

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**EVALUACIÓN DE NUTRIMENTOS Y CAPACIDAD REMEDIADORA  
DE LA LOMBRIZ DE TIERRA (*Eisenia foetida*) PARA EXTRAER  
PLOMO Y CADMIO DE PRECOMPOSTA EQUINA Y CAPRINA EN  
LA REGIÓN DE NAZAS, DURANGO**

**TESIS**

**QUE PRESENTA**

**CRISTIAN GIL PÉREZ VELÁZQUEZ**

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

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA**

**MARZO DE 2010**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

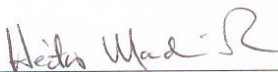
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**EVALUACIÓN DE NUTRIMENTOS Y CAPACIDAD REMEDIADORA  
DE LA LOMBRIZ DE TIERRA (*Eisenia foetida*) PARA EXTRAER  
PLOMO Y CADMIO DE PRECOMPOSTA EQUINA Y CAPRINA EN  
LA REGIÓN DE NAZAS, DURANGO**

TESIS DEL C. CRISTIAN GIL PÉREZ VELÁZQUEZ QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

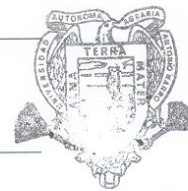
ASESOR:   
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR:   
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

COASESOR   
DR. ALFREDO OGAZ

COASESOR:   
BIOL. MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES

  
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO



COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

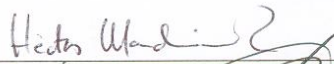
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


**EVALUACIÓN DE NUTRIMENTOS Y CAPACIDAD REMEDIADORA  
DE LA LOMBRIZ DE TIERRA (*Eisenia foetida*) PARA EXTRAER  
PLOMO Y CADMIO DE PRECOMPOSTA EQUINA Y CAPRINA EN  
LA REGIÓN DE NAZAS, DURANGO**

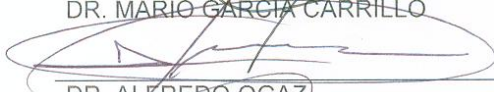
TESIS DEL C. CRISTIAN GIL PÉREZ VELÁZQUEZ QUE SE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

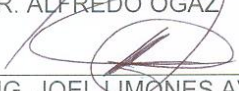
**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

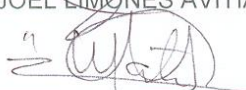
APROBADA POR:

PRESIDENTE:   
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:   
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:   
DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL SUPLENTE:   
ING. JOEL LIMONES AVITIA

  
M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División  
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA

MARZO DE 2010

## DEDICATORIAS

**A Dios**, por darme la vida y su bendición que me dio para poder salir adelante y poder realizarme como persona profesional en la etapa de la vida.

**A MIS ABUELOS.** En memoria a ellos que estuvieron ahí demostrando la lucha que se debe enfrentar en la vida, por darme ese moral consejo que marco en mí para ser una persona de valores, yo siempre los llevare en el corazón aunque algunos ya no estén presentes pero en corazón de la familia ocuparan ese gran espacio en bendición de Dios.

**En honor de mi hermanito Emilio**, gracias Dios por la salud que has dado a mi familia, y a mi hermano por el he contribuido en una profesión, por salir adelante para luego ejercerla y ayudarle siempre.

**A MI PADRE. Gildardo Pérez Borrallas** Una fuente ejemplar que me dio su apoyo en todos los ámbitos por estar justo donde lo necesito, persona que siempre ha sido para mí de gran admiración por sus atributos como padre, el ejemplo de ello he sabido valorarlo y por ser una persona fuerte que me vio crecer para hoy honrarle y demostrarle el resultado de los sacrificios que él hizo.

**A MI MADRE. Rosario Velázquez Morales**, una madrecita que ha estado siempre conmigo en mi corazón siempre la llevo, a ella siempre mis agradecimientos por la vida que me dio y me sigue dando, ella es la alegría y la mujer ejemplar que ha sabido comprenderme por ser la mejor madre por contribuir siempre en mi persona, gracias a mi Dios por tenerla, ella una persona fuerte que ha sabido salir adelante en la base de la familia y por siempre el apoyo que me ha

dado en todo y ser un fruto para honrarle siempre y sentirme orgulloso por la buena madre que me vio crecer.

**A MIS HERMANOS: Ilma, Lina, Suceli, Emilio, Ricardo, Leopoldo, Leandro y Rosi.** A ellos que han contribuido en mí una estrategia generosa, ayudándome en mi ámbito profesional y estando ahí una hermandad de personas que han sabido dar ejemplos y esos consejos que siempre los llevo. A mis hermanas una inspiración de alegría y ejemplos que han sabido sacar adelante a sus hijos que han enseñado esos valores y que parte de ello he obtenido. A mis hermanos que han hecho lo posible para que yo sea un producto de la generosidad y apoyo que ellos me brindaron, sobre todo a mi hermano Ricardo que ha llevado en mi agradecimientos por su apoyo incondicional tanto económica como moralmente por el esfuerzo que invirtió en mi, por ser uno de los hombres que ha sabido ganarse el empeño en cualquier situación y esos consejos optimistas que me brinda, a Leandro le agradezco su apoyo incondicional y seguir los pasos que él quiso seguir pero que hoy he contribuido a honrarle por aquellos tropiezos que hicimos juntos pero a pesar de eso hemos salido adelante como familia, menciono también a Abraham que ha sido como un hermano para mi agradezco su consejo, esa alegría y apoyo que da parte de la familia que ha sabido conquistar y esa amistad brindada que hemos llevado desde hace tiempo y por una ser persona que sale adelante siguiendo el camino que Dios ha dado.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS**, por darme la vida, y por darme la oportunidad de terminar una de mis metas que siempre me propuse hacer, por darme unos padres excelentes que siempre están en mi corazón y la enseñanza que han prolongado en mi gracias Dios sobre todo por la salud que me da día con día y salir adelante y ser quien por primera vez a sobresalido en la familia.

**A MI PADRE. Gildardo Pérez Borrallas**, le doy gracias por el apoyo que me brindó y el esfuerzo que hizo para que yo terminara mis estudios, siempre lo llevo en mi corazón para honrarle, obteniendo los resultados de los grandes esfuerzos que hizo.

**A MI MADRE. Rosario Velázquez Morales**, gracias a mi madrecita que se ha sacrificado siempre para que yo siga adelante, ella ha estado siempre conmigo en mi corazón siempre la llevo, a ella siempre mis agradecimientos por la vida que me dio y me sigue dando, y por darme la mejor herencia que hoy tengo, ya que por ella he logrado culminar siempre en mis estudios.

### **A MI ALMA TERRA MATER.**

Por abrir las puertas y prestar sus servicios que me permitieron desarrollarme durante mi estancia en la universidad, aprovechando los meritos que me otorgaron.

**A MIS COMPAÑEROS.** A todos y cada uno de los compañeros y amigos (a); que me permitieron convivir durante mi estancia en la Universidad y en esta ciudad. (Avisai, Luis, Edgar, Anita, Polita y Selene) entre otros presentes.

**Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos**, por su gran apoyo que me brindó en la realización del trabajo de investigación, dando ese concepto de enseñanza que siempre se lleva, a parte de un buen amigo que siempre será, le agradezco su generosidad y del tiempo suficiente que emprendió en mi trayecto profesional y sus atributos y ejemplos que siempre ha dado para salir adelante, ya que gracias a él obtuve la oportunidad de llevar a cabo el presente trabajo.

**Al Dr. Mario García Carrillo**, por participar en el trabajo de investigación empleando el tiempo requerido en la revisión, y por la enseñanza que nos dio para emprendernos profesionalmente.

**Al Dr. Alfredo Ogaz**. Por la amabilidad y apoyo en mi trabajo y la enseñanza que nos dio para prepararnos y seguir adelante.

**Ing. Joel Limones**. Por su tiempo incondicional en la enseñanza durante la estancia académica y concepto de enseñanza. Por ser partícipe del trabajo en revisión y entre otras cualidades.

**A la Biol. María Isabel**, por contribuir con su apoyo incondicional en el tiempo dentro de la universidad y por su generosidad en el trabajo. Gracias, una persona de buenos conceptos que nunca se olvida.

**A la q. Norma L. Rangel Carrillo** por el apoyo en los análisis de laboratorio, siendo muy paciente en su tiempo, para el resultado del trabajo realizado.

**MI YESENIA M. E. M.** Le agradezco siempre por brindarme su apoyo incondicional, por contribuir en mi persona, ella ha sido muy especial para mí, ya que como mi pareja, también ha sido una compañera que siempre se preocupó y me ayudó en mis actividades así como también económica y moralmente que siempre me dio gracias “nenita” yo siempre te llevo en mi corazón.

<b>ÍNDICE GENERAL</b>	<b>PAG.</b>
DEDICATORIAS.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	iii
INDICE GENERAL.....	v
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVO.....	3
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	3
HIPOTESIS.....	3
REVISION DE LITERATURA.....	4
Papel de las lombrices de tierra en la biorremediacion de suelos.....	4
Las lombrices de tierra y la descomposición de la materia orgánica.....	6
La lombriz de tierra ( <i>Eisenia foetida</i> , var. Red Hybrid).....	9
Taxonomía y atributos físicos de la lombriz de tierra.....	9
Nutrición de las lombrices y asociación antibiótica con hongos.....	10
Reproducción.....	11
Residuos orgánicos, consideraciones generales.....	12
Composición de algunos estiércoles.....	13
Estiércol producido en la Comarca Lagunera.....	14
Humus producido por la lombriz de tierra y sus características.....	14
Características del humus de la lombriz.....	15
Diferencias distintivas del humus de lombriz y fertilizantes inorgánicos.....	16
Separación de las lombrices de la vermicomposta.....	18
Deterioro de los suelos en la Comarca Lagunera.....	19
Ley, Reglamentos y Normas en materia de suelo.....	20
Normas de calidad.....	20
Reglamento interior de la SEMARNAT.....	22
Ley de la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos.....	23
NOMs en materia de suelo.....	24
Metales pesados en el ambiente.....	24
Efectos de los metales pesados en el suelo.....	26
Movilización de los metales pesados en el suelo.....	28
NOM-147 SEMARNAT/SSA 1-2004.....	30
Procesos de biorremediacion.....	31
Uso de composta para la biorremediacion de sitios con suelos muy perturbados y contaminados.....	31
Lombrices de tierra como biorremediadoras.....	32



Metales pesados.....	32
Hidrocarburos.....	35
MATERIALES Y METODOS.....	37
Localización geográfica del área de estudio.....	37
Clima y vegetación.....	37
Desarrollo del experimento.....	37
Trabajo de campo.....	38
Obtención de las muestras de precomposta equina y caprina mezclados.....	38
Obtención de muestras de vermicomposta equina y caprina.....	38
Obtención de las muestras de la lombriz roja californiana ( <i>Eisenia foetida</i> ).....	38
Trabajo de laboratorio.....	38
Determinación de Pb, Cd, As y Zn en precomposta y vermicomposta.....	39
Determinación de Pb, Cd, As y Zn en lombrices de tierra.....	40
RESULTADOS Y DISCUSION.....	41
Nutrimentos evaluados en vermicomposta.....	41
Concentraciones de Pb, Cd, As y Zn.....	49
Precomposta equina y caprina mezclados.....	49
Vermicomposta equina y caprina.....	50
Los metales pesados en las plantas.....	52
La lombriz roja californiana ( <i>Eisenia foetida</i> ).....	53
Retención de metales pesados en la lombriz roja californiana.....	54
Posibles fuentes que hicieron que los metales pesados en la lombriz sea elevada.....	56
CONCLUSIONES.....	58
RECOMENDACIONES.....	59
LITERATURA CITADA.....	60

## RESUMEN

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en un lombriciario del ejido Emilio Carranza municipio de Nazas, Durango, México. El objetivo fue evaluar los nutrimentos y determinar la capacidad de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) de extraer Pb y Cd en precomposta equina y caprina, en un lombriciario del ejido Emilio Carranza Municipio de Nazas, Durango. El estudio se realizó en el periodo de mayo a diciembre de 2009. El trabajo se dividió en dos fases: trabajo de campo y trabajo de laboratorio. Trabajo de campo: Obtención de las muestras de la precomposta de equina y caprina mezclados. Obtención de muestras de vermicomposta equina y caprina. Obtención de muestras de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*). Trabajo de laboratorio. Las muestras de la precomposta equina y caprina mezclados y vermicompostas; así como las muestras de lombrices. Se determinaron las concentraciones de As, Cd, Pb, y Zn en la precomposta. Mientras que en la vermicomposta además de los metales mencionados, también se llevaron a cabo los análisis de los siguientes parámetros: C.E, pH, N, P, K, Ca, Mg, M.O., C, ácidos fúlvicos y húmicos, Na, Fe, Cu. Determinación de Pb, Cd, As y Zn en precomposta y vermicomposta. Determinación de Pb, Cd, As y Zn, en lombrices de tierra. Los resultados indicaron que la calidad de los nutrimentos en cuanto a su composición y concentración es adecuada para usarla como fertilizante orgánico. Sin embargo, se detectó la presencia de Pb y Cd en la precomposta equina y caprina mezclados y vermicomposta que estuvieron fuera de los límites máximos

permisibles según la NOM -147 SEMARNAT /SSA1-2004. Asimismo, se detectaron altas concentraciones de Pb y Cd en las lombrices, lo que confirma que esta especie es un elemento biorremediador. El As no se presentó dentro de la lombriz.

