

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**DINÁMICA POBLACIONAL DE LA LOMBRIZ (*Eisenia fetida*) EN LODOS
RESIDUALES DE MET-MEX PEÑALES**

TESIS

QUE PRESENTA

LOIDA EUNICE MORALES MORALES

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA

JUNIO, 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DINÁMICA POBLACIONAL DE LA LOMBRIZ (*Eisenia fetida*) EN LODOS
RESIDUALES DE MET-MEX PEÑALES

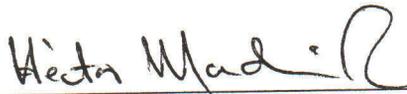
POR

LOIDA EUNICE MORALES MORALES

APROBADA POR EL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA



DR. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ
ASESOR PRINCIPAL



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS
ASESOR



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
ASESOR



ING. JOEL LIMONES AVITIA
ASESOR



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



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DINÁMICA POBLACIONAL DE LA LOMBRIZ (*Eisenia fetida*) EN LODOS RESIDUALES DE MET-MEX PEÑALES

POR

LOIDA EUNICE MORALES MORALES

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

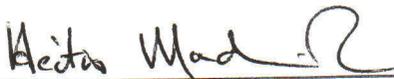
DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

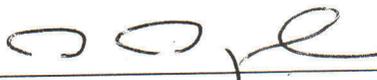
APROBADA POR:



DR. ALEJANDRO MORENO RESÉNDEZ
PRESIDENTE DEL JURADO



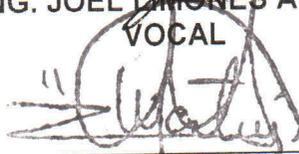
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS
VOCAL



DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO
VOCAL



ING. JOEL LIMONES AVITIA
VOCAL



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



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

JUNIO, 2010

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por haberme creado y haberme dado Vida Eterna por medio de su Hijo Jesucristo, a Él sea gloria ahora y hasta el día de la eternidad. Amén.

A mi Alma Terra Mater:

Por darme la oportunidad de realizar mis estudios en sus instalaciones.

A mis Asesores:

Dr. Alejandro Moreno Reséndez, por su dedicación, tiempo y apoyo para la realización de este proyecto y al Dr. José Luis Reyes Carrillo, al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos e Ing. Joel Limones Avitia, por haber colaborado en la revisión de este trabajo y compartido de sus conocimientos.

A la Comunidad Cristiana UAAAN U-L:

Especialmente a Wily, Oto, James, Tico, Cheque grande, Cheque chico, Elba, Isma, Cande, Chuy, Leche, Abel, Isaías, Ricardo, Amílcar, Liz y Rony por ser mi segunda familia y porque han sido de bendición a mi vida.

A mis amigos:

Martuchys, Rosario, Rox, mi tocaya Eunice, Melisa, Vicky, Jossué Lucas, Jorge, Juanito y Chuy, por ser parte de un logro más en mi Vida.

A la empresa metalúrgica MET – MEX PEÑOLES S.A. de C.V.:

Por la oportunidad de experimentar mi proyecto con desecho residual de la empresa.

A la Bióloga María Isabel Blanco Cervantes: Por su experiencia compartida para la realización de este trabajo.

DEDICATORIA

A mi Padre:

Néstor Morales Morales, por tu apoyo incondicional, comprensión, cariño, y por tus innumerables sacrificios en este logro de mi vida, que también es tuyo. Te AMO papá.

A mis Hermanos:

Kennedy, Edith y Eliseo por el amor, apoyo y fuerza que me brindaron a lo largo de la carrera y a Marynés, Belén y Jatziry, por hacer que la distancia no fuera motivo de tristeza sino de esperanza y alegría en el regreso.

A Mary y a mis sobrinos:

A ti Mary por tu apoyo brindado a lo largo de la carrera. A Karlita y Fabio por ser un motivo más en mi vida.

A mis Tíos y primos:

Por los consejos, ayuda y confianza que supieron darme en los momentos que más los necesité, especialmente a mi tía Dalila y a Ruth, por las porras y claro por el dinerito que siempre mandabas. Te quiero Negra.

A Gilmar Antonio Niño: A ti gordito por formar parte en este trabajo y por todos los momentos que pasaste a mi lado. TQM.

A Brayán Antonio Bashkoz Navarro:

Por apoyarme en lo espiritual, en lo material y por quererme siempre. Te amo en Cristo.

Especialmente a las familias:

Hernández Ramos, Soto Chacón, Bravo Olivares, Gutiérrez López, Ramírez Huitron y a la abuelita Socorrito, por haberme compartido y demostrado el Amor de Cristo.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA	ii
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
HIPÓTESIS	4
II.- REVISIÓN DE LITERATURA	5
2.1 Importancia de las lombrices de tierra	5
2.2 Características generales de la Lombriz <i>Eisenia fetida</i>	7
2.2.1 Clasificación Taxonómica.....	7
2.2.2 Características externas.....	8
2.2.3 Características internas.....	9
2.2.4 Hábitos alimenticios.....	10
2.2.5 Hábitos reproductivos.....	11
2.2.6 Ciclo de Vida	12
2.2.7 Peso individual y Densidad de población	13
2.3 Factores limitantes para la reproducción de las lombrices	14
2.3.1 Temperatura.....	14
2.3.2 Luz.....	14
2.3.3 pH.....	15
2.3.4 Humedad.....	15
2.3.5 Depredadores de las lombrices.....	15
2.4 Importancia de lombricultura	16
2.4.1 Principales especies empleadas en la Lombricultura	17
2.4.1.1 <i>Eisenia fetida</i>	17

2.4.1.2 <i>Eisenia andrei</i>	18
2.4.1.3 <i>Lumbricus rubellus</i>	18
2.4.1.4 <i>Eudrilus eugeniae</i>	19
2.4.1.5 <i>Perionyx excavatus</i>	19
2.4.2 Características del estiércol y su efecto sobre las lombrices	20
2.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)	21
2.5.1 Generación de Lodos Residuales	22
2.6 El Vermicomposteo.....	25
2.6.1 Etapas del Vermicomposteo.....	26
2.6.2 Vermicomposteo de Lodos Residuales	28
III.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	31
3.1 Localización geográfica	31
3.2 Localización del experimento	31
3.3 Condiciones del lugar del experimento.....	31
3.4 Materiales y organismos utilizados	32
3.4.1 Lodo residual.....	32
3.4.2 Estiércol.....	32
3.4.3 Lombrices	32
3.4.4 Unidad experimental.....	33
3.4.5 Sustratos	33
3.4.6 Materiales y equipo	34
3.5 Desarrollo del experimento.....	35
3.5.1 Riego.....	35
3.5.2 Aireación	36
3.5.3 Registro de Temperatura y pH	37

3.5.4 Toma de muestras	37
3.5.5 Determinación de la densidad de población de Lombrices	38
3.5.6 Biomasa	38
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
4.1 Mortalidad.....	40
4.2 Número de lombrices adultas	40
4.3 Densidad de población de cocones	45
4.4 Biomasa.....	50
V.- CONCLUSIONES.....	52
VI.- RESUMEN	53
VII.- LITERATURA CITADA.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Diferencias de longevidad y proliferación entre distintos tipos de lombrices del género <i>Lumbricidae</i>	8
Cuadro 2. Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.	23
Cuadro 3. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos (Oropeza-García, 2006).	24
Cuadro 4. Tipo, clase y aprovechamiento de biosólidos, según la NOM-004_SEMARNAT-2002 (Oropeza-García, 2006).	24
Cuadro 5. Composición de los sustratos y relación volumen-volumen entre lodos residuales y estiércol seco de caballo vermicomposteados con la lombriz <i>Eisenia fetida</i>	34
Cuadro 6. Análisis de varianza para porcentaje de sobrevivencia en adultos de la especie de lombriz <i>Eisenia fetida</i>	43
Cuadro 7. Comparación de medias de tratamientos y significancia ($P \leq 0.2470$) para la variable de número total de lombrices.	45
Cuadro 8. Análisis de varianza para porcentaje de población de cocones. .	46
Cuadro 9. Comparación de medias de tratamientos y significancia ($P \leq 0.0001$) para la variable producción de cocones.	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Características externas de la lombriz Roja Californiana.....	9
Figura 2. Anatomía interna de la lombriz (Padilla-Álvarez y Cuesta-López, 2003).....	10
Figura 3. Posición las lombrices en fase de acoplamiento (Mejía-Araya, 2010).....	11
Figura 4. Ciclo biológico de la lombriz <i>Eisenia fetida</i> (Schuldt, 2006).....	12
Figura 5. Proceso de Lombricompostaje	29
Figura 6. Población promedio de la densidad de lombrices en diferentes sustratos.	42
Figura 7. Comparación de valores promedio de densidad de población para lombrices adultas	44
Figura 8. Población promedio de la producción de cocones en los cuatro sustratos evaluados.	46
Figura 9. Comparación de valores promedios de la producción de cocones en diferentes sustratos.....	49
Figura 10. Diferencia de Biomasa registrada de 10 lombrices, al inicio y al final del experimento en diferentes sustratos.....	50

I.- INTRODUCCIÓN

La distribución del agua sobre la superficie de la Tierra ha cambiado notablemente como resultado de los esfuerzos directos del hombre para manejarla. Las alteraciones sobre los recursos hídricos, que iniciaron con la manipulación de los flujos de los grandes ríos así como la explotación de los acuíferos, se acentuaron con la industrialización y el desarrollo urbano (Toledo, 2002).

El tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como industriales, tiene como objetivo remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente (Oropeza-García, 2006). La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, donde el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales (Reynolds, 2002).

Las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) generan un subproducto conocido como “biosólidos” en México o como “*sewage sludge*” o “*biosolids*” en otros países, que es un material semisólido, oscuro, con alto contenido de materia orgánica y elementos nutritivos, el cual, potencialmente, puede ser utilizado como abono en suelos deteriorados. No obstante, este subproducto, que es resultado de un proceso de estabilización, actualmente representa un problema de tipo ambiental debido tanto a su contenido de contaminantes como a la presencia de microorganismos patógenos y metales pesados. (Jurado-Guerra *et al.*, 2004).

En muchos casos gran parte de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTRAR) son descargados en sistemas de alcantarillado, en cuerpos de agua o dispuestos en tiraderos a cielo abierto sin ningún tratamiento previo que permita tomar las medidas de protección adecuadas para evitar la contaminación del suelo, del agua subterránea o la atracción de vectores (insectos, ratas, carroñeros, etc.), generando problemas de contaminación de los mantos freáticos y de salud pública (Oropeza-García, 2006).

Hoy en día, el vertido de los lodos residuales a los océanos, ríos y lagos es una práctica prohibida por las leyes de diferentes países, por causar serios problemas al ambiente; por otro lado, la incineración de los lodos residuales, es una alternativa práctica pero no económica y mediante esta gestión se generan gases contaminantes a la atmósfera; y finalmente, con el depósito de los lodos residuales en vertederos controlados se desaprovechan los elementos benéficos presentes en estos residuos. En consideración a lo anterior, León-Delgado (2008) destaca que la utilización agrícola con sus distintas variantes (jardinería, agroforestal, acondicionamiento de suelos y compost) es la alternativa más adecuada para rehusar los lodos residuales.

La aplicación de los lodos residuales a los suelos agrícolas se presenta como la alternativa más conveniente para su disposición, ya que se aprovechan los recursos fertilizantes presentes en estos lodos y es una de las principales opciones adoptadas en la Unión Europea, como sustituto de la fertilización mineral. Su aplicación en agricultura no debería hacerse sin contar con un conocimiento de su naturaleza y con una norma básica para su adecuada aplicación (Miralles de Imperial *et al.*, 2002).

Respecto al manejo de los biosólidos, el vermicomposteo es una técnica sencilla y económica que permite remover patógenos de los lodos transformándolos en un excelente acondicionador de suelos. Se entiende por vermicomposteo o por vermiestabilización el proceso de biooxidación y estabilización de la materia orgánica debida a la acción conjunta de lombrices y microorganismos, las lombrices fragmentan, voltean y airean el sustrato, mejorando las condiciones ambientales de los microorganismos. La mezcla de materia orgánica humificada y los excrementos de las lombrices recibe el nombre de humus o vermicompost. El vermicompost, se caracteriza por ser homogéneo, estéticamente agradable, sin olor, con alta capacidad de aireación, de drenaje y de retención de agua (Droppelmann *et al.*, 2009).

Las lombrices como la Lombriz Roja de California (*Eisenia fetida*) pueden transformar una gran cantidad de desechos, estando presente sus requerimientos básicos de temperatura, humedad y aireación (Rodríguez-Quiroz y Paniagua-Michel, 2005). Al mismo tiempo, estos organismos se reproducen convirtiéndose profusamente, en condiciones favorables, en una fuente de proteína animal, para su uso como harina o como alimento fresco de animales. Los principios del cultivo de la lombriz de tierra, en general, son aplicables a todas las especies; sin embargo, se encuentran diferencias en algunos detalles como el clima y la densidad máxima de población. Según investigaciones realizadas, la lombriz californiana es la que ha tenido mejor resultado en cuanto a densidad poblacional (Johnson, 2008). Por lo anterior es posible considerar que el vermicomposteo puede ser considerado como una alternativa para el manejo de los biosólidos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (Rodríguez-Quiroz y Paniagua-Michel, 2005).

Teniendo en cuenta lo planteado con anterioridad se ha propuesto el siguiente objetivo:

OBJETIVO

- Evaluar el efecto de la dinámica poblacional en la densidad poblacional de lombrices de tierra (*Eisenia fetida*) en lodos residuales y estiércol equino.

HIPÓTESIS

El Lodo residual y el estiércol de caballo son una buena fuente de alimentación para el incremento de la densidad de población de lombrices de las lombrices *Eisenia fetida*.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Importancia de las lombrices de tierra

El estudio de las lombrices data de hace mucho tiempo, las actividades desarrolladas por las lombrices de tierra dentro del suelo se conocen desde la antigüedad; Aristóteles las consideraba como el “arado de la tierra” o “intestino de la tierra” debido a que excavan galerías en los suelos (Clavería-Cacheo, 2005).

Las lombrices, durante el proceso de alimentación, fragmentan los residuos, incrementan la actividad microbiana y los índices de descomposición y/o mineralización de los residuos orgánicos, alteran las propiedades físicas y químicas de los materiales, provocando un efecto de composteo o humificación mediante el cual la materia orgánica inestable es oxidada y estabilizada. El producto final, comúnmente llamado vermicompost es obtenido conforme los residuos orgánicos pasan a través del intestino de la lombriz, y es bastante diferente al material original (Moreno-Résendez, 2005).

Según Clavería-Cacheo (2005), la explotación de la lombriz Roja ha adquirido mucha relevancia en los últimos años debido a su utilización como:

- a) Medio de descontaminación ambiental: al alimentarse de materiales biodegradables en descomposición, los cuales excreta como humus o lombricompuesto. Esta actividad puede realizarse tanto para residuo doméstico como para residuo industrial.
- b) Mejoradora de suelo: La incorporación directa de lombrices en el suelo mejora la calidad de los mismos, ya que la lombriz cava túneles internos por medio de los cuales se facilita el ingreso y retención de humedad, y al mismo tiempo, se evita la erosión en los mismos.

