

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

**UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DESARROLLO Y COMPORTAMIENTO DE LA LOMBRIZ EISENIA
FETIDA APLICANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.**

POR:

MARÍA REYNA RUEDA JUÁREZ

TESIS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE 2007

00867

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO
NARRO" UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADO POR EL JURADO

PRESIDENTE



DR. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

VOCAL



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL



ING. CUAUHTÉMOC ESPINO MÉNDEZ

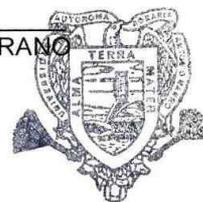
VOCAL SUPLENTE



ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO



MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO
NARRO" UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO Y COMPORTAMIENTO DE LA LOMBRIZ *EISENIA*
FETIDA APLICANDO AGUA RESIDUAL DOMÉSTICA.

REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR

ASESOR PRINCIPAL


DR. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ

ASEROR


DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

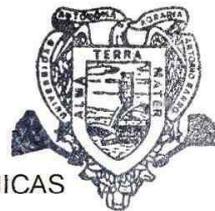
ASESOR


ING. CUAUHTÉMOC ESPINO MÉNDEZ

ASESOR


ING. ELBA MARGARITA AGUILAR MEDRANO


MC. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

DICIEMBRE DEL 2007

Agradecimientos

Agradezco a Dios, por darme la fuerza en los momentos difíciles y por haberme permitido llegar a este momento. Gracias señor en ti, por ti y contigo a esta instancia de mi vida.

A mi Universidad Autónoma "Agraria Antonio Narro" por darme la oportunidad de terminar una carrera.

Al Dr. Alejandro Moreno Reséndez por haberme asesorado en el presente trabajo, por compartirme su experiencia, su tiempo, su amistad y su apoyo en la realización de este proyecto.

Al Dr. Alejandro Moreno Reséndez, Dr. José Luis Reyes Carrillo, Ing. Cuauhtemoc Espino Méndez e Ing. Elba Margarita Aguilar Medrano. Les agradezco su apoyo en la realización de mi tesis, gracias a todos ustedes por su disposición.

A la Universidad Tecnológica de Torreón por haberme abierto sus puertas.

Sin echar de menos a mis padres, a mi abuela, cuñadas y sobrinos, a todos ustedes no me resta más que decirles gracias, ya que cada uno ha contribuido para los cimientos que hoy he construido.

Dedicatorias

A Dios por haberme dado la vida, salud, amor y sobre todo por fortalecerme cada día de mi vida, gracias señor por ser mi amigo y por estar conmigo en esos momentos mas difíciles.

A mis padres, Aurelio Rueda Pérez, Catalina Juárez Sánchez con mucho amor y respeto, a ustedes gracias por darme lo mas grande y maravilloso que es la vida, gracias por haber confiado en mí, entregado todo amor y sacrificio.

A mis hermanos, Yolanda, Juan Diego (+), Julio Cesar, Leoncio, Juvenal, Aurelio, Eleazar, Rufina y Rodrigo por aquellos momentos felices que hemos compartido juntos, por sus consejos, de ser ejemplos, por su franqueza y apoyo a seguir siempre adelante.

A mi abuela, Regina Sánchez Peñate a usted señora bonita gracias por ser una segunda madre para mí.

A mis cuñadas, Miriam, Irma, María Higinia y Marbella a ustedes también les doy las gracias por formar parte de mi familia y por escucharme en los momentos difíciles.

A mis sobrinos, Ana Patricia, Sandra Isela, Miriam Yoali, Yadira, Tila del Carmen, Mireya, Sherlin Arlene, Julio César, Yónatan Semeí, José Aldair, Leo Yovani, Diego Martín, Marco Antonio y Fernando por haber llenado de esperanza, cariño y sonrisa mi vida.

A mis amigas, Lidia, Donanciana, Linda Azalia y María de Lourdes a ustedes también les doy las gracias por haber estado a mi lado las veces necesarias.

ÍNDICE GENERAL

PÁGINAS

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo.....	3
1.2 Hipótesis	3
1.3 Meta.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.	5
2.1 Disponibilidad e importancia del agua	5
2.2 Problemática del agua en la Comarca Lagunera.....	6
2.3 Contaminación del agua.....	7
2.4. Agua residual.....	8
2.5 Características y funciones de la lombriz de tierra.....	9
2.6 El vermicomposteo.	12
2.7 Papel de las lombrices en el vermicomposteo.....	14
2.8 Reutilización de las aguas residuales tratadas.	16
2.9 Características químicas del Vermicompost.....	17
2.9.1 pH.....	18
2.9.2 Materia orgánica.	19
2.9.3 Conductividad Eléctrica.....	19
2.9.4 Capacidad de intercambio catiónico	20
2.9.5 Humedad requerida para el vermicomposteo.....	20
III.- MATERIALES Y MÉTODOS.	22
3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera	22
3.2 Localización del experimento.....	22
3.3 Condiciones del lugar del experimento.....	22
3.4 Materias primas y organismos utilizados.	22
3.4.1 Agua residual.....	23
3.4.2 Recipientes.....	24
3.4.3 Lombrices.....	24
3.5 Composición de los sustratos.	25
3.6 Unidad experimental.....	25
3.7 Desarrollo del experimento.	25
3.7.1 Ensayos preliminare.	25
3.7.2 Riegos.....	26
3.7.3 Sobrevivencia de las lombrices contenidos en los recipientes.	27
3.7.4 Aireación de los tratamientos.....	27
3.7.5 Registro de temperatura.....	28

3.7.6 Muestreo de los tratamientos.....	28
3.8 Métodos utilizados para análisis fisicoquímicos	28
3.8.1 PH.	28
3.8.2 Conductividad eléctrica.....	29
3.8.3 Capacidad de intercambio catiónico.....	29
3.8.4 Materia orgánica.	30
3.8.5 Fósforo.....	31
3.8.6 Nitrógeno Total.....	31
3.8.7 Calcio + Magnesio en extracto de saturación	32
3.8.8 Cloro en extracto de muestra asaturación.....	32
3.8.9 Bicarbonatos.....	33
IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	33
4.1 pH en el sustrato vermicomposteado.....	33
4.2 Conductividad eléctrica.....	33
4.3 Capacidad de intercambio catiónico en el sustrato vermicomposteado.	34
4.4 Materia orgánica en el sustrato vermicomposteado.....	34
4.5 Fosforo en el sustrato vermicomposteado.	35
4.6 Nitrógeno total en el sustrato vermicomposteado.	36
4.7 Calcio + magnesio en el sustrato vermicomposteado.....	36
4.8 Cloruros en el sustrato vermicomposteado.	37
4.9 Bicarbonatos en el sustrato vermicomposteado.	37
V. CONCLUSIONES.....	39
VI. RESUMEN.....	41
VII. LITERATURA CITADA.....	43
VIII APÉNDICE.....	49

ÍNDICE DE CUADROS

Cudro 1	Clasificación del pH.....	18
Cuadro 2	Valores de pH y CE de aguas residuales provenientes de la UTT y del agua de la llave.....	27
Cuadro 3	Comparación de medias de tratamientos para la variable pH.....	33
Cuadro 4	Comparación de medias de tratamientos para la	

I. INTRODUCCIÓN

El problema del agua en el mundo, tiende cada día a ser un problema de seguridad nacional de cada país y en México no es la excepción. Debido a que el agua es el principal elemento para el desarrollo del hombre, los animales y las plantas. Además de ser el componente mayoritario de los organismos y el que más cantidad de funciones desempeña (García, 2004).

En la actualidad, el deterioro de la calidad del agua se ha visto como una amenaza sobre el ambiente, debido a diversas actividades como: la sobreexplotación, y contaminación del mismo, la humanidad genera residuos en grandes cantidades, los cuales, en la mayoría de los casos, se depositan en los suelos o en los sistemas de drenaje, que son provenientes principalmente de las ciudades y las industrias, 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 los suelos contaminados pueden incluir numerosas sustancias orgánicas e inorgánicas, las cuales provocan que el suelo y el agua del subsuelo no puedan ser utilizados para ninguna actividad (CardosoVigueros y Ramírez, 2000).

La contaminación del agua puede definirse como la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente que cause efectos dañinos en los seres humanos, en los animales y en la vegetación y que se presenten en cantidades que sobrepasen los niveles normales en los que se encuentra en la naturaleza, de manera que resulte inapropiada para usos benéficos (Campos, 2004).

En México 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 previo tratamiento, lo que representa un serio problema para la salud humana y de los animales, debido al contenido de materia orgánica e inorgánica contaminante, que consiente e inconscientemente, día con día, se depositan en el agua. Esta deposición de contaminantes llega a los hogares para consumo humano

ya sea por medio de verduras o cuando se utiliza el agua sin previo tratamiento (Rivas et al., 2003)

Hoy en día se reconoce que la población a nivel mundial se ha visto afectada por la poca disponibilidad de agua debido a su distribución fisiográfica y climática, a la contaminación de aguas superficiales y subterráneas y por el incremento de diversos usos del agua. El reuso potencial y actual del agua se presenta principalmente en la industria, en la agricultura, los fraccionamientos que contemplan dentro de sus instalaciones grandes áreas verdes y campos de golf, lagos recreativos, en menor proporción en el lavado de carros e instituciones educativas, en los municipios. Por lo tanto el tratamiento de aguas residuales, por diversos métodos físico, químico y biológico, se ha incrementado de manera considerable debido que este recurso es cada vez mas escaso (Escalante et al., 2002).

Actualmente, y debido a la escasez de recursos naturales se han promovido actividades que conllevan al aprovechamiento de diversos residuos orgánicos, con el propósito de generar abonos orgánicos que puedan ser reutilizados, con el mínimo riesgo posible en los sistemas de producción agrícola: dentro de ellas destaca el vermicomposteo de los residuos orgánicos.

El vermicomposteo es el proceso de transformación de diversos residuos orgánicos en el cual se utilizan lombrices para descomponer la materia orgánica, el vermicompost se origina por la acción de las lombrices, este material es expulsado a través del tracto digestivo, y también se le conoce como lombricompost o humus de lombriz (Santamaría y Ferrera, 2002).

Por otro lado los sistemas de vermicomposteo, a través de los cuales se están reciclando los residuos orgánicos, para generar abonos orgánicos de gran calidad, demandan grandes cantidades de humedad, ya que las lombrices, para participar en este proceso requieren de un nivel de humedad, que oscila entre 70 y 80% en las cunas o sustratos y como riego se usa preferentemente agua limpia o potable. Esta aseveración se ha derivado de que en los diversos artículos analizados, sobre el proceso de vermicomposteo, no se ha detectado el empleo de agua residual o tratada

para mantener los niveles de humedad ya mencionados. Tomando en cuenta lo anterior, en este trabajo se utilizó el método de vermicomposteo usando agua residual para la estabilización de la lombriz Eisenia fetida, teniendo como propósito lo siguiente:

1.1. Objetivo

- Determinar el comportamiento de la lombriz Eisenia fetida cuando, se aplican aguas residuales para el riego de los sustratos de crecimiento.