**Palabras clave:** Nutrientes, biorremediación, precomposta, vermicomposta, metales pesados, Pb, Cd, As, lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

## INTRODUCCION

El incremento en los niveles de contaminación del suelo por muchos materiales entre ellos metales pesados ha resultado en un aumento en la investigación y desarrollo de métodos más efectivos para su biotransformación, existen muchas causas por las cuales se incrementan los metales en el suelo, sin embargo, entre otras, la actividad humana es la principal, siendo esta, sin duda, la causa frecuente de las concentraciones tóxicas.

En la mayoría de los casos es debido a los vertidos de desechos procedentes de las áreas industriales, áreas residenciales, agroindustriales, de la aplicación de plaguicidas, etc. originando alteraciones en los ecosistemas terrestres causando variaciones en sus propiedades fisicoquímicas y biológicas.

Al analizar específicamente los suelos de la región de Nazas Durango, se ve que estos han sido deteriorados, debido al uso excesivo de agroquímicos y por los escurrimientos mineros que llegan al río y a las parcelas agrícolas, liberados como consecuencia de la explotación minera, actividades que históricamente se han manifestado como parte del proceso de producción agrícola y minero en la región.

Consecuentemente, es muy probable que los residuos contaminantes se introduzcan a las cadenas y redes alimenticias, siendo los animales domésticos como el ganado caprino y equino, que al consumir alimentos contaminado produzcan estiércoles con elevada concentración de contaminantes, entre ellos

los metales pesados (Pb, Cd y As), al llevar a cabo el compostaje de este material, se observó una concentración elevada de los mencionados metales.

En el ejido Emilio Carranza del Municipio de Nazas, Durango, en el año 2007, se estableció un lombricario con el propósito principal de producir vermicomposta así como apoyar el saneamiento de la composta.

El concepto de biorremediación se utiliza para describir una variedad de sistemas que utilizan organismos vivos, siendo en este estudio la lombriz roja californiana, la empleada como organismo para efectuar la biorremediación de composta hecha en base a estiércol contaminado con metales pesados. En tal sentido la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en estudios anteriores (Macchi, 2006) ha demostrado capacidad para remover metales pesados (As, Hg) en el tiempo con un alto nivel de rendimiento.

El presente estudio se realizó con el fin de evaluar la capacidad de remoción, de metales contaminantes (Pb, Cd, As) en composta equina y caprina en el ejido de Emilio Carranza del municipio Nazas, Durango, usando la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

## **OBJETIVO**

### **OBJETIVO GENERAL**

Evaluar los nutrimentos y determinar la capacidad de la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) de extraer Pb y Cd en precomposta equina y caprina, en un lombriciario del ejido Emilio Carranza Municipio de Nazas, Durango.

### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Determinar los nutrimentos y sus concentraciones en vermicomposta caprina y equina.

Determinar las concentraciones de Pb, Cd, As y Zn en precomposta caprina y equina mezclados.

Determinar las concentraciones de Pb, Cd, As y Zn en vermicomposta caprina y equina.

Determinar las concentraciones de Pb, Cd, As y Zn en lombrices de tierra roja californiana (*Eisenia Foetida*).

## **HIPÓTESIS**

Los nutrimentos encontrados en la vermicomposta equina y caprina son de buena calidad

La lombriz roja californiana tiene la capacidad de descontaminar composta de estiércol equino y caprino contaminado con Pb, Cd, As.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Papel de las lombrices de tierra en la biorremediación de suelos**

Se habla y se escribe intensamente de la necesidad de conservar el medio ambiente. El hombre aparentemente no se ha dado (o no quiere darse) cuenta que el camino que está siguiendo lo lleva a la total destrucción del medio que lo rodea, que los recursos energéticos no renovables de los que dispone se van agotando y que su forma de vida destruye el planeta.

Los seres humanos están ineludiblemente vinculados al medio ambiente, a la naturaleza. Dentro de la naturaleza se ha encontrado la respuesta a muchos problemas de contaminación orgánica y es justamente allí donde nace la lombricultura donde se utilizan las lombrices como una respuesta simple, racional y económica a este problema, así como la biorremediación utilizando las lombrices para retener metales pesados (Pb, Cd, As). Paralelamente, como alternativa rentable solamente su desconocimiento ha permitido pasar por alto una gran fuente de riqueza que convierte los desperdicios orgánicos en un sustrato biológico muy rico en microorganismos no patógenos. Los elementos factibles de transformar por medio de la lombriz, son todo tipo de estiércoles (vacunos, caprinos, equinos, conejos, gallinas, etc.), materia vegetal (hojas, césped, rastrojos), papel, cartón, residuos orgánicos familiares, (restos de frutas, verduras, hierba), algunos residuos industriales (aserrín, sueros, gelatinas), el lodo de las plantas tratadoras de agua, y, en general, todos los residuos orgánicos que, con

poco costo y trabajo, se pueden transformar totalmente, obteniendo un nivel de higiene que de otra forma resultaría más costoso.

Aristóteles definió a las lombrices como el intestino de la tierra y hasta finales del siglo pasado fue cuando apareció la primera edición del libro “la formación del humus vegetal, donde Darwin, explica sus estudios y observaciones sobre el papel que desempeñan las lombrices en la transformación del suelo. Consciente de ello, algunos agricultores estadounidenses seguidores de Darwin empezaron a utilizar las lombrices para la mejora de la fertilidad de terrenos agrícolas, convirtiéndose así en los pioneros de la técnica agrícola biológica que se está utilizando de nuevo (Delgado, *et al*, 2004).

El estudio de las lombrices de tierra puede ser considerado como una propuesta realista y viable para el reciclaje de la materia orgánica, y una alternativa de biorremediación de los suelos sobre todo, considerando las condiciones económicas de nuestro país, esto no conlleva la utilización de tecnologías costosas o que implican el uso de equipo sofisticado y complejo, puede ser realizado a diferentes escalas sin que exista un tamaño mínimo de operación, su aplicación no contamina ni deja residuos sin utilizar y sobre todo, genera un producto que tiene una amplia aplicación tanto a nivel urbano como a nivel agrícola, como mejorador de los suelos a través de la biofertilización y como sustrato para el crecimiento de plantas con alto valor agregado. Su alto beneficio ecológico es en definitiva indudable, además de poder reducir y en algunos casos



hasta eliminar por completo el desperdicio y los problemas colaterales de la basura orgánica (García, 1996).

Esta biotecnología se inspira en el proceso que las lombrices han realizado durante millones de años en la naturaleza, pero se ha industrializado de tal manera, que en un periodo de tiempo más corto y en un área más reducida, puede lograr un producto que mantiene la misma calidad de aquel que se podría obtener en un bosque, fuente natural de producción de humus. Asimismo es importante resaltar que la lombricultura respeta y debe respetar su fuente natural de inspiración y debe llevarse a cabo como sucede en la naturaleza. La lombricultura más allá de ser un negocio es una filosofía de vida y como tal hay que ser consecuentes con estos ideales (Magnano y Gómez, 1999).

### **Las lombrices de tierra y la descomposición de la materia orgánica**

La descomposición es un proceso en cascada en el que la materia orgánica muerta experimenta una sucesión de transformaciones físicas y químicas en el suelo que conducen a la mineralización de una parte del recurso y al depósito de compuestos resistentes en forma de humus (Swift *et al.*, 1979). Los microorganismos producen las enzimas responsables de la descomposición bioquímica de la materia orgánica, pero donde son abundantes, las lombrices son elementos clave del proceso e influyen en él a través de efectos directos e indirectos. Las lombrices de tierra modifican la biomasa microbiana y su actividad de forma directa a través de la estimulación, digestión y dispersión de los

microorganismos e interaccionan con otros componentes biológicos del sistema del suelo, afectando en consecuencia a la estructura de las comunidades de la microflora y de la microfauna (Domínguez *et al.*, 2003; Lores *et al.*, 2006).

Los efectos indirectos derivan de los directos e incluyen procesos de envejecimiento y mezclado de materiales modificados por las lombrices con otros sustratos orgánicos no modificados por ellas. Como consecuencia de toda esta cascada de procesos, la materia orgánica del suelo conforma una matriz espacial y temporalmente heterogénea con características diferentes resultantes de las distintas tasas de degradación que tienen lugar durante la descomposición (Moore *et al.* 2004).

La descomposición de la materia orgánica incluye dos fases diferentes en relación a la actividad de las lombrices de tierra, una fase activa o directa, durante la cual las lombrices procesan la materia orgánica, modificando sus propiedades físicas y su composición microbiana (Lores *et al.* 2006), y una fase de maduración o indirecta durante la que los microbios asumen el control de la descomposición del material previamente procesado por las lombrices (Domínguez 2004).

La duración de la fase activa no es fija, y depende de la especie y de la densidad de lombrices, así como de sus tasas de ingestión y procesamiento de materia orgánica (Aira y Domínguez 2008).

Las lombrices participan en la descomposición de la materia orgánica a través, en primer lugar, de los procesos asociados al paso a través de sus intestinos (PAIs), que incluyen todas las modificaciones que la materia orgánica en descomposición

y los microorganismos sufren durante ese tránsito. Estas modificaciones incluyen la reducción del tamaño de partícula tras el paso por la molleja, la adición de azúcares y otras sustancias, la modificación de la actividad y de la diversidad microbiana, la modificación de las poblaciones de la microfauna, la homogeneización del sustrato y los procesos intrínsecos de digestión y asimilación; incluyen también la producción de moco y sustancias excretoras como la urea y el amonio, que constituyen una fuente de nutrientes fácilmente asimilables para los microorganismos. La descomposición se ve también favorecida por la acción de microorganismos endosimbiontes que viven en el intestino de las lombrices. Estos microbios producen enzimas extracelulares que degradan celulosa y distintos compuestos fenólicos, aumentando la degradación del material ingerido. Otras modificaciones físicas del sustrato originadas por las actividades excavadoras de las lombrices, como la aireación y la homogeneización del sustrato, también favorecen la actividad microbiana y por consiguiente la descomposición de la materia orgánica (Domínguez 2004).

La actividad directa de las lombrices aumenta significativamente la mineralización del carbono y nitrógeno en el sustrato, y tales efectos son proporcionales a la densidad de lombrices (Aira *et al.* 2008). Otros autores han encontrado respuestas similares en organismos detritívoros involucrados en la descomposición de la materia orgánica (Aira *et al.* 2002).