- c) Producción de humus: Se trata de un excelente abono para los suelos que puede sustituir a los fertilizantes agroquímicos, además de que genera ingresos adicionales para el productor.
- d) Carnada para pesca: Se utiliza la lombriz viva, que puede ser la que sobra de los cultivos de lombriz.
- e) Alimentación de aves, peces, ranas y lagartos, en criaderos: La lombriz se puede utilizar viva o adicionada en forma de harina al concentrado utilizado para la alimentación de estos animales, el cual fortifica con su alto contenido de proteínas.
- f) Alimentación humana: Debido a su alto valor proteico, la lombriz se utiliza en forma de harina, para complementar la alimentación humana.
- g) Fabricación de antibióticos: En la industria farmacéutica se utiliza el colágeno presente en el líquido celomático de la lombriz, para la fabricación de antibióticos para tratamiento de afecciones de la piel en los humanos.
- h) Cosmetología: En la fabricación de cremas.
- i) Investigaciones científicas: La medicina ha puesto en estudio a este anélido por su capacidad de regeneración de tejidos (no sangra al ser cortada) y su inmunidad al medio que la rodea (no contrae ni transmite enfermedades).

La crianza de las lombrices requiere de un esfuerzo mínimo por parte de quienes se interesan en su manejo y reproducción, ya que, en ausencia de los riesgos que habitualmente enfrentan los organismos dentro de los hábitats naturales, estas lombrices crecen más rápido, se mantienen más saludables, viven más tiempo, y se reproducen a una mayor velocidad (Moreno-Reséndez y Cano-Ríos, 2002).

2.2 Características generales de la Lombriz *Eisenia fetida*

Se le conoce como lombriz Roja Californiana porque fue en California, USA, donde se descubrieron sus propiedades para los ecosistemas y donde se instalaron los primeros criaderos a partir de los años 50 (Clavería-Cacheo, 2005).

2.2.1 Clasificación Taxonómica

La identificación taxonómica de las lombrices lumbricidae frecuentemente es difícil debido a la falta de caracteres de diagnóstico estables y de fácil manejo (Pop et al., 2003), sin embargo para las lombrices *Eisenia fetida* se aplica la siguiente clasificación taxonómica (Pineda, 2006).

Reino	Animal
División	Clitelados
Orden	Oligoquetos
Familia	Lombrícidos
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>fetida</i>

Las principales diferencias entre las especies del género *lumbricidae* son: longevidad, periodicidad de acoplamiento y el número de nacidos por capullo (cuadro 1). Como puede observarse en este cuadro, la lombriz Roja Californiana, *Eisenia fetida*, tiene una alta longevidad y prolificidad por lo que es una excelente opción para la producción del lombricompost y biomasa de lombriz (Clavería-Cacheo, 2005).

Cuadro 1. Diferencias de longevidad y prolificación entre distintos tipos de lombrices del género *Lumbricidae*.

	Longevidad (Años)	Periodicidad acoplamiento (días)	Número de nacidos
Lombriz Roja	16	7	2-21
8000 especies de lombrices comunes (+)	4	45	1-4

(+) Incluyendo *Lombricus rubellus* y *Lombricus terrestris*.

2.2.2 Características externas

Las lombrices poseen el cuerpo alargado, segmentado y con simetría bilateral. Existe una porción más gruesa en el tercio anterior de 5 mm de longitud, llamada clitelo, cuya función está relacionada con la reproducción. Las características externas de la lombriz Roja Californiana se muestran en la figura 1. Este tipo de lombrices no contrae ni transmite enfermedades (Padilla-Álvarez y Cuesta-López, 2003).

Las lombrices *Eisenia fetida* generalmente no suelen sobrepasar los 6-7 cm de largo aunque se consigan ejemplares de 12 cm. Según la dieta de estas lombrices pueden alcanzar pesos de 0.8 a 1.4 g y es de color rojo intenso, con segmentación notoria (se aprecian los septos que separan un segmento de otro). Habitualmente no ingresa a tierra, salvo en circunstancias adversas, donde permanece hasta hallar alimento (acúmulos de MO). Como la mayoría de las lombrices es micrófaga, alimentándose de bacterias, hongos, algas microscópicas y protozoos. Cuando alcanza la madurez sexual desarrolla en el tercio anterior un anillo mucoso, el clitelo, cuyas glándulas producen la cubierta de la puesta (cocón o capullo) y el alimento que contiene para nutrir a los embriones/lombricitas que se hallan en su interior (Schuldt, 2002).

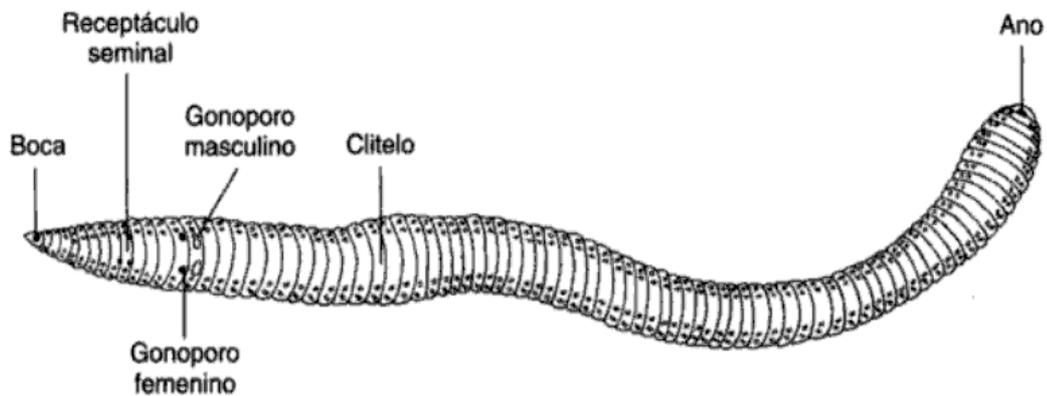


Figura 1. Características externas de la lombriz Roja Californiana.

2.2.3 Características internas

Exteriormente estos animales presentan una pared corporal, constituida por una epidermis externa provista de glándulas secretoras, cubiertas por una fina cutícula protectora. Debajo se encuentra una capa muscular circular, y otra capa muscular longitudinal, tapizada por el peritoneo (Díaz, 2002).

Las lombrices *Eisenia* poseen un sistema digestivo bastante sencillo (figura 2), constituido por una boca, situada en el primer segmento o somita corporal; la boca se continúa con una faringe muscular provista de glándulas y de un bulbo situado en posición dorsal. El bulbo es el principal órgano encargado de la ingestión del alimento; actúa como una ventosa que captura el alimento y lo transporta hacia el esófago, que se encuentra a continuación de la faringe. El esófago presenta las glándulas calcíferas (también denominadas glándulas de Morren), que secretan al tubo digestivo el exceso de calcio absorbido con el alimento (también controlan el pH del cuerpo); el aparato digestivo se continúa con un estomago constituido por dos partes: un buche de paredes delgadas, donde se almacena el alimento, y una molleja muscular de paredes gruesas, donde el alimento es degradado mecánicamente (Pineda 2006).

El resto del sistema digestivo está constituido por un largo intestino, que posee un repliegue dorsal o tiflosilis que incrementa la superficie de absorción; en la mitad anterior de esta estructura se produce la digestión de la ingesta, y en la posterior, la absorción de los elementos nutritivos. Los desechos salen al exterior por el ano, situado en el último segmento (Padilla-Álvarez, y Cuesta-López, 2003).

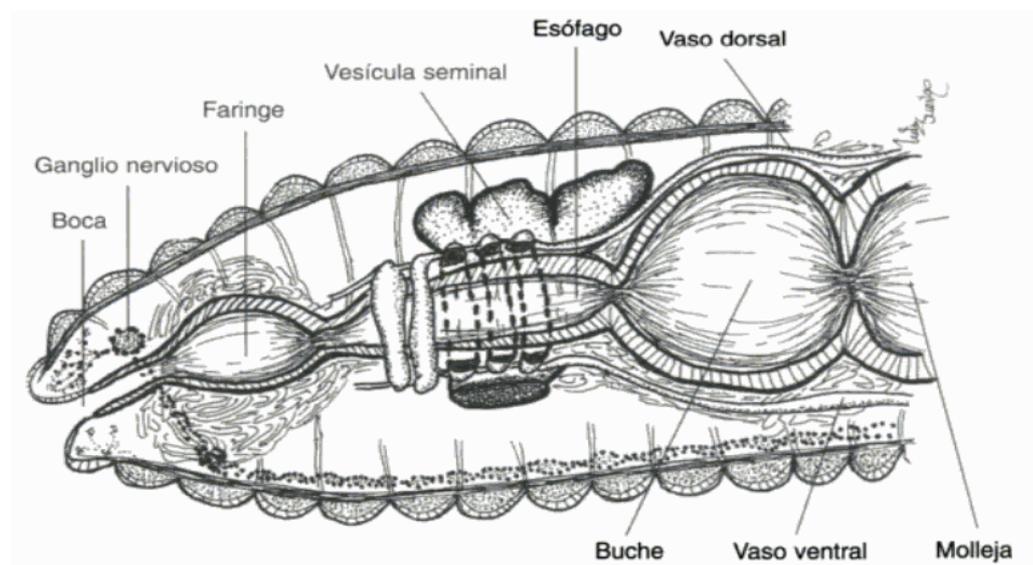


Figura 2. Anatomía interna de la lombriz (Padilla-Álvarez y Cuesta-López, 2003).

2.2.4 Hábitos alimenticios

Las lombrices *Eisenia fetida* son de naturaleza estiércolera, capaces de ingerir también grandes cantidades de materia celulósica, como rastrojos, aserrines, pulpas de celulosa, y en general cualquier desecho orgánico en descomposición. Es muy voraz, llegando a comer hasta el 90 % de su propio peso por día. De esta ingesta, excreta entre el 50 y 60 % convertido en un abono natural de altísima calidad, conocido como lombricompost o humus de lombriz (Röben, 2002).

El tipo de desecho orgánico que se utilice en la alimentación de las lombrices, influye sensiblemente en la densidad de población de estos organismos y por consiguiente en su capacidad y eficiencia en transformarlos en humus. En este sentido, se ha reportado que el alimento o sustrato utilizado en la alimentación de las lombrices de tierra, no debe ser de materiales muy gruesos, fibrosos, ricos en sustancias nitrogenadas y/o alta acidez ya que afectan el desarrollo y reproducción de las lombrices (González y Mora, 1995).

2.2.5 Hábitos reproductivos

Las lombrices son organismos hermafroditas, copulan (figura 3) entre 1 y 5 veces por semana, produciendo cada animal una puesta o cocón conteniendo 2-4 embriones o lombricitas (máximo: 9). La temperatura óptima para el desarrollo de los cocones es de aproximadamente 20-25 °C. El cocón hace eclosión al cabo de 23 días, con un peso de 0.25 g y una longitud de 2.5 a 3.0 cm. Las lombrices alcanzan una longitud de hasta 6-7 cm (excepcionalmente: 12 cm) adquiriendo la madurez sexual (que se aprecia por el desarrollo de un anillo mucoso en el tercio anterior del cuerpo –el clitelo– que provee la cubierta del cocón y el alimento líquido de su interior) antes de los 60 días (a 25°C) (Schuldt, 2006; Schuldt et al., 2007).

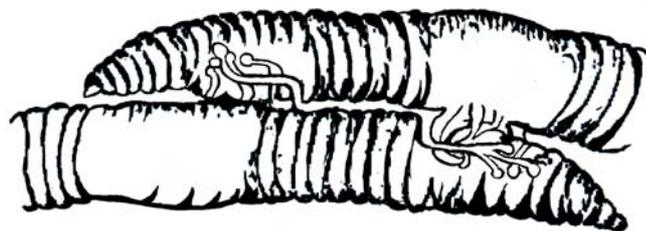


Figura 3. Posición las lombrices en fase de acoplamiento (Mejía-Araya, 2010).

2.2.6 Ciclo de Vida

La lombriz *E. fetida*, es una de las especies más versátiles para su producción o explotación en cautiverio. Al estado adulto mide de 6 - 8 cm y su diámetro oscila de 3 - 5 mm, es de color rojo oscuro, respira a través de la piel y no tiene dientes, es hermafrodita insuficiente (necesita aparearse para reproducirse) la fecundación se realiza a través del clitelo, es extraordinariamente prolífica madura a los 90 días de nacida (figura 4), su peso es aproximadamente 1.0 g. y su promedio de vida en un criadero es de 12 - 15 años (Ascón-Dionicio, 1995).

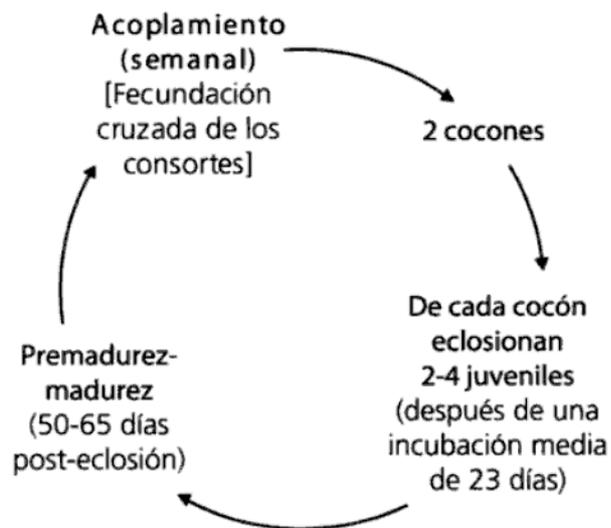


Figura 4. Ciclo biológico de la lombriz *Eisenia fetida* (Schuldt, 2006).

Las lombrices rojas son de desarrollo directo, es decir, nacen del *cocon* pequeños animales fenotípicamente similares a sus padres, con los mismos hábitos alimenticios y dieta similar. Estos pequeños animales, llamados "juveniles", son transparentes y de pocos milímetros de longitud los cuales al cabo de 50-65 días y con tallas de 2 a 3 cm, alcanzan la capacidad para

reproducirse, lo cual se evidencia con la aparición del clitelo (Alvarado-Moreno, 2004).

2.2.7 Peso individual y Densidad de población

Por otro lado, las características del sustrato o material de crecimiento, como las condiciones de humedad y temperatura son determinantes en las tasas de reproducción (Durán y Henríquez, 2009) crecimiento y desarrollo (Santamaria-Romero y Ferrera-Cerrato (2002). Las dietas formuladas sobre la base de estiércoles pertenecientes a una misma especie permiten el mejor crecimiento de los individuos que las mezclas con estiércoles de distintas especies (Schuldt *et al.*, 2005).

