microbiana utiliza la materia orgánica, carbono y energía presente en el afluente para su crecimiento y supervivencia. Los objetivos de esta etapa son la coagulación y la eliminación de los sólidos coloidales no sedimentables así como la estabilización de la materia orgánica extraída durante la depuración del efluente y los sólidos suspendidos que no han sido separados en la etapa de tratamiento primario.
- El tratamiento terciario emplea la filtración con grava y carbón para la remoción de sólidos persistentes en el efluente; mientras que los procesos de membrana, como la ósmosis inversa o la nanofiltración, se emplea en la eliminación de compuestos orgánicos, pesticidas y elementos traza. La desinfección se realiza comúnmente mediante clorinación o radiación ultravioleta (UV).

2.2 Generación de Biosólidos

El manejo de las aguas residuales implica la separación de las sustancias contaminantes contenidas en éstas, obteniéndose un efluente líquido y una fracción de sólidos. Sin embargo, esta separación no es completa: por una parte la fracción de aguas mantiene ciertos niveles de sólidos suspendidos y

sustancias disueltas, mientras que los lodos se caracterizan por un contenido elevado de agua. De este modo, los lodos se originan con un subproducto residual del tratamiento de aguas (Metcalf y Hedí, 1997; Cortez-Cádiz, 2003).

El sistema de tratamientos aerobio es el mas usado para el tratamiento de aguas residuales, debido a que resiste amplias variaciones en la composición del efluente; sin embargo, el principal problema que se presenta en esta clase es la gran cantidad de lodos y biosólidos que se generan (Kiely, 1999). Al respecto es conveniente tener presente que el término “biosólido” es una definición establecida por la EPA (2000) para potencializar el aspecto del residuo biológico con posibilidades de reutilización que prestan los lodos secundarios.

En los sistemas de tratamiento aerobios intervienen no solo microorganismos quimioheterotogicos (como bacterias y hongos), sino también predadores (como los protozoos) que utilizan masa microbiana como fuente de elementos nutritivos. Dentro de la población bacteriana se encuentran principalmente las bacterias floculantes (por ejemplo *Zooglea sp.*), que segregan polisacáridos esenciales para una buena separación de biomasa en el sedimentador, luego de la etapa de depuración (Metcalf y Hedí, 1997).

Los tratamientos aerobios se pueden clacificar en tratamientos con biomasa suspendida fija. Entre los sistemas de tratamientos con biomasa suspendidas se encuentran los lodos activados y las lagunas aireadas y entre los de biomasa fija se encuentran los filtro aerobios y los tambores biológicos de

contacto rotatorio. El principio básico de estos sistemas es el siguiente: después de un tiempo suficiente de contacto entre la biomasa y el efluente, el licor de mezcla se envía a un clarificador destinado a separar agua depurada de los biosólidos, un cierto porcentaje de este último es recirculado al reactor para mantener su concentración de biomasa activa elevada. La biomasa residual que son lodos activados, que no son recirculados al reactor, son los llamados lodos residuales. Estos lodos se purgan del sistema y, de cumplir con las especificaciones de la normatividad, les da el nombre de biosólidos (Metcalf y Hedí, 1996; Serrano, 1997).

2.3 Alternativas de tratamiento de biosólidos

La creciente conciencia acerca de la conservación del ambiente así como los riesgos de la salud asociados con los agroquímicos y las preferencias de los consumidores por los alimentos inocuos y libres de riesgo son los principales factores que dirigen el creciente interés de formas alternativas de agricultura en el mundo. La agricultura orgánica es una entre el amplio espectro de métodos de producción que dan apoyo al ambiente. La demanda de alimentos orgánicos está incrementando constantemente, tanto en los países desarrollados y como en los países en vías de desarrollo, con un índice promedio de crecimiento anual del 20 al 25% (Amir *et al.*, 2003).

De acuerdo con la Norma 503 de la Agencia de Protección Ambiental, Estándares para la aplicación y Disposición de lodos de Aguas Residuales

40CFR (“Standards for the Use and Disposal of Swage Sludge”) (EPA, 2000), y con la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, se requiere que los sólidos de las aguas residuales sean declarados “no peligrosos” en base al análisis, corrosivo, reactivo, explosivo, toxico, inflamable y biológico infeccioso (CRETIB) de la Norma Oficial Mexicana NOM-052-SEMARNAT-2003 (características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuos peligrosos por su toxicidad al ambiente). En otras palabras, los lodos residuales son tratados adicionalmente por que se pretende incorporarlos al suelo como abono orgánico o bien para disponerlos sin comprometer la salud pública y el ambiente (Cardozo-vigueros y Ramírez-Camperos, 2002).

Al respecto la NOM-004-SEMARNAT-2002 establece las siguientes clasificaciones para el aprovechamiento de biosólidos (cuadro 1). Además en el cuadro 2 se presenta la clasificación de bisólidos en función de aprovechamiento.

Cuadro 1. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos

Clase	Identificador Biotecnológico de Contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP*g ⁻¹ en base seca	<i>Salmonella</i> spp. NMP*g ⁻¹ base seca	Huevos de helmintos g ⁻¹ en base seca
A	< 1 000	<3	< 1(a ^{**})
B	< 1 000	<3	< 10
C	< 2 000 000	<300	< 35

*Numero más probable

**Huevos de Helmintos viables.

Cuadro 2. Aprovechamiento de Biosólidos.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	-Usos urbanos con contacto directo con su aplicación -Los establecidos por la clase B y C
Excelente o bueno	B	-Usos urbanos sin contacto directo durante su aplicación -Los establecidos por la clase B y C
Excelente o bueno	C	-Usos forestales -Mejoramientos de suelos -Usos agrícolas

Las diferentes alternativas para el tratamiento de lodos facilitan su manejo y reducen los costos derivados de la generación de este residuo. Estas alternativas de tratamiento se clasifican en métodos físicos, químicos, térmicos y biológicos (Serrano, 1997; Kiely, 1999; EPA, 2000; Cortez-Cadiz, 2003).

2.3.1. Tratamientos físicos

- Espesamiento

El espesamiento se emplea para concentrar el contenido sólido de los lodos mediante la eliminación en parte de su fracción líquida, consiguiendo una disminución importante en su volumen. Esta operación suele llevarse a cabo mediante procedimientos físicos que incluyen el espesamiento por gravedad, flotación, centrifugación y filtro de banda por gravedad (Kiely, 1999).

- Desechado

El desecado consiste en la remoción de agua de los lodos tanto como sea posible, reduciendo el volumen a tratar en operaciones subsecuentes. La técnica se basa en la evaporación y percolación natural o en la aplicación de medios mecánicos como filtros, centrifugas, canchas de secado y lagunaje. En

el caso de los biosólidos se requiere un acondicionamiento previo antes de desaguarlos (EPA, 200).

2.3.2 Tratamientos Químicos

Acondicionamiento químico

En este tratamiento se reduce la humedad de lodos desde un 90-99% a un 65-85% dependiendo de la naturalidad de los sólidos a tratar. Este permite la coagulación de los sólidos y la alteración de agua absorbida por lo cual se efectúa antes de las operaciones de deshidratación. Entre los productos químicos mas utilizados se encuentra el cloruro férrico, la cal, la aluminio y polímeros orgánicos. Su dosificación debe ser en forma líquida, con lo cual algunos reactivos requieren ser previamente disueltos antes de ser incorporados (Metcalf y Hedi, 1996, EPA, 2000).

- Estabilización con óxido de calcio o cal

La estabilización con cal consiste básicamente en aumentar y mantener los lodos a pH 12 mediante la adición de cal. Como consecuencia de ello, no se degradará la materia orgánica contenida en los biosólidos, no se generarán olores y se combatirá la existencia de microorganismos patógenos. Existen dos métodos de estabilización con cal, uno se realiza antes de la deshidratación (pretratamiento con cal) y otro después de ella (pretratamiento con cal). Para la estabilización se suele utilizar cal viva y cal hidratada (EPA, 2000; Cortez-Cadiz, 2003).

2.3.3 Tratamientos Térmicos

- Secado térmico

Este proceso permite eliminar el agua mediante la aplicación de calor extremo. El producto resultante contiene prácticamente todo el material sólido y su contenido de humedad es del orden del 5 al 10% (Jiménez-Cisneros, 2002).

- Incineración

Incineración es el proceso térmico en el cual se realiza una oxidación química con cantidades estequiométricas de oxígeno en exceso. Los productos finales incluyen gases calientes de combustión (nitrógeno, anhídrido carbónico y vapor de agua) y los lodos se convierten en ceniza (Metcalf y Hedí, 1966; Jiménez-Cisneros, 2002).

- Cristalización por congelamiento.

Es el proceso donde se produce una separación del agua congelando los lodos (Kiely, 1999, Cortez-Cadiz, 2003).

- Oxidación por vía húmeda.

Es un proceso que consiste en la oxidación del lodo crudo por vía húmeda a presión y a temperaturas elevadas (entre 175 y 360°C). Este proceso genera como residuos gases líquidos y cenizas. Los líquidos y las cenizas se reciclan para calentar los lodos y luego se extraen ya estabilizados en forma separada siendo enfriados (Kiely, 1999; Jiménez-Cisneros 2002).

- Pasteurización

Consiste en un tratamiento térmico que ocurre a 70 °C durante 30 minutos, permitiendo inactivar las larvas y huevos de los parásitos. Su práctica es obligatoria en Europa, no así en México (Jiménez-Cisneros 2002).

2.3.4 Tratamiento biológico

- Digestión anaeróbica.

Es uno de los procesos mas utilizados, en el que la degradación de la materia orgánica ocurre en ausencia de oxígeno y genera biogas. Existen diversos métodos de digestión anaerobia (Metcalf y Hedí, 1996; Serrano Espinoza 1997; Cortez-Cadiz, 2003), entre las cuales destacan las siguientes:

- ❖ Digestión convencional: se realiza en el intervalo mesofilo de temperaturas, es decir entre los 30 y 38 °C.
- ❖ Digestión de una fase y carga alta: este proceso difiere del anterior por que la carga de sólidos en los lodos es mucho mayor y no se produce una separación de biosólidos y sobrenadante.
- ❖ Digestión en dos fases: consiste en una acción combinada entre un digestor de alta carga y un estanque, que sirve para almacenar lodos formando un sobrenadante clarificado.
- ❖ Digestión anaeróbica termofílica: se produce a la temperatura situada entre los 49 y 57 °C, proporcionando condiciones adecuadas para la actividad de bacterias termofílicas.

- Digestión aeróbica

Corresponde a la estabilización de la materia orgánica mediante el suministro de aire (oxígeno), obteniéndose como producto anhídrido carbónico (CO₂), amoníaco (NH₃) y agua (no genera biogás). Es aplicable a biosólidos, mezcla de biosólidos con lodos primarios y lodos no desarenados (Serrano, 1997; Cortez-Cadiz, 2003).