## La lombriz de tierra (*Eisenia foetida*. Var. Red Hybrid)

**Taxonomía y atributos físicos de la lombriz de tierra.** La lombriz está clasificada en el reino animal como Anélido terrestre de la clase de los Oligoquetos cuya taxonomía se presenta en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Taxonomía de la lombriz de tierra roja californiana.

<b>Reino</b>	Animal
Subreino	Metazoos
Phylum	Protostomia
Grupo	Annelida
Orden	Oligochaeta
Familia	Lumbricidae
Genero	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>Foetida</i>
Variedad	Red hybrid

Fuente: Peñaranda, C. G. 1998. Curso Teórico y Práctico de Lombricultura.

En el Cuadro 2, se pueden observar los atributos físicos y reproductivos de la lombriz roja californiana. Tiene un color rojo- rosa, el tamaño varía de 7 a 12 cm, en promedio, el peso varía de 1-2.5 g en una lombriz de 6 meses de edad y varía de acuerdo a la especie, la madurez sexual la adquieren a las 10-12 semanas, la copulación después de que llegaron a la madurez ocurre cada 7 días, la deposición del cocón es cada 10 días, la eclosión del cocón es entre 15 y 20 días,

la longevidad es de 15 a 16 años. Para que ocurran estos eventos se requieren condiciones favorables, como una temperatura óptima de 25 °C.

Cuadro 2. Atributos morfológicos y fisiológicos de las lombrices de tierra.

Atributo:		Atributo:	
Color	Rojo-rosa	Copulación	Cada 7 días
Tamaño	7-12 cm	Adulto	6 meses
Peso	1 –2.5 g	Temperatura óptima	25 ° C
Madurez sexual	10-12 semanas	Deposición de cocón	Cada 10 días
Eclosión de cocón	Entre 15 y 20 días	Longevidad	15 a 16 años

Fuente: Raspeño, 1996. Lombricultura-Compost.

Años de investigación llevaron al descubrimiento de la lombriz *RED HYBRID*, en California en el año 1954, es de un color rojo oscuro, muy prolífica y con una longevidad cuatro veces superior a la de la lombriz común; 15 a 16 años de vida. (Raspeño, 1996).

**Nutrición de las lombrices y asociación antibiótica con hongos.** La lombriz californiana avanza excavando en el terreno a medida que come, depositando sus deyecciones y convirtiendo este terreno en uno mucho más fértil que el que pueda lograrse con los mejores fertilizantes artificiales.

Las lombrices consumen residuos animales y vegetales en proceso de descomposición, es decir pre-digeridos por microorganismos especializados:

bacterias, hongos y otros. Estos degradan las proteínas y la celulosa transformándolas en sustancias más simples y de fácil asimilación (por ejemplo los aminoácidos, resultantes de la digestión aeróbica de las proteínas).

También se nutren con diminutos hongos y por supuesto, los antibióticos que se encuentran en ellos que le sirven al animal para inmunizarse y crecer. Cuando la lombriz elimina mediante la excreción las moléculas de estos antibióticos, dejará una masa bacteriana antibiotizada, compuestos bioestimulantes que estaban contenidos en el citoplasma de los hongos y microorganismos fúngicos en disminución. Se calcula la presencia de 2 billones de bacterias por gramo de vermicomposta. Su acción antibiótica aumenta la resistencia de las plantas al ataque de plagas y patógenos como también la resistencia a las heladas.

Las lombrices adultas pesan de 0.24 hasta 1.4 gramos, comiendo una ración diaria que tiende su propio peso, de la cual un 55 % se traduce en abono, Las lombrices en busca de alimento irán a su nuevo lugar rápidamente (el 50 % de las lombrices llegará en solo unas horas).

Los excrementos de la lombriz contienen:

5 veces más nitrógeno, 7 veces más fósforo, 5 veces más potasio, 2 veces más calcio, que el material orgánico que ingirieron.

**Reproducción.** Las lombrices son hermafroditas, o sea que poseen los dos sexos, aunque para poder reproducirse requieren de la presencia de otra lombriz.

Al acoplarse con otra lombriz, las dos quedan fecundadas y producen dos huevos o cápsulas, la lombriz es posible fecundarse cada semana.

Si la temperatura y la humedad son adecuadas, los huevos revientan entre los 15 y los 20 días.

Cada huevo contiene de 2 a 20 lombrices, el huevo, que mide de 3 a 4 milímetros de diámetro, es de color amarillo en estado fresco, a medida que pasan los días, se vuelve de color marrón oscuro hasta eclosionar o reventar.

Una lombriz es capaz de producir alrededor de 1500 lombrices en un año, en 5 generaciones.

La lombriz es adulta a partir de los 90 días, en los que mide 3 cm de largo. Alcanza su máximo tamaño a los 7 meses y puede llegar a vivir hasta 16 años. La longitud máxima de la lombriz oscila entre 7 y 12 cm.

Un cultivo normalmente se duplica cada 3 meses, es decir que al cabo de un año crece 16 veces, en dos años aumenta 256 y en tres llega a 4 096 veces el tamaño inicial.

### **Residuos orgánicos, consideraciones generales**

El confinamiento de los animales en establos genera un cumulo de excrementos mezclados con restos de alimentos y camas, al realizarse la limpieza y descargarlos en montones, entran espontáneamente en fermentación.

Desde el punto de vista biológico, los estiércoles presentan una gran cantidad de microorganismos.

El estiércol fresco es rico en bacterias que viven en el aparato digestivo del animal. Al comienzo se observa una multiplicación de bacterias predominando sobre hongos y actinomicetos, pero posteriormente aquellas disminuyen a favor de estos.

### **Composición de algunos estiércoles**

Son variables y muy influenciados por varios factores.

Especie animal

Raza

Edad

Alimentación (calidad y cantidad)

Tratamiento de la materia prima

De todos estos factores, quien provoca mayor variabilidad es la cantidad y calidad del alimento.

En promedio, de la cantidad de nitrógeno, fósforo y potasio ingeridos por los animales adultos, el 80 % es eliminado.

La materia orgánica de los alimentos se asimila apenas el 40 % del total ingerido, por esa razón, los animales alimentados con raciones concentradas producen deyecciones con más nutrientes que los criados a campo.

Los animales jóvenes aprovechan mejor el alimento, reteniendo cerca del 50 % de lo ingerido, produciendo un estiércol, más pobre.



## **Estiércol producido en la Comarca Lagunera**

En la Comarca Lagunera se encuentra una de las cuencas lecheras más importante del país, debido a esto se genera gran cantidad de desechos orgánicos (heces fecales). Tan solo en 1999 se contó con 379, 809 cabezas de ganado vacuno, en cabezas de caprino se encontró 193,868.8. En el 2000, esta región era la principal cuenca lechera del país, con un inventario de 393,057 bovinos y 448,135 caprinos; en producción había 196,833 vacas. Tomando en cuenta que cada cabeza excreta alrededor de 32.9 kg por día de estiércol; se tiene que al mes se generaron para el 2000 una cantidad de 12, 495, 716 toneladas que la mayoría no está siendo utilizado en algún tratamiento; si no mas bien, en algunas partes de la región está siendo uno de los elementos de contaminación al medio, por lo tanto se tienen suelos pobres en materia orgánica.

Cuando se piensa en una actividad, con el objetivo principal del reciclaje, no es indispensable estudiar en detalle el mercado, ya que el beneficio principal es otro y el posible ingreso por ventas es secundario como es el caso del humus que vuelve a ser incorporado al suelo en abono biorgánico, hablando desde el punto de vista biorremediador.

## **Humus producido por la lombriz de tierra y sus características**

El producto orgánico que ofrece esta especie biorremediadora es llamado humus o también conocido como vermicomposta, es el fertilizante orgánico por

excelencia, y es el producto que sale del tubo digestor de la lombriz, su color que varía entre negro, café oscuro y gris, dependiendo del desecho reciclado, no tiene olor y es granulado, con un agradable olor a mantillo del bosque. Es limpio, suave al tacto y su gran bioestabilidad evita su fermentación o putrefacción.

Contiene una elevada carga enzimática y bacteriana que aumenta la solubilización de los nutrientes haciendo que puedan ser inmediatamente asimilables por las raíces. Por otra parte, impide que estos sean lavados por el agua de riego manteniéndolos por más tiempo en el suelo; el cual permite de la disponibilidad de los nutrientes cuando la planta lo requiera, tiene un peso específico menor de 1 (pesa menos que el suelo v/v). Puede encontrarse una carga de microorganismos 10 veces más que en la tierra común (100 a 200 millones/ cucharada de té)

**Características del humus de lombriz.** La característica más importante del humus es su alta carga microbiana, la cual le hace ubicarse como un material regenerador del suelo. Con un pH prácticamente neutro, con valores que oscilan entre 6.8 y 7.2, características que le permiten ser aplicadas, aún en contacto directo con las semillas (Martínez, 1999).

Es considerado como el mejor abono orgánico del mundo porque corrige y mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo. (Legall, *et al.*, 1999).

La composición y calidad del vermicomposta está en función del valor nutritivo de los desechos que consume la lombriz: una mezcla bien balanceada permite

obtener un material de excelente calidad. Aun así la calidad de los nutrientes contenidos en el vermicomposta es muy variable (Cuadro 3).

**Diferencias distintivas humus de lombriz y fertilizantes inorgánicos.** El humus es competente porque no caduca, distinto a los fertilizantes, también se consideran los efectos colaterales de los químicos; ya que por más pequeñas que sean aumentan su valor, sin embargo en la vermicomposta no hay problema alguno en caso de usar dosis excesivas, éstas tendrían disponibles sus elementos nutritivos en el momento y tiempo que la planta lo necesite. La vermicomposta resulta rica en elementos nutritivos, rindiendo en fertilidad 5 a 6 veces más que con el estiércol común (Ferruzzi, 1994).

Ravera (1999) señala que los experimentos efectuados con vermicomposta en distintas especies de plantas, demostraron el aumento de las cosechas en comparación con aquellos provenientes de la fertilización con estiércol, o con abonos químicos como se puede apreciar (Cuadro 4).

Se han realizado pruebas comparativas de productividad en terrenos tratados con abono químico durante seis años; soportando un solo cultivo, y otros con vermicomposta. Los resultados, luego de 6 años de prueba fueron los siguientes: el primer año el incremento logrado con vermicomposta fue de 250 %, el segundo 150 %, el tercero 100 %, el cuarto de 70 %. Esta ventaja además del rendimiento obtenido se descarta efectos negativos por químicos al suelo y el ahorro de costos de operaciones de fertilizaciones convencionales cada año. Así, por ejemplo experiencias indican que se ha logrado precocidad en hortalizas; la colecta de

berenjenas en solo 65 días, tomates en 55 días y las achicorias con hojas muy tiernas cuando alcanzaron una altura de 35-45 cm. (Ferruzzi, 1994).

Cuadro 3. Valores nutritivos del humus de lombriz de tierra.

Parámetros	Valor
Humedad	30-60%
PH	6,8-7,2
Nitrógeno	1-2,6%
Fósforo	2-8%
Potasio	1-2,5%
Calcio	2- 8%
Magnesio	1-2,5%
Materia orgánica	30-70%
Carbono orgánico	14-30%
Ácido fúlvicos	2-3%
Ácido húmico	5-7%
Sodio	0,02%
Cobre	0,05%
Hierro	0,02%
Boro	3-10 ppm
Zinc	85-400 ppm
Cobalto	10-20 ppm
Manganeso	0,006%
Relación N/C	10-11%
Conductividad eléctrica (CE)	3.0 mmhos/cm

Fuente: Ravera *et al.*, 1999.

Cuadro 4. Producción en kg /ha conseguidos con la fertilización de vermicomposta y agroquímicos.

Especie vegetal	Vermicomposta	Agroquímicos
Trigo	116	40
Maíz	210	70
Zanahoria	520	20
Berenjenas	600	200
Tomates	820	400
Papas	350	100
Soja	52	28

Fuente: Ravera, 1999. Como criar lombrices rojas californianas.