1.2 Hipótesis

- La supervivencia de la lombriz Eisenia fetida se reduce al aplicar aguas residuales a los sustratos en los que se desarrolla este organismo.

1.3. Meta

- Usar aguas residuales para mantener el nivel de humedad óptimo en los sustratos de crecimiento, sin afectar la supervivencia de las lombrices *Eisenia fetida*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Disponibilidad e importancia del agua

Entre los recursos naturales degradados, el agua y su calidad juega un rol sobresaliente. El agua no solamente es esencial para todos los organismos vivos, también es el único medio de transporte de elementos nutritivos para las especies vegetales. Se estima que el planeta está cubierto de agua en un 70% y de ésta el 95.5% es agua salada y que solamente un 2.5% es agua dulce. Parte de esta agua la retienen el suelo, el subsuelo y la vegetación quedando solamente 1% disponible en ríos, lagos, embalses y acuíferos poco profundos. Este 1% constituye el agua accesible en la superficie de la tierra. El uso disponible para las actividades humanas se estima que no es mas de un décimo del uno por ciento del total indicado, el cual se divide en: uso para la agricultura, industria y para los servicios de la población. Desafortunadamente estas actividades son las principales causantes de su contaminación (Robles, 2004).

El agua es un recurso vital para la vida y soporte del desarrollo económico y social de cualquier país del mundo. Como se sabe, la distribución del agua en el ámbito mundial y regional es desigual. Mientras que en algunas regiones es abundante, en otras es escasa o inexistente, la disponibilidad del líquido depende de la dinámica del ciclo hidrológico, en el cual los procesos de evaporación, precipitación e infiltración dependen del clima, las características del suelo y la ubicación geográfica de cada región (INEGI, 2005).

En las últimas décadas el agua se ha convertido en un recurso estratégico para el desarrollo económico y la supervivencia de los países debido a la escasez del agua para consumo humano y a la pérdida de su calidad original. Según expertos de Naciones Unidas, dos de cada 10 personas en el mundo, más de mil millones, carecen de fuentes de agua potable: y se ha estimado que por día 3,900 niños mueren por la falta de agua. En México, el desperdicio, la falta de pago por el servicio, la contaminación de este recurso, su utilización inadecuada y deficiente administración, además de la presión poblacional, han dado lugar a que en 50 años, la nación se encuentre entre los países con disponibilidad de agua promedio bajo. Por este motivo, la ONU la ha catalogado como un recurso finito, cuyo acceso seguro es considerando como uno de los derechos humanos fundamentales y como una de las metas del desarrollo del milenio. De hecho la ONU ha reportado que durante el periodo 2005-2015 se reduzca la mitad del porcentaje de personas que no tienen agua (INEGI, 2005).

2.2 Problemática del agua en la Comarca Lagunera

El problema de la escasez del agua en algunas regiones de México tiende cada día a ser un problema de seguridad nacional. La Comarca Lagunera está ubicada en la parte sur del desierto de Chihuahuense, donde el clima es árido y semiárido y en consecuencia, la escasez de agua se asume ya como un problema crónico, severo y agudo (García, 2004)

La Comarca Lagunera, se localiza en una de las zonas de menor precipitación y mayor evapotranspiración de México. La disponibilidad del recurso hídrico se compensa por las aportaciones de los ríos Nazas y Aguanaval que abastecen la demanda de agua renovable a partir de los escurrimientos superficiales. El agua no renovable se extrae de los acuíferos por la explotación de más de tres mil pozos, sin embargo estos acuíferos no se reponen como consecuencia del ciclo hidrológico, si no que se llenaron a lo largo de varios siglos,

por lo que han tendido a agotarse debido a la sobreexplotación desconsiderable del agua (García et al., 2005).

La Comarca Lagunera depende del agua captada y almacenada en las presas con el fin de abastecer a los habitantes de la región, así como para la agricultura, la ganadería, la industria y otras actividades, por lo tanto, las actividades desarrolladas en esta región están acabando el agua del subsuelo, como consecuencia de la explotación y el mal uso que se le ha dado (García, 2004).

La problemática que representa la demanda de agua en la Comarca Lagunera, responde de manera inelástica a la competencia del agua entre los diferentes consumidores. Dicha competencia es determinada por la baja disponibilidad del recurso y la existencia de diferentes usuarios como la agricultura de riego por bombeo y gravedad, el sector residencial, la ganadería y la industria, que limitan aun mas la posibilidad de contar con una mayor disponibilidad de agua (Guzmán et al., 2006).

2.3. Contaminación del agua

El agua es un recurso renovable, ya que es parte de un ciclo natural continuo e interminable, sin embargo este recurso puede contaminarse por las actividades humanas y volverse no útil para muchos de sus propósitos, incluso volverse nociva para los seres vivos que la utilizan. La contaminación del agua es un problema que se presenta en todos los lugares del mundo, este recurso se ve afectado por el modo en que el hombre hace uso del agua (CICEANA, s/f).

La contaminación del agua se define como la acción y efecto de introducir materias o formas de energía o inducir condiciones en el agua que, de modo directo o indirecto, impliquen una alteración perjudicial de su calidad en relación con sus usos posteriores o con una función ecológica. El agua tiene una composición precisa de una molécula de oxígeno y dos de hidrógeno (H₂O), por lo

tanto, es fácil identificar los compuestos ajenos a ella. Sin embargo, saber definir cuales son los contaminantes es difícil. La contaminación afecta negativamente las actividades que normalmente se desarrollan, también afecta excediendo el uso del agua (Jiménez, 2001).

En México, la agricultura enfrenta el problema del deterioro ambiental. La contaminación del agua es un elemento importante que incide en la calidad de la producción agrícola y en la salud de la población, afectando principalmente las aguas de ríos, manantiales y de pozos por bombeo, de manera directa o a través de la cadena trófica (Silva et al., 2002).

La contaminación del agua en nuestro país es originada principalmente por la descarga de sustancias orgánicas e inorgánicas, descargas residuales y desechos que no han sido tratados adecuadamente. Provenientes principalmente de la industria petroquímica, papelera, textil y química, ya que éstas son las principales contaminantes, otra parte de esta emanación proviene de los centros urbanos y de actividad agropecuaria que vierten sustancias consideradas como altamente contaminantes, los cuales se producen en grandes cantidades (Campos, 2004).

2.4. Agua residual

En general el agua contaminada se califica como residual. Por las fuentes de generación, el agua residual se define como la combinación de residuos tanto sólidos como líquidos procedentes de residencias, instituciones públicas, establecimientos industriales y comerciales. En ocasiones se incluyen a las aguas subterráneas, superficiales y pluviales. El agua residual es esencialmente el agua que se desprende de la comunidad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada (Metcalf y Eddy, 1996).

Por otra parte, la Ley de Aguas Nacionales (LAN) de México define a las aguas residuales, en su artículo II, como las aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales,

agrícolas, pecuarios, domésticos y en general de cualquier uso. Así mismo establece que hay distintos tipos de agua residual dependiendo de su origen (Campos, 2004).

2.5 Características y funciones de la lombriz de tierra

Las lombrices pertenecen al reino animal tipo anélidos (cuerpo anillado) de la clase Oligochaeta (anillos con pocas quetas), y se encuentra entre los grupos de animales terrestres más antiguos, las lombrices presentan densidades de población que oscilan entre 0 y 400 individuos por metro cuadrado (Daane et al., 1996).

Desde el momento de su nacimiento, las lombrices son autosuficientes, para sobrevivir solo necesitan que el sustrato esté suficientemente húmedo y poroso. Normalmente la lombriz pesa de 0.25 a un gramo, el lapso de vida es un poco más de un año. Las lombrices se multiplican más si la densidad de lombrices o la cantidad de lombrices por unidad de superficie o volumen de sustrato es baja. Todos los días ingiere una cantidad de comida equivalente a su peso, expulsando en forma de humus, el 60% de la misma, y el restante 40% lo emplea para su metabolismo y reproducción es asimilado y utilizado como sustrato (Schuldt et al., 2007).

De acuerdo con los autores: Santelices (s/f), Schuldt et al., (2007), Tocalino, et al., (s/f) entre las características anatómicas, morfológicas y reproductivas de las lombrices de tierra destacan:

🕒 Anatomía:

En la región esofágica del cuerpo de la lombriz se sitúa un número variable de cinco vasos contráctiles y que reciben el nombre de corazones y también poseen un par de riñones. El tubo digestivo, de importancia en el proceso de humificación, se inicia en la boca ubicada bajo el prostomium, primer anillo o segmento de la cabeza, ésta puede ser proyectada o invaginada, a ella le sigue una faringe de gruesas paredes musculares, que conducen a un esófago portador

de cilios en el cual se abren los conductos de las glándulas calcíferas o glándulas de Morren. Los cuales son órganos especiales de regulación de los equilibrios iónicos del medio interno del oligoqueto. En el estómago existe una estructura dilatada que recibe el nombre de buche que se constituye de un estómago muscular o molleja. Esta última que conduce a las paredes musculares, hasta llegar al intestino, que recorre todo el animal hasta el ano situado en la "cola" de la lombriz. El intestino posee un pliegue dorsal que aumenta la superficie de absorción.

El sistema nervioso está constituido por un cerebro cefálico ganglionar de posición dorsal que emite cordones alrededor del esófago para conectarse con masas ganglionares pequeñas que se ubican en la región ventral del animal a lo largo de todo el cuerpo. Las lombrices carecen de ojos pero poseen grupos de receptores repartidos por la piel que permite percibir la luz y sustancias químicas diversas, funcionando esta percepción también, a modo de "olfato", estos receptores facilitan la orientación de las lombrices para la búsqueda de alimento.

El aparato circulatorio del animal es un sistema de canales cerrados que se ramifican en una red de finos capilares en el tegumento sobre el intestino y los diversos órganos. Debido al sistema circulatorio cerrado la sangre fluye por los vasos. Los trayectos principales recorren la parte dorsal y ventral de la lombriz. El vaso dorsal lleva sangre pigmentada de rojo, detrás y de adelante y en el tercio anterior se producen al menos cinco pares de conexiones circulares pulsátiles "corazones" con el vaso central que lleva la sangre nuevamente hacia atrás.

Las partes de las células de la piel de las lombrices generan una cutícula. Otras células intercaladas producen moco que mantienen la humedad la cutícula. Cuando se seca, ésta no permite el intercambio gaseoso. Las lombrices respiran únicamente por la piel y en tales circunstancias el oxígeno no ingresa a la sangre.

🕒 Morfología:

La longitud de las lombrices normalmente es de 2.5 a 3.0 cm, creciendo hasta 6 a 7 cm, su diámetro oscila entre los 3 y los 5 mm, normalmente tienen un peso de 0.25 g, es de color rojo oscuro, respira a través de la piel y el abdomen es más pálido que el resto del animal.