Es bien sabido, además que el recurso alimenticio no solo influye en el tamaño de las lombrices sino también en su tasa de crecimiento y reproducción. Con respecto a estas variables algunas investigaciones han demostrado que el peso individual de las lombrices *Eisenia fetida* disminuye cuando se utiliza energía en la reproducción (Aguilera-López, 2004), Durán y Henríquez (2009), mencionan que la producción de capsulas significa para la lombriz, un gasto energético, necesario para la preservación de la especie, corroborando con sus resultados obtenidos en su trabajo de investigación, ya que encontraron que los tratamientos con menor peso promedio fueron los que produjeron una mayor cantidad de cápsulas.

La lombriz cuando es adulta pesa aproximadamente 1 g; sin embargo, se han referido biomásas menores en adultos, 0.56 y 0.64 g para lombrices de 155 días que crecieron a temperaturas de 25 y 31 °C, respectivamente, alimentados por estiércol bovino. También es importante resaltar que la biomasa de las lombrices está influenciada por la densidad de población, a mayor densidad menor biomasa, por lo tanto es posible que la biomasa de las lombrices varíen al aumentar la densidad (Hernández *et al.*, 1999).

Rodríguez-Quiroz (1998) en un estudio realizado observó un aumento de peso constante de las lombrices en las camas con los lodos residuales, pero al siguiente mes existe una disminución de peso, esta disminución se asume que se llegó a la saturación de la densidad de lombrices existiendo mayor competencia por el sustrato.

2.3 Factores limitantes para la reproducción de las lombrices

La técnica de Lombricompostaje se ha inspirado en el proceso que las lombrices han realizado millones de años en la naturaleza, pero se ha industrializado de tal manera, que en un periodo de tiempo más corto y en una área más reducida, se puede generar un producto que mantiene la misma calidad de aquel que se podría obtener en un bosque, fuente natural de producción de humus. Bajo circunstancias ideales, la población de lombrices californianas puede llegar a duplicarse mensualmente (Hernández-Rodríguez, *et al.*, 2009).

2.3.1 Temperatura

Las lombrices *Eisenia fetida* viven sin problemas en ambientes con temperatura de 10 y 25 °C; a <10 °C y temperaturas > 30 °C, no hay producción de cápsulas, por lo que la temperatura es un factor importante que influye en la producción y fecundidad de las cápsulas (Pineda, 2006).

2.3.2 Luz

Las lombrices necesitan de oscuridad, ya que la presencia de luz la afecta directamente, la exposición por tiempos cortos a los rayos ultravioleta las deseca y las mata (Quintero, 2004).

2.3.3 pH

La alcalinidad o la acidez, es un factor determinante en el sustrato para que interactúen factores en su descomposición y específicamente para la reproducción de las lombrices (Pineda, 2006). La lombriz se adapta a valores de pH que van de 5.5 a 8, siendo el ideal entre 6.8 a 7.2 (Quintero, 2004).

2.3.4 Humedad

La lombriz puede vivir temporalmente en condiciones de mucha humedad, pero no trabaja en la descomposición de los sustratos ni se reproduce. Es básico recordar que la humedad de 80% controla la plaga de hormigas que se acercan por los azúcares que produce la lombriz al deslizarse por las galerías del sustrato (Pineda, 2006).

2.3.5 Depredadores de las lombrices

El hombre se encuentra entre los principales enemigos de la lombriz. En estado silvestre, la daña con el uso de antiparasitarios, insecticidas y abonos químicos. En el criadero también la mayor parte de los parásitos y enemigos de las lombrices proliferan por descuido del lombricultor. Los depredadores directos más frecuentes son los pájaros (cuervos, mirlos, tordos...) ya que excavan la tierra con sus patas y pico, siendo la medida de control más eficaz la cubrimiento del lecho con ramas o mallas, además con esta medida se evita la evaporación y se mantiene la humedad (González, 2006).

- Hormigas: Cierta tipo de hormigas ingiere los azúcares de los alimentos destinados a las lombrices. Las hormigas rojas son depredadores naturales de las lombrices. Pueden en poco tiempo

dejar al criadero sin un solo ejemplar. La hormiga se puede controlar sin necesidad de químicos, con sólo que la humedad de la cama se encuentre en el 80 %. O sea que si en las camas se detecta presencia de hormigas es un parámetro para diagnosticar que la humedad está baja (González, 2006).

- Pájaros: Las aves pueden acabar poco a poco con un criadero de lombrices. Los pájaros se constituyen en los depredadores directos más frecuentes. Encuentran con facilidad a las lombrices, excavando la tierra con sus patas y pico. La medida de control más efectiva es el cubrimiento del lecho con ramas o mallas media sombra, colocadas directamente sobre el lecho. Además con esta medida se disminuye la evaporación y se mantiene la humedad (González, 2006).
- Planaria: Es la plaga de mayor importancia dentro de los criaderos comerciales de lombrices. Se trata de un pequeño gusano platelminto, de cuerpo plano, que puede medir de 5 a 50 mm, de color café oscuro, con rayas longitudinales de color café. La planaria se adhiere a la lombriz por medio de una sustancia cerosa que el platelminto produce, posteriormente introduce en la lombriz un pequeño tubo de color blanco succionando todo el interior de la lombriz hasta matarla. Esta plaga se controla con manejo del sustrato regulando el pH de 7.5 a 8. En pH ácidos la planaria se desarrolla y comienza su actividad de depredador natural de las lombrices (Pineda, 2006).

2.4 Importancia de lombricultura

La actividad de la lombricultura o vermicultura, inicia su desarrollo en los Estados Unidos a finales de la década de los años cuarenta y principios de los cincuenta. En América latina se inicia su desarrollo a principios de 1980; también es bien conocido el desarrollo alcanzado en países como Suiza, Holanda, España, Cuba, Japón, Canadá y Colombia entre otros y más recientemente en México.

El problema de malos olores y lixiviación son los más significativos en áreas donde la ganadería intensiva está cerca de zonas densamente pobladas, es por ello que hoy en día se buscan alternativas viables que de alguna u otra forma traten de disminuir el problema presente; una de estas alternativas es la Lombricultura que consiste en la descomposición de los desechos orgánicos con la participación de las diferentes lombrices para obtener un abono orgánico útil para el hombre, de tal forma pueda ser utilizado y aprovechado para la producción de hortalizas, viveros forestales, etc., así como la lombriz pueda ser aprovechado para la alimentación de especies menores manejables, para mejorar la calidad ambiental, fertilidad de los suelos y mejoramiento de la salud humana (Ruiz-Martínez *et al.*, 2007).

2.4.1 Principales especies empleadas en la Lombricultura

Canellas *et al.* (2002) han sugerido que las lombrices pueden incrementar la velocidad de descomposición de los residuos orgánicos y en este sentido, favorecer el proceso de vermicomposteo de estos materiales. Aunque un gran número de especies de lombrices han sido utilizadas en el proceso de vermicomposteo, una de las lombrices más comúnmente utilizadas a nivel mundial es *Eisenia fetida*. Además, entre otras especies apropiadas para este proceso, se pueden utilizar *Lumbricus rubelus*, *Eudrilus eugeniae*, *Perionyx excavatus* y *Eisenia andrei* (Sharma *et al.*, 2005), por lo cual a continuación se describen algunas de sus características

2.4.1.1 *Eisenia fetida*

Existen en el mundo más de 8000 especies de lombrices, de todas ellas, la lombriz roja es de las pocas especies que pueden explotarse para la vermicultura. Lo anterior es debido a que esta especie está adaptada para vivir en cautividad en diferentes tipos de temperatura, y puede alimentarse

de cualquier sustancia orgánica en descomposición (Díaz, 2002; Fuentes-Yagüe, 1987).

La lombriz roja californiana *Eisenia fetida* Sav., es de las especies que más se adaptan a su crianza en cautiverio, se le puede cultivar en pequeña y gran escala, bajo techo o a la intemperie, con diversos climas, tipos de alimento y altitudes (Pineda, 2006).

De hecho, la lombriz *Eisenia fetida* es la especie que más se emplea para la transformación de los biosólidos, además de ser el organismo más estudiado por el hombre desde los antiguos egipcios que la consideraban un animal valioso. Diversos estudios han sido enfocados principalmente en el crecimiento de la población de las lombrices, por ejemplo Rodríguez-Quiroz y Paniagua-Michel (2005) que trabajaron con los biosólidos de la PTAR Ecoparque en el noreste de México, estos autores reportan un mayor incremento en el peso de la especie y un tiempo de vida más largo.

2.4.1.2 *Eisenia andrei*

E. andrei fué identificada a comienzos de los 70, pero, por coincidir sus parámetros morfológicos y biológicos con los de las lombrices *E. fetida*, fue durante mucho tiempo una especie “dudosa”, se trataba de *E. andrei*, una simple subespecie o variedad de *E. fetida*. Al presente no caben dudas se trata de dos especies, cuyo origen es relativamente reciente dado que no existe aún el aislamiento pre cópula (copulan ambas especies entre pero sin proporcionar descendencia) (Schuldt, 2006).

2.4.1.3 *Lumbricus rubellus*

Se caracteriza por tener un color rojo pardo brillante, y se encuentra en zonas donde se depositan grandes concentraciones de desechos o de

materia orgánica. Se adapta a la cría industrial, aunque el conocimiento de su biología no está totalmente desarrollado. *L. rubellus* es menos apta para lombricultivos por su menor potencial reproductor (Schuldt, 2006).

La lombriz común (*Lumbricus terrestris*) no es recomendable para la cría productiva debido a que cava galerías verticales, vive a más de 100 cm de profundidad, deposita sus deyecciones sobre la superficie y es menos prolífica: se reproduce únicamente en el verano y de cada ooteca nace solamente una lombriz (Toccalino *et al.* 2004). Las familias de lombrices comúnmente utilizadas para realizar el vermicomposteo son: *Eisenia fetida* y *Lumbricus rubellus*(Ortiz-Mejiaz *et al.*, 2008).

2.4.1.4 *Eudrilus eugeniae*

Como fuente de proteínas es interesante también *Eudrilus eugeniae* una lombriz grande de África que crece muy rápido, bastante prolífica, pero de difícil conducción, particularmente en lo referido a extracción del sustrato. Para esta especie, en general, las temperaturas inferiores a 16°C no son toleradas (Schuldt, 2006).

2.4.1.5 *Perionyx excavatus*

Dynes (2003) señala que este tipo de organismos son apropiados para los sistemas que manejan residuos que involucran el composteo con lombrices. Las lombrices *P. excavatus*, al igual que otras lombrices como *Eisenia fetida*, *Eudrilus euginae*, se alimentan en o cerca de la superficie del suelo de residuos de plantas o raíces muertas y otros residuos de la planta o de estiércol de mamíferos (Sharma *et al.*, 2005).

2.4.2 Características del estiércol y su efecto sobre las lombrices

El sustrato es la base alimenticia de las lombrices, las cuales lo transformarán en humus. Este sustrato debe contener vitaminas y minerales esenciales para asegurar el crecimiento y desarrollo de las lombrices. Todos los estiércoles son excelentes como alimento especialmente el de los herbívoros porque son ricos en celulosa, en carbohidratos y en bacterias que desdoblán y ayudan al proceso digestivo de la lombriz. González (2006), dice que en general el estiércol contiene:

- 4-20% de proteínas
- 0.7-2.77% de nitrógeno
- 30-60% de materia orgánica (celulosa, vitaminas, minerales, etc.)

El estiércol en estado de fermentación es muy dañino para la lombriz, ya que produce calor y desarrollo de gases nocivos (metano) (Johnson, 2008). Habrá que tener la precaución de utilizar un estiércol descompuesto, cuya temperatura no exceda de los 25°C. Cuando el estiércol está en fase de fermentación, su temperatura puede alcanzar los 70 u 80°C, o incluso más. Estas temperaturas tan elevadas, así como el grado de acidez y los gases que se desprenden durante la fermentación, provocan la muerte de las lombrices (Fuentes-Yagüe, 1987). La alimentación con desechos de mala calidad nutritiva disminuye la producción y fecundidad de las lombrices (Johnson, 2008). Sin embargo, entre las ventajas que presentan los estiércoles, destaca el hecho de que éstos son procesados por las lombrices rápidamente, a diferencia de los restos de cosecha que por contener mayor cantidad de fibra tardan más tiempo en ser transformados (Hernández *et al.*, 2008).

El estiércol equino es óptimo por su alto contenido de celulosa. La principal característica es su alta porosidad que lo hace un material muy accesible al manejo con lombrices. Su contenido nutricional al igual que el

de todos los estiércoles depende de la calidad de los materiales consumidos, de lo cual dependerá igualmente al final del proceso la calidad nutricional del humus de lombriz. Con el uso de este estiércol es posible obtener un humus de excelente presentación por su textura. Los estiércoles utilizados individualmente o mezclados con otros y con desechos, son el alimento más apetecido por las lombrices (González, 2006).

En estudios realizados, por Moreno-Reséndez y Cano Ríos, 2005, concluyen que el estiércol de caballo composteado y sin composteo, generan el mayor número de lombrices y el mayor número de capullos respectivamente, por lo tanto este tipo de estiércol se considera el más apropiado para el establecimiento de criaderos de lombrices. Y Ascón-Dionicio (1995), de sus resultados, sugieren que para la preparación del alimento de las lombrices especie *Eisenia fetida*, debe ser de una proporción en volumen de 3 de estiércol por 1 de otro material. Siendo esta proporción la que generó los mejores resultados.

2.5 Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR)

En una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) se desarrolla una serie de procesos debidamente controlados, que eliminan los contaminantes del agua antes de llevarse a un cuerpo receptor. Estas PTAR se utilizan para tratar las aguas residuales producto de la actividad humana, eliminando aquellos contaminantes que son nocivos para la salud. El problema de la contaminación del agua en México ha obligado a la búsqueda de alternativas de solución económicamente viables. El tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública. La meta del tratamiento de aguas residuales nunca ha sido producir un producto estéril, sin especies microbianas, sino reducir el nivel de microorganismos dañinos a niveles más seguros de exposición, debido a

que el agua es comúnmente reciclada para el riego o usos industriales (Ugalde-Cortes, 2008).

Reynolds (2002), menciona que los pasos básicos para el tratamiento de aguas residuales incluyen:

- Pre-tratamiento—remoción física de objetos grandes.
- Deposición primaria—sedimentación por gravedad de las partículas sólidas y contaminantes adheridos.
- Tratamiento secundario—digestión biológico usando lodos activados o filtros de goteo que fomentan el crecimiento de microorganismos.
- Tratamiento terciario—tratamiento químico (por ejemplo, precipitación, desinfección). También puede utilizarse para realzar los pasos del tratamiento primario.

2.5.1 Generación de Lodos Residuales

Del tratamiento de aguas residuales se generan residuos remanentes llamados lodos residuales, éstos de acuerdo con la NORMA OFICIAL MEXICANA, NOM 004-SEMARNAT-2002, son sólidos con una cantidad variable de humedad, provenientes de las plantas potabilizadoras y de tratamientos de aguas residuales, que no han sido sometidos a procesos de estabilización (Vera-Reza *et al.*, 2006). Sin embargo, si los lodos no son tratados adecuadamente pueden generar serios problemas ambientales, entre ellos la transmisión de enfermedades debido a los patógenos que contienen (Droppelmann *et al.*, 2009), y debido a la presencia de compuestos, materiales y sustancias tóxicas (metales pesados, compuestos orgánicos no biodegradables, alta concentración de sales, etc.) que pueden influir negativamente tanto en los suelos como en los cultivos (Miralles de Imperial *et al.*, 2002).