Por otra parte, influye en forma efectiva en la germinación de las semillas, favorece la formación de micorrizas, acelera los procesos fisiológicos de brotación, floración, maduración, sabor y color.

La vermicomposta aumenta notablemente el porte de plantas, árboles y arbustos en comparación con otros ejemplares de la misma edad. Durante el trasplante previene enfermedades y evita el shock por heridas o cambios bruscos de temperatura y humedad. Se puede usar sin inconvenientes en estado puro y se encuentra libre de organismos patogénicos.

**Separación de las lombrices de la vermicomposta.** Una vez separadas las lombrices, se procede a retirar el la vermicomposta con carretillas o maquinaria según sea la capacidad productiva, cuando no se usa al instante puede almacenarse en sacos de 40 a 50 kilogramos que tengan aireación y bajo sombra; puesto a que hay una gran serie de actividad microbiana que es la que le da la calidad al producto como uno de los mejores fertilizantes orgánicos.

La vermicomposta puede almacenarse por mucho tiempo sin que se alteren sus propiedades, pero es necesario que mantenga siempre cierta humedad, la óptima es de 40% (Espinoza, 1999).

Se puede afirmar que la vermicomposta no tiene fecha de caducidad para ser utilizada; cosa que ocurre con los fertilizantes químicos. Esto indica que el humus de lombriz tiene duración ilimitada.

## **Deterioro de los suelos en la Comarca Lagunera**

En general los suelos de la laguna fueron durante siglos enriquecidos con el arrastre de limos que provocaban las avenidas del Nazas y el Aguanaval, sin embargo el represamiento de los ríos (presas el “Palmito” y “Tortolas” en el Nazas y “Cazaderos” en el Aguanaval), disminuyeron drásticamente la contribución de la fertilización natural, con lo que floreció la industria de los fertilizantes en la región. Lo anterior provocó ciertamente una regularidad en los riegos y en las superficies susceptibles de regar pero incrementó año con año el costo de los cultivos, por el incremento en el uso y precio de los fertilizantes.

El uso de fertilizantes químicos en la región actualmente es práctica común, sin embargo ello ha traído consecuencias graves en los suelos de la Comarca tal y como lo reporta Carrillo (1997) en su tesis doctoral. El uso indiscriminado y negligente de estos productos, está llegando al límite de tolerancia ambiental afectando con ello a la biodiversidad.

Si bien es cierto, los fertilizantes no son los causantes directos de la contaminación agrícola, más bien es el uso indiscriminado y negligente de estos productos, que ya está llegando a su límite de tolerancia afectando a la biodiversidad.

En función de lo anterior la utilización de las lombrices contribuye enormemente a reducir el impacto producido por estos productos, y ayuda a conservar el medio natural, donde el hombre también es un ser vivo y tarde o temprano podría sufrir las consecuencias por destruirlo (Magnano y Gómez, 1999).

En la Comarca Lagunera el uso de la composta se ha incrementado gradualmente, ya que el humus se considera como materia principal, los productores de la región la han preferido fundamentalmente por su bajo precio; el aprovechamiento de este recurso abundante contribuye en forma importante en la disminución de la contaminación en los suelos. Sin embargo, la composta que se está produciendo la mayor parte de las veces está contaminada como consecuencia del alimento contaminado que se les proporciona a los animales. Una opción de descontaminación es emplear las lombrices de tierra para lograr una vermicomposta menos contaminada o libre de contaminantes, como es el caso de los metales pesados.

### **Ley, Reglamento y Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelo**

**Normas de Calidad.** Actualmente existe la Ley General de Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LGEEPA) que es la que regula lo relacionado a la contaminación.

La regulación para la prevención y control de la contaminación de los suelos, así como para su remediación se contempla en los siguientes artículos de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

En el artículo 134 se refiere a la prevención y control de la contaminación del suelo y considera que corresponde al estado y a la sociedad prevenir la contaminación del suelo, así como también que deberán ser controlados los residuos en tanto que constituyen la principal fuente de contaminación de los suelos. Esta Ley agrega también que es necesario prevenir y reducir la generación de residuos

sólidos, municipales e industriales; incorporar técnicas y procedimientos para su reutilización y reciclaje, así como regular su manejo y disposición final eficiente.

Dicha ley señala que la utilización de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas debe ser compatible con el equilibrio de los ecosistemas y considerar sus efectos sobre la salud humana a fin de prevenir los daños que pudiera ocasionar, y que en los suelos contaminados por la presencia de materiales o residuos peligrosos, deben llevarse a cabo las acciones necesarias para recuperar o restablecer sus condiciones.

El artículo 135 establece los criterios para prevenir y controlar la contaminación del suelo en diversos casos tales como la ordenación y regulación del desarrollo urbano; operación de los sistemas de limpia y de disposición final de residuos municipales en rellenos sanitarios.

El artículo 136 contempla que los residuos que se acumulen o no puedan acumularse y se depositen en los suelos, deben reunir las condiciones necesarias para prevenir o evitar la contaminación del suelo, así como las alteraciones nocivas en el proceso biológico del suelo y que perjudiquen su aprovechamiento, explotación, evitando de esta manera los riesgos a la salud.

El artículo 143 establece que los plaguicidas, fertilizantes y demás materiales peligrosos, quedaran sujetos a las normas oficiales mexicanas que expidan en el ámbito de sus respectivas competencias, la Secretaria y las Secretarías de



Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural, de Salud y de Comercio y Fomento Industrial. El reglamento de la LGEEPA incluirá la regulación, que dentro del mismo marco de coordinación, debe observarse en actividades relacionadas con dichos materiales, incluyendo la disposición final de sus residuos, empaque y envases vacíos, medidas para evitar efectos adversos en los ecosistemas y procedimientos para el otorgamiento de las autorizaciones correspondientes.

Artículo 152 cuando la generación, manejo o disposición final de materiales o residuos peligrosos, produzca contaminación del suelo, los responsables de dichas operaciones deberán a llevar a cabo las acciones necesarias para recuperar y restablecer las condiciones del mismo, con el propósito de que este pueda ser destinado a alguna de las actividades prevista en el programa de desarrollo urbano o de ordenamiento ecológico que resulte aplicable, para el predio o zona respectiva.

Aunque se cuenta con estos artículos en la LGEEPA es necesario asentar en esta ley dos aspectos primordiales, primero introducir el concepto de biorremediación, y segundo que el gobierno federal tenga atribuciones específicas para regular en materia de biorremediación del suelo.

### **Reglamento interior de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales**

En el capítulo primero (de la competencia y organización de la secretaria), artículo 2, dice que para el estudio, planeación y despacho de sus asuntos, la secretaria

contara con los servicios públicos y unidades administrativas estableciendo en la fracción XXIV de la Dirección general de gestión forestal y de suelos (INE, 2006).

### **Ley de la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo y sus recursos**

En el capítulo segundo de la ley, artículo 98 establece que para la preservación y aprovechamiento sustentable del suelo se consideran: el uso del suelo que debe ser compatible con su vocación natural y no debe alterar el equilibrio de los ecosistemas; el uso de los suelos debe hacerse de manera que estos mantengan su integridad física y su capacidad productiva; los usos productivos del suelo deben evitar prácticas que favorezcan la erosión, degradación o modificación de las características topográficas, con efectos ecológicos adversos; en las acciones de preservación y aprovechamiento sustentable del suelo, deberán considerarse las medidas necesarias para prevenir o reducir su erosión, deterioro de las propiedades físicas, químicas o biológicas del suelo y la pérdida duradera de la vegetación natural; en las zonas afectadas por fenómenos de degradación o desertificación, deberán llevarse a cabo las acciones de regeneración, recuperación y rehabilitación necesarias, a fin de restaurarlas, y la realización de las obras públicas o privadas que por sí mismas puedan provocar deterioro severo de los suelos, deben incluir acciones equivalentes de regeneración, recuperación y restablecimiento de su vocación natural.

## **Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelo**

NOM-020.RECNAT-2001.- Que establece los procedimientos y lineamientos que se deberán observar para la rehabilitación, mejoramiento y conservación de los terrenos forestales de pastoreo. Su aplicación es específica a empresas dedicadas a la explotación y aprovechamiento forestal.

NOM-021-RECNAT-2000.- Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudios, muestreo y análisis. Se aplica a empresas dedicadas a la investigación y clasificación de suelos.

NOM-060-ECOL-1994.- Establece las especificaciones para mitigar los efectos adversos ocasionados en los suelos y cuerpos de agua por el aprovechamiento forestal. Se dirige a empresas dedicadas a la explotación y aprovechamiento forestal.

Se entiende por residuo cualquier material generado en los procesos de extracción, producción, consumo, control o tratamiento cuya calidad no permita usarlo nuevamente en el proceso que lo generó (Díaz, 1993).

## **Metales Pesados en el Ambiente**

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve *et al.*, 2000). Además son definidos como elementos con

propiedades metálicas (conductibilidad, ductilidad, etc.), número atómico mayor de 20, y cuya densidad es mayor a los 5 g cm<sup>3</sup>. Se consideran metales pesados el plomo, cadmio, cromo, mercurio, zinc, cobre, plata y arsénico, constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos son esenciales para las células como el Zn y Cu, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, tales como humanos, organismos del suelo, plantas y animales (Spain, 2003).

Estos contaminantes pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Zhang y He, 2006).

Las principales fuentes de metales pesados son actividades naturales, como desgastes de cerros, volcanes, que constituyen una fuente relevante de los metales pesados en el suelo, así como también actividades antropogénicas como la industria minera que está catalogada como una de las actividades industriales más generadora de metales pesados.

En el suelo, los metales pesados, están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos, (Pineda *et al.*, 2004).

Dentro de los metales pesados hay dos grupos; oligoelementos o micronutrientes: son los requeridos en pequeñas cantidades o cantidades traza por plantas y animales y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Como el As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y metales pesados sin función biológica conocida, cuya presencia en determinadas cantidades en seres vivos lleva apareja disfunciones en el funcionamiento de sus organismos. Resultan altamente tóxicos y presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, el Cd, Hg, Pb, Sb, Bi, Sn, Tl (García y Dorronsoro, 2005).

### **Efecto de los Metales Pesados en el Suelo**

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martín, 2000).

En el suelo, los metales pesados están presentes como iones libres, compuestos metálicos solubles, compuestos insolubles como óxidos, carbonatos e hidróxidos. Su acción directa sobre los seres vivos ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, es decir, la inactivación enzimática por la formación de enlaces entre el metal y los grupos –SH (sulfhidrilos) de las proteínas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales (Wang *et al.*, 2007).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la movilidad del catión, debido a que en medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidróxidos. En medios muy alcalinos, pueden nuevamente pasar a la solución como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por el pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway, 1995).

La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales, como es el Cu, que pueden quedar en forma no disponible por las plantas, motivo por el cual, algunas plantas crecidas en suelos ricos en materia orgánica, presentan carencia de elementos como el Cu, Pb y Zn, eso no significa que los suelos no estén contaminados ya que las poblaciones microbianas se reducen

notablemente. La textura favorece la entrada e infiltración de la contaminación de metales pesados en el suelo, por ejemplo la arcilla tiende a adsorber a los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio, por el contrario los suelos arenosos carecen de capacidad de fijación de los metales pesados, los cuales pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos (Pineda *et al.*, 2004).

### **Movilización de Metales Pesados en el Suelo**

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli *et al.*, 2004).

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo (Han *et al.*, 2003).

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al

agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica.

Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura; naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad.

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (García y Dorronsoro, 2005).

Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos (Banat *et al.*, 2005). La toxicidad de los metales depende no sólo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino *et al.*, 2002).



En virtud de que los elementos contaminantes pueden estar presentes en el suelo de manera natural y en ocasiones en concentraciones tales que pueden representar un riesgo para la salud de la población humana o de los ecosistemas, es importante establecer criterios para determinar la contaminación antropogénica en suelos y en su caso las concentraciones de remediación.