🕒 Reproducción y ciclo biológico:

Las lombrices por tener los órganos genitales masculinos y femeninos en un mismo individuo se conocen como monoicos, son organismos hermafroditas. El aparato genital masculino está integrado por los testículos que son glándulas secretoras de esperma. Su situación es anterior, muy cerca de la boca. El aparato genital femenino recibe el esperma y lo retiene hasta el momento de fecundación; este aparato genital femenino se encuentra en una posición relativa posterior al aparato genital masculino.

Cuando la lombriz alcanza la madurez sexual desarrolla en el tercio anterior un anillo mucoso; el clitelium o clitelo que se sitúa en la parte anterior del cuerpo, aproximadamente a la altura de su primer tercio, si se considera la longitud total de la lombriz. El clitelo se puede ver cuando las lombrices adquieren la madurez sexual o cuando son adultas, el anillo contiene una glándula que segrega un líquido especial, cuya finalidad es de proteger a los capullos embrionales conocidos como cocones. La fecundación se efectúa a través del clitelium. Las lombrices empiezan a reproducirse a los tres meses, no hay época definida para la reproducción debido a que es durante todo el año.

Las lombrices copulan entre una y cinco veces por semana, produciendo cada animal una puesta o cocón conteniendo dos a cinco embriones o lombrices, lo abandonan al cabo de 23 días que es cuando adquieren la madurez sexual, antes de los 60 días deben permanecer a una temperatura de 25 °C. Las lombrices se nutren dentro del cocón por las secreciones del clitelium, en el momento del

nacimiento, las crías rompen la envoltura que ha adquirido un color café oscuro. Estos pequeños animales se parecen a los padres, con los mismos hábitos alimenticios y dieta similar; en una población de lombrices pueden distinguirse estadios: cocones, juveniles, animales subadultos y adultos lombrices.

🕒 Condiciones ambientales para el desarrollo de las lombrices

Una temperatura de 14-27°C. pH

de desarrollo entre 5 y 9.

Humedad óptima de 85-95%.

Baja luminosidad.

En el caso específico de las lombrices *Eisenia fetida* se ha establecido que su clasificación zoológica de acuerdo con Cardoso-Vigueiros et al., (2003) corresponde

a: Reino: Animal

Tipo: anélido

Clase: Oligoqueto

Orden: Opisthoro

Familia: Lumbridae

Genero: *Eisenia*

Especie: *fetida*.

2.6 El vermicomposteo

El vermicomposteo, es un proceso biooxidativo donde se utilizan lombrices que descomponen los residuos orgánicos en un material de gran calidad, rico en elementos nutritivos. Este proceso se lleva a cabo en condiciones controladas de humedad,

temperatura y en algunos casos, aireación y otros parámetros, cuando en dicho proceso se ven involucradas la participación de lombrices como *Eisenia fetida*, *E. andrei* u otras denominadas composteras, se llama entonces vermicomposteo y lombricomposteo. La lombriz compostera ha sido la más útil en la transformación de los residuos orgánicos (EPA, 1997; Santamaría y Ferrera, 2002)

En el proceso de vermicomposteo ciertas especies de lombrices de tierra pueden consumir materiales residuales orgánicos muy rápidamente y los fragmentan en partículas mucho más finas cuando pasan a través de la molleja trituradora, un órgano que poseen todas las lombrices. Las lombrices obtienen su alimentación de los microorganismos que se desarrollan en estos materiales. Al mismo tiempo las lombrices promueven una actividad microbiana adicional ya que el material fecal o "excretas" que producen está mucho más fragmentado y es microbiológicamente más activo que los materiales que consumen (Ndegwa y Thompson, 2001).

El producto final, comúnmente denominado vermicompost y obtenido como el residuo orgánico que pasa a través del intestino de las lombrices, es bastante diferente del material original. En el cual incluye una serie de transformaciones bioquímicas y microbiológicas que sufre los residuos orgánicos. Además tienen una enorme área superficial, que le proporciona una fuerte absorbabilidad y presenta buenas características físicas, químicas, microbiológicas y retención de elementos nutritivos de manera que para las plantas son fáciles de asimilar como nitratos (NO_3), fósforo intercambiable, potasio soluble, calcio y magnesio. En consecuencia el vermicompost debe poseer un gran potencial en la industria hortícola y agrícola como medio de crecimiento para la planta (Atiyeh et al., 2000, Edwards et al., 1984).

Además entre otras características de las vermicompostas destacan: el material o el sustrato es de color oscuro, su gran biodiversidad evita la fermentación o putrefacción, contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que incrementa la solubilidad de los elementos nutritivos que se van liberando paulatinamente.

Incrementa la superficie activa de las partículas minerales favoreciendo la CIC de los suelos, los ácidos húmicos, los fúlvicos que contiene regeneran las características químicas del suelo, y al igual que cierto tipo de hormonas de crecimiento, que favorecen el desarrollo de las especies vegetales. Posee un pH neutro. También se caracteriza por tener una gran porosidad, drenaje, aireación, drenaje, capacidad de retención de humedad. Por lo tanto sus propiedades fisicoquímicas y biológicas son de mejor calidad para el crecimiento de las plantas (Moreno-Reséndez, 2005).

2.7 Papel de las lombrices en el vermicomposteo

Las lombrices de tierra son consumidores voraces de residuos orgánicos, estos organismos solo utilizan una pequeña porción para la síntesis de sus cuerpos, pues excretan una gran parte de los residuos consumidos en una forma medio digerida, una vez que su alimento pasa a través del cuerpo de la lombriz. Puesto que los intestinos de las lombrices contienen una amplia gama de microorganismos, enzimas, hormonas, etc., estos materiales medio digeridos se descomponen rápidamente y son transformados a una forma de vermicompost en un periodo corto (Cardoso et al., 2003).

En base a las condiciones ideales, las lombrices pueden reciclar su propio peso cada 24 horas, debido a que consumen diariamente su peso en alimento, comen con mucha velocidad lo que permite transformar una variedad de residuos orgánicos, las cuales pueden contener sustancias contaminantes en biomasa alimenticia y abono orgánico (Gutiérrez, 2007; Schuldt et al., 2007).

Las lombrices más utilizadas en el vermicomposteo son las lombrices *Eisenia fetida*, pertenecen a la familia Lumbricidae. Esta especie ha sido seleccionada para los sistemas de crianza intensivo, sistemas que reciben el nombre de vermicultura o lombricultura, debido a que las lombrices tienen la capacidad de estabilizar una gran variedad de residuos orgánicos (Schuldt et al., 2007).

En la última década se han ampliado significativamente las alternativas para el manejo de la lombricultura, que tiene como papel principal su aplicación en el cultivo. La lombricultura es una biotecnología que se relaciona con los avances de la investigación en torno a parámetros reproducción de *Eisenia fetida* y *E. andrei*, que son las especies mas utilizadas en el proceso de vermicomposteo de todo el mundo, debido a que estas especies son bastante proliferas y adaptables a una amplia gama de ambiente (Schuldt et al., 2007; Delgado et al., 2004)

Debido a que el desarrollo de las actividades agrícola han llevado consigo problemas de contaminación ambiental por la generación de grandes cantidades de materiales de desechos. En la actualidad el manejo de los desechos agrícolas cobran importancia, como se mencionó anteriormente la principal alternativa al respecto es el vermicomposteo, que implica la crianza de lombrices para la producción de humus con la finalidad de utilizar este producto como abono para las plantas (Gutiérrez, 2007)

De acuerdo con Ancona et al. (2006) los desechos que se pueden procesar a través del vermicomposteo y que constituyen el alimento a las lombrices pueden ser materiales orgánicos diversos, o pueden ser mezclas de estos materiales por ejemplo:

- Desechos agrícolas
- Residuos sólidos municipales o industriales
- Residuos cloacales
- Basura municipal orgánica y desperdicios de mercado
- Varios tipos de abono animal: gallinaza, vacuno y ovino
- Desechos domésticos
- Residuos orgánicos de curtidoras
- Basura de jardín

- Lodos de aguas negras especialmente de tipo biológico aeróbico y
- Algunas mezclas de estos materiales.

2.8 Reutilización de las aguas residuales tratadas

En la actualidad, el reuso del agua residual tratada es un recurso valioso y su demanda aumentará de manera que decrezca la disponibilidad de agua limpia y se incremente la necesidad del agua de primer uso. El agua residual tratada debe reunir una determinada calidad para el uso que se le destine. En los países desarrollados se han manifestado de una manera mas temprana los problemas de escasez del agua, de su contaminación y de los impactos ambientales generados por su uso inadecuado, razones por las cuales se han desarrollado programas para su conservación, control y reuso del agua (Escalante et al., 2002).

En la parte Occidental de los Estados Unidos de Norteamérica la mayor parte del agua superficial y subterránea disponible ha sido mal utilizada y es probable que no haya fuentes de abastecimiento de agua dulce disponibles para las crecientes demandas. Por el mal uso del agua se han propuesto alternativas como: el uso del agua tratada y posteriormente usarlo como recarga de acuíferos (Lazarus y Paul, 1991).

La reutilización de las aguas residuales está cobrando cada vez mas importancia en las zonas áridas y semiáridas del mundo, como consecuencia de la demanda de recursos hídricos, no obstante, la reutilización se ha limitado a los usos agrícolas debido a que alguno de los productos generados en estas actividades son de consumo directo, hay otras posibilidades de reuso como son: usos lúdicos (campos de golf), los usos industriales y la recarga de acuíferos, tomando en cuenta sus características que no comprometan la calidad del agua de los acuíferos ni sus posibilidades de uso posterior (Huertas et al., 2001).

La alternativa de mayor importancia para los pueblos y en las ciudades localizadas en zonas áridas es, la reutilización del agua residual tratada. En el presente, esta posibilidad se ha visto como la solución de muchos problemas en los que los seres humanos se han visto afectados. Entonces como alternativa el agua residual tratada puede sustituir el agua de pozo en el cultivo de hortalizas y así disminuir su demanda sin afectar su productividad (Sandoval y Collí, 2000).

En este sentido, las aguas residuales generadas por aquellos centros de población que tienen sistemas de drenaje para evacuar sus residuos líquidos, se convierten en una importante alternativa para la producción agrícola. En cuanto a la calidad de aguas residuales, con fines de riego en suelos agrícolas, existen límites máximos permisibles que se refieren a estándares de la calidad de agua. Así la NOM-001- SEMARNAT-1996 se refiere a los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Estos estándares se relacionan con lo estético y el uso del suministro público de agua, ya sea para recreación, mantenimiento de vida acuática, silvestre o de agricultura, tomando en cuenta que las descargas de aguas residuales no afecten a los cultivos ni los suelos (Cuenca et al., 2001; Agenda Ecológica, 2007).