Actualmente, los lodos generados en el tratamiento del agua residual son considerados residuos peligrosos, de acuerdo con lo establecido en la NOM-052-ECOL-1993. Algunos de los organismos patógenos y parásitos que se encuentran presentes en los lodos residuales se mencionan en el cuadro 2, y al respecto la NOM-004-SEMARNAT-2002 (cuadro 3) establece los límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos (Oropeza-García, 2006).

Cuadro 2. Principales grupos de organismos patógenos y parásitos contenidos en los lodos residuales.

GRUPO	AGENTES	EFEECTO EN LA SALUD
Bacterias	<i>Salmonella Typhi</i>	Fiebre tifoidea, paratifoidea
	<i>Salmonella paratyphi A y B</i>	Disentería bacilar
	<i>Shigella sp</i>	Cólera
	<i>Vibrio cholerae</i>	Gastroenteritis agudas diarreas
	<i>Escherichia coli</i> <i>Salmonella sp.</i>	Diarreicas
Virus	<i>Virus hepatitis A y E</i>	Hepatitis
	<i>Virus de la Polio</i>	Poliomelitis
	<i>Virus de Norwalk</i>	Gastroenteritis aguda y diarreicas
	<i>Rotavirus</i>	Meningitis
	<i>Enterovirus</i> <i>Adenovirus</i>	Enteritis Infecciones respiratorias
Protozoa	<i>Entamoeba histolytica</i>	Disentería amebiana
	<i>Giardia lamblia intestinales</i>	Gastroenteritis.
Huevos de Helmintos	<i>Taenia saginata</i>	Cisticercosis
	<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis
	<i>Tricheuris trichiuria</i>	Tricocefalosis o tricuriasis
	<i>Toxocara spp</i>	Toxoplasmosis

Fuente: Vera-Reza *et al* 2007.

Sin embargo, los lodos residuales poseen características benéficas que pueden ser aprovechadas como son el contenido de elementos nutritivos y materia orgánica, porque las concentraciones de metales pesados son inferiores a los valores establecidos por la NOM-052-ECOL-1993 o bien por

lo que establece la NOM-004_SEMARNAT-2002 en la que se definen la clasificación de los biosólidos como excelente o bueno en función del aprovechamiento de los mismos en el cuadro 4 (Oropeza-García, 2006).

Cuadro 3. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos (Oropeza-García, 2006).

Clase de Lodo	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 Helminthos viables

Cuadro 4. Tipo, clase y aprovechamiento de biosólidos, según la NOM-004_SEMARNAT-2002 (Oropeza-García, 2006).

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	-Usos urbanos con contacto directo durante 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

Una vez que han sido tratados los lodos residuales, éstos puedan ser aprovechados benéficamente como fertilizantes, mejoradores de suelo, o como cubierta de rellenos sanitarios. Al no ser aprovechados los lodos residuales generan una doble problemática: por una parte el vertido de lodos

en sitios inadecuados puede generar severos problemas de contaminación, y por otro lado se están desperdiciando las propiedades benéficas de los lodos que pudieran ser aprovechadas en la agricultura o el mejoramiento de los suelos (Castrejón *et al.*, 2002).

2.6 El Vermicomposteo

El composteo es un proceso biooxidativo de los residuos orgánicos en condiciones controladas de humedad, temperatura y, en algunos casos, aireación y otros parámetros. Cuando en dicho proceso se involucra la participación de lombrices como *Eisenia fetida*, *E. andrei* u otras denominadas composteras, se llama entonces proceso de vermicomposteo o lombricomposteo (Santamarina-Romero y Ferrera-Cerrato, 2002), y como fruto de su ingestión, las lombrices efectúan sus deyecciones convertidas en el fertilizante orgánico más importante, se trata del humus de lombriz, una sustancia inodora, que es 5 veces superior en Nitrógeno, Fosforo, Potasio y Calcio (Díaz, 2002).

La lombricultura se define también como un método de reciclaje para el tratamiento de las deyecciones animales, como también de los desechos domiciliarios de tipo orgánico, ya que acelera el proceso de obtención de abonos de calidad, evitando contaminación del ambiente (Clavería-Cacheo, 2005; Ortiz-Mejiaz *et al.*, 2008).

La tecnología del vermicomposteo resulta interesante debido a que por mucho tiempo se pensó que la degradación de desechos la realizaban sólo microorganismos, pero actualmente se sabe que otros organismos más complejos también participan activamente en la descomposición de los residuos. Esto aunado a la tecnificación que se ha logrado en la lombricultura, ha dado origen a la tecnología del vermicomposteo, que está enfocada más a la producción de vermicompost que a la producción de

lombrices. En el vermicomposteo se hace una mezcla de desechos orgánicos que sirven de alimento a lombrices. Cuando un desecho es muy tóxico se puede precompostear y después el compost fresco se usará como alimento de lombriz (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2000).

La lombriz vive en lechos o cúmulos de desechos que constituyen su casa y su alimento al mismo tiempo. Hay diversos métodos para criar lombriz: desde la utilización de tolvas, tanques y cajones de madera o plásticos, hasta fosas cavadas en campo abierto (González, 2006). El mejor sistema de cría consiste en el cultivo de la lombriz al aire libre, en lechos colocados directamente sobre cualquier tipo de terreno, sin instalaciones ni estructuras de ningún tipo, del modo más sencillo y menos costoso. Las formas de cultivo pueden ser: explotaciones familiares, en pequeña escala y explotaciones industriales, en gran escala (Díaz, 2002).

2.6.1 Etapas del Vermicomposteo

Con el uso de la lombriz de tierra *Lombriz roja de California* (*Eisenia fetida*) se pueden procesar residuos para obtener el vermicompost, producto orgánico que puede ser utilizado en la agricultura como mejorador de suelo, con excelentes beneficios para las plantas, sobre todo considerando que, aunque el abono y los fertilizantes orgánicos se han utilizado desde tiempos inmemoriales en las actividades agropecuarias, éstos han sido superados por el uso de productos sintéticos no obstante ser más costosos y haber conducido, a la fecha, a una gran contaminación y deterioro de los suelos, con efectos negativos en su potencial de producción. De acuerdo a Aguirre-Bortoni *et al.*, (2007) los pasos para obtener el Vermicompost son:

- Selección del sitio adecuado: El lugar que se seleccione para hacer la cama de lombrices debe estar protegido de animales que pueden causar daño, como es el caso de animales de granja, aves, roedores, etc. Una característica muy importante que se debe tomar en cuenta

es que el lugar esté sombreado. Si no se consigue un lugar así, se le debe de proporcionar sombra artificial.

- Manejo de los residuos: Es necesario depositar los residuos en un lugar apropiado para su descomposición (composteo) con la finalidad de evitar que su fermentación afecte a las lombrices, además de ayudar a lograr un pH favorable y a que la temperatura se estabilice. Una vez que los residuos estén descompuestos, pueden ser utilizados para que las lombrices se alimenten de ellos.
- Preparación de la cama de siembra: Las dimensiones de la “cama de siembra” están en función del volumen y método de producción. El alto de las “cunas” no debe superar los 30 a 40 cm. Hay dos importantes razones: si las lombrices llegaran a ir hacia el fondo por alguna razón (frío, falta de alimento) llevaría más tiempo el atraerlas a la superficie y por otra parte, con alturas de más de 40 cm de materia, la fermentación se hace un poco más anaeróbica. Si no se cuenta con terreno, se pueden utilizar cajas de madera, tinas, botes, etc., los cuales se deben perforar en la parte de abajo para evitar que se acumule el agua.
- Cuando sembrar la lombriz: Antes de sembrar la lombriz se debe hacer una prueba con el alimento que se va a emplear, en una pequeña parte de la “cama” (10 x 10 cm) procediendo de la siguiente forma:
 - 1) Depositar 10 lombrices en una parte de “la cama”.
 - 2) Observar que penetren en los residuos que conforman la cama.
 - 3) Esperar cinco minutos, tiempo en el cual las lombrices deben enterrarse. Si éstas no se entierran, quiere decir que el alimento aún no está listo, por lo que hay que esperar a que se descomponga bien. Esta prueba se repite cada semana hasta que las lombrices penetren. Se puede partir de la base de que la materia tarda en descomponerse aproximadamente 45 a 60 días.

- Medidas de protección: Una vez inoculada las lombrices se requieren los siguientes cuidados:
 - 1) Cubrir la cama con paja o malla sombra.
 - 2) Mantener el contenido de humedad adecuado
 - 3) Mantenerla libre de enemigos naturales tales como las hormigas, que llegan cuando no se mantiene húmedo el sustrato o las aves que se acercan cuando las camas no están cubiertas.
 - 4) Eliminar malezas.
- Cosecha del vermicompost: La terminación del vermicomposteo puede apreciarse cuando el material es de color oscuro, inodoro, y no se aprecian ya fragmentos del residuo original. Esto ocurre en un periodo aproximado de cuatro meses, tiempo en el cual la materia orgánica se ha descompuesto, obteniéndose un abono orgánico rico en elementos nutritivos.

2.6.2 Vermicomposteo de Lodos Residuales

Los biosólidos generados en las PTAR contienen un alto porcentaje de humedad, materia orgánica (MO) y elementos nutritivos para las plantas como N y P; sin embargo, su composición varía a diario y de manera estacional, aún dentro de una misma planta de tratamiento (Jurado-Guerra *et al.*, 2004). También contienen componentes problemáticos, como metales pesados, contaminantes orgánicos y organismos patógenos. Esta composición no sorprende dado el origen del agua negra, sin embargo, hoy en día debido al desarrollo del conocimiento científico, se puede potenciar el valor de los componentes útiles y disminuir la peligrosidad de los componentes que representan riesgos, tanto para la salud humana, como para el ambiente (Utria *et al.*, 2006).

Debido al potencial que presentan los biosólidos existen procedimientos para el manejo de estos materiales entre las cuales se encuentran las técnicas tradicionales con un supuesto criterio ecológico. Existen varias técnicas, las más tradicionales son la incineración y la disposición en los rellenos sanitarios; los incineradores aunque reducen hasta un 90% el volumen de los desperdicios, representan una tecnología muy cara, que a su vez produce gases de dioxinas y cenizas que son sustancias con un alto grado de toxicidad, además de que las cenizas deben ser depositadas en los rellenos sanitarios. Por su parte, los rellenos sanitarios son lugares en los que se deben realizar algunas medidas preventivas para no afectar el ambiente (Rodríguez-Quiroz, 1998).

Por otro lado, para evitar los riesgos mencionados anteriormente, es factible utilizar el lombricompostaje, a través del cual se reciclan los elementos nutritivos, sustancias y compuestos que se encuentran en los biósólidos con el propósito de incorporar el producto obtenido a las superficies de cultivo (figura 5). Se evita así el proceso de lixiviación y gases tóxicos, generación de organismos patógenos, no causa malos olores y no atrae moscas, en vez de que se incineren causando problemas de contaminación del aire, y cenizas y escoria que deben ser depositadas en algún lado (Rodríguez-Quiroz, 1998).

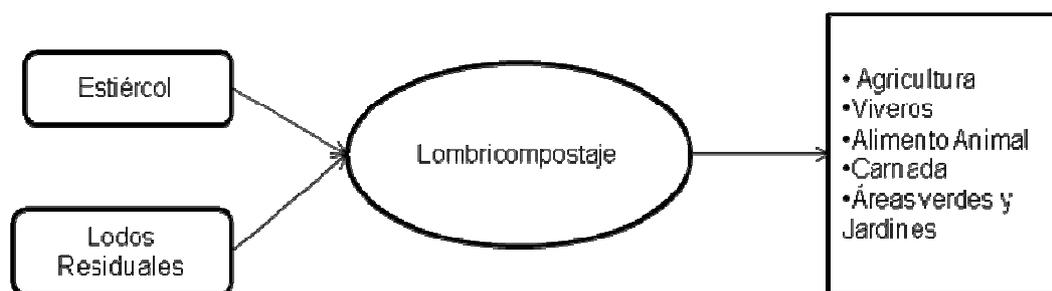


Figura 5. Proceso de Lombricompostaje

Los lodos residuales, al participar en el vermicomposteo, permiten incrementar el contenido de MO, por lo que resulta ser una alternativa

ecológica para resolver problemas de contaminación, mejorando de esta manera el problema de la disposición de los lodos de tipo municipal y el reciclaje de los residuos orgánicos a un corto plazo (Del Águila *et al.*, 2002).

El vermicomposteo es una tecnología innovativa para el tratamiento de lodos residuales en México. En el vermicomposteo se hace una mezcla de desechos orgánicos que sirven de alimento a lombrices. Cuando un desecho es muy tóxico se puede precompostear y después el compost fresco puede usarse como alimento de las lombrices (Cardoso-Vigueros y Ramírez-Camperos, 2000). Los lodos residuales son una acumulación rica de material orgánico, que es una fuente de elementos nutritivos disponibles para el desarrollo de las lombrices *E. fetida*. Las lombrices de tierra se alimentan principalmente de los microorganismos presentes en estos desechos, y en el proceso de alimentación fragmentan los residuos incrementando el área de trabajo de los microorganismos, además de favorecer su actividad microbiana. La acción entre las lombrices y los microorganismos transforman el nitrógeno presente en los lodos en nitratos viables para las plantas (Sánchez-Hernández *et al. s/f*), al mismo tiempo, incrementan la cantidad de fósforo, potasio y magnesio en compuestos asimilables (Rodríguez-Quiroz y Paniagua-Michel, 2005).

El vermicomposteo de lodos residuales, además de disminuir la concentración de metales pesados, olores y organismos patógenos permite aumentar la disponibilidad de los elementos nutritivos para las plantas, en este sentido Rodríguez-Quiroz, (1998), en su trabajo de investigación concluyó que la variedad de los componentes de los lodos residuales es mayor que en el estiércol, de esa manera se puede suponer una mayor variedad de materia orgánica que enriquece el sustrato, y por ende el compost. Además de demostrar que al final del experimento, en las camas donde tenían como sustrato los lodos residuales hubo mayor densidad de población de lombrices.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica

La Región Lagunera se localiza en la parte central del 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 (Schmidt, 1989).

3.2 Localización del experimento

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 km 1.5 y Carretera Sta. Fe, en Torreón Coahuila; durante el periodo Julio – Diciembre de 2009

3.3 Condiciones del lugar del experimento

El experimento se realizó en una bodega de forma rectangular, con las siguientes dimensiones: 6.5 m de largo por 5.5 m de ancho. La estructura se diseñó a base postes de madera y tubos galvanizados, cubierto el contorno con distintos materiales reciclables como pedazos de madera y láminas, costales y hojas de palma washingtonia (*Washingtonia robusta*). Este último material fue utilizado principalmente en el techo de la estructura.