#### **NOM-147 SEMARNAT/SSA1-2004**

De acuerdo a la Norma que se establece, existen límites máximos permisibles para suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y/o vanadio. Cuando al menos una de las concentraciones de estos elementos se encuentre por arriba de los límites máximos permitidos es necesario implementar acciones de remediación (Cuadro 5).

Cuadro 5. Límites máximos permisibles de diferentes contaminantes en el suelo.

<b>Contaminante</b>	<b>Uso agrícola/residencial(mg/kg)</b>	<b>Uso industrial (mg/kg)</b>
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	550	7200

PROY-NOM-147 SEMARNAT/SSA-2004

## **Procesos de biorremediación**

La contaminación del ambiente son por los compuestos orgánicos persistentes como son los plaguicidas, bifenilos policlorados y los metales pesados (Cd, Cr, Pb y As).

Se han hecho trabajos como medidas biorremediadoras y para esto se ha llevado a cabo la utilización de algunos organismos, ya que en el laboratorio se estudian los procesos de biorremediación (con especies siendo este, la *Esenia foetida*), para la eliminación de metales pesados o compuestos orgánicos contaminados. Se emplean microorganismos nativos (de suelo y de residuos agroindustriales) así como también de vegetales (Fitorremediación).

La eficiencia de la biorremediación se comprueba con: técnicas analíticas de cromatografía, absorción atómica, infrarrojas y complementadas con bioensayos a diferentes niveles tróficos (Pruebas de Ecotoxicidad) (Rodríguez, 2006).

La biorremediación se debe aplicar a nivel de campo, ya que esta información generada ha sido considerada en la Norma Oficial Mexicana NOM-ECOL-138 y el anteproyecto de Norma sobre Bioensayo.

## **Uso de la composta para la biorremediación de sitios con suelos perturbados o contaminados**

Como consecuencia de las transformaciones del material y de las diversas sucesiones que se realizan durante el composteo, la composta tiene una alta diversidad microbiana (Beffa *et al*, 1996; Persson *et al*, 1995), con poblaciones microbianas mucho mayores que los suelos fértiles y que los suelos muy

perturbados o contaminados. Por lo tanto, en la mayoría de los casos la adición de composta incrementa grandemente las poblaciones y la actividad microbiana. Una de las principales quejas sobre los métodos de biodegradación en fase sólida es que son muy lentos. El empleo del proceso o la adición de composta madura a las biopilas reducen el tiempo de limpieza de suelos contaminados.

### **Lombrices de tierra como biorremediadoras**

**Metales pesados.** Monard (2008), señala que la *E. foetida* cambia las propiedades físicas y químicas del suelo, actúan en conjunto con las comunidades microbiológicas, y pueden ser capaces de mineralizar los contaminantes presentes en este.

La lombriz *E. foetida* tiene una gran facilidad de ser cultivadas, además de ser un macroorganismo fuerte y con gran capacidad biorremediadora y tolerancia a los altos rangos de temperatura, humedad y potencial de acidez (Callaham *et al.*, 2002). Además de determinar la capacidad biorremediadora o de inmovilizar los metales pesados (Cd, As, y Pb) por la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), se trata de establecer las concentraciones del metal que permitan su crecimiento y reproducción bajo estas condiciones.

Si se habla de reducir el impacto ambiental de nuestras actividades o para biorremediar suelos con metales pesados, sin lugar a dudas, la lombriz roja californiana, *Eisenia foetida*, es el aliado más importante del ser humano; la razón es muy simple: consume residuos y excreta vermicomposta o sea que transforma la contaminación en la riqueza del suelo. Precisamente a la inversa nuestra, que

consumimos elementos cuya producción genera degradación del suelo y al mismo tiempo nuestros residuos contaminan el medio ambiente. En tal sentido la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en estudios de Macchi (2006) demostró que tiene la capacidad para remover metales pesados (Ar, Hg) en el tiempo con un alto nivel de rendimiento, disminuyendo la concentración de estos metales en suelos.

La *Eisenia foetida* ha sido estudiada desde hace tiempo, en dichos estudios se han obtenido resultados notables eficientemente como biorremediadoras tal es el caso del Vertedero de Pavia en el Estado Lara que recibe gran cantidad de desechos sólidos provenientes del municipio Iribarren y Palavecinos, los cuales ocasionan un aumento en las concentraciones de metales pesados (Pb, Cd, Zn y Cr entre otros) y con ello el aumento progresivo de la toxicidad pues su tiempo de residencia en los suelos es alto. Estos niveles crecientes de contaminación representa un peligro latente para futuras generaciones en la medida en que se sigan acumulando desechos que aumentan los contenidos de metales pesados y otros contaminantes; Bajo esta perspectiva y teniendo en cuenta el gran impacto ambiental ocasionado por su acumulación, se propone utilizar la lombriz roja californiana (*Esenia Foetida*) para la remoción, ya que en estudios anteriores (Macchi, 2006) se obtuvieron resultados satisfactorios en cuanto a la disminución de arsénico y mercurio en los mismos suelos.

Posterior al uso de la lombriz roja californiana como elemento biorremediador, se evaluaron los niveles presentes en estos suelos para concluir sobre la capacidad de remoción que tienen las lombrices sobre estos metales en los suelos del

Vertedero de Pavia. El vertedero de Pavia ha sido estudiado en otras oportunidades, tal es el caso de Castillo (Rodríguez y Contreras, 2005), el cual tuvo como objetivo evaluar los suelos del vertedero de Pavia en función del contenido de arsénico y mercurio donde se encontraron valores promedio de 6.1639 mg AS. Suelo y 13.0531 mg Hg suelo. Aparte que se optimizaron las variables para las mediciones de dichos metales y observándose que el impacto ambiental se acentuaba más para el mercurio el cual siempre estaba por encima de los valores permitidos.

En el estado Lara el vertedero de Quibor también ha sido objeto de estudio referentes a contaminación con metales pesados, tal es el caso de Venegas (2006), este trabajo tuvo como objetivo fundamental la determinación de arsénico, mercurio y plomo en el vertedero de Quibor, donde se obtuvieron resultados que variaron entre 13.52 ppm - 31.09 ppm para el arsénico, 1.00 ppm - 5.06 ppm para el mercurio y 98 ppm – 558 ppm para el plomo, todos estos valores están por encima de los niveles permitidos por la Gaceta Oficial Venezolana y según la EPA, presentando un riesgo para los habitantes de las zonas cercanas al vertedero y para todos los seres vivos en contacto con sus alrededores, siendo de gran importancia que los entes gubernamentales tomen medidas para el control de este vertedero, el cual es un potencial riesgo para el medio ambiente desde todo punto de vista. En el caso de biorremediación Macchi (2006), realizó un trabajo el cual estuvo orientado a evaluar la remoción de arsénico y mercurio en vermicomposta y suelos contaminados con dichos elementos, utilizando la lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*) como biorremediadora de los mismos. Finalmente se obtuvo una

remoción de 94% para el mercurio y de 42% para el arsénico, aparte que se optimizaron las variables para las mediciones.

**Hidrocarburos.** Schaefer y Filser (2007) emplearon este macroorganismo como agente bioestimulador en la degradación de crudo obteniendo excelentes resultados.

Hubálek (2007), comprobaron que la *E. foetida* es un organismo resistente que puede ser utilizado para monitorear la ecotoxicidad de suelos contaminados con crudo durante el proceso de biorremediación, mediante la evaluación de su adaptación, mortalidad y reproducción (Geissen, 2008).

Contreras *et al.*, (2008), afirman que la aplicación de lombrices a un suelo contaminado con petróleo es una alternativa de destoxificación segura, amigable y económica para remover hidrocarburos aromáticos policíclicos del suelo.

Según infante (2001) la biorremediación con la lombriz roja californiana permitió disminuir significativamente los componentes del crudo de petróleo, que por ser una matriz contaminante contiene una elevada diversidad de compuesto de la familia de los hidrocarburos.

Los hidrocarburos componen la familia predominante de compuestos (un 50-98 % de la composición), por lo que constituyen uno de los grupos de contaminantes ambientales más importantes, tanto por su abundancia, como por su persistencia. Lo cual se verificó en los biorreactores que contenían los especímenes de *E.*

*foetida*, esto es debido a que la lombriz se abre paso a través del suelo excretando humus, que sirve como transporte para que las diversas bacterias entren en contacto de forma más eficaz con el contaminante y se pueda inducir la degradación (Singer, 2001).

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Localización geográfica del área de estudio**

Este trabajo se realizó en el ejido Emilio Carranza, municipio de Nazas, Durango, en un lombricario que se construyó en octubre de 2007, en un área acondicionada para este fin. El ejido Emilio Carranza se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 25° 16' 31'' de latitud norte y 104° 7' 44'' de longitud oeste (StreetPilotGPS, 1998). Con una altura de 1120 msnm (CNA, 2002).

### **Clima y vegetación**

El clima de esta región en verano va desde semicálido a cálido seco y en invierno desde semifrío a frío. Los meses de lluvia son de mediados de junio a mediados de octubre. El resto del año se considera seco con temperatura media anual de 21°C y precipitación media anual de 224.6 mm. Koeppen lo califica dentro del tipo desértico y Thronthwaite lo califica como árido (Santibáñez, 1992).

Las condiciones climáticas determinan que los tipos de vegetación predominantes son de matorral xerófilo con todas sus variantes (Rzedowski, 1978). Los índices de evaporación son elevados, por lo que la vegetación natural existente solo es apropiada para la recolección forestal no maderable y para el pastoreo de ganado de diversa utilidad. Otro tipo de vegetación que predomina en la región es la vegetación de galería caracterizada por la presencia de sabinos, álamos y sauces, a orillas del río Nazas.

### **Desarrollo del experimento**

El estudio se realizó en el periodo de mayo a diciembre de 2009.



El trabajo se dividió en dos fases: trabajo de campo y trabajo de laboratorio.

### **Trabajo de campo**

**Obtención de las muestras de la precomposta de equina y caprina mezclados.** El precompostado es el sustrato que se utilizó como alimento a las lombrices de tierra siendo de estiércol equino y caprino, cuyo origen es de allí mismo, se hizo una mezcla de ellos, y de esta mezcla se obtuvo la muestra. Aproximadamente se tomó un kilo de la precomposta.

**Obtención de muestras de vermicomposta equina y caprina.** Después de que el estiércol fue precompostado y proporcionado como alimento a las lombrices, ya que se formó la vermicomposta, se realizaron colectas de dichas muestras se obtuvo una muestra de vermicomposta equina y una de caprina, aproximadamente un kilo de cada una.

**Obtención de muestras de lombriz roja californiana (*Eisenia Foetida*).** También se llevó a cabo una colecta de muestras de lombrices de tierra. Después de que se formó la vermicomposta, se obtuvieron un mínimo de 2 muestras de lombrices (cada muestra contenía un total de 25 lombrices). Para llevar a cabo los análisis de los metales pesados, se emplearon 50 lombrices, que fueron expuestas al sol para quedar secas y posteriormente triturarlas.