2.9 Características químicas del Vermicompost

Diversos materiales de origen agrícola, ganadero, forestal, industrial y urbano son utilizados como fuente de materia orgánica que se pueden aplicar al suelo en forma de abonos orgánicos, por lo general el vermicompost es obtenido a partir de la aplicación de lombrices, algunas de las propiedades químicas que modifican estos microorganismos en los residuos orgánicos son las siguientes: pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Intercambio Catiónico, Porcentaje de Materia Orgánica, Porcentaje de Sodio Intercambiable (PSI), Nitrógeno, etc. Por otro lado en la mayoría de los casos el vermicompost está compuesto por C, O₂, N, así como macro y micro elementos en diferentes proporciones, tales como Ca, K, Fe, Mn, y Zn entre otros (Duran y Henríquez, 2006).

2.9.1 pH

Entre las características del suelo, el pH desempeña un papel fundamental para la solubilidad y la disponibilidad de los elementos minerales. De manera general, el incremento del pH del suelo disminuye la disponibilidad de los metales por medio de reacciones de precipitación o por el incremento de la adsorción de los coloides de carga variable. El pH es el logaritmo negativo de la concentración de los iones hidrogeno en los compuestos. El grado de acidez o alcalinidad de un material o compuesto, expresado en términos de la escala de pH, 0 a 14, el 7 es el valor neutro. Cuando se determina la reacción de un suelo (acidez o alcalinidad) midiendo el valor de pH, se establece por ese mismo hecho la concentración de iones hidrógenos (Bohn y McNeal, 1993).

Cuadro 1. Clasificación del pH

Valores encontrados	Interpretación
Menos de 4.3	Extremadamente ácido
4.3-4.9	Muy fuertemente ácido
5.0-5.4	Fuertemente ácido
5.5-5.9	Moderadamente ácido
6.0-6.5	Ligeramente ácido
6.6-7.3	Neutro o casi neutro
7.4-8.0	Alcalino
8.1-9.0	Fuertemente alcalino
Mas de 9.0	muy fuertemente alcalino

2.9.2 Materia orgánica

El porcentaje de materia orgánica (MO) presente en la vermicomposta 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, grasas y resinas. Aproximadamente el 56% del humus es carbón, el 35% oxígeno, el 3.5% hidrogeno y el 5% nitrógeno. Su coloración es casi negra de un olor fresco y de estructura parecida al suelo (Capistrán et al., 1999)

2.9.3 Conductividad Eléctrica

La conductividad eléctrica (CE) de un suelo o sustrato es la medición su salinidad relativa o el promedio de las sales solubles presentes en mS cm^{-1} . Los elementos contenidos en las sales solubles como 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 plantas, principalmente debido al aumento de la presión osmótica de la solución del suelo. La determinación de la conductividad eléctrica específica el número de iones que contiene la muestra del material que se está analizando. A medida que la concentración iónica disminuye la conductividad eléctrica es menor; sin embargo la conductividad eléctrica elevada, es porque la concentración de sales solubles a aumentado. Las conductividades bajas son evidencia de la velocidad de movilización de elementos químicos es baja o de algunos de ellos están totalmente ausentes en las muestras (López y López, 1985).

Según la teoría de la sequedad fisiológica, esto implica mayor gasto de energía de la planta para la obtención del agua y sufren desecamiento; o bien, su altura se reduce considerablemente, aunque exista una humedad elevada. Por lo tanto, la conductividad eléctrica es el parámetro más extendido y el más ampliamente utilizado en la estimación de la salinidad en el suelo (Capistán et al., 1999)

2.9.4 Capacidad de intercambio catiónico

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC), es el número de cationes disponibles en una cantidad de suelo, expresado en mili equivalentes 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 de 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)

Los materiales sólidos con muy baja capacidad de intercambio de cationes son infértiles, pues no pueden retener un suministro adecuado de elementos nutritivos de la planta, a si mismo, estos materiales tienen por lo general poca capacidad de retención de agua (Palmer y Troch, 1979).

2.9.5 Humedad requerida para el vermicomposteo

Los principales factores para las lombrices en el vermicomposteo son: temperatura óptima de: $14\text{-}27^{\circ}\text{C}$, en la mayoría de los casos en el composteo el pH es entre 5 y 9, donde la humedad óptima es de: $70\text{-}80\%$, con estos factores las lombrices presentan un buen desarrollo (Schuldt, et al., 2007).

Las lombrices de tierra poseen la particularidad de ocupar la mayoría de los ambientes terrestres. Diversos autores han señalado que el régimen de humedad, la temperatura, el contenido de materia orgánica del suelo, las prácticas de labranza y la vegetación son los principales factores ambientales que determinan la distribución y abundancia de las lombrices de tierra (Falco, et al., 1995).

En los climas fríos y húmedos frecuentemente los suelos contienen altos niveles de humedad haciéndolos más vulnerables a las operaciones de labranza, las cuales además afectan a la porosidad del suelo y la presencia de las lombrices, sobre todo a las especies epígeas, ya que comúnmente se encuentran cerca de la superficie del suelo (Hansen y Engelstad, 1999).

Dada una suficiente humedad en el suelo, se facilita la incorporación de materiales de las plantas tales como los residuos de cultivo, dentro del suelo mejoran la actividad y la biomasa de las lombrices (Paoletti, 1999).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica de la Comarca Lagunera

La Región Lagunera se localiza en la parte central de la porción norte de México. Se encuentra ubicada entre los meridianos 101°40´ y 104°45´ de longitud Oeste, y los paralelos 25°05´ y 26°54´ de latitud Norte. La altitud de esta región sobre el nivel del mar es de 1,139 m. La región cuenta con una extensión montañosa y una superficie plana donde se localizan áreas agrícolas, así como las áreas urbanas. La temperatura promedio ha oscilado de una máxima de 28.8°C, una mínima de 11.68°C y una temperatura media de 19.8°C (Schmidt, 1989).

3.2 Localización del experimento

El experimento se llevó a cabo en una bodega del área de producción de vermicompost de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro – UL, la cual se localiza en Periférico y Carretera a Santa Fé, Km 1.5, en Torreón, Coahuila México.

3.3 Condiciones del lugar del experimento

El experimento se realizó en una bodega de forma cuadrada, con las siguientes dimensiones; cinco metros de ancho por cinco metros de largo. Cuenta con techo de lámina de asbesto a dos aguas, con paredes de block, con ventanas protegidas con malla de alambre y cubiertas con malla sombra y piso de concreto.

3.4 Materias primas y organismos utilizados

En este experimento se utilizó como sustrato, estiércol de caballo, proveniente de la posta de ganado caballos del departamento de Ciencias Médico Veterinaria de la Unidad Laguna, para regar las cunas con estiércol donde se

inocularon las lombrices se aplicó agua residual proveniente de la Universidad Tecnológica de Torreón. El propósito de aplicar agua residual a las cunas de estiércol con lombrices es sustituir la aplicación de agua limpia durante el proceso de vermicomposteo.

3.4.1 Agua residual

En este experimento se utilizó agua residual procedente de la Universidad Tecnológica de Torreón el agua se analizó física y químicamente (pH, Conductividad Eléctrica, Calcio, Magnesio, Sodio, Carbonatos, Bicarbonatos, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Cobre, Hierro, Zinc, Plomo, Cadmio, Sólidos Totales, Nitrógeno Total, DBO y DQO). Una vez obtenidos los resultados se procedió a regar los sustratos con tres tipos de agua residual, aplicando a cada recipiente con estiércol 250 mL de agua.

En la planta tratadora de la Universidad Tecnológica de Torreón se obtuvo agua residual en tres puntos diferentes que fueron:

- ⌚ Fosa residual que es donde se almacena el agua residual cruda: donde la fosa sirve como captadora de sólidos y mediante la decantación el agua residual pasa a la segunda fosa,
- ⌚ Tanque de almacenamiento de agua residual pretratada: en la segunda fosa se precipitan los sólidos suspendidos que logran pasar la primera fosa y
- ⌚ Cisterna de agua tratada: la planta tratadora consta de cuatro tanques de tratamiento y uno de almacenamiento de igual capacidad. Cuando el tanque de almacenamiento alcanza un nivel de rebombeo, el líquido fluye en forma automática hacia la cisterna de aireación continua, en la cual permanece durante 24 horas.

Antes de que el agua residual pase por los tanques de tratamientos pasa por una cámara de cloración. La cloración se realiza mediante el contacto de agua con

pastillas de cloro. En la cisterna de almacenamiento se aplica hipoclorito de calcio a razón de 1.5 kg por cada 2000 litros de agua residual tratada.

Para recuperar los tres tipos de agua se utilizó una cubeta de plástico y se llenaron garrafones de plástico con una capacidad de 20 litros y posteriormente con la ayuda del personal de la UTT se trasladaron los garrafones a las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, este procedimiento se empezó el 24 de febrero del 2007 y se terminó el martes 11 de septiembre del mismo año.

3.4.2 Recipientes

Para el manejo de los sustratos de crecimiento de las lombrices se utilizaron 16 recipientes de plástico, 32 cm de largo por 23 cm de ancho y 6 cm de altura.

Con perforaciones para que el líquido excedente se pudiera drenar, y se usaron cuatro recipientes colectores, de 32 cm de largo, 20 cm de ancho y 10 cm de altura sin perforación para captar los lixiviados. Como soporte de cada recipiente se usaron trozos de madera, de 35 cm de largo. También se utilizaron cuatro atomizadores de plástico de 250 mL, para regar cada uno de los tratamientos evaluados.

3.4.3 Lombrices

La Lombriz que se utilizó para este experimento fue la especie *Eisenia fetida* (Cochran, 1998; Cardoso y Ramírez, 2002), ya que en la literatura se ha relatado que es una especie que presenta un índice de reproducción muy alto a diferencia de otras especies, y además es fácilmente criada fuera de su hábitat natural (Spurgeon, 2000). Las lombrices se obtuvieron del banco de germoplasma donde se han criado dentro del proyecto de "Producción de vermicompost" que se maneja en la misma Institución. Las lombrices inoculadas se seleccionaron jóvenes sin la presencia de clitelos.

3.5 Composición de los sustratos

Los sustratos de crecimiento se constituyeron de estiércol de caballo donde cada tratamiento tuvo cuatro repeticiones, en las cuales se usaron 16 recipientes de plástico, calados y se cubrieron con costales harineros de plástico para que permitieran drenar los excedentes de agua de riego aplicado para mantener humedad en un nivel óptimo de 70 y 80% (Santamaría y Ferrera, 2002) en los sustratos donde se desarrollaron las lombrices *Eisenia fetida*.

3.6 Unidad experimental

Se consideró como unidades experimentales cada uno de los recipientes que contenían los cuatro tratamientos en estudio. Con una capacidad aproximada de 2 kg.

Todos los recipientes fueron tapados con costales harineros, durante el período que duró el experimento. El recipiente necesita cubrirse para conservar la humedad y proporcionar obscuridad a las lombrices, ya que la piel de las lombrices reacciona a la luz (NCSU, s/f; Cochran, 1998). Adicionalmente, es importante destacar que, las camas o cunas para los sistemas de vermicomposteo deben tener la capacidad de retener la humedad y el aire, por lo que los recipientes se perforaron para facilitar la aireación y el drenaje (Cochran, 1998; CASFS, s/f).