- Composteo

El composteo es una herramienta para mejorar la calidad del residuo ya que este proceso incrementa la materia orgánica del suelo (alimenta los microorganismos del suelo, e incrementa la capacidad de retención de agua y elementos nutritivos); elimina los organismos patógenos de las plantas; reduce la erosión; proporciona una alternativa para el uso de estiércol crudo que puede introducir organismos patógenos y proporciona una fuente de elementos nutritivos de liberación lenta (Porter-Humpert, 2000).

Cuando el proceso de composteo se maneja adecuadamente, se logra inactivar organismos patógenos y semillas de malezas mientras se descomponen los residuos orgánicos en un producto útil para el suelo. Los efectos de la reducción del volumen de residuos y los posibles usos en el mejoramiento del suelo y la recuperación de los terrenos ha atrapado la atención de los productores y los ambientalistas (Agnew *et al.*, 2003).

- Vermicomposteo

El término de vermicompost involucra el aprovechamiento de las lombrices de tierra como bioreactores naturales versátiles que juegan un papel vital en la descomposición de la materia orgánica, mantienen la fertilidad del suelo y provocan un reciclado efectivo de elementos nutritivos y favorecen el crecimiento de las plantas. Una gran variedad de residuos sólidos orgánicos, domésticos, agroindustriales, y humanos pueden ser vermicomposteados. (Sharma *et al.*, 2005). A si mismo, se ha concluido que debido a la gran variedad de materias primas, los procedimientos de composteo, y las posibles duraciones del proceso de composteo permiten una flexibilidad casi interminable en términos de los tipos de composteo resultantes (Raviv, 2005).

2.4 El Vermicomposteo

El vermicomposteo, es realizado por la acción de diversas especies de lombrices, se utiliza para provocar la estabilización de diferentes residuos naturales y antropogénicos, y lodos de aguas negras. Por medio de este proceso, las lombrices de tierra mantienen condiciones aeróbicas en los residuos orgánicos, ingieren sólidos, convierten una porción de estos residuos orgánicos en biomasa y productos de la respiración y excretan un producto que permanece parcialmente estabilizado (el vermicompost). Las lombrices y los microorganismos actúan para incrementar la biodegradación de los residuos orgánicos (Baca *et al.*, 1992; Elvira *et al.*, 1998).

La popularidad del tratamiento de los residuos orgánicos por medio del vermicompost se ha incrementando constantemente en las últimas tres décadas. A diferencia de otros métodos de tratamiento para los residuos orgánicos, tales como de relleno sanitario o incineración, los cuales pueden provocar una contaminación severa debido a que los lixiviados alcanzan las aguas del subsuelo o contaminan el aire; el vermicompost se considera como un proceso más seguro. Ya que el vermicompost es un método que reincorpora residuos dentro de los recursos y permite la recuperación de los niveles de materia orgánica del suelo perdidos. Una vez que se produce adecuadamente, el vermicompost se convierte en un producto benéfico para la agricultura (Raviv, 2005).

El vermicompost contiene la mayor parte de los elementos nutritivos en formas disponibles para las plantas, tales como nitratos, fosfatos, calcio intercambiable, potasio soluble, etc., y tiene un área superficial particularmente grande que proporciona muchos micrositios para la actividad microbiana y para la fuerte retención de los elementos nutritivos. Los reguladores de crecimiento de la planta y otros materiales que afectan este crecimiento como: auxinas, sustancias húmicas, etc. generadas por los microorganismos, han sido reportados como componentes del vermicompost (Sharma *et al.*, 2005).

Las dos principales ventajas del vermicomposteo como método para el tratamiento de residuos son : a) la reducción de patógenos en el residuo por parte de la lombriz sin pasar por la etapa termofílica del composteo tradicional; pues dicha etapa reduce el potencial nutritivo del compost; y b) la posibilidad de

convertir un residuo orgánico en un abono orgánico, contribuyendo con ello a la reducción de la problemática que representan algunos residuos de origen urbano, como los biosólidos (Atiyeh *et al.*, 2000; Zhang *et al.*, 2000; Ndewa y Thompson, 2001; Santamaría-Romero *et al.*, 2001).

2.4.1 Etapas del Vermicomposteo.

Las etapas del proceso general del vermicomposteo son la selección de los materiales, mezclado y la reducción del tamaño, pre-composteo, digestión recolección y almacenamiento. Enseguida se describe mas a fondo cada uno de de ellos (Capistrán *et al.*, 1999).

- 1) Selección de los materiales. Puede considerarse cualquier residuo orgánico como periódico, aserrín, restos de comida, etc. Los materiales son llevados al recipiente, caja o lecho donde se llevarán a cabo los procesos de vermicompost.
- 2) Mezclado y reducción del tamaño. Los materiales se mezclan para su homogenización, procurando guardar entre ellos una porción del volumen que pueda medirse con algún recipiente u otra escala. En esta etapa los materiales se trituran, se muelen o se rompen lo que facilitará su incorporación a la mezcla.
- 3) Pre-composteo. Después de ser mezclado el material experimenta un periodo de reintensa actividad microbiana que genera temperaturas superiores a los 38 °C dentro del lecho o recipiente. Para reducir este aumento de temperatura se recomienda sacar unos días el material de su recipiente o lecho para que se enfrié a temperatura ambiente.

- 4) La digestión. La degradación de los residuos orgánicos se lleva a cabo mediante digestión enzimática, enriquecimiento de nitrógeno de los excrementos y el transporte de materiales orgánicos e inorgánicos. La lombriz fragmenta el material degradado lo que incrementa el área de aireación y la acción; mientras que el material es mezclado con las secreciones de la mucosa intestinal y los microbios para convertirlos en vermicompost.
- 5) Recolección. El material procesado por las lombrices (vermicompost) se va extrayendo del recipiente o lecho empezando por el que esté en el fondo. Este material sigue teniendo lombrices por lo que es necesario retirarlas del material con cuidado y depositarlas en otro sustrato. Finalmente se seca a temperatura ambiente.

El producto final, conocido también como “vermicompost o vermicast”, y que fue obtenido de los residuos orgánicos que atravesaron el intestino de la lombriz, es bastante diferente del material a partir del cual se generó el vermicompost (Domínguez *et al.*, 1997). En términos generales una descripción del vermicompost sería la siguiente (Eastman, 1999; Gajalakshmi *et al.*, 2001):

Es un material oscuro, con una elevada carga enzimática y bacteriana que lo estabiliza contra la fermentación o la putrefacción; aumenta la solubilidad de los elementos nutritivos, evita la lixiviación con los riegos y los mantiene disponibles por más tiempo en el suelo, liberándolos paulatinamente. Se puede utilizar sin inconvenientes en estado natural y se encuentra en estado libre de parásitos como los nemátodos. Posee pH neutro. Incrementa también la

superficie activa de las partículas minerales y con ello la CIC. Los ácidos húmicos y fúlvicos que contiene mejoraran las características químicas del suelo. Mejora estructurales del terreno y también amortigua el efecto de los compuestos químicos aplicados al suelo. Aumenta la retención hídrica de los suelos (4-27%) y disminuye el consumo de agua para los cultivos.

2.4.2 Sobrevivencia y Reproducción de la Lombriz *Eisenia fetida*

Se afirma que dentro de las lombrices con mayor incremento de crecimiento y fecundidad, sobresale la lombriz de tierra epigea *Eisenia fetida*; conocida también como “Lombriz del Estiércol” o “Lombriz Tigre”. Esta especie de anélidos es la mas utilizada en el vermicompost debido a su rápida adaptación a los residuos orgánicos, la amplia capacidad reproductiva durante el año y su soporte a variaciones importantes de humedad y temperatura (Mitchell *et al.*, 1980; Hunhta y Haimi, 1988; Capristán *et al.*, 1999; Gunadi *et al.*, 2002, Gunadi y Edwards, 2003).

El principal sustrato de la lombriz *E. fetida* es el estiércol de diferentes animales como el cerdo, conejo, caballo, gallina, oveja, pato y vaca (Federickson, 1997; Gunadi, 2002). A si vez este anélido también se ha adaptado a sustratos de residuos vegetales como restos de cosecha de papa y café, así como podas de pastos y malezas diversas (Federrickson *et al.*, 1997; Aranda *et al.*, 1999).

Cuando la lombriz alcanza la madurez sexual, *E. fetida* desarrolla un anillo mucoso de mayor diámetro que el resto del cuerpo, llamado clitelo, cuyas glándulas producen la cubierta del capullo y el alimento para nutrir a las crías

que están en su interior. Cada lombriz está dotada de un aparato genital masculino y de un aparato genital femenino. El aparato genital femenino recibe la esperma y lo retiene hasta el momento de la fecundación, misma que se efectúa a través del clitelo. La capacidad reproductiva de una lombriz adulta es de tres capullos por semana, pudiendo contener de 1 a 4 lombrices cada capullo. Así, la población de las lombrices puede llegar a multiplicarse cada día. Las lombrices permanecen en su capullo durante tres semanas y una vez fuera de él, se convierten en adulta a las 6 semanas (Butt, 1999; Capistrán *et al.*, 1999; St-Pierré *et al.*, 1999; Gunadi, 2002).

La lombriz común no es recomendable para el composteo de los residuos orgánicos ya que, a diferencia de la *E. fetida*, suele cavar galerías verticales, vive a más de 100 cm de profundidad, deposita sus deyecciones sobre la superficie terrestre, es menos prolífica, se reproduce únicamente en el verano y de cada capullo nace solamente una lombriz (Blackemore, 1995).

2.4.3 Vermicomposteo de biosólidos.

La EPA (2000) ha definido la estabilización de los biosólidos como la eliminación de olores indeseables, la reducción de patógenos (como bacterias y virus) y vectores de enfermedades (roedores, moscas), así como disminuir la concentración de toxinas biodegradables (hidrocarburos, Pesticidas) y metales pesados como el Cromo, Mercurio, Níquel, Antimonio, Bismuto, Plomo y Zinc.

Durante el proceso del vermicompost, *E. fetida* facilita la estabilización de los biosólidos a consecuencia de su actividad, pues con sus galerías mantiene la aireación necesaria para la salida de dióxido de carbono y entrada de oxígeno, con lo que se eliminan los olores indeseables. Estas condiciones aeróbicas son necesarias para que los diversos microorganismos presentes lleven a cabo la biooxidación del sustrato (Hunhta y Haimi, 1988; Capristán *et al.*, 1999, Ndegwa *et al.*, 2000). Además, la lombriz se adapta rápidamente al residuo para colonizarlo e incrementar con ello el grado de estabilización del mismo, comparado con los métodos tradicionales de composteo (Blackemore, 1995).