**Trabajo de laboratorio.** Las muestras de la precomposta equina y caprina mezclados y vermicompostas; así como las muestras de lombrices, fueron

trasladadas al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro U-L., lugar en el cual se determinaron las concentraciones de As, Cd, Pb, y Zn en la precomposta. Mientras que en la vermicomposta además de los metales mencionados, también se llevaron a cabo los análisis de los siguientes parámetros: C.E, pH, N, P, K, Ca, Mg, M.O., C, ácidos fúlvicos y húmicos, Na, Fe, Cu: la metodología empleada para la determinación de las variables fue:

<b>Determinación</b>	<b>Método utilizado</b>
Conductividad Eléctrica	Extracto de pasta a saturación Conductivímetro Orión Mod-162
PH	Extracto de pasta a saturación Potenciómetro Termo Orión Mod-420
N	Equipo Kjendhal® Mod-KGU-COMB
P	Método olsen
K	Método olsen
Ca	Extracto de pasta a saturación
Mg	Extracto de pasta a saturación
Materia Orgánica	Walkley y Black modificado
C	Equipo kjendhal
Ácidos fúlvicos/Húmicos	
Na	Extracto de pasta a saturación
Fe	Espectrofotometría de absorción atómica
Cu	Espectrofotometría de absorción atómica
Cd, Pb y Zn	Extracción con HNO <sub>3</sub> 4M y leído en espectrofotómetro de absorción atómica
Arsénico	test arsénico Merckoquant ®

**Determinación de Pb, Cd, As y Zn en precomposta y vermicomposta.** Para ambos medios, la metodología fue la misma: la precomposta y la vermicomposta fueron secadas para ser fácilmente tamizadas en la malla de 2 mm, pero en peso fue diferente, en la precomposta se pesaron 1.5 g en la balanza analítica y en la vermicomposta se pesaron 2 gramos, ambas muestras se colocaron en frascos pequeños a cada frasco añadiendo 50 ml de ácido nítrico a 4 M (HNO<sub>3</sub>), se taparon y se colocaron en la centrífuga a baño María, donde se reposó durante 8

horas, pasando este tiempo se retiraron y se colocaron cuidadosamente una hora más en la agitadora, se retiraron las muestras y se dejó filtrando en vasos precipitados de 50 ml hasta quedar solamente el fluido en el filtrado y listos para llevar a cabo la lectura de los metales pesados en el espectrofotómetro de absorción atómica, ya que en este aparato se pudo leer Cd, Pb y Zn, para leer la concentración de As se utilizó el test Arsenic.

**Determinación de Pb, Cd, As y Zn, en lombrices de tierra.** Las lombrices secas y trituradas, fueron tamizadas, se pesaron 2 gramos en la balanza analítica y las partes de ellas se colocaron en un frasco pequeño donde se le añadió 50 ml de HNO<sub>3</sub> 4 M, sellando bien el frasco se metió en la centrifuga a baño María donde quedo reposada durante 8 horas y una hora más en la agitadora, por último se filtró, tomando la muestra en un vaso para la lectura, que fue leída en el espectrofotómetro de absorción atómica.

En el caso del arsénico se utilizo el test arsénico Merckoquant ® (Arsen- Test, Arsenic .Test)

Los resultados obtenidos fueron procesados estadísticamente.

## RESULTADOS Y DISCUSION

### Nutrimientos evaluados en vermicomposta

En el Cuadro 6 se presentan los datos obtenidos de los nutrientes que se encontraron en la vermicomposta caprina y vermicomposta equina.

**pH.** El valor obtenido difirió en ambos tipos de vermicomposta, el valor que más se acercó al ideal fue el de la vermicomposta equina con un valor de 6.31 cercano a la neutralidad, aunque tiende un poco a la acidez, el pH de la vermicomposta caprina fue de 8.69, lo que indica que es alcalino. Según Díaz (2002), en el manual de lombricultura establece que el pH inicial debe ser ligeramente ácido (pH 6), ya que las bacterias y hongos productores de ácidos participan y hacen que la producción de ácidos orgánicos causa su acidificación durante la etapa inicial de la maduración, pero al aumentar la temperatura también aumenta el pH, estabilizándose en valores de 7.5 y 8.5, por lo tanto los valores de PH en la vermicomposta son ideales.

**Nitrógeno (N).** Los valores obtenidos fueron de 2.26 % y 1.32 % respectivamente. De acuerdo a Aira y Domínguez (2009), las lombrices de tierra también tienen un gran impacto en las transformaciones del nitrógeno a través de modificaciones de las condiciones ambientales y de sus interacciones con los microorganismos; así su actividad en los restos orgánicos produce condiciones que favorecen la nitrificación, que resulta en la conversión rápida del nitrógeno amoniacal en nitratos, aumentando la absorción de nitrógeno asimilable por las raíces. La concentración que se obtuvo del nitrógeno es muy buena, ya que en suelos áridos normalmente se encuentra naturalmente en concentración menor de 1 %, mientras

que los valores encontrados en las vermicompostas fueron mayores (Cuadro 6). Díaz (2002), en un manual de lombricultura menciona que el valor de nitrógeno es bueno en un porcentaje de 1-2 hasta 6. Según Gallego *et al.*, (2005) el incremento del nitrógeno se debe a que los microorganismos descomponen la materia orgánica muerta, los microorganismos son consumidos por las lombrices junto con la composta, ocasionando realizan una bioestabilización ya que además del nitrógeno y otros nutrimentos que se obtiene de la composta se adicionan nutrientes como el nitrógeno y fósforo, incrementándose la riqueza fértil de la vermicomposta.

Estos nutrientes se pueden añadir como agentes bioestimulantes y pueden ser fertilizantes o aditivos orgánicos (Durán & Henríquez, 2007). Entonces en cuanto a producción de humus se obtiene un buen contenido de nitrógeno en los dos tipos de estiércol, lo cual favorece la síntesis de proteínas.

**Fósforo (P).** Es el segundo macronutriente en importancia, a juzgar por la frecuencia con que ocurre la deficiencia en el suelo, respectivamente tiene valores altos de 12 % en vermicomposta caprina y 19 % en vermicomposta equina (Cuadro 6). Según Díaz (2002), los valores del fósforo en cuanto al humus es de 2-8 % como elemento nutritivo, por lo tanto no hay mucha diferencia de porcentajes en los dos tipos de vermicomposta y se considera que son eficientes para ser aplicado a un cultivo. Según Torres *et al.*, (2000) la concentración total de P en el suelo varía de 200 a 5000 mg kg<sup>-1</sup>. Sin embargo, la mayor parte de este, está en formas no asimilables para las plantas, por lo que solo una parte pequeña de P, cuya concentración es del orden de apenas unas décimas de mg l<sup>-1</sup> se

encuentra en la solución del suelo, listo para ser absorbido por las raíces. La importancia fisiológica del P es que forma parte de la energía biológica, el adenosin trifosfato (ATP) y de las membranas celulares como parte de los lípidos.

**Potasio (K).** Con respecto a la caracterización de las vermicompostas, resultó que la de caprina es rico en el nutrimento potasio con 20.5 meq/100g y en equina 3.39 meq/100g (Cuadro 6). Sandoval (2002) sugiere que los estiércoles se deben utilizar más como acondicionadores y mejoradores del suelo que como fertilizantes, debido a baja cantidad de K que aportan con respecto a la excesiva demanda de éstos que tienen los suelos, ya que en base a los resultados la vermicomposta equina tuvo solo 3.39 meq/100g. Sin embargo la vermicomposta equina si presentó un valor bueno de concentración de este elemento. Díaz (2002) menciona que los valores de estos nutrimentos son buenos ya que define que para el K está presente en 0.5 a 1.5 % en la vermicomposta, mientras que en materia orgánica esta de 3 a 6 %, por lo tanto están considerados eficientes ya que el potasio es nutritivo siendo un activador de muchas enzimas que son esenciales en el proceso de la fotosíntesis y respiración, además de que activa enzimas necesarias para la formación de almidón y proteínas, por lo que la vermicomposta solubiliza elementos nutritivos poniéndolos en condiciones de ser aprovechados por las plantas gracias a la presencia de enzimas que incorpora y sin las cuales no sería posible ninguna reacción bioquímica.

Calcio (Ca) y el magnesio (Mg) forman parte de los llamados nutrimentos secundarios, sin embargo, son tan esenciales como los macronutrimentos, solo

que se le designa de esta manera debido a que son consumidos en menor proporción que los primeros (Torres *et al.*, 2000).

**Calcio (Ca).** Es considerado como un nutrimento, aunque de una manera natural los suelos presentan suficiente calcio, por lo tanto en la vermicomposta equina es más eficiente ya que se encontró a una concentración de 10.22 meq/l, mientras que en la de caprina se obtuvo 9.68 meq/l (Cuadro 6), y la cantidad que normalmente requieren las plantas es de 0.5 % (en tejido seco) (Díaz. 2002). El mismo investigador establece los valores nutritivos del humus que varían en rangos de 2.5 a 8.5 %, considerando los valores obtenidos en buenas concentraciones, ya que el calcio es esencial ya que cumple varias funciones en las plantas, como parte de las paredes celulares y como cofactor en reacciones metabólicas.

**Magnesio (Mg).** El valor del magnesio en cuanto a los dos tipos de vermicomposta, no varió mucho, presentaron valores muy semejantes en la vermicomposta equina el valor fue de 3.69 meq/l y en la de caprina 3.51 meq/l. El magnesio es un elemento nutrimental ya que forma parte esencial de la clorofila fundamental para la fotosíntesis, se combina con el ATP, permitiendo que ocurran reacciones metabólicas y además es un cofactor de muchas enzimas necesarias en fotosíntesis, respiración, y formación de DNA y RNA. Según Luévano (2001) y Díaz (2002) dicen que en porcentaje de 1 a 2.5 % son buenos valores nutritivos para este elemento y Díaz (2002) establece de 0.2 a 0.50 en valores analíticos del humus.

**Materia orgánica (MO).** En el (Cuadro 6) se presentó un buen contenido de MO en prescomposta caprina con 74.19 %, mientras que en la de equina fue de 52.25 %. Según las normas vigentes (NVLMPHLTCTNNPAP.2007), en cuanto al humus de lombriz la MO esta en un rango de 20 a 50 % en base seca, por otro lado Díaz (2002) en el manual de lombricultura establece 50 %. La MO es un indicador importante y fuente especial de los nutrientes, ya que actúa como un "amortiguador" regulando la disponibilidad de nutrientes, según las necesidades de las planta.

**Carbono orgánico (CO).** El carbono es un elemento esencial para llevar a cabo la descomposición y fermentación del sustrato, ya que los microorganismos lo utilizan como fuente de energía y en el producto orgánico debe estar estable igual que el nitrógeno. Los resultados de CO en vermicomposta caprina fue el mayor con 43.03 % mientras que fue 30.36 % en vermicomposta equina. Fernández *et al.* (2009) en un trabajo que trató sobre el proceso de biodegradación en un suelo contaminado con petróleo encontró que el carbono tiene concentraciones de 1.05 % en estiércol equino y lo empleó como bioestimulantes en el proceso de biorremediación.

**Ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.** Díaz (2002) menciona que, el humus desde el punto de vista estructural se subdivide en sustancias húmicas específicas y esta sustancia se subdivide en ácidos húmicos, estos ácidos húmicos constituyen el aspecto estructural y fisiológico más significativo del humus ya que también se subdivide en ácidos húmicos propiamente dichos y ácidos fúlvicos. De los valores obtenidos se tiene que en la vermicomposta equina tiene casi el mayor porcentaje en los ácidos 5.12 % y 4.2 %, se considera como eficiente por los altos



contenidos de ácidos fúlvicos y húmicos ya que mejora las características químicas del suelo. En vermicomposta caprina se obtuvieron valores menores en ácidos fúlvicos se obtuvo 4.7 % y húmicos con 4.4 %. Según Díaz (2002) la diferencia entre ellos es solo su sucesión temporal en el proceso de formación y en el distinto grado de polimerización, ya que para él debe estar de 5 a 7 % en ácidos húmicos como valor nutritivo y de 2 a 3 % en ácidos fúlvicos. El mismo investigador dice, que en las sustancias orgánicas se encuentran las proteínas que también les sirven a las lombrices en su alimento ya que de lo que se come, el 60 % lo excreta como abono y el 40 % lo metaboliza para formar tejido y acumular energía.

**Sodio (Na).** El Na es un elemento requerido en menor concentración, se obtuvieron resultados con valores altos como se muestra en el Cuadro 6, no hubo mucha diferencia, siendo de 107.29 meq/l en vermicomposta equina y en caprina 107.10 meq/l. Zamorano (2007), en un trabajo que realizó analizando macroelementos presentes en suelos empleando el proceso de biorremediación no obtuvo valores eficientes de este elemento, ya que lo encontró por debajo de 40 mg/kg, lo que significa que existe deficiencia, siendo un elemento funciona como cofactor en el metabolismo celular.