3.4 Materiales y organismos utilizados

3.4.1 Lodo residual

Los lodos residuales empleados en este proyecto, provinieron de los asentamientos de la planta tratadora de agua residual de la industria metalúrgica MET – MEX PEÑOLES S.A. DE C.V., ubicada en el Boulevard Laguna No. 3200 Poniente, Colonia Metalúrgica, Torreón, Coahuila, México. CP 27370.

3.4.2 Estiércol

El estiércol seco de caballo que se utilizó en el experimento, se obtuvo de las unidades pecuarias de la ciudad de Nazas, Durango. Para uniformizar el tamaño de la partícula se utilizó una criba de 0.5 cm, haciendo pasar por ella este material, y el cual una vez cribado se recolectó en costales de material plástico de 50 kg.

3.4.3 Lombrices

La lombriz *Eisenia fetida* fue empleada para este experimento. Las razones por la que se fundamenta la utilidad de la lombriz roja es porque algunas de sus ventajas, de acuerdo con Toccalino *et al.* (2004) son:

1. Prolongada longevidad (viven hasta 16 años)
2. Alta prolificidad (producen hasta 1,500 crías por año).
3. Sus deyecciones constituyen un excelente abono orgánico por su alto contenido en flora bacteriana viva (2×10^{12} colonias $\cdot g^{-1}$ de humus).
4. Es un animal que desarrolla todo su ciclo biológico en un ambiente no mayor de 30 cm de sustrato.

5. No se fuga del criadero ni cava galerías verticales, trazando en cambio galerías circulares dentro de las cuales queda depositado el humus (deyecciones).

La lombriz se obtuvo del banco de germoplasma que se maneja en la UAAAN – UL. Las lombrices que se utilizaron para realizar la estabilización del lodo residual fueron organismos jóvenes con el clitelo en desarrollo.

3.4.4 Unidad experimental

Las unidades experimentales se establecieron en tambos de plástico de 200 L cortados en forma vertical con una dimensión de 90 x 55 x 28 cm de largo, ancho y alto respectivamente. Estas unidades se colocaron alrededor de una altura de 0.8 m sobre el nivel del suelo, utilizando para tal fin una estructura a base de madera con una inclinación más o menos de 30° y cada uno de ellas con aproximadamente 150 orificios en la parte inferior para facilitar el drenaje. El agua de desecho, fue recolectada en el exterior con un tubo de PVC, con un diámetro aproximado de 10 cm, el cual fue cortado de forma vertical de acuerdo a las dimensiones de largo de la unidad, permitiendo así que el lixiviado se recolectara en recipientes de plástico de 1 L.

Para evitar la proliferación de insectos dentro de los recipientes, éstos se cubrieron con plástico transparente durante los 180 días que duró el trabajo experimental. Para cada tratamiento se utilizaron cuatro unidades experimentales, a manera de repeticiones.

3.4.5 Sustratos

Los materiales descritos anteriormente, se combinaron en diferente proporción para dar origen a los cuatro tratamientos evaluados en este

experimento. La composición de los tratamientos se presenta en el cuadro 5. El tratamiento 2, que consistió solamente sustrato con estiércol de caballo, fue considerado como el tratamiento testigo, para corroborar con otros autores que han trabajado con este estiércol y lo consideran un buen alimento para las lombrices *Eisenia fetida* (Bustamante *et al.*, 2005).

El sustrato es el elemento de mayor importancia dentro del cultivo de lombrices, puesto que si se proporciona estabilizado, se asegura la reproducción del pie de cría y en poco tiempo éste se habrá multiplicado y se obtendrán adecuadas cosechas de humus de lombriz (González, 2006).

Cuadro 5. Composición de los sustratos y relación volumen-volumen entre lodos residuales y estiércol seco de caballo vermicomposteados con la lombriz *Eisenia fetida*

Tratamiento	Número de Unidades experimentales	Inoculación de lombrices <i>Eisenia fetida</i> por unidad (Individuos)	Relación (Volumen: Volumen)	
			Lodos residuales	Estiércol seco de caballo
T1	4	100	1	0
T2	4	100	0	1
T3	4	100	2	1
T4	4	100	1	2

3.4.6 Materiales y equipo

Durante el período de evaluación del trabajo de investigación, se registró la temperatura con un termómetro digital de rango de -10 a 260°C y el pH para cada tratamiento, este último se realizó con tiras de papel pH de la marca Fermont®. Para llevar a cabo los muestreos correspondientes se elaboraron cuadros de alambre de amarre, con medidas de 10X10 cm, y

para llevar a cabo el conteo del número de lombrices y cocones, se utilizaron recipientes de plástico de 3L de capacidad aproximadamente. El conteo se realizó en forma manual, utilizando guantes AMBIDERM™ de Látex, como medida de seguridad. Se tomaron 10 lombrices por cada repetición, al inicio y al final del experimento, las mismas fueron pesadas con una balanza analítica Ohaus®, con la finalidad de comparar la biomasa de las lombrices.

3.5 Desarrollo del experimento

Antes de realizar la inoculación de la lombriz *Eisenia fetida* se realizaron algunas actividades después de colocar los sustratos en las unidades experimentales como estabilizar la temperatura, la humedad, la aireación y el drenaje de los recipientes, principalmente en los tratamientos que contenían estiércol. De acuerdo a la literatura revisada, antes de incorporar las lombrices al sustrato o de suministrar nuevo alimento hay que hacer la *prueba de supervivencia* de las lombrices (Fuentes-Yagüe, 1987), pero lamentablemente no generó resultados favorables, ya que hubo una mortalidad del 100%, razón por la cual la inoculación de la lombriz se retrazó 30 días aproximadamente, con relación a la colocación de los sustratos en las unidades experimentales.

Una vez logrado la estabilización de los factores ya mencionados, se procedió a la inoculación de la lombriz, colocando primero diez especímenes para ver la reacción que éstos tenían. Al ser favorables los resultados, se procedió a inocular el resto de lombriz a las 24 hr hasta completar 100 individuos de *Eisenia fetida* por unidad en cada tratamiento.

3.5.1 Riego

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. Las lombrices necesitan un ambiente húmedo pero no demasiado húmedo para evitar que se ahoguen (Röben, 2002), la humedad óptima es de 85 % con un rango que oscila entre 80 y 90 % y los límites entre 60 y 90 %, el porcentaje de humedad afecta el desarrollo de las lombrices *Eisenia fetida*, ya que la disponibilidad de humedad perturba directa o indirectamente la actividad de la alimentación e influencia la tasa de desarrollo del clitelo; el máximo desarrollo se observa a las tasas más altas de humedad (Hernández *et al.*, 2006). Para una forma práctica de determinar el nivel de humedad y determinar la necesidad de riego se realiza la prueba de compresión del puñado del sustrato, el cual debe liberar agua apenas se le comprime, caso contrario: se riega (Schuldt *et al.*, 2007). Durante el trabajo experimental para reducir el consumo de agua limpia, se utilizó el agua drenada que se fue acumulando en los recipientes de plástico que se colocaron para este fin.

3.5.2 Aireación

Durante todo el experimento, la remoción de los sustratos se realizó cada tercer día de manera manual, para el cual se utilizaron guantes de látex, como medida de seguridad. Las lombrices pueden sobrevivir en ambientes relativamente con poco oxígeno y altos en dióxido de carbono e incluso permanecer vivos cuando están sumergidos en agua si contiene el oxígeno disuelto. Si no hay oxígeno, sin embargo, las lombrices pueden morir. El oxígeno se puede agotar si las camas de lombrices se mantienen demasiado húmedas o si se introduce demasiada alimentación. Reduciendo la cantidad de humedad, y dando vuelta al sustrato, el oxígeno será restaurado (Sherman, 2003). Esta práctica facilitó la presencia de aire necesario para el proceso de descomposición, para evitar al máximo la presencia de los olores fétidos y para homogenizar los sustratos.

3.5.3 Registro de Temperatura y pH

Este parámetro fue registrado cada tercer día. Para lo cual se utilizó un termómetro metálico de rango de -10 a 260 °C, si las temperaturas de la cama se elevan demasiado, pueden reducirse mediante la aplicación de agua (Sherman, 2003). El pH se determinó usando tiras indicadoras de pH, de la marca Fermont®.

3.5.4 Toma de muestras

Con el propósito de medir la densidad de población de las lombrices, durante el desarrollo del experimento se realizaron tres conteos a los 45, 90 y 135 días y un conteo final a los 180 días, tanto de lombrices como de cocones, después de haber realizado la inoculación de la lombriz *Eisenia fetida* en los sustratos colocados en los recipientes. Para estudiar la población de lombrices los muestreos se hicieron al azar. La muestra se obtuvo con un cuadro de alambre de amarre de 10X10 cm, de acuerdo a lo recomendado por Krebs (1985), el cuadro fue puesto en el sustrato y obtenido el material a una profundidad de 6 cm, tomando 9 muestreos de cada sustrato por recipiente.

En cada muestreo se obtuvieron aproximadamente 600 cm³ del sustrato de cada unidad para realizar el conteo de la lombriz y de los cocones. Las muestras con lombrices y cocones se aislaron de los sustratos y se procedió a cuantificarlos de manera manual. Se consideraron las adultas aquellas rojas con clitelium desarrollado, cápsulas aquellas con apariencia blancuzca o transparente.

3.5.5 Determinación de la densidad de población de Lombrices

Para determinar la densidad de las lombrices *Eisenia fetida*, se tomó de cada muestreo sustrato con un volumen de 600 cm³, del sustrato obtenido se contaron las lombrices y cocones, estas cantidades obtenidas en cada muestreo fueron extrapoladas, con el objetivo de calcular la población total en el volumen total del sustrato en cada recipiente que fue 29,400 cm³, esto se logró a través de una regla de tres simple:

Cantidad volumen muestreado ----- Total de lombrices encontradas
Volumen de vermicompost ----- X (Población total)

La densidad de lombrices en el cultivo depende de la edad del sustrato: cuanto más viejo menos lombrices soporta (Schuldt *et al.*, 2007).

3.5.6 Biomasa

Al inicio de la inoculación se pesaron 10 lombrices, al final del experimento se seleccionaron 10 lombrices por cada repetición y se pesaron en el Laboratorio de suelos, en una balanza analítica Ohaus®. Esto se realizó con la finalidad de comparar el impacto sobre el aumento en peso de las lombrices ya que el estiércol de una misma especie, posee efectos distintos sobre el crecimiento de *E. fetida* según sea la dieta de los animales (Schuldt *et al.*, 2005) y existe mejor crecimiento en cuanto a peso ganado cuando se utiliza lodo residual (Cardoso *et al.*, 2000).

Las variables bajo control en el transcurso del trabajo de investigación fueron: número y biomasa de lombrices adultos y número de cocones. La evaluación de los resultados obtenidos se realizó mediante el análisis de varianza y la comparación de medias con la prueba Tukey, con el programa estadístico SAS (1998).

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Es de suma importancia el conocimiento de la dinámica poblacional de las lombrices de tierra, es decir su crecimiento y reproducción, en un determinado sustrato orgánico. Según Johnson (2008), la lombriz californiana es la que ha tenido mejor resultado en cuanto a densidad poblacional. De esta manera, se podrá recomendar o no la utilización de alguno de los residuos orgánicos que se generan en una región específica.

Los valores de temperatura, pH y humedad de los sustratos evaluados se mantuvieron próximos a los valores considerados normales para la actividad, durante los meses que duró el proyecto. Pineda (2006), señala que la humedad se debe mantener en un rango de 80 %, y durante la evaluación de este proyecto de investigación la humedad se mantuvo en valores próximos a 80% gracias a la aplicación de tres veces por semana de riego, según las necesidades.

Los valores de temperatura de los sustratos presentan un rango máximo y mínimo de 33.7 y 14 °C respectivamente, estos valores se pueden comparar con lo mencionado por Pineda (2006) quien destaca que las lombrices *Eisenia fetida* viven sin problemas en ambientes con temperatura de 10 y 25 °C; pero que al ser mayores de 30 °C no hay producción de capsulas. El valor promedio de temperatura fue de 23.04 °C, estos datos concuerdan con lo señalado por Schuldt (2006), que la temperatura óptima para el desarrollo de los cocones y la eclosión de las lombrices juveniles debe ser de 20 a 25°C.

En los datos registrados de pH, se encuentra el valor máximo de 8.3 y el mínimo de 5, teniendo como valor promedio 7.3, estos valores se aproximaron a lo establecido por Quintero (2004), que la lombriz *Eisenia*

fetida se adapta a valores de pH que van de 5.5 a 8, siendo el ideal entre 6.8 a 7.25.

4.1 Mortalidad

Las Lombrices murieron en transcurso de los primeros tres días en los tratamientos 2, 3 y 4, a excepción del tratamiento 1, que eran Lodos residuales. La existencia de una mortalidad del 100% de los individuos, puede explicarse principalmente por el efecto del composteo del estiércol, que no se realizó al inicio de este proyecto, esta situación corroboró lo señalado por Johnson (2008) y Fuentes-Yagüe (1987), quienes mencionan que el estiércol en fase de fermentación es dañino para las lombrices y que su grado de acidez provocan la muerte de estas.

Los sustratos que contenían estiércol de caballo se precompostaron por más de tres semanas: aplicando agua y volteos periódicos todos los días, con la finalidad de que la temperatura bajara y se estabilizara el pH, como lo recomiendan Gutiérrez-Vázquez *et al.* (2007). Después de que el estiércol alcanzó un pH 8 y una temperatura de 24.5°C, se procedió a realizar una segunda inoculación, se realizó la prueba de aceptación del alimento, depositando 10 lombrices sobre el sustrato como lo recomiendan Aguirre-Bortoni *et al.* (2007) y se observó que penetraron al sustrato, por lo tanto se recomienda realizar el precomposteo de los sustratos antes de inocular lombrices.

4.2 Número de lombrices adultas

La dinámica de la población de lombrices adultas, considerando solamente aquellas lombrices que presentan clitelo completamente desarrollado (Schuldt *et al.*, 2007), aparecen en la figura 6, en ésta se observa que la cantidad de lombrices se incrementó a los 45 días, en los

cuatro tratamientos, resultando la densidad de población más alta el sustrato que contenía estiércol de caballo:lodo residual (T4) con un valor promedio de 214.175 siendo el 12.07%, seguida por el lodo residual (T1) con un valor promedio de 197.75, siendo el 3.4%, estos porcentajes son mayores al estiércol de caballo (T2) con un valor promedio de 191.1 y por último el lodo residual: estiércol de caballo (T3) con un valor promedio de 180.075 siendo 5.8% menor al Tratamiento testigo (T2).

Esto probablemente se debió a que las lombrices colocadas en la parte de la cama del lodo residual se incorporaron al segundo día de su inoculación, mientras que las lombrices del estiércol de caballo se encontraban al límite del sustrato colocado en la parte de la cama, incorporándose hasta los trece días, o pudo haberse debido a otros factores como la conductividad eléctrica, que no se midió en este estudio de investigación.