Cabe mencionar que la EPA (2000) ha clasificado el vermicompost de biosólidos como de clase A, es decir “de alta calidad” (“Exceptional Quality”) debido a la disminución de patógenos que presenta y a su estabilidad, misma que le permite cumplir con los estándares de la NOM 503. Esta clasificación permite la aplicación del vermicompost de biosólidos al suelo sin ninguna restricción.

2.5 Características químicas del vermicomposteo

2.5.1 pH

Durante el vermicomposteo la mayoría de los residuos orgánicos empleados como sustrato tiende acidificarse. Debido a que las lombrices son sensibles a las fluctuaciones de acidez, el pH debe mantenerse entre 5 y 9 para su supervivencia.

En términos de vermicompost, cabe resaltar que el pH desempeña un papel fundamental para la solubilidad y la disponibilidad de los metales pesados. De manera general, el incremento del pH del suelo disminuye la disponibilidad de los metales por medio de reacciones de precipitación o adsorción. Además varios elementos nutritivos se ven afectados por el pH del medio donde se encuentran: los más importante son el fósforo y la mayoría de los micro elementos, especialmente hierro, magnesio, cobre, zinc y boro; cuya disponibilidad disminuye a pH básicos (Capristán *et al.*, 1999; Mantovany, 2004).

2.5.2. Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) de un suelo o sustrato es la medición de salinidad solubles presente en $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Las sales solubles relativa promedio que contienen: calcio, magnesio, potasio, sodio, cloruros, nitratos y fosfatos, controlan la presión osmótica de la solución del suelo; si se encuentran en altas concentraciones provocan condiciones adversas para el desarrollo de las planta, principalmente debido al aumentó de la presión osmótica de la solución del suelo. Según la teoría de la sequedad fisiológica, esto implica mayor gasto de energía de la plantas para la obtención del agua y sufren desecamiento; o bien, su altura se reduce considerablemente, aun que exista una humedad elevada. Por lo tanto la conductividad eléctrica es el parámetro mejor y el mas ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad en el suelo (Capristán *et al.*, 1999; García y Dorronsoro, 1999; De Bertoldo y Schnappinger, 2001).

2.5.3 Capacidad de Intercambio Catiónico

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es el número de cationes disponibles en una cantidad de suelo, expresado en miliequivalente 100 g^{-1} . Estos cationes son elementos nutritivos como aluminio, magnesio, potasio, sodio y calcio; cuya concentración depende de la cantidad de materia orgánica presente en el sustrato. Un incremento en la CIC puede traducirse como un aumento en la cantidad de elementos disponibles en el vermicompost, así como en su fertilidad y contenido de materia orgánica (Capistrán *et al.*, 1999; De Bertoldi y Schnappinger, 2001; Mantovani, 2004).

2.5.4 Materia Orgánica

El porcentaje de materia orgánica presente en el vermicompost está estrechamente vinculado con su fertilidad ya que influye en la capacidad de intercambio catiónico del suelo. Los principales elementos nutritivos como el nitrógeno, el azufre y el Boro se derivan casi totalmente de la materia orgánica en descomposición. La fracción de la materia orgánica más resistente a esta descomposición es llamada *humus*, compuesta principalmente por lignina, aminoácidos, carbohidratos, celulosa, grasa y resinas. Aproximadamente el 56% del *humus* es carbón, el 35% oxígeno, el 3.55% hidrógenos y el 5% nitrógeno. Su coloración es casi negra de un olor fresco y de estructura parecida al suelo (Capistrán *et al.*, 1999; de Bartoldi y Schnappinger, 2001).

2.5.5. Relación Carbono:Nitrógeno (C:N).

La relación C:N es de suma importancia para el desarrollo de la población microbiana presente en el vermicompost. Su disminución durante el

vermicomposteo se debe al consumo del carbono y nitrógeno por parte de la población microbiana presente en el proceso; lo que puede interpretarse como un aumento en el grado de la fermentación del residuo orgánico. El carbono proporciona la energía necesaria para el crecimiento de los microorganismos, y el nitrógeno es el principal componente de sus estructuras celulares (Capristán *et al.*, 1999; Ndwega y Thompson, 2000).

III. MATERIALES Y MÉTODO

El experimento se llevó a cabo en una bodega del área de producción de vermicomposteo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL, la cual está localizada en Periférico y Carretera Sta. Fe, km 1.5 en Torreón Coahuila; durante el periodo Mayo – Noviembre del 2007.

3.1 Materiales y organismos utilizados.

3.1.1 Biosólidos

Lo biosólidos que se emplearon en este proyecto provinieron de los asentamientos de la planta tratadora de aguas industriales de la compañía Cooper Standard Automotive, ubicada en Calle Praxedis de la peña No. 268 Ciudad Industrial, Torreón, Coahuila. Estos lodos se consideraron peligrosos en base a los análisis CRETIB (Nom-052-SEMARNAT-2003) realizados el 7 de mayo del 2007, por la empresa Laboratorio Industrial Metalúrgico, S.A de C.V ubicada en Tamazula No. 256 Apartado postal 231-3 Parque industrial Lagunero, Gómez Palacio Durango, se obtuvieron muestras de lodos de la planta tratadora, siendo éstos colocados en un tambo de plástico de 30 kg para su traslado a las instalaciones de la universidad.

3.1.2 Estiércol

El estiércol seco de caballo se obtuvo de las unidades pecuarias de la universidad.

3.1.3 Lombrices

La lombriz *E. fetida* fue empleada para ese experimento, debido a que los organismos muestran un elevado índice de reproducción y tiene la capacidad de habitar en lugares con altos contenidos de materia orgánica (Butt, 1999); sin dejar de mencionar que varios investigadores han sugerido que *E. fetida* puede ser utilizada en el manejo de lodos residuales (Mitchell *et al.*, 1980; Cardozo-Vigueros y Ramírez-Camperos 2002).

3.1.4 Unidad Experimental

Las unidades experimentales se establecieron en recipientes de plástico con una dimensión de 35 x 10 x 15 cm de largo, ancho y alto respectivamente y cada uno de ellos con 7 orificios de drenaje en los cuales se colocaron 3 kg de lodos residuales (Gajalaskshmi *et al.*, 2001) para evitar la proliferación de insectos dentro de los recipientes, éstos se cubrieron con tela de malla durante los 90 días que duró el proyecto.

3.1.5 Sustratos

Para evaluar el comportamiento de las lombrices *E. fetida* se utilizaron mezclas de lodos residuales con estiércol de caballo (cuadro 3) en tres diferentes proporciones y sobre cada mezcla se realizó la inoculación de las lombrices.

Cuadro 3 .Mezclas de sustratos evaluados para el desarrollo de la lombriz *E. fetida*

Tratamiento	Inoculación de lombrices <i>E. fetida</i> (Individuos)	Relación (volumen: volumen)	
		Lodos Residuales	Estiércol seco de caballo
T1	40	1	1
T2	40	1	2
T3	40	1	3

3.2 Manejo de sustratos

Los tratamientos fueron regados con agua de la llave cada tercer día, para mantener el porcentaje de humedad adecuado para la supervivencia de la lombriz (entre el 70 y el 88%) ya que las lombrices no sobreviven a mezclas que contengan el 93% de humedad (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2002).

Al principio se realizó el volteo de de las mezclas cada tercer día en cada recipiente con ayuda de una cuchara de jardinería. El mezclado fue necesario para homogenizar los sustratos de crecimiento, facilitando la presencia del aire para favorecer el proceso de descomposición de los lodos residuales y evitar la presencia de olores desagradables. Además, Hunhta y Haimi (1988) menciona que la distribución de las lombrices en la mezcla no siempre es uniforme y se agrupan en sitios específicos, sobre todo en sustratos de estiércol.

3.2.1 Muestreo

Durante el desarrollo del experimento se hicieron cuatro muestreos a los 0, 30, 60 y 90 días. El primero fue solo del biosólido los restantes fueron de las mezclas de biosólidos y estiércol, para determinar las características químicas

de cada sustrato. En cada muestreo se obtuvieron 180 g del sustrato de cada recipiente para generar una muestra compuesta, las muestras compuestas se colocaron en bolsas de plástico con la identificación respectiva de cada tratamiento y se procedió a secarlos y trasladarlos al laboratorio de suelos de la misma institución para sus análisis

3.2.2 Variables evaluadas

Para determinar el efecto de las lombrices sobre los diferentes sustratos evaluados, además de contabilizar el número de organismos sobrevivientes al finalizar el experimento, también se determinarían las siguientes determinaciones químicas de los sustratos: pH, CE, CIC, MO, relación C:N con cuatro diferentes muestreos a los 0, 30, 60 y 90 días.

3.2.3 Procedimiento de análisis químico para los sustratos

Antes de proceder el análisis químico, las muestras secas fueron trituradas en un molino Quaker City Mill Philadelphia modelo 4E®. Para luego ser tamizado con una Malla Alfa de 0.5 mm. Las técnicas empleadas para el análisis de las muestras fueron las siguientes (Allison, 1982).

-pH y Conductividad Eléctrica:

Para estas dos determinaciones se pesaron 200 g de cada muestra en una balanza analítica Sartorius, tipo 150, las muestras fueron colocadas en recipientes de plástico de 500 mL, se les agregó poco a poco agua destilada y se mezclaron con una espátula metálica hasta que la pasta formada brilló con la luz y sin acumulación de agua sobre la superficie de las muestras. Ya

saturadas las muestras se dejaron reposar por 24 horas a temperatura ambiente. Trascurrido el tiempo, las pastas fueron colocadas en un embudo de porcelana "Kitazato" con papel filtro Whatam No.5 y se filtro al vacío con una válvula Roblenz Modelo dgp 144, recuperando el extracto en un tubo de ensaye.

Después de obtenido el extracto se determinaron tanto pH como CE, utilizando el potenciómetro marca Orión, modelo 420 A. para la medición del pH el potenciómetro se calibró con solución buffer de pH 4.0, 7.0 y 10.0 posteriormente se sumergió el electrodo en cada muestra y se registró el valor de las lecturas realizadas. La determinación de CE se procedió de modo similar, pero ajustando el menú del conductímetro a la medición de CE en mS cm^{-1} para realizar las lecturas correspondientes.

-Capacidad de intercambio catiónico.

Para la determinación fue necesario preparar previamente las siguientes soluciones:

- BaCl_2 1N: se disolvieron 122.12 g de BaCl_2 en agua destilada y se aforó en 1 L.
- Metanol al 70%: se aforaron 70 mL de CH_3OH a 100 mL con agua destilada.
- Solución Saturada de yeso al 5% en agua: se disolvieron 5 g de $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ en agua destilada y se aforó a 1 L, para ello se agitó la solución durante 1 h con un agitador magnético Corning Strirrer modelo HSJO y se filtró para retirar exceso de yeso.