**Cobre (Cu).** El cobre (Cu) como se observa (Cuadro 1) se obtuvo un valor mayor en vermicomposta equina con 80 mg/Kg<sup>-1</sup> y en menor concentración en la de caprina con 71.2 mg/Kg<sup>-1</sup>, Díaz (2002) establece concentraciones mayores de 85.0 a 100.0 mg/Kg<sup>-1</sup> el obtiene estas concentraciones dentro de los valores analíticos del humus, por otra parte Zamorano (2007) en su trabajo de producción de lombriz californiana (*Eisenia foetida*) encontró valores de 73 mg/Kg<sup>-1</sup> en vermicomposta

equina y  $79 \text{ mg/Kg}^{-1}$  en vermicomposta caprina producidos en fosas. Entonces en base a los autores se estima que los valores reales del Cu se encuentran en condiciones favorables. El Cu puede ser adsorbido por la materia orgánica, y puede quedar en forma no disponible para la planta, motivo por cual las plantas que crecen en suelos ricos en materia orgánica carecen de este elemento, pero también en concentraciones mayores es deficiente para la planta.

**El hierro (Fe).** Las concentraciones no diferenciaron mucho, se obtuvieron valores de  $178.4 \text{ mg/Kg}^{-1}$  en vermicomposta caprina y en la equina con  $176 \text{ mg/Kg}^{-1}$ . Zamorano (2007), en su trabajo con las lombrices obtuvo valores muy altos de Fe en vermicomposta equino con  $993 \text{ mg/Kg}^{-1}$  y caprino de  $4261 \text{ mg/Kg}^{-1}$ , ya que estos fueron producidos en fosas.

**Conductividad eléctrica (CE).** Se realizaron determinaciones de la CE para determinar el contenido de sales solubles presentes en la vermicomposta caprina y equina. Un suelo con una CE mayor a cuatro mmhos/cm indica salinidad (Briseño *et al.* 2002), lo cual hace que los nutrientes no puedan ser asimilados por la planta, ya que según el autor establece que a medida que el estiércol se va transformando en humus, la CE va disminuyendo, lo que puede ser beneficioso para una posterior aplicación del humus a un cultivo en campo, pero en este caso se realizó una sola determinación de la muestra inicial obteniendo valores en vermicomposta caprina de  $14.63 \text{ mmhos/cm}$  y en equina de  $12.12 \text{ mmhos/cm}$  por lo que se ve que contiene muchas sales. Fernández, *et al.* (2009), en la CE del suelo en un estudio que hizo de biodegradación reporta un valor muy alto, mayor a  $9,00 \text{ mmhos/cm}$ , lo que indica que el suelo tiene un abundante contenido de sales minerales, catalogado como potencialmente salino ya que Rodríguez *et al.*, (2006)

en cuanto al suelo el valor promedio de la CE es de 18.40 mmhos/cm con un abundante contenido en sales minerales. Aunado a ello, el decreto 2635 (1998) establece un máximo permitido de 3.5 mmhos/cm, si se supera este límite se tiene lugar inhibición en el normal desarrollo de los cultivos (Cuadro 6).

**La relación C: N.** Una relación C: N alta significa inmovilización de nitrógeno, mientras que una relación baja es índice de mineralización de la materia orgánica y del nitrógeno que contiene. De acuerdo con Infante (2001) para que el proceso de biorremediación sea exitoso, es imprescindible mantener una relación de nutrientes adecuado, El humus tiene entre 4-6 % de nitrógeno mientras que el contenido de carbono es 58 %, por consiguiente la relación C/N varía entre 10 a 12 % y ello es variable según la cantidad y calidad de los residuos y del grado de descomposición (Díaz, 2002). La relación de los valores están reportados en el Cuadro 6, donde la relación C: N para la vermicomposta equina es de 23 y siendo menor la relación en vermicomposta caprina con 19.04, basándose en cuanto al porcentaje del humus como se menciona anteriormente se ve que hay poco nitrógeno, y buen contenido en carbono. Por lo que se puede decir que existe buena relación, ya que según Levin y Gealt (1997) en cuanto la *E. foetida* con precomposta equina, las relaciones arrojan resultados favorables. Peña *et al.*, (2002), la relación óptima C/N inicial está comprendida entre 25 a 35. Si es superior a 35, el proceso de fermentación se alarga considerablemente hasta que el exceso de carbono es oxidado y la relación C/N desciende a valores adecuados para el metabolismo. Si es inferior a 25 se producen pérdidas considerables de nitrógeno en forma de amoníaco.

Cuando la relación C/N es elevada se podrá hacer descender artificialmente, ya sea quitando celulosa, es decir reduciendo el carbono o aumentando el contenido de nitrógeno, por ejemplo con adición de alguna fuente nitrogenada como estiércoles de pollo o productos o subproductos de origen animal.

Cuadro 6. Nutrimientos evaluados en vermicomposta caprina y equina en el lombricario del ejido Emilio Carranza municipio de Nazas, Durango. Mayo- Dic. De 2009.

Nutrimientos	Vermicomposta Caprina	Vermicomposta Equina
PH	8.69	6.31
Nitrógeno (N) (%)	2.26	1.32
Fosforo (P) (%)	.1285	.1953
Potasio (K)(meq/100 g)	20.5	3.39
Calcio (Ca)(meq/l)	9.68	10.22
Magnesio (Mg)(meq/l)	3.51	3.69
M.O. (%)	74.19	52.25
Carbón orgánico (%)	43.03	30.36
Acido fúlvicos (%)	4.7	5.12
Ácidos húmicos (%)	4.4	4.2
Sodio (Na) (meq/l)	107.10	107.29
Cobre (Cu)(mg/kg <sup>-1</sup> )	71.2	80
Fierro (Fe) (mg/kg <sup>-1</sup> )	178.4	176
C.E. (milimhos/cm)	14.63	12.12
R C/N	19.04	23

### Concentraciones de Pb, Cd, As y Zn

**Precomposta caprina y equina mezclados.** En el Cuadro 7, se muestran las concentraciones de Pb, Cd, As y Zn, así como la Norma que establece los límites máximos permisibles en mg kg<sup>-1</sup>. La cantidad de metales disponibles está en función del pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sauve *et al.*, 2000).

De acuerdo a los resultados obtenidos de las concentraciones de Pb, Cd, As y Zn, se encontraron valores más altos que en las demás muestras, como se puede observar en el Cuadro 7, el Pb se encontró más alto en  $523.66 \text{ mg/kg}^{-1}$ , luego le sigue el Zn con  $81.32 \text{ mg/kg}^{-1}$ , (con la diferencia de que el Zn es un micronutriente), el Cd tuvo una concentración bastante elevada (considerando que es altamente tóxico) de  $45.33 \text{ mg/kg}^{-1}$  y por último el As que se encontró en una concentración de  $0.33 \text{ mg/l}$ . Estas concentraciones indican que estos metales están probablemente presentes en el alimento dado a los animales. Según Abonillo *et al.*, (2002) los metales para estar disponibles, dependen no sólo de su concentración, sino también de su movilidad ya que están como iones móviles y está en función del pH. Esto explica en parte el motivo por el cual las concentraciones son altas, ya que los estiércoles que se analizaron se encontraban en condiciones de fermentación y mezclados. Cuando están en este estado los estiércoles son muy ácidos y la mayor parte de los metales pesados tienden a estar más disponibles en un pH ácido, excepto el As que tiende a estar a pH alcalino es por eso que no fue muy alto, ya que en estiércol fresco el pH es altamente alcalino. En comparación con las concentraciones de los metales según la NOM -147 SEMARNAT /SSA1-2004 estos sobrepasan a los límites máximos permisibles, excepto el As ya que en la precomposta se obtuvo  $0.33 \text{ mg/kg}^{-1}$  y en la norma mencionada en cuanto los límites máximos permisibles es de  $22 \text{ mg/kg}^{-1}$ , por lo tanto la concentración del As no es rebasada.

**Vermicomposta equina y caprina.** En el Cuadro 7, se muestran las concentraciones de metales pesados en los dos tipos de vermicomposta.

El Pb se encontró en mayor concentración en vermicomposta caprina en 408.5 mg/kg<sup>-1</sup> y equina 400.5 mg/kg<sup>-1</sup>, siendo estos valores altos, ya que para la NOM - 147 SEMARNAT /SSA1-2004 son rebasados los límites máximos permisibles en 400 mg/kg<sup>-1</sup> en cuanto a productos orgánicos y según las normas vigentes del Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios, (NVLMPHLTCTNNPAP 2007), el plomo debe estar en 100 mg/kg en base seca.

El Cd se encontró prácticamente en el límite de las concentraciones según la NOM -147 SEMARNAT /SSA1-2004, ya que en vermicomposta caprina se obtuvo 35.25 mg/kg<sup>-1</sup> y en la equina la concentración fue de 34.25 mg/kg<sup>-1</sup>, no hubo mucha diferencia, y aunque no rebasaron los límites máximos permisibles, presentaron casi el mismo valor de la Norma mencionada con 37 mg/kg<sup>-1</sup>, mientras que según las normas vigentes de límite máximo permisible en humus de lombriz del Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios, (NVLMPHLTCTNNPAP 2007) se sobrepasa, ya que para el Cd se establece valor de 2.0 mg/kg<sup>-1</sup>.

En la vermicomposta equina y caprina se encontraron concentraciones de As, con valores de 0.1 mg/l caprina y 0.25 mg/l en la vermicomposta equina, estos valores no rebasan los límites máximos permisibles de las normas, sin embargo, es un elemento altamente tóxico.

Como se aprecia en el Cuadro 7, el Zn es un poco mayor en vermicomposta caprina con 85.5 mg/kg<sup>-1</sup> mientras que en la de vermicomposta equina hubo 70.5 mg/kg<sup>-1</sup>. Díaz (2002), establece este elemento dentro de los valores analíticos del humus, ya que en su trabajo consideró una variación adecuada de 85.0 a 400.0 mg/kg<sup>-1</sup>.

Cuadro 7. Metales pesados evaluados en vermicomposta caprina y equina, en lombrices de tierra (*Esenia foetida*) y en precomposta equina y caprina en el lombriciario del ejido Emilio Carranza municipio de Nazas, Durango. Mayo- Dic. De 2009

Metales	Vermicomposta equina	Vermicomposta Caprina	Lombrices de tierra	Precomposta equina y caprina	Límites máximos permisibles en suelos NOM-147 SEMARNAT/ SSA1-2004	Límites máximos permisibles de concentración de metales pesados en el humus de lombriz. NVLMPHLTCT NNPAP.2007
Mg/kg <sup>-1</sup>	Mg/kg <sup>-1</sup>	Mg/kg <sup>-1</sup>	Mg/kg <sup>-1</sup>	Mg/kg <sup>-1</sup>	Mg/kg <sup>-1</sup>	Mg/kg <sup>-1</sup>
Pb	408.5	400.5	386	523.66	400	100
As	0.1mg/l	0.25mg/l	0	0.33 mg/l	22	15
Cd	35.25	34.25	37.25	45.33	37	2.0
Zn	70.5	85.5	40.75	81.32		200

Por otra parte, Zamorano (2007), menciona que el Zn se encontró 296 mg/kg<sup>-1</sup> en vermicomposta caprina, y 165 mg/kg<sup>-1</sup> en vermicomposta equina. Según las normas vigentes, del Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios (NVLMPHLTCTNNPAP.2007), los límites máximos permisibles del Zn en cuanto al humus de lombriz tienen concentraciones de 100.0 en mg/kg<sup>-1</sup>., por lo que se considera adecuada la concentración de este micronutriente en las vermicompostas.