En la segunda fecha de muestreo fue inferior la densidad encontrada al de la primera, esto posiblemente se debió a que en estas fechas hubo encharcamientos, debido a que en la región se registraron dos lluvias intensas, lo que provocó la saturación de los sustratos incidiendo sobre la actividad de las lombrices, ya que según Röben (2002), las lombrices necesitan un ambiente húmedo pero no demasiado húmedo para evitar que se ahoguen, además Pineda (2006), señala que las lombrices en condiciones de mucha humedad puede vivir, pero no trabajan ni se reproducen.

Del cuidado que se brindó a los sustratos, después de presentarse el anegamiento, se pueden observar en las densidades de población registradas en los últimos dos muestreos (a los 135 y 180 días) (figura6), donde se puede ver que éstas se incrementaron siendo la más alta al final de este proyecto la del sustrato del tratamiento 4 de estiércol de caballo:lodo residual (2:1) con un valor de 18.7% mayor que el testigo T2, pero este a su

vez fue mayor a los T1 y T3 siendo el de menor porcentaje el T3 lodo residual: estiércol de caballo (2:1) con 30.7%, confirmando lo que dice González (2006), que los estiércoles mezclados con otros desechos son alimento mas apetecido por las lombrices.

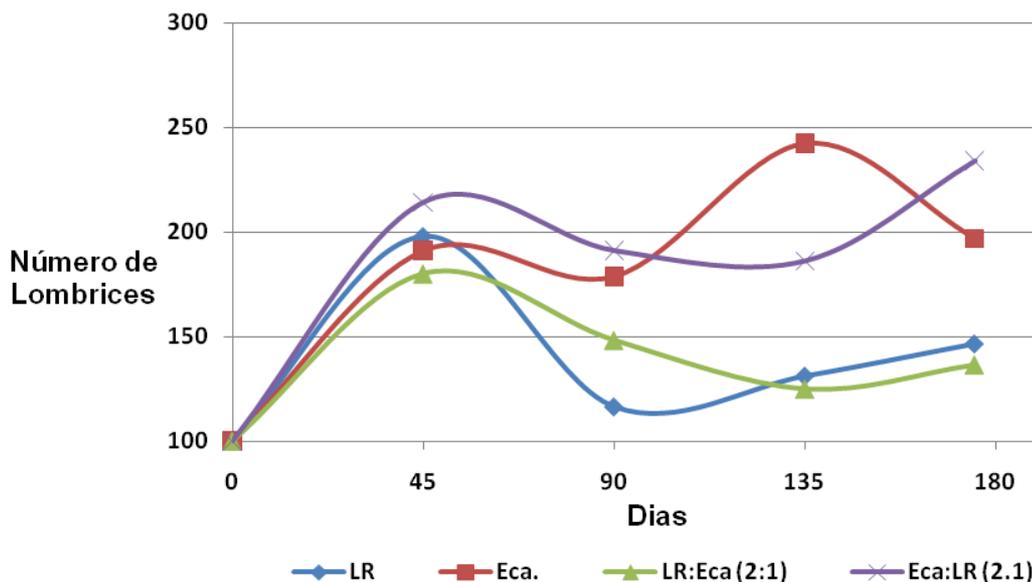


Figura 6. Población promedio de la densidad de lombrices en diferentes sustratos.

En el análisis de varianza que se realizó a los cuatro tratamientos se observó que las lombrices sobrevivieron en todos los tratamientos y se reprodujeron, pero no se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0.2470$) (cuadro 6). En la Figura 7, se puede observar que aunque no existieron diferencias significativas, existe una diferencia en porcentaje, ya que el tratamiento 4 con una densidad de población promedio de lombrices de 243.48, resultó 7.9% superior que el tratamiento testigo (T2) con una densidad de población promedio de 225.65 lombrices, y éste a su vez superó a los tratamientos restantes T3 y T1, cuyos porcentajes para densidad de población promedio fueron de 12.40 y 14.28% inferiores, respectivamente.

Cuadro 6. Análisis de varianza para porcentaje de sobrevivencia en adultos de la especie de lombriz *Eisenia fetida*.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Trats	3	27044.9019	9014.9673	1.42	0.2470
Error	48	303.675.4500	6326.57.19		
Total correcto	63	806110.6194			

La población y biomasa de lombrices son un indicador de la calidad del sustrato y de su aceptación para las lombrices. Así se puede comparar los resultados de Rodríguez-Quiroz y Paniagua-Michel (2005) quienes señalan que los lodos residuales al contener material orgánico y elementos nutritivos disponibles para el desarrollo de *E. fetida* obtuvieron resultados similares a esta investigación pues registraron crecimiento de la población de lombrices en contenedores que contenían lodos residuales.

Las lombrices *Eisenia fetida* utilizadas en los cuatro sustratos evaluados durante un período de 180 días no sólo lograron sobrevivir sino que también se incrementó su densidad de población, por lo cual los resultados obtenidos contradicen lo establecido por Sánchez-Hernández *et al.* (s/f), en cuyo trabajo de investigación las lombrices inoculadas en lodos residuales sólo sobrevivieron durante 90 días, por lo que es posible considerar que los lodos residuales, solos o mezclados con estiércol de caballo, bajo las condiciones de trabajo señaladas, resultaron apropiados para el desarrollo de estos organismos.

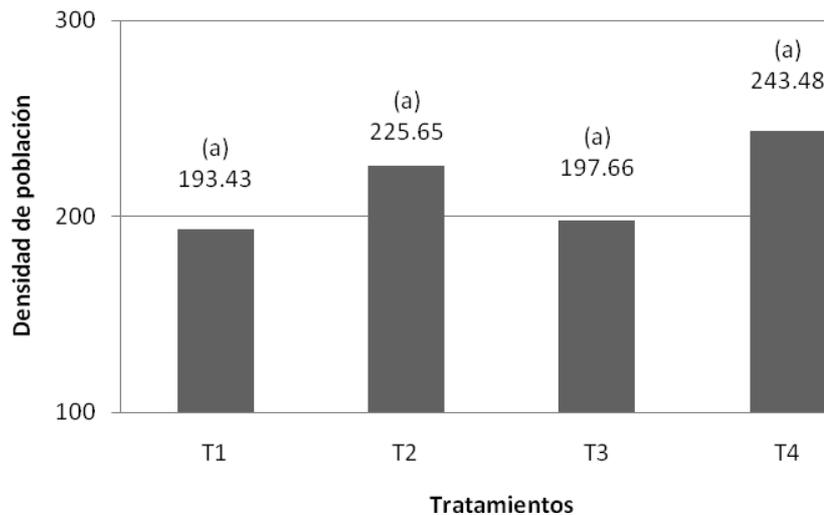


Figura 7. Comparación de valores promedio de densidad de población para lombrices adultas

La cantidad de lombrices obtenidas demuestra que la especie *E. fetida* es muy prolífica coincidiendo esta situación con lo establecido por Toccalino *et al.* (2005) y Ascón-Dionicio (1995). El incremento porcentual de la densidad de población en los tratamientos indicados, respecto a las 100 lombrices inoculadas inicialmente, denota la adaptación y desarrollo de *E. fetida* alimentada con estos sustratos en las condiciones experimentales descritas con anterioridad.

Ascón-Dionicio (1995) recomienda una relación de 3 de estiércol y 1 de otro material, que en este caso fue paja, obteniendo al final mayor incremento con un 8.0% en la densidad de población en lombrices adultas, en seis meses; en este trabajo de investigación se obtuvo que el T4 que consistió en estiércol de caballo con lodo residual, según la comparación de medias, se obtuvo un incremento del 7.9%, sobre el tratamiento testigo (T2), tomando en cuenta que en este tratamiento la relación fue de 2:1, y el período fue de cinco meses.

Cuadro 7. Comparación de medias de tratamientos y significancia ($P \leq 0.2470$) para la variable de número total de lombrices.

Número Total de Lombrices		
Tratamiento	Media	Significancia
T4	243.48	A
T2	225.65	A
T3	197.66	A
T1	193.43	A

T1=Lodo Residual (100%); T2= Estiércol de Caballo (100%); T3= Lodo Residual: Estiércol de Caballo (2:1, v:v); T4= Estiércol de Caballo: Lodo Residual (1:2, v:v)

Como se ha mencionado en cada uno de los tratamientos establecidos no se registraron diferencias significativas ($P \leq 0.2470$) (cuadro 7), por lo que cualquiera de estos tratamientos pueden ser usados para comprobar la dinámica poblacional de las lombrices *Eisenia fetida*, ya que estos materiales favorecieron la reproducción de las lombrices, siendo que en los resultados presentados por Gutiérrez-Vázquez *et al*, (2007), al final del experimento obtuvieron un decremento del 54.75% y 18.25% de Estiércol de bovino y ovino precompostado, respectivamente, mientras que en este trabajo de investigación, se utilizó estiércol de caballo no existió decremento alguno.

4.3 Densidad de población de cocones

De acuerdo a los resultados obtenidos en el análisis de varianza, se registraron diferencias altamente significativas ($P \leq 0.0001$) (cuadro 8) entre el número de capullos por sustrato. En cada uno de los sustratos evaluados se registró el acoplamiento sexual de las lombrices, puesto que se presentó un incremento significativo de cocones.

En relación a la producción de cocones o capullos por muestreo (figura 8), evaluada durante el transcurso del experimento, se encontró que el tratamiento de Lodos Residuales (T1) registró el mayor número de

capsulas en el primer muestreo, dicho número fue muy superior a los demás tratamientos, registrando un valor promedio de 479.401, siendo el 51.3% mayor al tratamiento testigo (T2) que obtuvo un valor promedio de 316.76.

Cuadro 8. Análisis de varianza para porcentaje de población de cocones.

FV	GL	SC	CM	F-Valor	Pr>F
Trats	3	1602700.948	534233.649	16.13	<0.0001
Error	48	1589736.028	33119.501		
Total correcto	63	6119703.651			

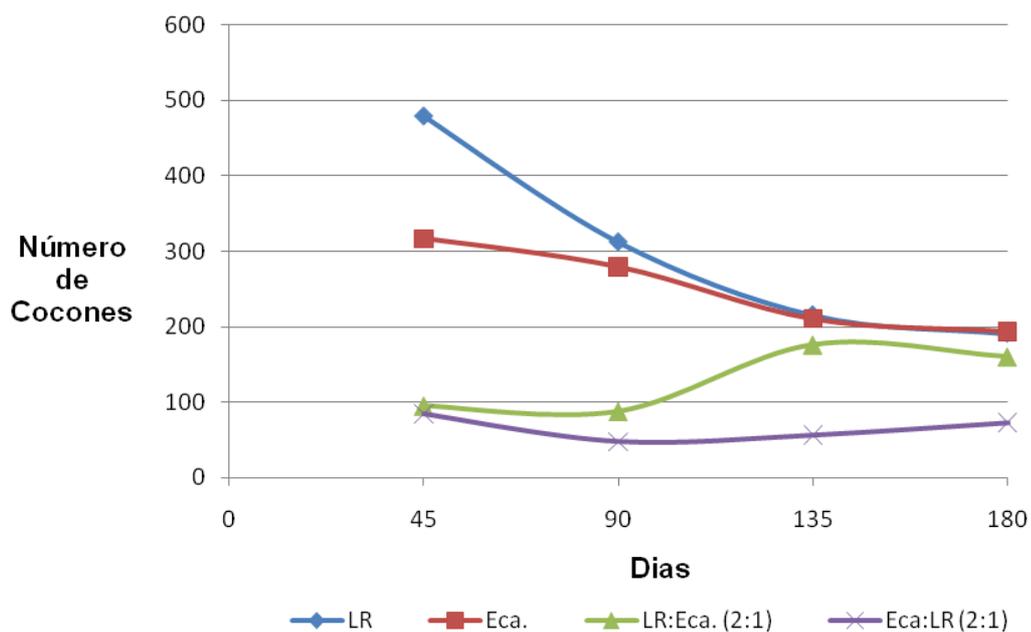


Figura 8. Población promedio de la producción de cocones en los cuatro sustratos evaluados.

Los resultados obtenidos por Bustamante (2005), resultan ser mejores a los de este experimento, ya que obtuvo mayor producción de cocones en el estiércol de caballo a los 45 días que duró su investigación, mientras que en el primer muestreo de esta investigación, que es a las 45 días, se puede ver en la figura 8 que el lodo residual (T1) superó al tratamiento testigo (T2).

El hecho de que exista una diferencia altamente significativa ($P \leq 0.0001$) entre los tratamientos, puede deberse a que el estiércol utilizado en este proyecto estaba en la última fase de fermentación en los tratamientos 2, 3 y 4, y en ellos la lombriz tuvo un proceso de adaptación al exponerse a nuevas fuentes de alimentación. En la prueba de comparación de medias (cuadro 9) se indica que el T1 (lodo residual) resultó ser mejor para la reproducción de cocones.

Se observa en la figura 8, que al final del experimento que el estiércol de caballo superó en la población de producción de cocones a los demás tratamientos, siendo el lodo residual (T1) 2%, el T3 17.3% y el T4 62.5% menores al tratamiento testigo, lo cual coincide con los resultados presentados por Ortiz-Mejiaz *et al.*, (2008), quienes obtuvieron mayor producción de cocones en estiércol de caballo precompostado, aunque Moreno-Reséndez y Cano-Ríos (2002), obtuvieron un mayor número de cocones en el estiércol de caballo, cabe mencionar que el estiércol de caballo utilizado por los autores fue sin precomposteo.

Al respecto Ascón-Dionicio (1995), al final obtuvo resultados similares a esta investigación, ya que obtuvo mejores resultados en la densidad de población de cocones en la combinación del estiércol combinado con paja, y en este trabajo la población de cocones en tratamientos combinados con lodos residuales (T3, T4) y lodos residuales (T1), fueron superados por el tratamiento que contenía estiércol de caballo (T2).

En la comparación de medias (cuadro 9) el lodo residual (T1) con un valor promedio de 478.95, fue 75.06% mayor que el tratamiento testigo, (T2) tiene un valor promedio de 273.59. Estos resultados difieren con los de Sánchez-Hernández *et al.*, (s/f), quienes obtuvieron mejores resultados en la producción de cocones en la combinación de los lodos residuales con estiércol de bovino, con relación 1:3, superando a su tratamiento testigo que fue estiércol de bovino.

Cuadro 9. Comparación de medias de tratamientos y significancia ($P \leq 0.0001$) para la variable producción de cocones.

Producción de capullos		
Tratamiento	Media	Significancia
T1	478.95	A
T2	273.59	B
T3	155.58	B
T4	53.41	C

T1=Lodo Residual (100%); T2= Estiércol de Caballo (100%); T3= Lodo Residual: Estiércol de Caballo (2:1, v:v); T4= Estiércol de Caballo: Lodo Residual (1:2, v:v)

El tratamiento que contuvo los lodos residuales (T1), obtuvo la mayor densidad de población de cocones (cuadro 9), superando al resto de los tratamientos. Es importante destacar, entonces, que el lodo residual proveniente de la PTAR de la Industria de Met-mex Peñoles, bajo las condiciones de este trabajo de investigación, es una opción para el lombricomposteo, ya que constituye una fuente de nutrientes disponibles para la reproducción de las lombrices *Eisenia fetida*.