- Solución Buffer: se disolvieron 33.75 g de NH_4Cl en agua destilada con 285 mL de NH_4OH , la solución se aforó a 1 L.
- Negro de Ericromo: se disolvieron 0.5 g de negro Ericromo T y 4.5 g de clorhidrato de hidroxilamina en 100 mL de alcohol etílico absoluto.
- Dietildietocarbamato de sodio al 1%: se disolvió 1 g de Dietildietocarbamato de sodio en 100 mL de agua destilada.
- NaOH 4N: se disolvieron 16 g de NaOH en 100 mL de agua destilada y se aforo a 1 L.
- Murexida: se disolvieron 5 g de murexida en 100 mL de agua destilada.
- EDTA 0.02 N: se disolvieron 4 g de EDTA en agua destilada y se añadió 0.1 g de $\text{MgCl}_2 \times 6 \text{H}_2\text{O}$ la solución resultante se agitó y se aforó a 1 L.

Una vez cribada la muestra con el tamiz Alza de malla 0.2 mm, se pesaron 4 g y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, para disolverlo en 15 mL de BaCl_2 1N, el matraz Erlenmeyer fue tapado con una película de Parafilm® para evitar un derrame o contaminar la muestra, que fue agitada 30 min a 180 rpm en el agitador mecánico Eberbach modelo 6010. Posterior a la agitación la muestra se dejó reposar por 24 h.

Al término de ese tiempo, la muestra fue filtrada a través de un embudo de porcelana con papel filtro Whatman No. 5 la filtración se realizó al vacío con una bomba Roblenz modelo dgp 144 y procurando recuperar los residuos muestra contenidos en el matraz Erlenmeyer, enjuagándolo con BaCl_2 1N, del mismo modo se lavó el filtro con 60 mL de metanol al 70% en porciones de aproximadamente 10 mL cuidando que se filtrara totalmente la solución.

Terminada la filtración, el papel filtro con la muestra fue doblado y devuelto al mismo matraz Erlenmeyer que contenía la muestra inicialmente. Se le agregaron 100 mL de solución saturada de yeso al 5% en agua y se tapó con parafilm para agitarlo nuevamente por 30 min en el agitador mecánico Eberbach modelo 6010. Se filtró al vacío la muestra mediante un embudo de porcelana y con papel filtro en una bomba Roblenz modelo dgp 144 y el filtrado se recuperó un vaso de precipitado de 100 mL.

Para proceder a la titulación de la muestra, se tomaron 5 mL del filtrado (una alícuota) con una pipeta volumétrica de 5 mL, para colocarlos en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, se agregaron 5 mL de agua destilada, 1 mL de solución Buffer y como indicador una gota de Negro Ericromo. La muestra se tituló con EDTA 0.02 N virando de color rojo a azul.

Del mismo modo, se preparó un testigo colocando 5 mL de solución saturada de yeso al 5% en agua en un matraz Erlenmeyer de 125 mL se añadieron además cinco mL de agua destilada, cinco gotas de dietildietocarbamato de sodio al 1%, 5 gotas de NaOH y 1 gota de Murexida. El testigo fue titulado también con EDTA 0.02 N, virando de color rosa a lila.

La fórmula para calcular la CIC en $\text{meq } 100\text{g}^{-1}$ de suelo es la siguiente:

$$CIC \text{ meq } 100^{-1} = \frac{(mL \text{ Gasto testigo} - mL \text{ Gasto muestra})(Normalidad \text{ EDTA})(1000)}{(peso \text{ g})(mL \text{ alicuota})}$$

-Materia orgánica.

Para esta determinación, fue necesario preparar previamente los siguientes reactivos:

- ❖ $K_2Cr_2O_7$ 1 N: se disolvieron 49.04 g de $K_2Cr_2O_7$ en agua destilada y se aforó a 1 L.
- ❖ $FeSO_4$ 0.5 N: se disolvieron 140 g de $FeSO_4 \cdot x 2H_2O$ en 250 mL de agua destilada. Se adicionaron 15 mL de H_2SO_4 concentrado y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se aforó a 1 L.
- ❖ Difenilamina: se disolvieron 0.5 g de difenilamina en 20 mL de agua destilada. Luego se añadieron 100 mL de H_2SO_4 concentrado y se dejó reposar.
- ❖ Ferroína: se disolvieron 14.85 g de fenetrolina monohidratada y 6.95 g de $FeSO_4$ en agua destilada, y se aforó a 1 L.

Se pesó 1 g de suelo seco y se colocó en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, se adicionaron 10 mL de $K_2Cr_2O_7$ 1 N a la vez que se agitaba manualmente el matraz con cuidado para facilitar la mezcla. Luego se agregaron 20 mL de H_2SO_4 concentrado y se agitó el matraz en forma circular durante 1 min, dejándose reposar 30 min. Posteriormente se añadieron 5 mL de H_3PO_4 y como indicador se adicionaron 5 a 10 gotas de ferroína. La titulación se realizó con disolución de $FeSO_4$, virando a color rojo. Del mismo modo, se corrió un blanco de la muestra en un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Este blanco fue necesario para calcular la normalidad exacta del $FeSO_4$ a partir del gasto que se obtiene al titularlo.

La fórmula para calcular el contenido de materia orgánica de una muestra en porcentaje es la siguiente:

$$\% M.O. = \frac{[(mL K_2Cr_2O_2)(Normalidad) - (mL FeSO_4)(Normalidad)] 0.67}{(Peso muestra g)}$$

Para obtener el % de carbono total. Se divide el porcentaje resultante de materia orgánica entre el factor (1.724) de transformación de carbono en materia orgánica.

- Nitrógeno Total

La determinación del nitrógeno total se divide en tres partes: digestión, destilación y titulación, para realizar la digestión se pesaron en una balanza analítica Sartorius tipo 1507, 5 g de muestra, sobre un papel filtro Waltham No.5, mismo que se colocó en un matraz Kjeldahl. A este matraz se le agregó 1 g de ácido salicílico disuelto previamente en 35 mL de H₂SO₄ concentrado, procurando que no resbalara por las paredes; se dejó en reposo 30 min. Posteriormente se agregaron 15.69 g de tiosulfato de sodio penta hidratado y 2.82 g de sulfato de cobre pentahidratado. Se realizó la digestión en una estufa Kjendhal marca Labconco®, agitando el matraz con frecuencia evitando que el suelo se pegara al recipiente todo ello hasta que la muestra alcanzó un color verde claro. Se dejó enfriar la solución y se añadieron 300 mL de agua destilada.

Para la digestión, fue necesario preparar una solución de la siguiente manera: en un matraz Erlenmeyer de 500 mL se colocaron 10 mL de HCl 0.1 N, 50 mL

de agua destilada y cuatro gotas de rojo metilo. Esta solución se colocó en el tubo de destilación. Al matraz Kjeldahl con la muestra se le agregaron 100 mL de NaOH al 45% y se colocó en el destilador lo más rápido posible. En la solución del matraz Erlenmeyer de 500 mL se recogieron 200 mL de filtrado de la muestra.

A la par de la muestra, se corrió un testigo, y éste se tituló con NaOH 0.1 N hasta que desapareció el color rojizo y quedó un color verde claro. El porcentaje de Nitrógeno total se determinó con la fórmula:

$$\% N_{TOTAL} = \frac{(mL NaOH Testigo - mL NaOH Muestra)(Normalidad NaOH)(0.014)(100)}{(peso muestra g)}$$

3.3 Análisis de datos

Para determinar el efecto de los diferentes sustratos sobre las variables evaluadas para cada una de ellos se aplicó un análisis de varianza y la prueba de DMS(5%). Adicionalmente para establecer el comportamiento de las variables a través del tiempo se aplicaron análisis de regresión lineal.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos fueron analizados mediante análisis de regresión para definir la tendencia de los cinco parámetros evaluados a través del tiempo. Para determinar el efecto de las lombrices sobre los diferentes sustratos evaluados, además de contabilizar el número de organismos sobrevivientes al finalizar el experimento, se determinaron los siguientes parámetros químicos de los sustratos: pH, CE, CIC, MO, relación C:N con cuatro diferentes muestreos a los 0, 30, 60 y 90 días, a los cuales se les aplicó un análisis de varianza y en el caso correspondiente, de diferencia entre tratamientos y la prueba de comparación de medias DMS(5%).

De los resultados obtenidos en el análisis de varianza, (cuadro A1; a, b, c, d, y e) para determinar el efecto de los tratamientos sobre las variables evaluadas, se determinó que solamente el pH presentó efectos significativos ($P \leq 0.05$) (cuadro 4).

Cuadro 4. Cuadrados medios y significancia estadística para las variables evaluadas.

FV	gL	pH	CE	CIC	MO	C:N
Tratamientos	2	1.26*	1.28 ns	16.32 ns	0.93 ns	5.03 ns
Error	9	0.22	4.10	5.13	4.86	1.32
Total	11					
CV (%)		6.32	23.55	14.57	12.68	18.48

4.1 Dinámica del pH en los sustratos vermicomposteados

En relación al pH, la figura 1 permite apreciar que los valores iniciales de los tres tratamientos oscilaron entre 6.9 y 7.94, a partir del día 30, el

comportamiento de esta variable fue el siguiente: el pH del tratamiento T2 que contiene más cantidad de estiércol que el T1, se incrementó a 8.05 (1.38%) a los 60 días, después disminuyó ligeramente hasta alcanzar, al día 90, el valor de 7.21 (9.19%) mientras que el T3 reflejó, al igual que el T2, una ligera disminución a 7.71 (2.4%) alcanzando al los 90 días una disminución de 7.52 (4.48%) del valor máximo alcanzado, mientras que el tratamiento T1 que contiene la misma cantidad de estiércol que de lodos residual descendió hasta 6.66 un 4.58 % al final del experimento. En términos generales aunque se presentaron incrementos de pH al día 60 para los tratamientos, ésta característica química reflejó una reducción en promedio para los tres tratamientos de 0.5 unidades de pH, bajo el efecto de la lombriz *E. fetida*. Sin embargo la descomposición de biosólidos orgánicos incrementa la relación pH, haciendo suponer la formación ácidos húmicos y fúlvicos (Miller, 1993).