3.7 Desarrollo del experimento

3.7.1 Ensayos preliminares

Antes de realizar la inoculación se realizaron algunas actividades como: estabilizar la temperatura, humedad, aireación y drenaje en los recipientes; una vez logrado esto se procedió a la inoculación de las lombrices, colocando 10 especímenes en cada repetición quedando así 40 especímenes por tratamiento; los sustratos se removieron cada tercer día para lograr una mejor aireación y al mismo

tiempo se regaban con los diferentes tipos de agua obtenidos de la planta tratadora de aguas residuales de la UTT para mantener la humedad, pues éste un factor determinante en la supervivencia de la lombriz.

3.7.2 Riegos

Los riegos se aplicaron cada tercer día durante el período que duró el experimento, cuidando siempre mantener el porcentaje de humedad adecuado para la supervivencia de la lombriz, éste osciló entre el 70 y 80 %, pues las lombrices no soportan mezclas que pasen del 93 % de humedad (Cardoso y Ramírez, 2002). También es importante señalar que para mantener el porcentaje de humedad para el desarrollo de las lombrices se regó con cuatro tipos de agua: agua de la llave (potable) considerando como el tratamiento testigo, agua cruda, agua pretratada y agua tratada, estos tres últimos tipos de agua se obtuvieron de la Planta Tratadora de Agua de la Universidad Tecnológica de Torreón. Los datos registrados de los parámetros evaluados en la planta tratadora de la UTT por el periodo 2003-2006 se presentan en el cuadro A1 del apéndice.

En cada una de las ocasiones (3 veces) en que hubo necesidad de obtener agua residual de la planta tratadora de la UTT, se determinaron las características de los diferentes tipos de agua utilizados: pH y Conductividad Eléctrica, con la ayuda de aparatos portátiles waterproof pH, code 5-0008 y C.E Waterproof, ectest high.

Cuadro 2 valores medidos de pH y CE de aguas residuales provenientes de la UTT y del agua de la llave

	Fecha <u>28/02/07</u>	<u>31/03/07</u>	<u>13/06/07</u>
pH			
Agua de llave	8.5	8.4	8.4
Fosa residual	7.7	8.0	8.0
Tanque de almacenamiento	7.8	8.0	8.0
Cisterna	7.8	7.8	8.1
CE (mS.cm⁻¹)			
Agua de llave	1.10	1.20	1.20
Fosa residual	2.90	2.90	1.90
Tanque de almacenamiento	2.70	2.70	2.20
Cisterna.	1.30	1.20	0.70

3.7.3 Sobrevivencia de las lombrices contenidos en los recipientes

Se realizó un conteo de lombrices al final del experimento con el fin de determinar el comportamiento de la lombriz en función de su supervivencia y/o reproducción bajo las condiciones a que se manejó el experimento. Los datos registrados del conteo final de lombrices se encuentran en el Cuadro A2 del apéndice.

3.7.4 Aireación de los tratamientos

Cada tercer día se realizó la aireación de los recipientes, el material contenido en cada uno de ellos se volteaba con la ayuda de trinchas de jardinería, esta práctica facilitó la presencia de aire necesario para el proceso de descomposición y/o transformación del estiércol, para evitar al máximo la presencia de los olores fétidos y para homogenizar los sustratos.

3.7.5 Registro de temperatura

Cada tercer día se registró la temperatura con un termómetro digital de bayoneta metálica, procurando hacer la medición a una misma hora del día, los datos de temperatura se presentan en los cuadros A3 y A4 del apéndice.

3.7.6 Muestreo de los tratamientos

Se realizaron tres muestreos por cada recipiente durante el desarrollo del experimento. Las muestras se recuperaron utilizando palas de jardinería extrayendo 200 g de material por tratamiento que se pesaron en una balanza analítica (Sartorius, modelo A200S), se colocaron en bolsas de plástico con su identificación respectiva del tratamiento y se procedió a trasladarlas al Laboratorio de Suelos de la misma Institución para llevar a cabo los análisis químicos.

3.8 Métodos utilizados para análisis fisicoquímicos

Una vez que las muestras llegaron al laboratorio, el sustrato se puso a secar exponiéndolo al sol durante tres días, para posteriormente cribarlo con un tamiz Alsa de 2 mm. El análisis de las muestras de los sustratos se realizó basándose en las técnicas del laboratorio reportado en el Manual No. 60 "Diagnostico y Rehabilitación de Suelos Salinos y Sódicos".

3.8.1 PH

El análisis se realizó por Potenciómetro en extracto de suelo a saturación. Para realizar esta determinación se pesaron en una balanza granataria, Sartorius, tipo 1507, 200 g de cada muestra, se colocaron en un recipiente de plástico de 500 mL de capacidad, se agregó agua destilada a saturación y se agitó con una espátula hasta que la pasta brilló con la ayuda de la reflexión de la luz, sin permitir la acumulación de agua sobre la superficie. Ya saturadas las muestras se dejaron reposar por 24 horas, transcurrido este tiempo, las pastas se colocaron en un embudo de porcelana con papel filtro Ahistron grado 601 y se aplicó vacío con una bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144. El extracto se recuperó en un tubo de ensaye. El potenciómetro,

marca Orion, modelo 420 A se calibró con solución buffer de 4.0, 7.0 y 10.0 de pH y posteriormente se procedió a determinar el pH de cada muestra y se registró el valor de cada lectura.

3.8.2 Conductividad eléctrica

El análisis se realizó por Conductivímetro en extracto de suelo a saturación. En una balanza granataria, Sartorius, tipo 1507, se pesaron 200 g de cada muestra, se colocaron en un recipiente de plástico de 500 mL de capacidad, se agregó agua destilada a saturación y se agitó con una espátula hasta que la pasta brilló con la ayuda de la reflexión de la luz, sin permitir la acumulación de agua sobre la superficie. Ya saturadas las muestras se dejaron reposar por 24 horas, transcurrido este tiempo, las pastas se colocaron en un embudo de porcelana con papel filtro Ahistron grado 601 y se aplicó vacío con una bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144. El extracto se recuperó en un tubo de ensaye.

El conductivímetro se calibró con soluciones patrón de Cloruro de sodio de 7230 ppm lo que equivalen a $12.9 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ y 692 ppm de Cloruro de sodio lo que equivale a 1413 S/cm , en un vaso de precipitado de 10 mL se colocó el extracto y se procedió a determinar la conductividad eléctrica de las muestras.

3.8.3 Capacidad de intercambio catiónico

La determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se llevó a cabo por saturación con Cloruro de Bario. Se pesaron 4 g de cada muestra en una balanza granataria Sartorius, tipo 1507, posteriormente los 4 g se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 mL y se agregaron 15 mL de Cloruro de Bario 1 N. Los matraces se taparon con película parafilm, se agitaron por 30 minutos en el agitador mecánico Eberbach, modelo 6010, y se dejaron reposar por 24 horas. Pasadas las 24 horas se preparó la bomba de vacío Roblenz, modelo dgp144, con un embudo de porcelana y papel filtro Ahistron grado 601 para filtrar las suspensiones, procurando que las muestras quedaran en el centro del papel. Se enjuagaron los matraces con Cloruro

de Bario 1 N para que todo el lodo quedara sobre el papel filtro ahistron grado 601 y se lavaron con 60 mL de metanol en porciones de 10 mL aproximadamente.

Los filtros que contenían las muestras se recuperan del embudo y se doblaron e introdujeron en el mismo matraz que contenía la suspensión, se agregaron 100 mL de solución saturada de yeso, los matraces se taparon con parafilm y se agitaron por 30 minutos en el agitador mecánico Eberbach, modelo 6010, se filtraron usando papel filtro Ahistron grado 601 recogiendo las suspensiones en una vaso de precipitado de 100 mL, se utilizó una pipeta volumétrica para recuperar 5 mL del filtrado (alícuota) y se colocaron en matraces Erlenmeyer de 125 mL, con una pipeta volumétrica se agregaron 5 mL de agua destilada, 1 mL de solución buffer, una gota de indicador Negro de Eriocromo T, y se tituló con EDTA 0.02 N, hasta alcanzar un vire de rojo vino a azul.

Se preparó un testigo de la siguiente manera: En un matraz Erlenmeyer de 125 mL se colocaron 5 mL de solución saturada de yeso, se añadieron 5 mL de agua destilada con una pipeta volumétrica, se agregaron 5 gotas de dietilditiocarbamato de sodio, se añadieron 5 gotas de hidróxido de sodio 4 N y una gota de murexida, y se titulo con EDTA 0.02 N, hasta alcanzar un vire de rosa a lila.

3.8.4 Materia orgánica

Se pesaron 0.05 de muestra, se cribaron por un tamiz de 0.5 mm, y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 500 mL, se preparó un testigo sin muestra y se adicionaron 5 mL de dicromato de potasio 1N, agitando cuidadosamente el matraz en forma manual para que entre en contacto con toda la muestra. Cuidadosamente, con una bureta se agregaron 10 mL de H_2SO_4 concentrado a la suspensión, se agitó nuevamente el matraz durante un minuto, y se dejó reposar durante 30 minutos. Después se le agregaron 100 mL de agua destilada, se añadieron 5 mL de H_3PO_4 concentrado. También se le anadieron 8 gotas del indicador de difenilamina o ferroina, y por último se tituló con una disolución de sulfato ferroso a 5 N, gota a gota hasta un punto final verde claro o rojo ladrillo.

3.8.5 Fósforo

Se pesaron 2.5 g de la muestra cribada en tamiz 2 mm y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 125 mL, se cubrieron con cuadros de parafilm, se adicionaron 50 mL de solución extractora en cada matraz y se agitó por 30 minutos a 180 oscilaciones por minuto, se colocaron los matraces en posición vertical. Se filtraron inmediatamente a través del papel filtro Ahistron grado 601. Para la determinación de fósforo se toma una alícuota de 5 mL del filtrado y se colocaron en tubos de 25 mL se adicionaron a cada tubo una gota de nitrofenol, 1 mL de H_2SO_4 5 N, 4 mL de reactivo B se aforaron con agua destilada, se cubrieron con parafilm y se agitaron, se leyeron en Espectrofotometro 118 MERK después de 30 minutos, pero antes de una hora a 882 nm paralelamente se se preparó una curva de calibración de fosforo con patrones de 0, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 0.8, y 1.0 ppm de fosforo, se prepararon 50 mL de reactivo A con 0.5 de acido ascórbico. Y luego se agregaron 5 mL de la solución a cada matraz. Se preparó un testigo y también se agregaron 5 mL de la solución extractora, se aforó con agua destilada, se cubre con parafilm y se leyó fosforo en absorbancia después de 30 minutos.