En la figura 9, la producción de cocones en el tratamiento 4 resultó ser la más baja con una media de 53.41 siendo 80.48% menor al tratamiento testigo en producción de cocones, mientras que en la figura 6, resulta que este mismo tratamiento presenta la mayor población de las lombrices,

mientras que los demás tratamientos obteniendo mayor producción de cocones, tienen menos densidad de población, esto pudo deberse a que los cocones producidos no eclosionan en su totalidad, ya que pueden presentarse máxima capacidad en los sustratos, tras alguna lluvia o riego intenso como lo señala Schuldt (2002), y durante este trabajo se presentaron lluvias que afectaron la humedad óptima de los tratamientos, precisamente en los tratamientos T1 y T2, es donde más se presentó exceso de humedad. O también pudo haberse debido a la alta densidad de población de lombrices en los otros tratamientos, las lombrices reducen su capacidad reproductiva, este efecto se debe al aumento de la población que genera estrés por el espacio y alimento limitado, de tal forma que regula la población (Alvarado-Moreno, 2004).

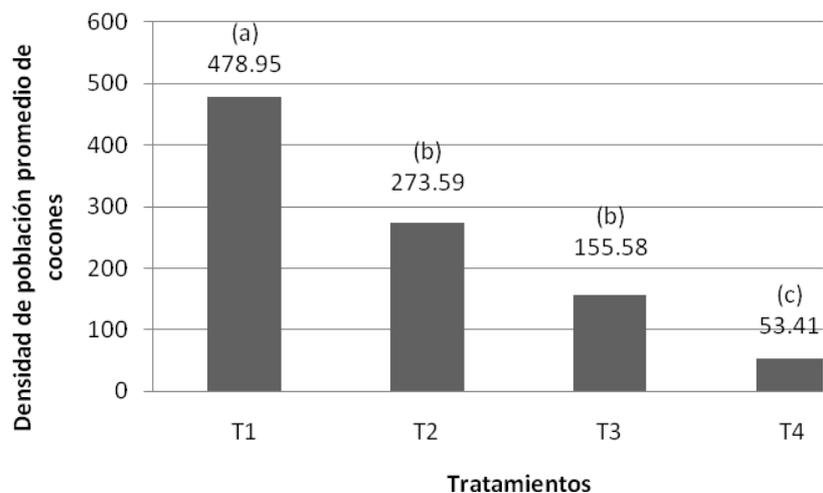


Figura 9. Comparación de valores promedios de la producción de cocones en diferentes sustratos.

4.4 Biomasa

Al inicio del experimento se pesaron diez lombrices y se registró una biomasa promedio de las diez lombrices de 2.025 g, como se representa en la figura 10, se observa que al final del experimento, el peso final incrementó en cada tratamiento, el T4 superó a los demás registrando 9.225 g, por 10 lombrices. Schuldts *et al.*, (2005) quienes señalan que el estiércol de una misma especie, permite mejor crecimiento de los individuos que las mezclas con estiércoles de distintas especies. El resultado concuerda con Cardoso *et al.*, (2000), nos dicen que existe mejor crecimiento y peso ganado cuando se utiliza lodo residual; y coincide también con los resultados generados con Rodríguez-Quiroz y Paniagua-Michel (2005), que trabajaron con biosólidos, estos autores reportan un mayor incremento en el peso de la lombriz *Eisenia fetida*.

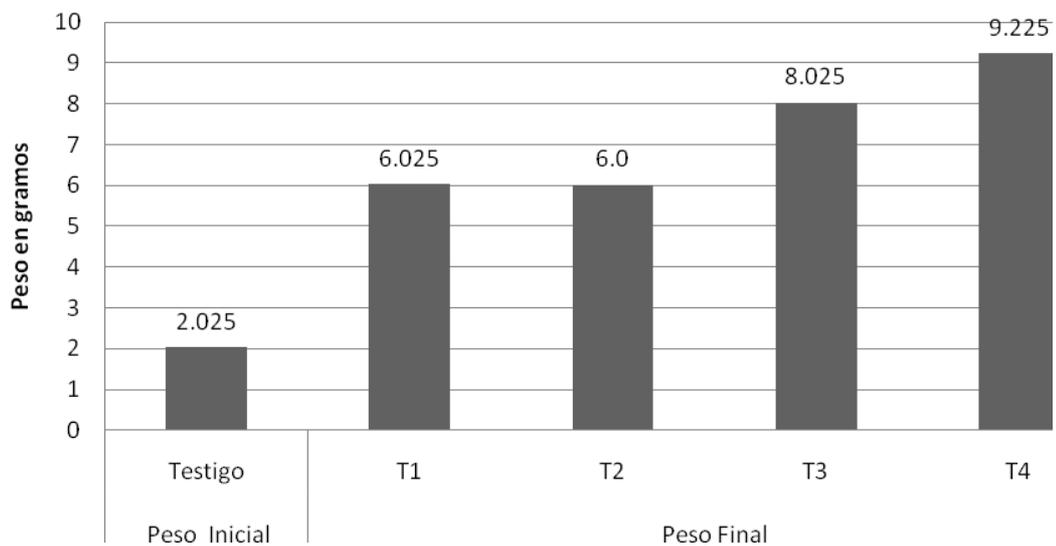


Figura 10. Diferencia de Biomasa registrada de 10 lombrices, al inicio y al final del experimento en diferentes sustratos.

De acuerdo con González (2006), quien señala que los estiércoles mezclados con otros desechos, son el alimento más apetecido por las lombrices, se confirma con estos resultados, como se observa en la figura 10, que las lombrices incrementaron su peso, registrando un peso promedio de 9.225 g, en 10 lombrices en 180 días, al final de la investigación. Comparado con los pesos registrados por Durán y Henríquez (2007), quienes registraron un peso de 6.6 g, en 10 lombrices, en un período de 90 días. Es importante mencionar que aunque diferentes autores mencionan más comúnmente pesos de 0.8 a 1.4 (Schuldt, 2002), en esta investigación se observó un valor similar al presentado por este autor.

En la figura 10, se observa que en el tratamiento 4 se registró mayor peso en 10 lombrices que en los demás tratamientos, mientras que la densidad poblacional de lombrices en el tratamiento 4 (figura 6), fue menor en dos muestreos, esto pudo haberse debido a que el peso individual de las lombrices disminuye a medida que aumenta la población (Alvarado-Moreno, 2004), por la competencia de alimento.

V.- CONCLUSIONES

El crecimiento y reproducción de la lombriz *E. fetida* están directamente relacionados con el tipo de sustrato en el cual vive y se desarrolla. El tipo de sustrato en que crecen las lombrices influye tanto en el peso como en su reproducción. Durante el desarrollo de este experimento y de acuerdo a los resultados obtenidos, se puede concluir que

- El estiércol de caballo, puede ser recomendado como una fuente de alimento para la lombriz, ya que los resultados indicaron que el estiércol combinado es ideal en cuanto a la dinámica poblacional de las lombrices *Eisenia fetida*.
- El utilizar los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales demostró ser eficiente como complemento de alimentación para la lombriz *Eisenia fetida*.
- Pero el sustrato combinado de lodos residuales con estiércol de caballo resulta ser mejor para la alimentación de las lombrices, aunque en la densidad de población de cocones fue menor, se puede concluir que existe mejor dinámica poblacional de lombrices adultas en esta combinación y se recomienda para poder usarlo.

Se ha comprobado que el vermicompost es un método efectivo para poder reusar tanto el estiércol de caballo como los lodos residuales, y que éstos no sean un problema de contaminación al ser depositados en lugares inadecuados. Además la combinación del estiércol de caballo con los lodos residuales presenta una buena dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia fetida*. Este trabajo de investigación favoreció al punto de vista de diferentes autores que mencionan que el vermicomposteo es un tratamiento biológico para el tratamiento de los lodos residuales.

VI.- RESUMEN

El vermicomposteo es una tecnología que utiliza especies de lombriz domesticadas, entre las cuales destacan las lombrices *Eisenia fetida*, obteniendo, a partir de residuos orgánicos humus rico en elementos nutritivos. Los residuos animales más comunes para el vermicomposteo son las excretas vacunas, gallinaza, porcícolas y de caballo. El objetivo de este trabajo experimental fue caracterizar la dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia fetida* utilizando sustratos con estiércol de caballo y Lodos Residuales, mezclas de estos materiales, y observar el efecto en el desarrollo de las lombrices. Los sustratos se estabilizaron a los 30 días y se inocularon con 100 lombrices juveniles en cada repetición por tratamiento y se evaluó la población cada 45 días. Las variables registradas fueron: número de cocones, número y biomasa total de lombrices adultos. Los tratamientos utilizados fueron: T1 = lodo residual, T2 = estiércol de caballo, T3 = lodo residual + estiércol de caballo (2:1, V:V), y T4 = estiércol de caballo + lodo residual (2:1, V:V). Después de haber procesado los datos de reproducción en la prueba de comparación de medias de Tuckey, los resultados indicaron que el lodo residual registró mayor población de cocones producidos por las lombrices, y que el estiércol de caballo+lodo residual en relación (2:1, V:V) resultó el tratamiento más adecuado en cuanto a la dinámica poblacional de las lombrices, la biomasa total y reproducción de lombrices, en comparación con los otros tratamiento.

Palabras claves: Lodo residual, reproducción de *Eisenia fetida*, dinámica poblacional, cocones, estiércol de caballo, biomasa.

VII.- LITERATURA CITADA

- Aguilera-López, D. A. 2004. "Evaluación del efecto de la densidad Poblacional inicial y dos ambientes sobre el crecimiento de la Lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*) en la IX región." Facultad de Ciencias Agropecuarias y Forestales. Escuela de Agronomía. Temuco, Chile. Disponible en: <http://biblioteca.uct.cl/tesis/daniel-aguilera/tesis.pdf>. Fecha de recuperación: 23 de mayo de 2009.
- Aguirre-Bortoni, M. d. J., B. A. Macias-Hernández y E. Andrade-Limas 2007. "Lombricultura como alternativa para el aprovechamiento de desechos orgánicos." UAM Agronomía y Ciencias-UAT. Cd. Victoria, Tamaulipas. 2 (1). Disponible en: <http://www.turevista.uat.edu.mx/Vol.%202%20Num%201/21%20lombrices%201.htm>. Fecha de recuperación: 19 de Marzo de 2010.
- Ascón-Dionicio, G. U. 1995. "Utilización de tres tipos de Abono Orgánico en la crianza y Reproducción de la Lombriz *Eisenia foetida* en San Martín." Folia Amazónica. 7: 83-96.
- Alvarado-Moreno, J. R. 2004. "Evaluación de la eficiencia reproductiva de la lombriz roja californiana, *Eisenia fetida*, alimentada con excretas bovinas en cuatro diferentes estados." Universidad EARTH. Disponible en: http://www.em-la.com/archivos-de-usuario/base_datos/capacidad_reproductiva_de_lombriz.pdf. Fecha de recuperación: 21 de Abril de 2010.
- Bustamante, D. A., S. García y J. I. Botero 2005. "Comparación de tres sustratos en el cultivo de Lombriz roja (*Red hybrid*)." Escuela de zootecnia, Facultad de ciencias. Universidad de Antioquía, A.A. Medellin, Colombia. Disponible en: <http://lagranjaintegral.galeon.com/> Fecha de recuperación: 8 de Mayo de 2010.
- Calderón-Fabián, E., J. M. López-Fuentes, C. Calderón-Fabián, R. Rueda-Luna y R. Vázquez-Ramírez 2007. "Lombricultura; una Alternativa viable para la Comunidad Rural de Zacaloma, Tetela de Ocampo,

- Puebla." Memorias en extenso VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales: 747-854. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/CHIHUAHU A/docs/141-162.pdf. Fecha de recuperación: 7 de Diciembre de 2009.
- Canellas, L.P., F.L. Olivares, A.L. Okorokova-Facanha, and A.R. Facanha. 2002. Humic Acids Isolated from Earthworm Compost Enhance Root Elongation, Lateral Root Emergence, and Plasma Membrane H⁺-ATPase Activity in Maize Roots. *Plant Physiol.* 130:1951-1957.
- Cardoso-Vigueros, L. y E. Ramírez-Camperos. 2000. "Vermiestabilización de lodos residuales y Lirio Acuático. In: XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental pp. 1-6. Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/aresidua/i-161.pdf>. Fecha de recuperación: 22 de Junio de 2009.
- Cardoso, L., E. Ramírez y A. Rivas. 2000. "Instalación de un sistema de vermiestabilización a escala real en una planta de tratamiento municipal." *IMTA Anuario 2000*: 78-84. Disponible en: http://148.244.92.41/instituto/historial-proyectoswrrp/tc/2000/ca_02_2000. Fecha de recuperación: 06 de abril de 2010.
- Castrejón, A., J. A. Barrios, B. Jiménez, C. Maya, A. Rodríguez y A. González. 2002. "Evaluación de la calidad de lodos residuales en México." Instituto de Ingeniería. Grupo de tratamiento y reúso. UNAM Ciudad Universitaria. pp. 1-14. Disponible en: <http://www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/mexico13/061.pdf>. Fecha de recuperación: 11 de Mayo de 2009.
- Clavería-Cacheo, C.L. 2005. "Estudio de factibilidad para producir harina a partir de Lombriz Roja Californiana (*Eisenia fetida*) para ser utilizada en la elaboración de concentrados para animales en Guatemala." Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Disponible en: http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_7002.pdf. Fecha de recuperación: 22 de Mayo de 2009.

- Cortez-Cadiz, C. 2003. Fundamentos de Ingeniería para el tratamiento de los biosólidos generados por la depuración de aguas servidas de región metropolitana. Facultad de ciencias químicas y matemáticas. Chile, Universidad de Chile. 5-11 Disponible en: <http://cabierta.uchile.cl/revista/21/articulos/pdf/rev3.pdf>. Fecha de recuperación: 08 de diciembre de 2009.
- Del Águila, P., J. Lugo, R. Vaca y E. García. 2002. "Evaluación del Proceso de vermicomposteo empleando Lodo residual y residuos Orgánicos." Tecnología y Biotecnología Ambiental. Laboratorio de Edafología y Ambiente. Facultad de ciencias UAEMex. Pp.1-3. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/Ciudad%20Obregon/oral_toxicologiasalud.html.
- Díaz, E. 2002. "Lombricultura: Una alternativa de producción." ADEX Agencia de Desarrollo Económico y Comercio exterior. Municipio Capital de la Rioja. Pp. 8-11. Disponible en: <http://www.scribd.com/doc/4031482/Adex-Guia-De-Lombricultura> Fecha de recuperación: 27 de abril de 2010.
- Droppelmann, C. V., C. Pía-Gaete y P. Miranda. 2009. " Vermicomposting of biological sludge for coliforms reduction." Rev. Fac. Ing. Univ. Antioquía: 124-128. Disponible en: <http://ingenieria.udea.edu.co/grupos/revista/revistas/nro049/Articulo12.pdf>. Fecha de recuperación: 6 de diciembre de 2009.
- Durán, L. y C. Henríquez. 2009. "Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) en cinco sustratos orgánicos." Agronomía Costarricense 33 (2): Pp. 275-282. Disponible en: http://www.mag.go.cr/rev_agr/v33n02_275.pdf. Fecha de recuperación: 5 de mayo de 2010.
- Dynes, R. A. 2003. Earthworms: Technology information to enable the development of earthworm production. Report RIRDC Publication No 03/085, Canberra, Australian Government. 39 p. Disponible en: <http://www.rirdc.gov.au>. Fecha de recuperación: 15 de junio de 2005.