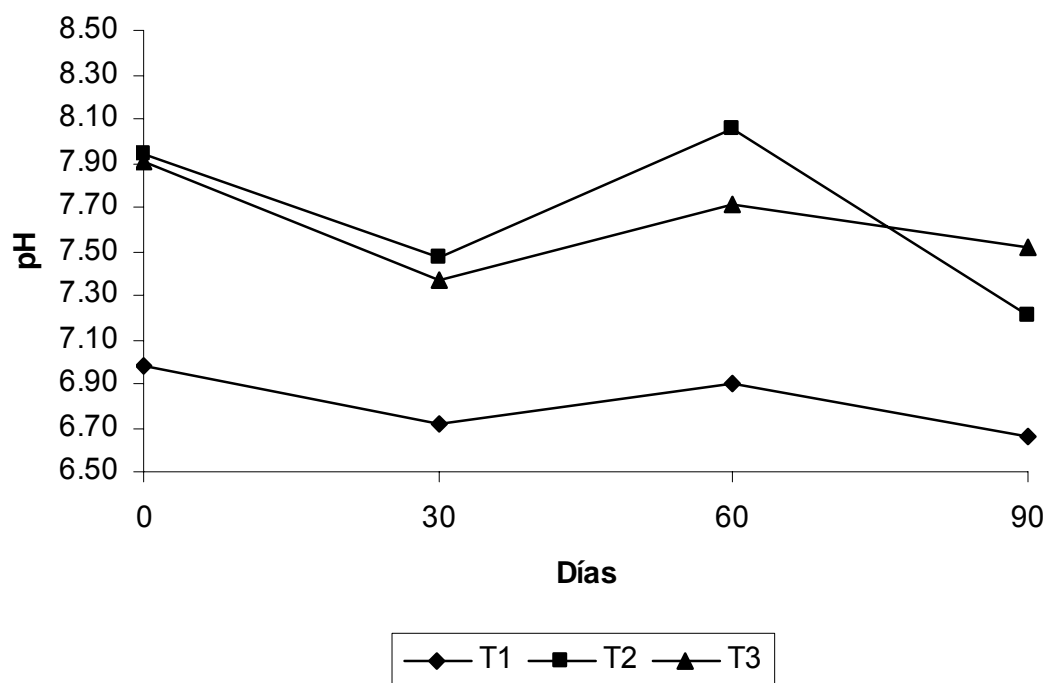


Figura 1. Comportamiento del pH durante el vermicomposteo de lodos residuales con *E. fetida*.

El incremento de pH registrado a los 60 días para los tratamientos provocó que le valor de R^2 de las ecuaciones de regresión presentaran ajustes reducidos (cuadro 5) sin embargo, las ecuaciones obtenidas reflejan lo que anteriormente se señaló, de que el pH, a través del tiempo tiende a reducirse, dado que la pendiente presentó valores negativos.

Cuadro 5. Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento del variable pH

Tratamiento	Y	Raíz ²
1	Y=-0.078x+7.01	0.4507
2	Y=-0.161x+8.07	0.2764
3	Y=-0.08x+7.825	0.2014

Derivado de la prueba DMS(5%) aplicada a los valores promedio de pH (cuadro 6) se determinó que el T3, que incluía la mezcla de lodos residuales y estiércol en relación (1:3) inoculada con lombrices *E. fetida*, provocó el mayor cambio de los valores de pH alcanzando un valor promedio de 6.8.

Cuadro 6. Comparación de valores promedio y prueba de significancia para valores de pH

Tratamiento	Media
T1	7.8925 a
T2	7.6250 b
T3	6.8150 c

Los valores de pH reportados en el presente trabajo se encuentran dentro del rango recomendado para la supervivencia de la lombriz, que según Huntha y Haimi (1988) debe oscilar entre 5 y 9. Aunque, los tratamientos con mayor valor de pH (T2 y T3) son los que registran mayor densidad de población de lombrices (figura 6), lo que demuestra la tolerancia de *E. fetida* a las variaciones del pH. Sin embargo, a diferencia del presente experimento, Gunady y Edwards (2004) reportan valores entre 4.1 y 8.9 en un trabajo con

lombrices *E. fetida* inoculadas en diferentes residuos orgánicos, incluyendo biosólidos.

Los mayores valores de pH en los tratamientos T2 y T3 pueden asociarse a la participación de la lombriz en los procesos de descomposición de los lodos residuales, ya que cuando las secreciones de las glándulas calcíferas presentes en estos organismos, se mezclan con el dióxido de carbono, producido por la respiración, se forma carbonato de calcio. Este compuesto básico aparentemente influyó en el pH del sustrato coincidiendo con lo que determinó Rodríguez-Valderas (2004), quien obtuvo valores de pH básicos al realizar el vermicomposteo de mezclas de biosólidos y residuos urbanos con *E. fetida*.

4.2 Conductividad eléctrica en los sustratos de vermicomposteo

La Conductividad Eléctrica (CE) de los tratamientos T1, T2 presentó un comportamiento similar durante los 90 días del experimento, a diferencia del T3, lo cual se aprecia en la figura 2. En el T1 la CE aumentó considerablemente al día 60 en (47.93%), mientras que en el T2 disminuyó al los 30 días (9.56%). La CE del T2 aumentó a los 60 y 90 días dando como resultado un incremento total de 13.90% de valor inicial y el T3 reflejó una tendencia similar hasta los 30 días, con una disminución de (9.24%), aumentando significativamente a los 60 días hasta (63.32%) y dando como resultado final un incremento poco considerable del 1.17% de su valor inicial, lo

que puede asociarse a la actividad de la lombriz dado que en el T1 las lombrices fueron inoculadas en una mezcla con la misma proporción.

El T3 presentó una disminución en su CE inicial; es decir se redujo la salinidad de los sustratos. Mientras que en los tratamientos T1 y T2 se reflejó claramente un incremento (63.30 y 13.90%) respectivamente. En esta variable, el valor de la CE más bajo se presentó en los tratamientos con más lodo, como lo reportan Santamaría-Romero *et al.*, (2001) en un experimento similar donde obtuvieron vermicompost y compost a partir del residuos con cantidades variables de lombriz *E.andrei*.

Contreras-Ramos *et al.* (2005) realizaron un trabajo de vermicomposteo con *E. fetida* en mezclas compuestas del estiércol de bovino y avena registrando rangos de CE entre 5 y 9 mS cm⁻¹; coincidiendo con los valores reportados en el presente trabajo, para los sustratos del T2 y T3 obtenidos.

La variabilidad de la CE en los tratamientos a través del experimento, ocasionó que los valores de la R² de las ecuaciones de regresión presentaran un ajuste reducido (cuadro7), a su vez las ecuaciones obtenidas se demuestra lo que anteriormente se señaló, de que el incremento que presentaron los T2 y T3 al final fueran factores que redujeran la estabilidad, mientras que el T1 originó que redujera la salinidad de los sustratos (Corlay *et al.*, 2000).

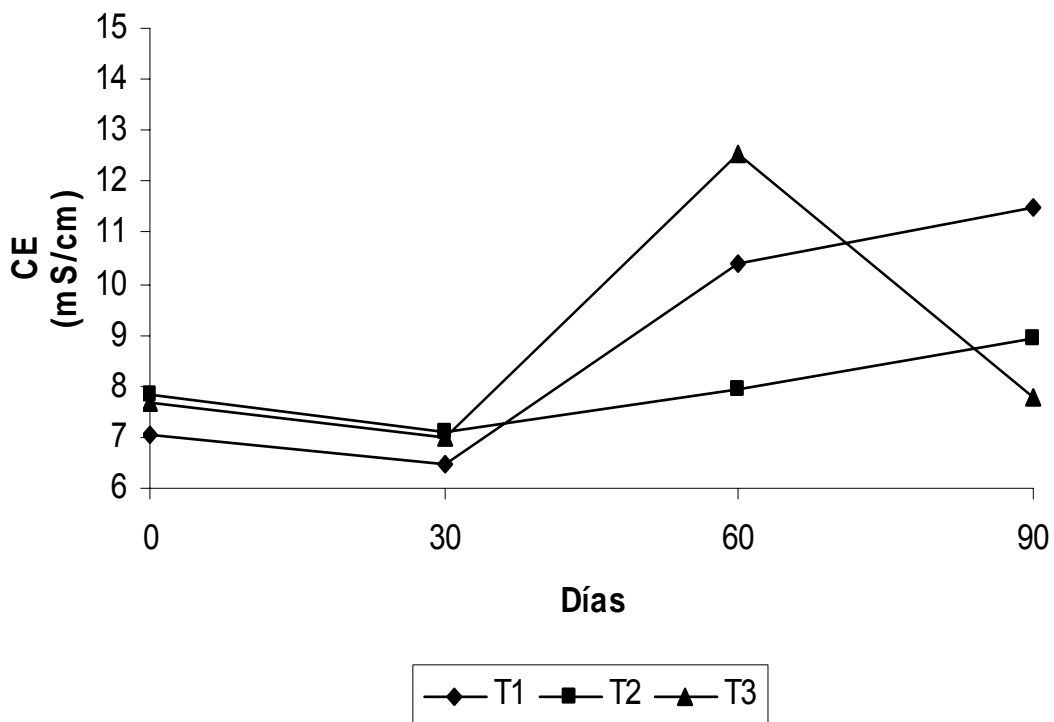


Figura 2. Comportamiento de la CE durante el vermicomposteo de lodos Residuales con *E. fetida*.

Cuadro 7. Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable CE

Tratamiento	Y	Raíz ²
1	Y=1.728x+4.525	0.816
2	Y=0.413x+6.92	0.4981
3	Y=0.585x+7.29	0.0868

4.3 Dinámica de la capacidad de Intercambio catiónico en los sustratos vermicomposteados.

En relación con la capacidad de intercambio cationico CIC, de la figura 3 se destaca que los tratamientos con más estiércol (T2 y T3) presentaron un incremento considerable (26.40% y 44.93%) de CIC respectivamente, a partir del inicio del proyecto, en cambio la CIC en el T1 se registró una disminución muy reducida de $1.0 \text{ meq} \cdot 100 \text{ g}^{-1}$ (7.40%), al final del experimento.

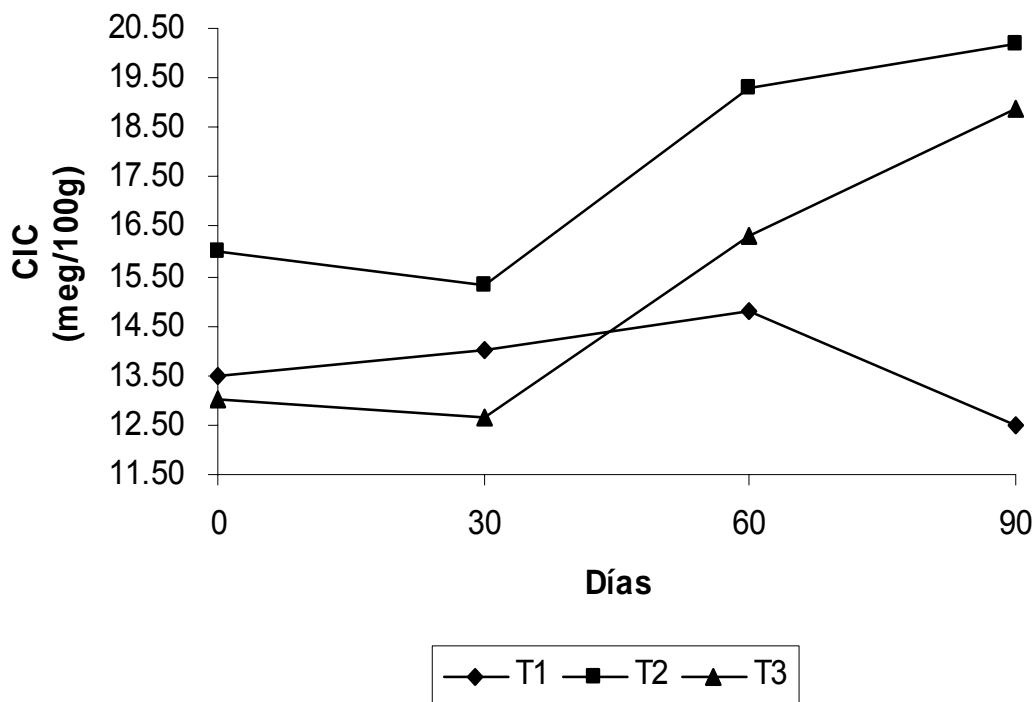


Figura. 3 Comportamiento de la CIC durante el vermicomposteo de lodos residuales con *E. fetida*.