3.8.6 Nitrógeno Total

Se pesaron en papel filtro Ahistron grado 601, 2.5 g de muestra en la balanza analítica pasado por la malla de 0.5 mm, se colocó el papel filtro con la muestra en un matraz Kjeldahl. Disolver 1 g de ácido salicílico en 35 mL de ácido sulfúrico concentrado se agregaron al matraz procurando que no tocara sus paredes posteriormente se dejaron reposar por 30 minutos. Se agregaron 15.69 g de tiosulfato de sodio pentahidratado y 7.82 g de sulfato de cobre pentahidratado luego el matraz se puso a digerir hasta que alcanzó un color verde claro, evitando que la muestra se pegue al matraz, después de esta etapa se dejaron enfriar los

matraces con la muestra. Posteriormente a los matraces se les agregaron 300 mL de agua destilada.

Destilación: en un matraz Erlenmeyer de 500 mL se colocaron 10 mL de ácido clorhídrico 0.1 N, se le agregaron 50 mL de agua destilada, se aplicaron cuatro gotas de rojo de metilo, se colocó el matraz en el tubo de destilación. Al matraces de digestión de 800 mL se agregaron 100 mL de hidróxido de sodio al 45% y los matraces se colocaron en el destilador Kjeldahl, marca Labconco, lo mas rápido posible. En el matraz de 500 mL se recogieron 200 mL del filtrado, y se procedió a titular con hidróxido de sodio 0.1 N hasta que alcanzó un color verde claro.

3.8.7 Calcio + Magnesio en extracto de saturación

En un matraz de 125 mL, se colocaron 5 mL de muestra obtenidas en el extracto de saturación, se agregaron 5 mL de agua destilada, 1 mL de solución buffer, una gota de Negro de Eriocromo T (ENT), agitar y por último se tituló con la solución EDTA 0.02 N, hasta que se observó el cambio de color rojo a azul y se cuantificaron los mL utilizados para tal cambio.

3.8.8 Cloro en extracto de muestra a saturación

Se utilizaron 0.5 mL de extracto de la muestra a saturación en un matraz de 125 mL, se agregaron 5 mL de agua destilada, se agregaron tres gotas de cromato de potasio (como indicador), y por último se tituló la muestra con nitrato de plata 0.01 N, hasta que alcanzó un cambio de color de amarillo a rojo ladrillo.

3.8. 9 Bicarbonatos

En un matraz que contenía 0.5 mL de la muestra, se agregaron 5 mL de agua destilada y tres gotas de anaranjado de metilo, por último se tituló con H_2SO_4 a 0.01 N, hasta que la muestra que era amarilla tomó un color naranja. Posteriormente se registró el volumen empleado en cada titulación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 pH en el sustrato vermicompostado

Se determinó que para la variable pH no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos. Es decir cualquiera de los tratamientos provoca respuesta similar (cuadro 3), aunque en todos los tratamientos incrementaron el número de lombrices inoculadas, en el cual se puede suponer que la reproducción de las lombrices no se vio afectada por el tipo de agua utilizada, estos resultados fueron similares a los valores obtenidos para esta variable por Santamaría-Romero (2001), sin embargo en su caso se provocó una reducción drástica en el número de lombrices inoculadas.

Cuadro 3. Comparación de media de tratamientos para la variable pH

Tratamientos	Media	
1	8.715000	a
2	8.550000	a
3	8.655001	a
4	8.635000	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.2 Conductividad eléctrica

Cabe señalar que para la variable conductividad eléctrica no hubo diferencia significativa entre tratamientos, por lo que en cualquiera de los tratamientos la supervivencia de lombrices resultó similar al efecto del pH (cuadro 4). En esta variable los valores de CE se elevaron en todos los tratamientos analizados sin impactar la supervivencia de las lombrices esto se contrapone los resultados reportados por Santamaría-Romero et al. (2001) quienes determinaron la población de lombrices se

reduce cuando los sustratos de crecimiento presentan concentraciones elevadas de CE.

Cuadro 4. Comparación de media de tratamientos para la variable Conductividad eléctrica.

Tratamientos	Media	
1	26.310001	a
2	24.040001	a
3	26.855001	a
4	24.910000	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.3 Capacidad de intercambio catiónico en el sustrato vermicompostado

En relación a la capacidad de intercambio catiónico el cuadro 5 destaca que los tratamientos evaluados no presentaron diferencia significativa registrándose que oscilaron valores de 10.00 a 11.00 meq. 100 g⁻¹. Al respecto, Contreras-Ramos et al. (2002) reportó la misma tendencia en la CIC durante un experimento de vermicomposteo de biosólidos con estiércol de bovino y avena en diferentes proporciones, utilizando la lombriz *Eisenia fetida*.

Cuadro 5. Comparación de media de tratamientos para la variable Capacidad de intercambio catiónico.

Tratamientos	Media	
1	10.00	a
2	10.50	a
3	10.50	a
4	11.00	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.4. Materia orgánica en el sustrato vermicompostado

En los tratamientos que se presentan en el cuadro 6 no se registró diferencia significativa, estos tratamientos presentan valores similares a los que reportan

Santamaría-Romero et al. (2001) donde probablemente, el consumo de elementos nutritivos por parte de la lombriz afectó la concentración de MO, cabe mencionar también que a pesar de los resultados reportados en este experimento, las lombrices se mantuvieron estables de manera que es factible pensar que se pueden usar las aguas residuales, ya mencionadas anteriormente sin problema alguno, para regar los sustratos de crecimiento.

Cuadro 6 Comparación de media de tratamientos para la variable Materia orgánica.

Tratamientos	Media	
1	18.845001	a
2	18.275000	a
3	18.645000	a
4	18.985001	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.5 Fósforo en el sustrato vermicomposteado

Para la variable fósforo no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos, por lo tanto, cualquiera de los tratamientos provocan una respuesta similar (cuadro 7), Pero hay que señalar que las lombrices sobrevivieron ante el bajo porcentaje de fósforo registrado en este experimento. Estos resultados no alcanzan el porcentaje que reportó el presente Cardoso-Vigueros (s/f), para la calidad agronómica del vermicompost quien lo ubica como un material rico en fósforo con concentraciones mayores de 0.96%.

Cuadro 7. Comparación de media de tratamientos para la variable Fósforo.

Tratamientos	Media	
1	0.2000	a
2	0.2100	a
3	0.2200	a
4	0.2150	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.6 Nitrógeno total en el sustrato vermicomposteado

En la variable nitrógeno total no se registró diferencia significativa entre los tratamientos, de manera que cualquiera de los tratamientos provocó una respuesta similar (cuadro 8), a pesar de que no hubo diferencia significativa, los resultados presentados demuestran que las lombrices sobrevivieron. Sin embargo el contenido el contenido de nitrógeno total registrado en todos los tratamiento supero a los obtenidos por Santamaría-Romero et al. (2001), quienes prepararon compost y vermicompost a partir de residuos de podas de jardín mezclado con estiércol de conejo

Cuadro 8. Comparación de media de tratamientos para la variable Nitrógeno total.

Tratamientos	Media	
1	19.865000	a
2	19.299999	a
3	20.615000	a
4	19.195000	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.7 Calcio + magnesio en el sustrato vermicomposteado

En esta variable, calcio + magnesio no se registró diferencia significativa (cuadro 9) debido a que los valores son semejantes, es importante señalar que las lombrices sobrevivieron. Sin dificultad en las concentraciones de Ca + Mg que presentaron los sustratos de crecimiento aplicando diferentes tipos de agua.

Cuadro 9. Comparación de media de tratamientos para la variable Calcio + Magnesio.

Tratamientos	Media	
1	23.00	a
2	13.00	a
3	14.00	a
4	12.00	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.8 Cloruros en el sustrato vermicomposteado

En el análisis estadístico de la variable cloruros no hubo diferencia significativa entre los diferentes tratamientos ya que los valores son similares (cuadro 10). Esto implica que cualquiera de los tratamientos de agua aplicados sobre el vermicompost provocó el mismo efecto sobre esta variable donde los valores fueron 76 a 89 meq Cl⁻¹ en el cual las lombrices sobrevivieron aun mas en los tratamientos T1 y T3 lo que implica que el agua de llave puede ser sustituida con el agua residual pretratada que es el T3.

Cuadro 10. Comparación de media de tratamientos para la variable Cloruros.

Tratamientos	Media	
1	84.00	a
2	76.00	a
3	89.00	a
4	79.00	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales

4.9 Bicarbonatos en el sustrato vermicomposteado

Para la variable bicarbonatos no se registraron diferencias significativas entre los cuatro tratamientos (cuadro 11). Es decir que cualquiera de los tratamientos provocó una respuesta similar, sin afectar la supervivencia de las lombrices. Contrario a lo anterior Paoletti (1999), que las lombrices no soportan altas concentraciones de bicarbonatos en los sustratos de crecimiento.

Cuadro 11. Comparación de media de tratamientos para la variable Bicarbonatos.

Tratamientos	Media	
1	43.00	a
2	41.00	a
3	41.00	a
4	42.00	a

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales.

En términos generales y aunque las diferentes propiedades químicas evaluados no presentaron diferencia significativa es factible destacar que en agua cruda, pretratada y tratada pueden ser usados para riego de los sustratos sin problema alguno ya que se ha visto en este experimento que no provocó alteraciones en las lombrices.

El tratamiento T1 y T3 presentaron supervivencias mas altas que en los demás tratamientos. Estableciendo claramente la diferencia entre las características químicas del agua residual, tomando en cuenta que T3 es agua residual pretratada.

Por otra parte, se pudo destacar que el proceso de vermicomposteo en estiércol de caballo, en el cual tiene una participación fundamental la lombriz *Eisenia fetida*, permitiendo que el pH se mantuviera estándar en todos los tratamientos. También hay que mencionar que en las demás variables como CE, CIC, MO, NT, Cloruros, Bicarbonatos, Fósforo, Calcio + Magnesio las lombrices lograron sobrevivir a pesar de las concentraciones estuvieron altas.

V. CONCLUSIONES

Conforme a los resultados obtenidos en este experimento, se puede concluir que las aguas residuales utilizadas como riego de los sustratos pueden sustituir el agua de llave en el vermicomposteo empleando la lombriz *Eisenia fetida*.

Por lo tanto el objetivo planteado cubrió con lo dispuesto, ya que se pudo determinar el comportamiento de la lombriz *Eisenia fetida* cuando, se aplicaron aguas residuales para el riego de los sustratos de crecimiento.

En el conteo final, la población de lombrices *Eisenia fetida* en los tratamientos fueron: aumento en el T1 142.5 % lombrices, en el T2 disminuyó el 30% de lombrices, en el T3 aumentó el 25% de lombrices y en el T4 disminuyó el 45% de lombrices. Se concluye que el vermicomposteo es una opción ecológica para la estabilización de sustrato de crecimiento como el estiércol de caballo, además de presentar como opción sustituir el agua de llave por agua residual pretratada, de esta manera disminuyendo la cantidad de agua residual que no recibe ningún tipo de tratamiento.