- Fuentes-Yagüe, J. L. 1987. "La Crianza de la Lombriz Roja." Servicio de Extensión Agraria, Madrid, España. 1-28. Disponible en: http://www.mapa.es/ministerio/pags/biblioteca/hojas/hd_1987_01.pdf. Fecha de recuperación: 17 de abril de 2010.
- González, G. y F. Mora. 1995. "Utilización de diversos desechos orgánicos en el cultivo de lombrices con fines agroecológicos." Facultad de Ciencias Agropecuarias, UP. Pp. 55-60. Disponible en: <http://www.reddelcampo.net/redcampo/files/guiatecnica/Pecuarias/Utilizaci%C3%B3n%20de%20diversos%20desechos%20organicos%20en%20el%20cultivo%20de%20lombrices%20con%20fines%20agroecologicos.pdf>. Fecha de recuperación: 1 de abril de 2010.
- González, A. E. A. 2006. "Fundamentos para el cultivo de Lombriz Roja Californiana." Curso Virtual del SENA. Disponible en: <http://graeco.iespana.es/biblioteca/FUNDAMENTOS%20PARA%20EL%20CULTIVO%20DE%20LOMBRIZ%20ROJA%20CALIFORNIANA.pdf>. Fecha de recuperación: 31 de marzo de 2010.
- Gutiérrez-Vázquez, E., A. Juárez-Caratachea, J. Mondragón-Ancelmo y A. L. Rojas-Sandoval. 2007. " Dynamics population earthworm *Eisenia foetida* in fresh and composted manure of bovine and ovine." REDVET. Revista electrónica de Veterinaria 1695-7504 Volumen VIII. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070707/070712.pdf>. Fecha de recuperación: 22 de mayo de 2010.
- Hernández, J. A., N. Ramírez, B. Bracho y A. Faría. 1999. "Caracterización del crecimiento de la lombriz roja (*Eisenia* spp.), bajo condiciones de clima cálido." Revista Facultad de Agronomía (Maracay): 139-147. Disponible en: http://revistaagronomiaucv.org.ve/revista/articulos/1999_25_2_6.pdf. Fecha de recuperación: 11 de marzo de 2010.
- Hernández, J. A., S. Pietrosevoli, A. Faría, R. Canelón, R. Palma y J. Martínez. 2006. "Irrigation frequency on growth of red earthworm

- (*Eisenia spp*) and vermicompost chemical parameters." Revista UDO Agrícola 6: 20-26.
- Hernández, J. A., L. F. Guerrero, C. L. E. Mármol, B. J. M. Bárcenas y E. Salas. 2008. "Physical characterization according to grain size of two vermicomposts derived from pure bovine dung and bovine dung mixed with african palm fruit residues." Interciencia 33: 668-671. Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/pdf/inci/v33n9/art10.pdf>. Fecha de recuperación: 8 de marzo de 2009.
- Hernández-Rodríguez, O. A., C. Vences-Contreras, D. L. Ojeda-Barrios, M. M. Barrios-Burrola y C. H. Chávez-González. 2009. "Emergency rate of California Red worm (*Eisenia fetida*) in three organic amendments." Tecnociencia Chihuahua III: 147-153. Disponible en: [http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v3n3/data/Tasa_de_emergencia_de_lombriz_roja_californiana\(Eisenia%20foetida\)_bajo_tres_enmiendas_organicas.pdf](http://tecnociencia.uach.mx/numeros/v3n3/data/Tasa_de_emergencia_de_lombriz_roja_californiana(Eisenia%20foetida)_bajo_tres_enmiendas_organicas.pdf). Fecha de recuperación: 18 de abril de 2010.
- Jara-Peña, E., A. Villegas, P. Sánchez, A. Trinidad, A. Muratalla y A. Martínez. 2003. "Crecimiento vegetativo de Frambuesa (*Rubus idaeus* L.) "Autum Bliss" con la aplicación de vermicomposta asociada con lupino (*Lupinus mutabilis* sweet.)." Rev. Perú. Biol. 10: 44-52. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rpb/v10n1/v10n1a05.pdf> Fecha de recuperación: 6 de diciembre de 2009.
- Johnson, M. J. 2008. "Producción Orgánica. Abonos Verdes y Lombricultura." Cuenta Reto del Milenio Nicaragua. CHEMONICS. Disponible en: http://www.occidenteagricola.com/info/doc_evaluaciones/pdf/manejo%20organico/Compostas%20Abonos%20Verdes%20Lombricultura.pdf. Fecha de recuperación: 27 de abril de 2010.
- Jurado-Guerra, P., M. Luna-Luna y R. Barretero-Hernández. 2004. "Aprovechamiento de biosólidos como abonos orgánicos en pastizales áridos y semiáridos." Téc Pecu Méx 42: 379-395. Disponible en: <http://www.tecnicapecuaria.org.mx/publicaciones/publicacion04.php?IdPublicacion=438>. Fecha de recuperación: 6 de diciembre de 2009.

- Krebs, Ch. 1985. Ecología. Estudio de la Distribución y Abundancia. Ed. HARLA. Méx. D.F. 530 p.
- León-Delgado, O. 2008. "Estudio de factibilidad de los lodos albañales de la PTAR María del Carmen para posibles variantes de uso en la agricultura." Universidad Agraria de la Habana. 2-15. Fecha de recuperación: 6 de diciembre de 2009.
- Mejía-Araya, P. 2010. "Manual Lombricultura." Agroflor Lombricultura. Disponible en: <http://agrolibros.blogspot.com/2010/02/manual-de-lombricultura-agroflor.html>. Fecha de recuperación: 24 de marzo de 2010.
- Miralles de Imperial, R., E. M. Beltrán, P. M.A., M. d. M. Delgado, M. L. Beringola, J. Martín, .V., R. Calvo y I. Walter. 2002. "Emergencia de seis cultivos tratados con lodo, fresco y composteado, de estaciones de depuradoras." Revista Internacional de Contaminación Ambiental 18: 139-146. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/370/37018304.pdf>. Fecha de recuperación: 26 de mayo de 2009.
- Moreno-Résendez, 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. Disponible:<http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort05/vermicomposta.pdf>. Fecha de recuperación: 26 de mayo de 2009.
- Moreno-Reséndez, A. y P. Cano-Ríos. 2002. "Tasa Reproductiva de la lombriz roja (*Eisenia fetida*) en diferentes substratos orgánicos." Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 3: 41-46. Disponible en: <http://uruza.edu.mx/Vol3-Num1-2002>. Fecha de recuperación: 6 de mayo de 2010.
- Oropeza-García, N. 2006. "Lodos Residuales: estabilización y Manejo." Caos Conciencia 1: 51-58. Disponible en: http://dci.uqroo.mx/RevistaCaos/2006_Vol_1/Num_1/NO_Vol_I_21-30_2006.pdf. Fecha de recuperación: 4 de diciembre de 2009.

- Ortiz-Mejiaz, J. A., J. S. Rodríguez-López, J. G. Arreola Ávila, J. S. Méndez-Rivera, E. Santamaría-Cesar y J. M. Cisneros-Vázquez. 2008. "Comportamiento Reproductivo de la Lombriz Roja Californiana (*Eisenia fetida*) en Diferentes Sustratos." Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 7: 15-19. Fecha de recuperación: 11 de noviembre de 2009.
- Padilla-Álvarez, F. y A. E. Cuesta-López. 2003. "Zoología Aplicada." Ediciones Díaz de Santos S.A. pp. 117-118. Disponible en: http://books.google.com.mx/books?id=isqKkb_ujccC&printsec=frontcover&dq=Zoolog%C3%ADa+Aplicada&lr=&cd=1#v=onepage&q&f=false Fecha de recuperación: 14 de marzo de 2010.
- Pineda, J. A. 2006. "Lombricultura." Instituto Hondureño del Café. 1-38. Disponible en: <http://www.fopriderh.org/cms/librosvirtuales/1175041790.pdf>. Fecha de recuperación: 20 de mayo de 2009.
- Premuzic, Z., F. A. Lorio, A. Rendina, E. Mirabelli y J. P. Britcha. 2000. "Vermicompostaje de Residuos Sólidos." ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Disponible: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/iii-121.pdf>
- Quintero, R. R. 2004. "La Lombricultura como una alternativa para el aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos." Instituto Politécnico Nacional 12-17. Disponible en: http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/48356721.html. Fecha de recuperación: 16 de marzo de 2010.
- Reynolds, K. A. 2002. "Tratamiento de Aguas Residuales en Latinoamérica. Identificación del Problema." Agua Latinoamérica. 2:1-4. Disponible en: <http://agualatinoamerica.com/column.cfm?T=T&ID=71&AT=T>. Fecha de recuperación: 8 de diciembre de 2009.
- Röben, E. 2002. "Manual de Compostaje para Municipios." DED/ Ilustre Municipalidad de Loja. Pp. 28-29. Disponible en: <http://www.web-resol.org/Cartilha7/ManualCompostajeparaMunicipios.pdf>. Fecha de recuperación: 1 de junio de 2009.

- Rodríguez-Quiroz, G. 1998. "El Lombricompostaje de Biosólidos. Una Biotecnología alternativa para la obtención de bienes y servicios ambientales." El Colegio de la Frontera Norte. CICESE. Pp. 28-42. Disponible en: <http://docencia.colef.mx/node/435>. Fecha de recuperación: 23 de marzo de 2010.
- Rodríguez-Quiroz, G. y J. Paniagua-Michel. 2005. "El Vermicomposteo de Biosólidos y agua tratada en el Noroeste de México. Ecoparque, Un caso de estudio." Disponible en: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico2005/paniagua.pdf>. Fecha de recuperación: 6 de diciembre de 2009.
- Ruiz-Martínez, M. E., J. M. López-Fuentes, E. Calderón-Fabián, A. Bautista-Castillo, M.-R. M.L. y J. Ramírez-Trujillo. 2007. "Impacto de la lombricultura en el Municipio de Mazapiltepec de Juarez, Puebla." Memorias en extenso VI Congreso Internacional y XII Nacional de Ciencias Ambientales. 767-768. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/CHIHUAHU A/docs/141-162.pdf. Fecha de recuperación: 26 de mayo de 2010.
- Sánchez-Hernández, Z. E., M. A. Domínguez-Crespo y O. Hernández-Santos. S/F. "Propuesta para el tratamiento de Lodos Residuales de origen Urbano utilizando Vermicomposteo." 1-4. Disponible en: <http://www.gaarso.com.mx/coloquio/trabajos%20libres.htm>. Fecha de recuperación: 5 de mayo de 2010.
- Santamarina-Romero, S. y R. Ferrera-Cerrato. 2002. "Dinamica Poblacional de *Eisenia andrei* (Bouché 1972) en diferentes Residuos Orgánicos." Instituto de Recursos Naturales, Colegio de Postgraduados.: 301-310. Disponible en: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/573/57320309.pdf>. Fecha de recuperación: 29 de diciembre de 2009.
- Schmidt Jr., R.H. 1989. The arid zones of Mexico: climatic extremes and conceptualization of the Sonoran Desert. J. Arid Environ. 16: 241-256

- Schuldt, M. 2002. "Las lombrices utilizadas en Vermicultivos." Conicet, Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Disponible: <http://www.manualdelombricultura.com/foro/mensajes/1659.html>
- Schuldt, M., A. Rumi y G. D. E. Gutiérrez. 2005. "Determinación de "edades" (clases) en poblaciones de *Eisenia fetida* (Anhelida:Lumbricidae) y sus implicancias reprobológicas." Revista del Museo de La Plata. 17: 1-10. Disponible en: http://www.fcnym.unlp.edu.ar/publi/revista/zoologia/2005_17-170-zoologia_baja.pdf. Fecha de recuperación: 1 de junio de 2009.
- Schuldt, M. 2006. "Lombricultura. Teoría y Práctica." Mundi-Prensa Barcelona.: 35-55.
- Schuldt, M., R. Christiansen, L. A. Scatturice y J. P. 2007. (Vermiculture.Development and adaptation to diverse climatic conditions." REDVET. Revista Electrónica de Veterinaria. 8(8): 1-10. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n080807/080720.pdf>. Fecha de recuperación: 23 de mayo de 2009.
- Sherman, R. 2003. "Raising Earthworms successfully." Carolina del Norte. Servicio de Extensión cooperativa. Pp. 1-26. Disponible en: <http://www.bae.ncsu.edu/topic/vermicomposting/pubs/earthworms.pdf>. Fecha de recuperación: 25 de marzo de 2010.
- Statistical Analysis System (SAS) 1998. Versión 6.12. Cary, N. C. USA
- Toccalino, P. A., J. P. Roux y C. M. Agüero. 2004. "Comportamiento reproductivo de *Eisenia foetida* (Lombriz roja de California) durante las cuatro estaciones del año y alimentadas con distintos compostajes." Cátedra de Zoología y Recursos Fáunicos "B" - Facultad de Ciencias Veterinarias - UNNE. 15: 65-69. Disponible en: http://vet.unne.edu.ar/revista/15-2/revet15-2-2004-05_Tocln0.pdf. Fecha de recuperación: 11 de mayo de 2009.
- Toledo, A. 2002. "El Agua en México y el Mundo." Gaceta Ecológica. Instituto Nacional de Ecología. Pp. 9-18. Disponible en:

<http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/539/53906402.pdf>. Fecha de recuperación: 14 de diciembre de 2009.

Ugalde-Cortes, S. 2008. "Formato y procedimiento para la evaluación de Plantas de Tratamiento de Aguas negras y derivados." Instituto politécnico Nacional. Escuela superior de Ingeniería y Arquitectura. Pp. 20-22. Disponible en: <http://itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/123456789/3930/1/FORMATOYPROCEDIM.pdf>. Fecha de recuperación: 25 de mayo de 2010.

Utria, E., I. Reynaldo, A. Cabrera, D. Morales, Ada Morúa y Nereida Álvarez. 2006. Caracterización de los biosólidos de aguas residuales de la estación depuradora de aguas residuales "Quibú". Cultivos Tropicales, 27 (3): 83 – 87. Disponible en: http://www.inca.edu.cu/otras_web/revista/pdf/2006/3/CT27302.pdf. Fecha de recuperación: 13 de mayo de 2010.

Vera-Reza, A. M., E. Sánchez-Salinas, M. L. Ortiz-Hernández, J. L. Peña-Camacho y M. M. Ortega-Silva. 2006. "Estabilización de Lodos residuales municipales por medio de la técnica de lombricompostaje." Centro de Investigación en Biotecnología. Laboratorio de Investigaciones Ambientales. Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos. Pp. 1-11. Disponible en: http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/memorias/Extenso/TA/EO/TAO-24.pdf. Fecha de recuperación: 1 de diciembre de 2009.