El aumento de la CIC registrada a los 60 días para los Tratamientos T2 y T3 provocó que el valor de la R^2 de la ecuación de regresión lineal presentara un ajuste considerable (cuadro 8). Las ecuaciones obtenidas reflejan lo que se señaló anteriormente de que los T2 y T3 debido a su incremento en la CIC, resultó de gran importancia para enriquecer la calidad del vermicomposteo con estiércol. El efecto favorable de la CIC se debe posiblemente al efecto de las lombrices *E. fetida* sobre las condiciones de mayor fertilidad del sustrato (Clark, 1997).

Cuadro 8. Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable CIC.

Tratamiento	Y	Raíz ²
Tratamiento 1	$Y=-0.22x+14.25$	0.0871
Tratamiento 2	$Y=1.663x+13.545$	0.7954
Tratamiento 3	$Y=2.122x+9.92$	0.8654

Al respecto de la capacidad de intercambio catiónico, Contreras- Ramos *et al.*, (2005) reportan las mismas tendencias iguales de CIC registradas en el presente experimento al incrementarse de 12 a 19 meq•100⁻¹ de suelo, durante un experimento de vermicomposteo de biosólidos con estiércol de bovino y lodos en diferentes proporciones utilizando la lombriz *E. fetida*.

4.4 Dinámica de la Materia Orgánica en los sustratos vermicomposteados

Como se observa en la figura 4, los tratamientos T1, T2 y T3 presentaron un incremento de MO similar en el día 30, ya que al día 60 el T2 reflejó una disminución (2.47%) alcanzando al final del proyecto un valor de 17.31% de MO que representa el 41.51% después de su valor inicial y siendo este el mas alto de los tres, mientras que el T3 mostró un incremento a partir del día 60 día alcanzando un valor 19.54% de MO (42.62%) de su valor inicial y finalizando con 17.8% de MO (29.78%) más de su valor de partida. La MO en el T1 después de haber incrementado de su valor inicial 23.54% a los 30 días, fue descendiendo progresivamente a partir de esta fecha hasta alcanzar valores de 18.63 y 17.54% de MO (6.15% y 10.14%) a los 60 y 90 días respectivamente, como resultado final presentó un incremento del 11.01% con el contenido de MO con el valor inicial.

Probablemente, el consumo de los elementos por parte de la lombriz afectó la concentración de MO, así como las variaciones de pH que se representaron durante el experimento, esta suposición se fundamenta en que Santamaría-Romero *et al.* (2001) obtuvieron comportamientos similares al trabajar con estiércol de conejo y residuos de poda de jardín.

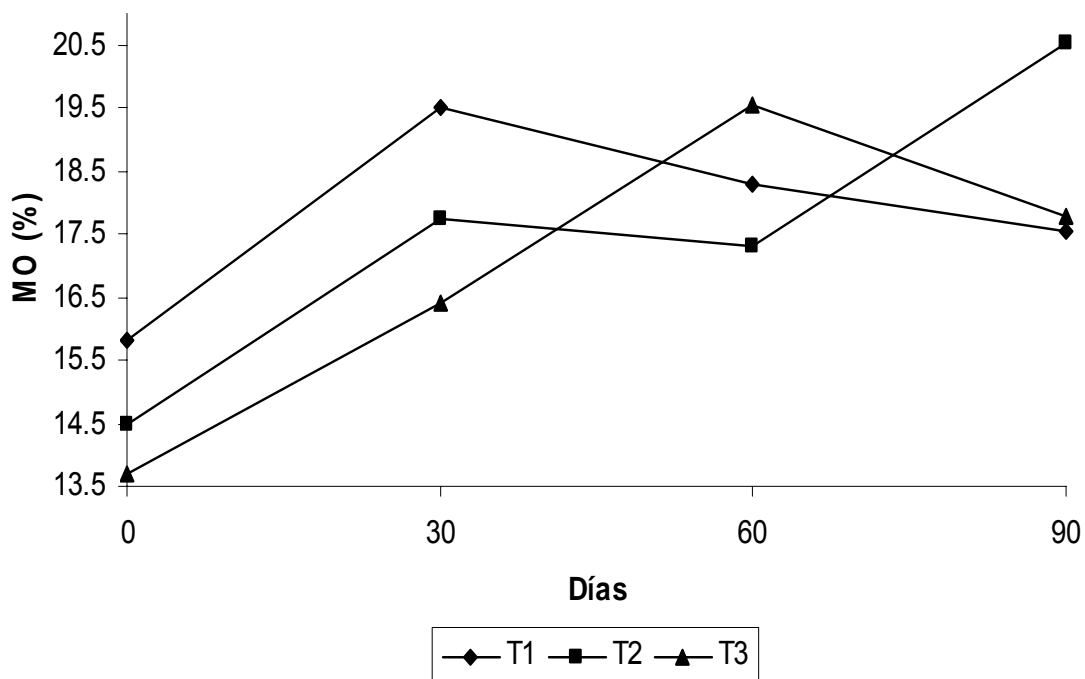


Figura. 4 Comportamientos de la MO durante el vermicomposteo de lodos residuales con *E. fetida*

El aumento de MO observado a los 60 días para ambos tratamientos provocó que el valor de la R^2 de la ecuación de regresión presentara un ajuste reducido (cuadro 9) sin embargo, las ecuaciones obtenidas reflejan, lo que anteriormente se señaló, que la MO a través del tiempo tiende a incrementarse dado que la pendiente registró valores positivos. Es por eso que el aumento de MO en ambos tratamientos reflejó el aumento de la fracción lábil de materia orgánica ocasionando la disminución de acidez y el aumento de la calidad de materia orgánica (Palm et al., 1996).

Cuadro 9. Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable MO

Tratamiento	Y	Raíz ²
Tratamiento 1	$Y=1.4x+16.79$	0.1100
Tratamiento 2	$Y=1.762x+13.115$	0.8251
Tratamiento 3	$Y=1.53x+13.01$	0.6489

Por otra parte, Cardozo y Ramírez (2002) reportaron un incremento de 60% en la MO durante el vermicomposteo de mezclas de biosólidos y residuos de poda de césped a diferentes proporciones de humedad con la lombriz *E. fetida*, mientras que lo producido por el presente experimento, solo registró un incremento del 27.16% para esta variable.

4.5 Dinámica de la Relación Carbono:Nitrógeno en los sustratos vermicomposteados.

En la (figura 5) se observa que los tres tratamientos presentaron un incremento en la relación C:N en el día 30 manteniéndose casi sin variaciones el T2 y T3 mientras que el T1 presentó un incremento considerable de su valor inicial dando como resultado un incremento del 140% para después mantenerse casi en los mismo valores dando como resultado después de los 30 días incremento del (3.35%) y un ligero descenso (0.1%) a los 60 y 90 días respectivamente hasta el final del experimento. El T2 se fue incrementando gradualmente desde el inicio, reflejando valores similares en los 30, 60 y 90 días (15.5, 17.28 y 24.62) respectivamente. Mientras que el T3 presentó cierta variabilidad disminuyendo y aumentando a los 60 y 90 días respectivamente mostrando un incremento total del 22.95% después de su valor inicial.

El aumento de la relación N:C que presentó en los tres tratamientos a los 60 días fue favorable por el incremento registrado en ellos, ocasionando que el valor de la R^2 mostrara un ajuste reducido (cuadro 10) sin embargo las ecuaciones obtenidas demuestran lo que anteriormente se suponía, de que las

relaciones C:N a través del tiempo tienden a incrementarse al presentar la pendiente valores positivos.

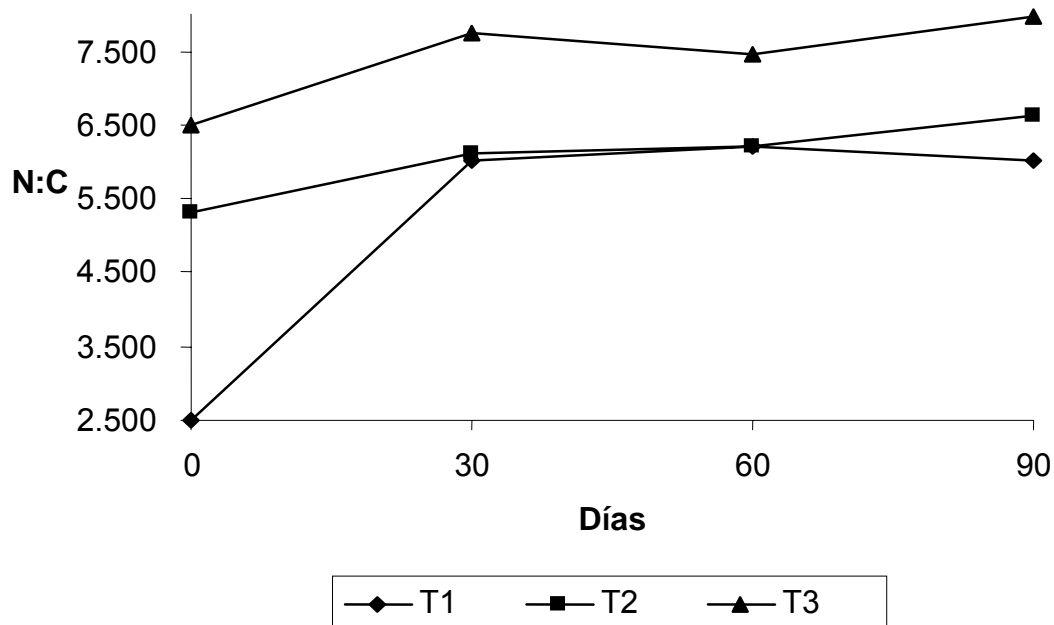


Figura. 5 Comportamiento de la relación C:N durante el vermicomposteo de lodos residuales con *E. fetida*.