Comparación de valores obtenidos en el vermicomposteo de estiércol de caballo usando como riego cuatro tipos de agua: agua de llave, agua residual cruda, agua residual pretratada y agua tratada, los valores obtenidos por Santamaría-Romero et al, (2001) son los siguientes:

Cuadro 12. Los valores obtenidos por Santamaría-Romero et al, (2001).

Compost	Humedad	CE	pH
T4	7.6-0.7	9.5-0.79	8.9-0.06
T8	74-1.1	9.3-0.48	8.3-0.14
T12	73-1-4	8.3-.08	8.6-0.05
T16	69-0.9	7.8-.96	8.6-.11
Vermicomposteo			
T4	7.6-0.8	8.5-0.19	8.7-0.10
T8	73-0.3	9.1-0.34	8.5-0.12
T12	72-1.5	8.7-0.20	8.6-0.05
T16	69-1.9	8.0-0.21	8.5-0.13

Cuadro 13. Los valores obtenidos en el presente trabajo son los siguientes:

Compost	pH	CE	CIC	MO	Fósforo	NT	Ca+Mg	Cloruros	Bicarbonato
T1	8.7	26.3	10	18.8	0.20	19.8	23	84	43
T2	8.5	24.0	10.5	18.2	0.21	19.2	13	76	41
T3	8.6	26.8	10.5	18.6	0.22	20.6	14	89	41
T4	8.6	24.9	11.0	18.9	0.21	19.1	12	79	42

VI. RESUMEN

El agua es el principal elemento del hombre así como para el uso en las actividades que realiza, sin embargo este recurso se ha visto afectada por el mal uso, por la sobreexplotación que es una amenaza para el medio ambiente, el cual conlleva a la contaminación, desechándose en los suelos y en sistemas de drenaje. La contaminación del agua puede definirse como la adición de cualquier sustancia en cantidad suficiente que dañe a los seres humanos. El vermicomposteo es un proceso utilizado comúnmente para el tratamiento de residuos orgánicos o para la producción de fertilizantes orgánicos. El vermicomposteo consiste en aprovechar la capacidad de adaptación y reproducción de organismos como las lombrices *Eisenia fetida*, que se caracterizan por tener un apetito voraz y una alta tasa de crecimiento fuera de su hábitat natural, acelerando la descomposición de residuos orgánicos. En este trabajo se empleó la técnica de vermicomposteo para el tratamiento de estiércol de caballo, mediante la aplicación de agua residual generada de la planta tratadora de la Universidad Tecnológica de Torreón, y se determinó el comportamiento de las propiedades químicas (pH, Conductividad Eléctrica, Capacidad de Intercambio Catiónico, Materia Orgánica, Nitrógeno Total, Bicarbonatos, Cloruros, Fosforo, Calcio + Magnesio) de los sustratos vermicomposteados con lombriz *Eisenia fetida*, en cuatro tratamientos diferentes, usando como sustrato estiércol de caballo, y como riego agua de llave, agua residual cruda, agua pretratada y agua tratada en todos los tratamientos fueron inoculadas 10 lombrices jóvenes. Los resultados fueron realizados mediante un diseño completamente al azar para la evaluación se consideraron las variables

mencionadas anteriormente, como resultado no se registraron diferencia significativa en ninguno de los tratamientos lo cual indica que el agua de llave puede ser sustituida por el agua residual cruda, pretratada y tratada.

VII. LITERATURA CITADA

Ancona, M. L., Pech, M. V. y Flores N. A. 2006. Perfil del mercado de la composta como abono para jardín en la ciudad de Mérida, Yucatán, México.

Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/141/14101913.pdf>

Fecha de recuperación: 14 de octubre del 2007.

Agenda Ecológica. Compendio de leyes, reglamentos y otras disposiciones conexas sobre la materia. Normas Oficiales Mexicanas en materia de Protección Ambiental. Quinta impresión febrero 2007. Ediciones Fiscales ISEF empresa líder. Pp.1, Sección XXXII.

Atiyeh, R. M. S. Subler, C. A. Edwards, G. Bachman, J. D. Metzger, W. Shuster. 2000.

"Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil." *Pedobiología* 44: 579-590

Bohn, H. y B. McNeal. 1993. *Química de Suelo*. Editorial Limusa, Primera Edición.

Pp. 267-273.

Capistrán, F., E. Aranda y J. C. Romero. 1999. "Manual de Reciclaje, Compostaje y Vermicompostaje". Instituto de Ecología A. C. pp. 151. México.

Cardoso, L., and E. Ramírez 2002. Vermicomposting of Sewage Sludge: A New Technology For Mexico. *Water Science*, 46 (10): 153-158.

Cardoso V. L., y E. Ramírez C. 2000. Tratamiento y Aprovechamiento de residuos de curtiduría por Composteo. In: *Memorias del XII Congreso Nacional FEMISCA-AIDIS*. Michoacán, 1 de marzo del 2000.

Cardoso-Vigueros L. y Ramirez C. E. s/f. Vermiestabilización de lodos residuales y lirio acuático. XXVII Congreso Interamericano de Ingeniería Sanitaria e Ambiental. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Progreso Jiutepec Morelos-México. Pp. 1-6.

- Cardoso Vigueros L., Ramírez A. E. y Riva H. 2003. Instalación de un sistema de vermiestabilización a escala real en una planta de tratamiento municipal. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Subordinación de Tratamiento de Aguas Residuales. Proyecto TC- 2026.
- Campos M. 2004. Problema actual de la Contaminación de las aguas Continentales. CODAEM. 130-148. Pp
- Centro de Información y Comunicación Ambiental de Norte América (CICEANA), A. C. Ciudad de México. Disponible en: [http://www.ciceana.org.mx/recursos/contaminación del agua](http://www.ciceana.org.mx/recursos/contaminación_del_agua). Fecha de recuperación: 4 de octubre del 2007.
- Cochran, S. (1998). Vermicomposting. Nebraska, University of Nebraska: 3. Chan, K.-Y. and J. A. Mead 2003. "Soil acidity limits colonisation by *Aporrectodea trapezoides*, an exotic earthworm." *Pedobiologia* 47: 1-5.
- Contreras-Ramos S. M., Escamilla-Silva E. M, Dendooven L 2005. Vermicomposting of biosolid with cow manure and oat straw. *Boil Fertil Soils* 41:190-198.
- Cuenca A. E., D. Riestra D., J.M. Pérez M. y A. A. Echegaray. 2001. Uso de aguas residuales y control de organismos Patógenos en la Producción de Cebolla. *Agrociencia* 35: 355-365.
- Daane, L. L., Molina, J. A., Berry, E. C. and Sadowsky, M. J. 1996. Influence of earthworm activity on gene transfer from *Pseudomonas fluorescens* to indigenous soil bacteria. *Appl Environ Microbiol.* 62(2): 515-21.
- Delgado-Arroyo M. del M., Porcel C. M. A., de Imperial H. R. M., Beltrán R. E. M., Beringola B. L. y Martín S. J. V. 2004. Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. Madrid España. Disponible en: <http://www.atmosfera.unam.mx/contaminacion.pdf> Fecha de recuperación: 14 de octubre del 2007.

- Duran, L. y Henríquez C. 2006. Caracterización Químico, Física y Microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* 31(1): 41-51. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v31n01_041.pdf fecha de recuperación: 4 de octubre del 2007.
- Edwards, C. A., Burrows I., Fletcher K. E. y Jones B. A. 1984. The use of earthworms for composting farm wastes. Pp. 229-241. *Composting of agricultural and other wastes*. Publ. London and New York.
- Escalante V., L. Cardoso, E. Ramírez, G. Moeller, G. Mantilla, J. Montecillos, C. Servin y F. Villavicencio. 2002. El reuso del agua residual tratada en México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Jiutepec Morelos México. 230236.
- Environmental Protection Agency (EPA). 1997. Recovering organic wastes - giving back to Mother Nature. Washington, DC 20460. United States.
- Falco, L., F. Momo. 1995. "Asociaciones de lombrices de tierra y su relación con la cobertura vegetal en suelos forestados de Argentina." *Revista Chilena de Historia Natural*. 66: 523-528.
- García E. 2004. El manejo del agua en la Laguna, México. Instituto de Desarrollo del Campo. PP. 1-6.
- García S., J. A., E. Guzmán S. y M. Fortis H. 2005. Demanda y distribución del agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia* 40: 269-276. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed>. Fecha de recuperación: 10 de agosto del 2007.
- Gutiérrez, V. E. 2007. Dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia foetida* en estiércol compostado y fresco de bovino y ovino. *REDVET*. Vol. VIII, N° 7. PP.1-8.
Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070707.html>.
Fecha de recuperación: 20 de septiembre.

- Guzmán S., E., A. García S., J. S. Mora F., M. Fortis H., R. Valdivia A. y M. Portillo V. 2006. La demanda de agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia* 40:793-804.
Disponible en:<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed>.
Fecha de recuperación: 10 de agosto del 2007.
- Hansen, S. and F. Engelstad 1999. "Earthworm populations in a cool and wet district as affected by tractor traffic and fertilization." *Appl Soil Ecol* 13: 237250.
- Huertas E., Folch M., Vergés C., Pigem J. y Salgot M. 2001. La calidad del agua residual regenerada para la recarga de acuíferos. Laboratori d'Edafologia, Facultat de Farmàcia, Universitat de Barcelona. Joan XXIII, s/n. 08028 Barcelona; Fundació AGBAR; Direcció de Sanejament. AGBAR. Pg. de Sant Joan, 35. 08009 Barcelona; SEARSA. Pp. 85-97.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI). 2005. "Estadística a propósito del día mundial del agua" datos nacionales. México D. F. PP. 1-8.
- Jiménez B. E. 2001. La contaminación ambiental en México. Causas, efectos y tecnología apropiada. Primera edición. Editorial Limusa-Noriega. Colegio de Ingenieros Ambientales de México. PP. 1-6.
- Lasarus J. y Paul G. D. 1991. Reuso del agua, calidad del agua y consideraciones sobre los desechos del agua. Santa Fe Nuevo México 87502-5727.
- López, J. y J. López. 1985. Diagnostico de Suelos y Plantas. Ediciones MundiPrensa, Cuarta Edición. Pp. 44 y 45.
- Metcalf y Eddy, 1996. Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización. Editorial McGraw-Hill. México, D. F. PP. 2-9.
- Moreno-Reséndez. A. 2005. Origen importancia y aplicación de vermicomposta para el desarrollo de especies hortícolas y ornamentales. Departamento de suelos, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- UL.