Cuadro 10. Ecuaciones de regresión lineal del comportamiento de la variable C:N.

Tratamiento	Y	Raíz ²
Tratamiento 1	$Y=1.0786x+2.2965$	0.5999
Tratamiento 2	$Y=0.4039x+5.0535$	0.8927
Tratamiento 3	$Y=0.4162x+6.378$	0.6688

Jiménez y García (1992) realizaron un estudio para encontrar los parámetros indicadores del grado de maduración del compost de biosólidos, en el que concluyen que una relación C:N menor de 12 es mas apropiada para asegurar un buen nivel de descomposición del sustrato comparado con los valores comúnmente aceptados de relación C:N como de 25 o 30 e incluso menor a 20. En atención a lo anterior se puede destacar que al menos en los tratamientos T1 y T2 se presentaron valores inferiores a una relación de C:N de 20 con lo

cual es posible suponer que las lombrices *E. fetida* provocaron un buen nivel de descomposición de los biosólidos generados por la compañía Cooper Standard Automotive.

En el mismo sentido Rodríguez-Valderas (2004) encontraron resultados parecidos a los obtenidos en el presente experimento en la relación C:N en un experimento de vermicomposteo de biosólidos mezclados en varias proporciones con compost de residuos urbanos, empleando la lombriz *E. fetida*. Del mismo modo, un experimento de Naddafi (2004) registró incrementos en la relación C:N de todos los tratamientos de biosólidos vermicomposteados con la misma especie de lombriz.

4.5 Conteo final de *E. fetida* en los sustratos vermicomposteados.

A los 90 días del experimento, las poblaciones de *E. fetida* aumentaron variablemente en los T2 y T3, mientras que en el T1 el resultado final fue negativo (cuadro c del apéndice). En la figura 6 se observa que el tratamiento T3 superó los tratamientos T2 y T1 en el conteo final, con lo que establece que las lombrices se adaptaron más fácilmente.

Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos (2204) registraron una supervivencia del 100% de la población de *E. fetida* inoculada en sustratos con 70% biosólidos en diferentes concentraciones de humedad. En otro trabajo, Gajalakshmi *et al.*, (2001) inoculó 20 lombrices *E. eugeniae* adultas y en mezclas de residuo orgánicos y estiércol de vaca. Al final de su experimento, la población inicial casi se duplicó o incremento 2,5 veces en todos los

tratamientos, misma condición que se determinó en el tratamiento T3 del presente experimento.

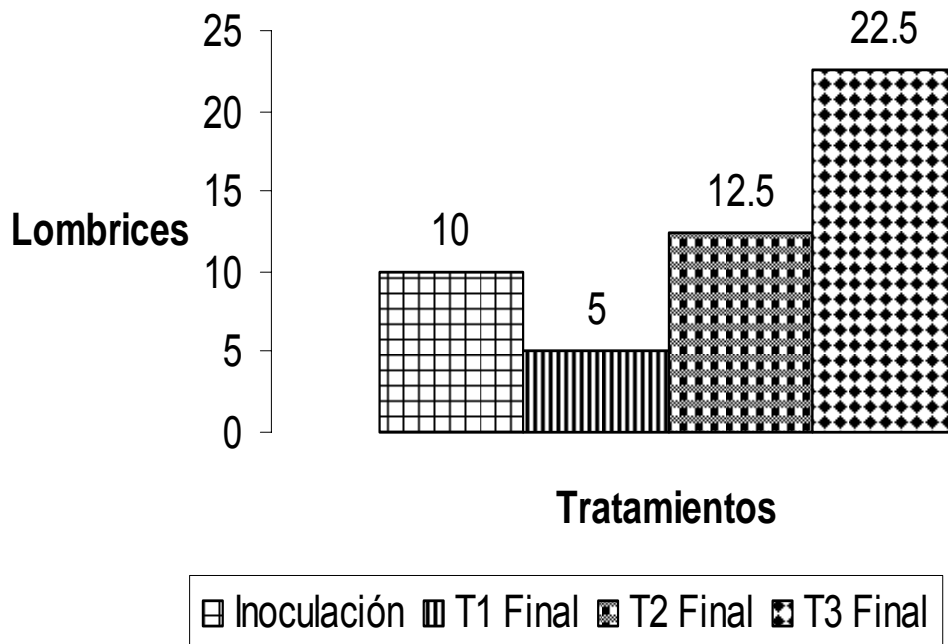


Figura 6. Conteo final de población promedio por recipiente de *E. fetida* en los sustratos de vermicomposteo.

V.- CONCLUSIONES

El presente experimento permitió comprobar que los biosólidos pueden ser estabilizados mediante la técnica de vermicomposteo, empleando la lombriz epigea *E. fetida*.

Los resultados obtenidos permiten resaltar el papel establecido por la lombriz reflejando el valor del pH alrededor de la neutralidad; reducción de la CE; aumentó en la CIC; aumento y consumo de MO por parte de la lombriz, así como en la relación C:N.

Derivado del conteo final de las lombrices *E. fetida* se concluye que la población de lombrices *E. fetida* se redujo un 50% en el T1; mientras que en el T3 aumentó 225% su población inicial y 125% en T2. Lo anterior demuestra una preferencia de la lombriz a las mezclas de biosólidos y estiércol 1:3 y dificultad para adaptarse a tratamientos compuestos por mezcla 1:1 como el T1. Los sustratos con mezclas de estiércol seco de caballo y biosólidos en relación 1:3 resultaron más eficientes en cuanto a sus características químicas evaluadas y además, respecto a la supervivencia y reproducción de *E. fetida*.

Se concluye que el vermicomposteo es una opción ecológica para la estabilización de biosólidos, además de establecer el potencial de la vermicomposta resultante de este residuo en la agricultura orgánica como mejorador de suelos o abono.

VI. RESUMEN

El tratamiento de las aguas residuales en México ha ido incrementándose notablemente en los últimos años, de acuerdo con las estadísticas que refleja la Comisión Nacional del Agua (CNA). La Comarca Lagunera actualmente cuenta con 15 parques industriales que engloban poco más de 871 empresas demandantes de una gran cantidad de agua por lo tanto las plantas tratadoras de aguas residuales son de gran importancia en esta región. La generación de grandes cantidades de residuos orgánicos puede generar problemas de tipo ambiental y económico, por lo tanto la práctica del reciclado de este tipo de residuos en la agricultura se ha convertido en una solución apropiada para la recuperación de residuos. Sin embargo, la incorporación al suelo de residuos orgánicos de cualquier naturaleza requiere, el que estos materiales hayan sido previamente tratados de manera apropiada. Estos tratamientos tienden a minimizar o eliminar un gran número de probables efectos adversos relacionados a esta práctica y a optimizar la eficiencia de estos materiales una vez que son depositados en el suelo. El proceso de composteo es uno de los tratamientos apropiados para generar un producto estable, rico en sustancias como el humus que son ambientalmente seguros y factibles a costos operativos aceptables. En este trabajo se empleó la técnica de vermicomposteo para tratamiento de biosólidos generados por una PTAR, y se determinó el comportamiento de las propiedades químicas (pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Intercambio Cationico, Materia Orgánica y Relación

Carbono:Nitrogeno) de los sustratos vermicomposteados con lombriz *Eisenia fetida*, en tres tratamientos a diferentes proporciones de biosólidos (B) y estiércol seco de caballo (E): T1 (1B:1E); T2(1B:2E), T3(1B:3E). Los tratamientos T1, T2 y T3 fueron inoculados cada uno con 40 lombrices *E. fetida* con el clitelo desarrollado, los tratamientos fueron regados con agua de la llave y mezclados cada tercer día. Se realizó un muestreo al inicio del experimento y cada 30, 60, y 90 días. El tratamiento de vermicomposta 1 presentó valores diferentes a los de los tratamientos T2 y T3 estableciendo cambios en una diferencia entre las características químicas de los biosólidos vermicomposteados a diferentes concentraciones de menor a mayor respectivamente. Lo anterior permite resaltar el papel establecido por la lombriz reflejando el valor del pH alrededor de la neutralidad; reducción de la CE; aumento en la CIC; aumento y consumo de MO por parte de la lombriz, así como en la relación C:N.

A los 90 días del experimento, las poblaciones de *E. fetida* aumentaron variablemente en los T2 y T3, mientras que en el T1 el resultado final fue negativo, se redujo un 50% en el T1; mientras que en el T3 aumentó 225% su población inicial y 125% en T2. Lo anterior demuestra una preferencia de la lombriz a las mezclas de biosólidos y estiércol 1:3 y dificultad para adaptarse a tratamientos compuestos por mezcal de lodos igual que de estiércol como el T1. Los sustratos son mezclas de estiércol seco de caballo y biosólidos en relación 1:3 resultaron más eficientes en cuanto a sus características químicas evaluadas y además, respecto a la supervivencia y reproducción de *E. fetida*. Se concluye que el vermicomposteo es una opción ecológica para la estabilización de biosólidos, además de establecer el potencial de la

vermicomposta resultante de este residuo en la agricultura orgánica como mejorador de suelos o abono, dadas sus características fisicoquímicas.

VII. BIBLIOGRAFÍA CITADA

- Agnew, J. M, Leonard, J. J; Feddes, J; Feng, Y. 2003. "A modified air pycnometer for compost air volume and density determination." Can. Biosys. Eng. 45(6): 27-35.
- Allison, L., E 1982. Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sodicós. Laboratorio de Salinidad de los Estados Unidos de America. 6ª Edición.
- Amir, S; Hafidi, M; Bailly, J-R; Revel, J-C.. 2003. "Characterization of humic acids extracted from sewage sludge during composting and of their Sephadex® gel fractions." Agronomie 23: 269-275.
- Aranda, E., I. Barosis, P. Arellano, S. Irisson, T. Salazar, J. Rodríguez y J.C Patron 1999. "vermicomposting in the Tropics." Internacional Publishing: 285-287.
- Atiyeh, R. M., S Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J.D. Metzger y W. Shuster 2000. "Effects of Vermicomposts and Composts on plant Growth in Horticultural Container Media and Soil." Pedobiologia 44: 579-590
- Baca, M. T., F. Fornasier y M. DE Nobili 1992. "Mineralization and humification pathways two composting processes applied to cotton wastes." Journal of Fermentacion and Bioengineering. 74
- Benitez, E; Nogales, R; Elvira, C; Masciandaro, G; Ceccanti, B.1999. "Enzyme activities as indicator of the stabilization of sewage sludges composting with *Eisenia fetida*."
- Blackemore, R.J. 1995. "The use of earthworms on bioconversion of sewage sludge and municipal waste Management Australia.
- Butt , K. R. 1999. "Effects of thermally dried sewage granules on earthworms and vegetation during pot and field trails." Bioresource Technology 67.
- Cameron E., N. How, S. y C:W: Ross 2004. "The Cost-Benefits of Applying Biosolid Composts For Vegetable, Fruit, and Maize/Sweetcorn. Production Systems in New Zealand. "Landacare Research Science Series 27.

- Capistràn, F., E. Aranda y J.C. Romero 1999. "Manual de Reciclaje, Compostaje y Vermicompostaje." Instituto de Ecología A. C. pp 151 México.
- Cardozo-Vigueros, L y E. Ramirez-Camperos 2002. "Vermicomposting of sewage sludge: a new technology for Mexico." *Water Science and Technology* 46:10.
- Clark, R. B: 1997. Arbuscular mycorrhizal adaptation, spore germination, root colonization, and host plant growth and mineral acquisition at low pH. *Plant and soil* 192: 15-22.
- Contreras-Ramos, S. M; Escamilla-Silva, E. M; Dendooven, L. 2005. "Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw." *Biol. Fertil. Soils* 41: 190-198.
- Corlay L; Ferrera-Cerrato R; Etchevers J; Echegary A; Santizo J. 2000. Microorganismos del nitrógeno en el proceso de producción de vermicomposta. Universidad Autónoma de Chapingo, 56230 Chapingo México.
- Cortez-Cadiz, E. D. C. 2003. Fundamentos de Ingeniería para le tratamientos de los biosólidos generados por la depuración de aguas de aguas servidas de región metropolitana. Facultad de ciencias químicas y matemáticas. Chile, Universidad de Chile.
- Domínguez, J., C. A. Edwards y S. Subler 1997. "A comparación of vermicomposting and composting." *Biocycle* 38: 57-59.
- De Bertoldi, M. y U. Schnappinger. 2001."Correlation among plant desing process control and quality of compost." *Bioprocessing of Soild waste & Sludge* 1:-9.
- Eastman, B. R. 1999. "Arcieving Pathogen estabilized using vermicomposting." *Biocycle*: 62-64.
- Elvira, C., L. Sanpedro, E. Benites R. y Nogales 1998. "Vermicomposting of sludges form paper mill and dairy industries with *Eisenia andrei*: A pilot scale study." *Bioresource Technology* 63: 205-211.
- Environmental Protection Agency EPA 2000. Environmental regulations and Technology: use and disposal of municipal wastewater sludge.
- Environment Protection Agency EPA.,2001. State of the Environment: Soil Quality Report., Scottish: 74.

- Federrickson, J., K. R. butt, R.M. Morris y C. Daniel 1997. "Combinig vermiculture with traditional green waste composting systems." *Soil and Biochemistry* 29: 725-730.
- Gajalaskshmi, S. E., V. Ramasamy y S. A. Abbasy 2001, "Potential of two epigeic and two anecic earthworms species of vermicomposting of water hyacint." *Biosource Technology* 76: 177-81.
- Garcia I y C. Dorronsoro 1999. "Contaminación del suelo". Departamento de edafología y Química Agrícola, Unidad Docente e Investigadora de la Facultad de Ciencias. Universidad de Granada, España.
- Gunadi, B., C. Blount y C. A. Edwards 2002. "The growth and fecindity os *Eisenia fetida* (savibny)in cattle soilds pre-composted for diferent periods." *Pedobiologia* 46. 15:23
- Gunadi B., Edwars Clive A. 2003. The effects of multiple aplcations of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (savigny) (Lumbricidae). *Pedobiología* 47.
- Huhta, V. Y J. Haimi 1988. "Reproduction and biomasa of *Eisenia fetida* in domestic waste." *Academic Publishing*: 65:69.
- Jiménez-Cisneros, B. E. 2002. La contaminación Ambiental en México: Causas, Efectos y Tecnologías Apropriadas. México.
- Jiménez, E. I: y V. P. García 1993. " Determiration of Maturity Indices for City Refuse Composts." *Agriculture Ecosystems and Enviroment* 39: 331-242.
- Jurado-Guerra, P., M. Luna-Luna, *et al.* 2004. "Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos." *Téc. Pecu. Mex* 42(3): 379-395.
- Kiely, G. 1999. Ingeniería ambiental. Fundamentos, entornos, tecnologías y sistemas de gestión. España, McGraw Hill.
- Metcal, L. y H. Eddy 1999. Ingeniería de Aguas Residuales: Tratamiento, Vertido y Reutilización. México.
- Miller, F.C. 1993. Composting as a process based on the control of ecologically selectivefactors. 515-544. In: *Soil Microbial Ecology*. F.B. Metting, Jr ed.. Marcel Dekker, Inc. New York.

- Mitchell, M. J., S. G. Honor y B. I. Abrams 1980. "Decomposition of sewage sludge in drying beds and The potential roel of The earthworm, *Eisenia fetida* Journal Environ 9:373-378.
- Montovani, J. R., M.C Pessoa da Cruz, M.E. ferreira y W. Lopez-Alves 2004. "Extractores para avalicao de disponibilidad de metais pesados em solos adubados com vermicomposteo de lixo urbano." pesq. Agropec. Bras. 39: 371-378.
- Naddafi, K., M. Zamanzadehh, A. A. Azimi, G. A. Omrani, A. R. Mesdaghinia y E. Mobedi 2004. "Effec of Temperatura, Dry Solids and C/N Ratio on Vermicomposting of Waste Activated Sludge." "Pakistan Journal of Biological Sciences 7:1217-1220.
- Ndegwa, P. M., S.A. Thompson y K. C. Das 2000. "integrating composting and vermicomposting in the treatmen of bioconversion of biosolids." Biores Technol 76: 107-112.
- Neuhauser, E.F.R.C. Loehr y M: R: Malecki 1988. "The potential of Earthworms for managing Swage Sludge." Academic Publishing: 9-20.
- Palm, A. C., J. M. Swift, and L. P. Woome. 1996. Soild biological dynamics in slash-and-burn agriculture. Agriculture, Ecosystems and Enviroment 58: 61-74.
- Porter Humpert, C. 2000. "New trends in sustainable farming build compost use." BioCycle: 30-35.
- Potter, C., J. A. Glaser, *et al.* 1999. "Degradation of Polynuclear Aromatic Hydrocarbons under Bench-Scale Compost Conditions." Environ. Sci. Technol. 33(10): 1717-1725.
- Quintero-Lizaola, R; Ferrera-Cerrato, R; Etchevers-Barra, J. D; García-Calderón, N. E; Rodríguez-Kabana, R; Alcántar-González, G.; Aguilar-Santelises, A.2003. "Enzimas que participan en el proceso de vermicompostaje." Terra 21(1): 73-80.
- Raviv, M. 2005. "Production of high-quality composts for horticultural purposes: A mini-review." HortTechnology 15(1): 52-57.
- Ramesh, P., M. Singh, *et al.* 2005. "Organic farming: Its relevance to the Indian context." Current Sci_ 88(4): 561-568.

- Rivas-Lucero, B. A; Nevárez-Moorillón, G. V; Bautista-Margulis, R. G.; Pérez-Hernández, A; Saucedo-Terán, R.2003. "Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo." *Agrociencia* 37(2): 157-166.
- Rodriguez-Valadares Luciana. 2004. A Vermicompostagem Do Lodo Lagoas De Tratamiento De Efluentes Indutriais Consorciada Com Composto de lixo Urbano. *Enbenharia Sanitária e Ambiental* Vol. 9 – No. 3. 218-224.
- Santamaría-Romero, S; Ferrera-Cerrato, R; Almaraz-Suárez, J. J; Galvis-Spinola, A; Barois-Boullard, I.. 2001. Dinámica y Relaciones de Microorganismos, C-Orgánico y N-Total Durante el Composteo y vermicomposteo. *Agrociencia* 35: 377-384.
- Serrano Espinosa, L.1997. Las aguas residuales y su tratamiento. Secretaria de Educación Pública. México: 248.
- Sharma, S; Pradhan, K; Satya, S.; Vasudevan, P.2005. "Potentiality of Earthworms for Waste Management and in Other Uses – A Review." *J. Am. Sci.* 1(1): 1-16.
- Smernik, R. J., I. W. Oliver, *et al.* 2003. "Advanced Solid-State Carbon-13 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopic Studies of Sewage Sludge Organic Matter: Detection of Organic "Domains"." *J. Environ. Qual.* 32: 1523-1533.
- St-Pierre, M. A., M. R. Lavardiere, F. Page yL. Cote 1995. Transformatiòn de fientes de poulet et de residus de scierie par le lombricompostaje." *Departement des sols et de Genie agroalimentaire. Université Laval. Canadá.*
- Zhang, B.-G., G.-T. Li, T.-S. Shen, J.-K Wang y Z. Sun. 2000."Changes in microbial biomass C, N, and enzyme activies in soil incubated with the earthworms *Metaphire guillelmi* or *Eisenia fetida*." *Soil Biol. Biochem.* 32: 2055-2062.

APENDICE A

Cuadro A1. Análisis de varianza para las variables evaluadas

a. Análisis de varianza del pH

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	2	2.518181	1.259094	5.6908	0.025
Error	9	1.991272	0.221252		
Total	11	4.509460			

C.V= 6.32%

b. Análisis de varianza de la CE

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	2	2.565003	1.282501	0.3126	0.742
Error	9	36.926697	4.102966		
Total	11	39.491699			

C.V = 23.55%

c. Análisis de varianza de la CIC

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	2	32.645020	16.322510	3.1811	0.089
Error	9	46.179932	5.131104		
Total	11	78.824951			

C.V= 14.57 %

d. Análisis de varianza de la MO

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	2	1.852539	0.926270	0.1907	0.830
Error	9	43.750186	4.857612		
Total	11	45.571045			

C.V= 12.68 %

e. Análisis de varianza de la relación C:N

FV	GL	SC	CM	F	P>F
Tratamientos	2	10.062531	5.031265	3.8087	0.063
Error	9	11.904663	1.322740		
Total	11	21.967194			

C.V= 18.48 %

b. Resultado del experimento por tratamiento

Tratamiento	DIAS	pH	CE (ms cm ⁻¹)	CIC meq 100 ⁻¹ g	MO (%)	N:C
T1	0	6.98	7.03	13.50	15.80	2.500
	30	6.72	6.47	14.00	19.52	6.021
	60	6.90	10.40	14.80	18.30	6.223
	90	6.66	11.48	12.50	17.54	6.028
T2	0	7.94	7.84	15.98	14.50	5.300
	30	7.47	7.09	15.33	17.75	6.122
	60	8.05	7.95	19.30	17.31	6.216
	90	7.21	8.93	20.20	20.52	6.615
T3	0	7.90	7.69	13.04	13.70	6.487
	30	7.37	6.98	12.66	16.40	7.758
	60	7.71	12.56	16.30	19.54	7.453
	90	7.52	7.78	18.90	17.78	7.976

c. Conteo final de lombrices

Tratamiento	Población Inicial	Población Final
T1	40	20
T2	40	50
T3	40	90