- Palmer, R., y F. Troch. (1996). Introducción a la Ciencia del Suelo. Editorial Editor, S.A. Primera Edición. Pp. 88,96 y 97.
- Paoletti, M. G. 1999. The role of earthworms for assessment of sustainability and as bioindicators. *Agric. Ecosyst. Environ* 74: 137-155.
- Rivas, L. B. A., G. V Nevarés M., R. G., Bautista .M., H. A. Pérez, y T. R. Saucedo. 2003. Tratamiento de aguas Residuales de Uso Agrícola en un Biorreactor de Lecho Fijo. *Chihuahua, Chihuahua. Agrociencia* 37: 157-166. Robles R. 2004. El agua gota a gota se agota. *Boletín IFP. Costa Rica*. PP. 5-6.
- Robles R. 2004. El agua gota a gota se agota. *Boletín IFP. Costa Rica*. PP. 5-6.
- Sandoval, Y. L. y Collí M. J. 2000. Tratamiento integral de agua residual Municipal, su desinfección y reuso en la agricultura. IMTA. Paseo cuauhnahuac progreso Juitepec, Morelos, México.
- Santamaría-Romero, S., R. Ferrera-Cerrato, et al. (2001). "Dinámica y relaciones de microorganismos, C-orgánico y N-total durante el composteo y vermicomposteo." *Agrociencia* 35(4): 377-384.
- Santamaría, R. S. y Ferrera C. R. 2002. Dinámica Poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en Diferentes Residuos Orgánicos. Estado de México. *Terra* 20: 303-310.
- Santelices, S. M. Morfología de la lombriz. (s/f). *Lombricultura Pachamama* S. A. Profesor de Biología y Ciencias Naturales de Chile, Sede Talcahuano. disponible en:
<http://www.lombricultura.cl/biblioteca/morfolog%20de%20LA%20lombriz.pdf>. Fecha de recuperación: 17 de octubre del 2007.
- Silva, G. S. E., A. Muñoz O., M. de L. de la Isla de B. y S. Infante G. 2002. Contaminación Ambiental en la Región de Atlixco: 1. Agua. Estado de México. *Terra* 20:243-251.

Disponible en:<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/src/inicio/ArtPdfRed>.

Fecha de recuperación: 14 de septiembre del 2007.

Schuldt, M., R. Christiansen., L. A. Scatturice., y J. P. Mayo. 2007. Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de temperie. 3(8): 1-8.

Disponible en:<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807/pdf>.

Fecha de recuperación: 14 de octubre del 2007.

Spurgeon, D. J. and S. P. Hopkin (2000). "The Developmen of Genetically Inherited Resistance to Zinc In Loboratory-Selected Generations of The Earthworm *Eisenia fetida*". Environ. Pollut. 12:193-201.

Tocalino, P. A., Roux J. P., Agüero C. M. (s/f). Comportamiento reproductivo de *Eisenia foetida* (Lombriz roja de California) durante las cuatro estaciones del año y alimentadas con distintos compostajes. Facultad de ciencias Veterinarias-UNNE.

VIII. APÉNDICE

A1. Valores registrados de los parámetros del periodo 2004-2006.

Tanque de Almacenamiento	Bacterias, Hipoclorito de Calcio y Cloro 2004			Bacterias más Chlorella 2005			Bacterias, Chlorella más Hipoclorito de Calcio y Cloro 2006			L M P
	2003	2004	2005	09:00 hrs.	10:00 hrs.	11:00 hrs.	R1	R2	R3	
<i>Parámetros Analizados</i>										<i>NOM-001-ECOL-1996</i>
pH	7.70	7.00	7.00	7.9	7.85	7.83	8.30	7.20	8.30	De 5.0 a 10.0
Temperatura (°C)	31.7	32.6	28.0	20.5	22.3	22.7	30.00	32.00	30.00	N.A.
Material Flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausencia
Sólidos Sedimentables (ml/l)	10.0	12.0	16.0	8	10	9	8	7	8	N.A.
Grasas y Aceites (mg/l)	8.99	7.80	6.90	11.77	24.06	121.57	68.00	16.00	5.00	15
Sólidos Suspendidos totales (mg/l)	52.00	58.00	48.00	128.00	76.00	112	32.00	12.00	17.00	N.A.
Demanda Bioquímica de Oxígeno (mg/l)	143.87	159.00	148.00	277.00	80.00	100	70.00	39.00	14.00	N.A.
Nitrógeno Total (mg/l)	179.02	160.10	188.02	49	55	100	38	45	49	N.A.
Fósforo Total (mg/l)	7.68	5.57	6.60	7.60	7.00	7.56	7.40	7.65	7.25	N.A.
Coliformes Fecales (nmp/100ml)	40.00	80.00	70.00	11 E+6	11 E+6	11 E+6	12	18	30	2,000
Huevos de Helminto (huevos/l)	N.D	N.D	N.D	50	25	36	ND	ND	ND	1.0
Arsénico total (mg/l)	<0.0012	<0.0012	<0.0012	0.02	0.02	0.02	0.025	0.025	0.025	0.2
Cadmio (mg/l)	<0.005	<0.005	<0.005	0.096	0.089	0.097	0.085	0.083	0.85	0.05
Cianuros (mg/l)	<0.0094	<0.0094	<0.0094	0.017	0.010	0.010	0.011	0.012	0.012	2.0
Cobre Total (mg/l)	<0.00545	<0.00545	<0.00545	0.6	0.8	0.7	0.55	0.73	0.84	4.0
Cromo Total (mg/l)	<0.026	<0.026	<0.026	0.5	0.4	0.4	0.54	0.44	0.49	0.5
Mercurio Total (mg/l)	<0.0005	<0.0005	<0.0005	0.00	0.00	0.00	0	0	0	0.005
Níquel Total (mg/l)	<0.0331	<0.0331	<0.0331	1.20	1.55	1.45	1	1	1	2
Plomo Total (mg/l)	<0.2557	<0.2557	<0.2557	0.00	0.1	0.00	0	0	0	5
Zinc Total (mg/l)	<0.1080	<0.1080	<0.1080	0.18	0.10	0.27	0.15	0.15	0.15	10

Datos descritos en el punto 3.7.2

Cuadro A2. Numero de lombrices encontradas en el conteo final.

Tratamientos	Lombrices Inoculados	Lombrices	Huevecillos
T1R1	10	0	0
T1R2	10	9	2
T1R3	10	30	20
T1R4	10	58	10
T2R1	10	0	0
T2R2	10	0	0
T2R3	10	17	5
T2R4	10	11	4
T3R1	10	0	0
T3R2	10	22	23
T3R3	10	28	20
T3R4	10	0	0
T4R1	10	8	6
T4R2	10	14	16
T4R3	10	0	0
T4R4	10	0	0

T1-T4 Tratamientos descritos en el punto 3.7.3

Cuadro A3. Comportamiento de la Temperatura, a partir del 03 de marzo al 22 de abril del 2007. UAAAN-UL.

Fecha	03/03/07	05/03/07	21/03/07	26/03/07	28/03/07	30/03/07	01/04/07	05/04/07	07/04/07	09/04/07	18/04/07	20/04/07	22/04/07											
T1																								
R1	12	11	26.6	21	24.6	22.1	13.2	21.2	22.1	20.4	21.7	25.7	23											
R2	11.9	25.5	19.5	21.2	12.3	18.9	21.4	18.2	21.4	24.2	20.1	R3	11.8	26.3	19.9	19.5	20.5	12.6	17.4	20.8	17.6	20.8	24.2	19.9
R4	11	8	24.9	21.7	22.8	22.6	12.7	20.2	22	23.2	24.7	26.2	23.7											
T2																								
R1	12	9	25.4	21.4	24	21.7	14.2	20.8	22.4	20.6	21.8	24.8	22.4	R2	13	8	25							
R2	19.7	21.4	19.2	13.4	17.7	19.4	16.3	18.6	21.7	18.9	R3	13	8	21	19	18.4	18.6	13.5						
R3	16.7	20.4	16.3	18.7	22.6	18.9																		
R4	12	8	25.2	21.8	24	23.4	13.9	20	23.5	20.8	22	26	24.2											
T3																								
R1	12	9	24	21	23.4	22.2	14	21.4	22.5	21.2	21.2	23.3	22.8	R2	12	9	23.6							
R2	19	20.2	20.0	13.2	18.1	20.3	17	19.3	20.5	19.9	R3	11	8	22.5	19.4	19	19.1	12.6						
R3	18.1	20.6	17.3	17.7	20.7	18.3																		
R4	12	8	26.2	23	22.7	22.2	13.8	23.3	24.2	22	24.3	26	22.9											
T4																								
R1	11	9	26.5	22	21.8	21.1	15.2	21.5	22.4	20.2	22.3	23.7	23											
R2	11	8	23	20.3	20.1	18.6	13.6	18.8	20.2	17	20.6	20.3	19.1	R3	11	7	22.4							
R3	23.2	19.9	19	12.6	19	20.8	17.4	20.3	21.7	19.7	R4	12	9	25.9	24.1	25.2	23.1	13.8						
R4	23.3	24.5	23.2	25.4	27.6	24.3																		

T1-T4 Tratamientos descritos en el punto 3.7.5

Cuadro A4. Comportamiento de la Temperatura, a partir del 25 abril al 11 de septiembre del 2007. UAAAN-UL.

Fecha	25/04/07	27/04/07	05/05/07	13/05/07	15/05/07	23/05/07	26/05/07	28/05/07	09/06/07	13/06/07	20/06/07	11/09/07			
T1															
R1	23.7	26	23.6	22.9	25.7	25.9	21.6	26.6	25.8	22.1	24.7	23.6	R2 21.7	23.6	20.8
20.6	22.3	25	20.8	24.8	23.4	20.7	23.9	22.4	R3 21.1	26.2	19.9	19.7	23.3	23.1	20
24.5	23.7	21.1	23.7	22.5											
R4	28.3	25.8	22.8	23.9	27.8	23.7	21.9	27.6	25.4	22.1	34	23.5			
T2															
R1	22.5	25	22.8	24	26.3	25.2	21.8	25.9	25	21.4	24.3	23.1	R2 20.4	21.6	18.6
19.4	22	25	19.7	23.3	23.2	21.2	23.7	22.5	R3 20.5	22.8	18.7	19.7	22.6	22.9	19.5
22.9	24.2	20.9	23.7	22.5											
R4	23.5	22.9	23.7	22.8	30	24.3	22	25.1	25.6	21.8	24	23.6			
T3															
R1	23.1	23.7	21.5	25.9	27.1	23.2	22.2	25.6	24.5	21.6	24.6	23.8			
R2	20.8	20.5	19.2	20.9	22.9	21.9	19.5	22.9	24.1	20.9	23.7	22.7	R3 19.8	21.5	18.3
20.4	21.1	20.3	19.2	21.8	23.4	21	23.5	22.5							
R4	25.2	25.1	19.8	23.4	26	25.2	22.6	26.2	25.9	21.8	23.6	23.1			
T4															
R1	23.3	24	22.7	23.1	25.5	25.6	21.5	25.5	24.6	22	24.5	23.9	R2 20.7	20.1	21.1
20	25.7	25.6	19.5	22.2	22.7	20.5	23.8	23.5							
R3	27.8	23.5	18.9	19.9	22.4	21.7	19.5	22.2	24.4	20.5	23.6	22.8			
R4	23.8	26.2	23.8	24.4	25.5	25.7	22.1	26.6	25.7	21.9	24.7	23.9			

T1-T4 Tratamientos descritos en el punto 3.7.5