**Los metales pesados en las plantas.** Algunos investigadores como Iretskaya y Chien, mencionan que los metales pesados pueden ser transferidos a las partes comestibles de los cultivos y que la capacidad de absorción es variable, así mismo mencionan que las cantidades mayores de metales pesados se acumulan en las hojas. Los mismos investigadores señalan que los contenidos más bajos se encuentran en las semillas y que la absorción de metales pesados por las plantas,

sobre todo Cd y Pb, varía dependiendo del pH del suelo. Los contenidos de metales pesados, lo ideal es no encontrarlos presentes en los sistemas, pero si están, deben cumplirse las especificaciones señaladas en las correspondientes Normas Oficiales Mexicanas vigentes (NVLMPHLTCTNNPAP.2007). Para efectos de esta norma, se consideran contaminantes a todos aquellos materiales, sustancias, elementos o compuestos químicos o metales pesados de carácter tóxico, venenoso, que resulten de alguna forma nocivos o dañinos para el hombre, los animales o el ambiente y que por causas diversas, pudieran encontrarse presentes, disueltos o mezclados en el humus de lombriz. Además del estricto cumplimiento de lo señalado en el párrafo anterior se deben considerar los límites de concentración máximos para metales pesados.

**Lombriz roja californiana.** En las lombrices que se analizaron se obtuvieron concentraciones altas de metales pesados, excepto en As que no se encontró, lo cual probablemente significa que esta especie no retuvo el As, o bien no estuvo presente en el ambiente.

En la lombriz de tierra, el metal que mayor concentración presentó fue el Pb con una concentración fue de  $386 \text{ mg/kg}^{-1}$ , siguiendo el Zn con  $40.75 \text{ mg/kg}^{-1}$  y en cuanto al cadmio concentraciones de  $37.25 \text{ mg/kg}^{-1}$ .

La capacidad que tienen las lombrices, para la remoción de Pb en la vermicomposta fue elevada, ya que en esta especie se encontró  $386 \text{ mg/kg}^{-1}$  de Pb, mientras que en la precomposta hubo  $523 \text{ mg/kg}^{-1}$ , al comparar este valor de  $386 \text{ mg/kg}^{-1}$  hallado en las lombrices, presentó valores cercanos de los que se encontró en ambas vermicompostas, esto es debido a que esta especie al consumir su alimento lo digiere junto con estos metales quedando retenidos en su



tejido. Páez *et al.*, (1995) mencionan que los organismos expuestos a metales pesados pueden acumularlos en sus tejidos a concentraciones más altas que las que normalmente se encuentran en el ambiente.

Según Infante (2001), la biorremediación con lombrices redujo significativamente los contaminantes ya que utilizó esta especie con estiércol equino en los componentes aromáticos del crudo. Lo cual se verificó en biorreactores que contenían los especímenes de *E. foetida*, ya que la lombriz se abre paso a través de galerías excretando humus, que sirve como transporte para que las diversas bacterias entren en contacto de forma más eficaz con el contaminante y se pueda inducir la degradación (Singer, 2001), ya que logró degradar aproximadamente un 55 % en un suelo contaminado con un 5,58 % (55.800 mg/kg) de componentes aromáticos del crudo.

*E. foetida* toleró una concentración de petróleo crudo casi seis veces mayor a la máxima propuesta por Schaefer y Filser (2007), sin una tasa de mortalidad aparente.

Álvarez y Guevara (2003), establecen que los microorganismos autóctonos son capaces de poder degradar compuestos de petróleo crudo, ya que durante el proceso de biorremediación no solo actúan las bacterias mesófilas aerobias, sino que también se forman áreas anóxicas en donde crecen bacterias anaeróbicas que son capaces de degradar compuestos de estructura molecular más compleja.

**Retención de metales pesados en la lombriz roja.** Del total de Pb encontrado en la precomposta mezclada, en la vermicomposta se presentó una concentración de Pb de un 77.34 %. Esto significa que teóricamente la lombriz retuvo solo un

22.66%. Sin embargo, los resultados obtenidos de retención de Pb en la lombriz fue de  $386 \text{ mg/kg}^{-1}$ , valor alto, si se considera que este valor es semejante al hallado en las vermicomposta, y  $137 \text{ mg/kg}^{-1}$  menos que en la precomposta mezclada. Posiblemente, sea porque existen algunas fuentes no identificadas y no evaluadas que hicieron que se alcanzara una mayor concentración dentro de las lombrices.

En cuanto al Cd se obtuvieron concentraciones altas, ya que en la precomposta y vermicomposta presentó 76 % de este metal, lo cual significaría que 24 % lo retuvo la lombriz. Pero realmente se tiene que en la lombriz presentó  $37.25 \text{ mg/kg}^{-1}$ , valor muy alto que en la vermicomposta y  $8 \text{ mg/kg}^{-1}$  menos que en la precomposta mezclada. Esta concentración alta que se halló en la lombriz mayor que en la vermicomposta posiblemente se deba a que el metal se incorpora en la respiración de la lombriz para irse acumulando, ya que el medio que utiliza la lombriz para respirar es por vía cutánea. Además, como se mencionó existen fuentes no identificadas y no evaluadas que ocasionaron la elevada concentración de este metal en las lombrices.

Las concentraciones de Zn tuvieron en precomposta y vermicomposta un promedio de un 95. %, esto da a conocer que teóricamente, la lombriz obtuvo un 5 % retenida en su cuerpo. Sin embargo las concentraciones halladas en la lombriz fueron de  $40.75 \text{ mg/kg}^{-1}$ , siendo 40.57 menos que en la precomposta y también en vermicomposta.

**Posibles fuentes que elevaron la concentración de metales pesados en las lombrices de tierra más, que en las concentraciones halladas en la precomposta mezclada y las vermicompostas.** Las principales fuentes de las que puede provenir parte de estos metales puede ser por varios factores: por el agua de riego, cuando la composta está siendo regada para obtener buena humedad pero con mala calidad del agua en cuanto a la acumulación de plomo que se encuentra, parte del As, y concentraciones de Cd que por lo visto son metales pesados que se encontraron en concentraciones mayores a excepción del As en menor concentración. También se da entender la circulación del aire que son fuentes en las que se encuentran partículas suspendidas y que se llegan a retener en partes de la composta, en donde es acumulada por la humedad o que fijamente se adhieren en residuos de restos vegetales, y otra fuente de las que puede provenir estos metales es debido al material del cual está hecho el lombriciario ya que por lo general es utilizado un concreto con bloques de cemento que al paso del tiempo se va deteriorando y desgastando, así como en las pinturas que son corrosivos presentando alguno que otro metal que se presentaron y se encontraron en este trabajo.

La lombriz fácilmente retiene metales pesados digiriendo junto con el sustrato, ya que su aparato digestivo es recto y consta de boca sin dientes, por donde entra el sustrato húmedo y se dirige hacia la faringe, de aquí pasa al esófago en el que se encuentran a ambos lados las glándulas calcíferas, las cuales segregan carbonato de calcio. Esta sustancia tiene la propiedad de neutralizar los ácidos de los alimentos, y de alguna manera los metales que la mayor parte son ácidos. Ahora

bien, si la acidez es muy elevada no puede neutralizarlos y pueden morir intoxicadas de “goso ácido”.

Una vez que el alimento ha llegado al esófago pasa al buche, después al estómago y de ahí al intestino. Es en este último donde actúan las enzimas que desdoblan los alimentos en sustancias más simples. Las deyecciones salen a través del ano enriquecidas por microorganismos propios de su flora bacteriana.

## **CONCLUSIONES**

La calidad de los nutrimentos en cuanto a su composición y concentración es adecuada para usarla como fertilizante orgánico.

Se detectó la presencia de Pb y Cd en la precomposta equina y caprina mezclados y vermicomposta que estuvieron fuera de los límites máximos permisibles según la NOM -147 SEMARNAT /SSA1-2004

Se detectaron altas concentraciones de Pb y Cd en las lombrices, lo que confirma que esta especie es un elemento biorremediador.

El As que no se presentó dentro de la lombriz, lo que se explica por la poca concentración que se halló en la precomposta y vermicomposta.

## RECOMENDACIONES

- Hacer análisis de suelos, agua y aire para explicar de dónde provino el aumento que hubo de Pb y Cd en las lombrices.
- Para evitar que la vermicomposta esté contaminada es necesario dar alimentos inocuos a los animales
- Aplicar técnicas de biorremediación utilizando a la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en diferentes compostas y realizar muestreos en cada una de ellas.
- Utilizar técnicas de extracción y aislamiento para reciclar los metales acumulados en lombrices de tierra y vermicomposta.
- Antes de llevar a cabo el establecimiento de un lombricario, es necesario conocer la composición química de los estiércoles que darán origen a las precompostas.

## LITERATURA CITADA

- Abollino, O., M. Aceto, M. Malandrino, E. Mentaste, C. Sarzanini, y R. Barberis, 2002. Toxicidad de los metales pesados.
- Aira, M. y J. Domínguez. 2009. Microbial and nutrient stabilization of two animal manures after the transit through the gut of the earthworm *Eisenia foetida*. *Journal of Hazardous Materials* 161:1234-1238.
- Aira, M., F. Monroy, J. Domínguez, S. Mato. 2002. How earthworm density affects microbial biomass and activity in pig manure. *European Journal of Soil Biology* 38:7-10.
- Aira, M., L. Sampedro, F. Monroy y J. Domínguez, J. 2008. Detritivorous earthworms directly modify the structure, thus altering the functioning of a microdecomposer food web. *Soil Biology and Biochemistry* 40:2511-2516.
- Aira, M., y J. Dominguez. 2008. Optimizing vermicomposting of animal wastes: effects of dose of manure application on carbon loss and microbial stabilization. *Journal of Environmental Management* 88:1525-1529
- Álvarez, P. y E. Guevara (2003); "*Biorremediación y atenuación natural de acuíferos contaminados por sustancias químicas peligrosas*", Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico (CDCH-UC) de la Universidad de Carabobo, Valencia, Venezuela.

- Alloway, B.J., 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional.
- Banat, K. M., F. Howari, y A. A. Al-Hamad, 2005. Heavy Metals in Urban Soils of
- Beffa, T., M. Blanc, L. Marilley, J. L. Fischer, P. F., Lyon and M. Aragno. (1996).  
*Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting*. In: *The Science of Composting*. De Bertoldy M., Bert P. and Tiziano.
- Briseño, J; F. Chavarri, G. Alvarado; A. Gadea, (2002). Materia orgánica: Características y uso de los insumos en suelos de Costa Rica. Editorial EUNA. San José, Costa Rica. 33 – 41 p.
- Callaham, M., A. Stewart, C. Alarcón y S. McMillen, (2002). "*Effects of earthworm (Eisenia fétida) and wheat (Triticum aestivum) straw additions on selected properties of petroleum-contaminated soils*", Environmental Toxicology and Chemistry: 21, 1658-1663.
- Compilación de la Legislación Ecológica Federal.2009. Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelo. Anaya editores, S.A. México, D.F. p.p. 25-26.
- Contreras S., D. Álvarez, L. Dendooven, (2008); "*Removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from soil amended with biosolid or vermicompost in the presence of earthworms (Eisenia fetida)*" Soil Biology and Biochemistry: 40, 1954-1959.
- Decreto 2635, (1998). Reforma parcial del decreto contentivo de las normas para el Control de la Recuperación de Materiales Peligrosos y el manejo de desechos peligrosos. Gaceta Oficial de la República de Venezuela N° 5.245. Extraordinaria. Caracas.



- Del Refugio M. 2009. En línea. La Comarca Lagunera, entre las más contaminadas. Revista técnico ambiental. (Consulta: el 25 de noviembre de 2009).
- Delgado, M., M. Porcel, R. de Imperial, E. Beltrán, L. Beringola, J. Martin, 2004. Efecto de la vermicultura en la descomposición de residuos orgánicos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental. 83- 86 pp.
- Díaz, E. 2002. Manual de lombricultura. Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior Municipio Capital de La Rioja. Nicaragua.24- 27 pp.
- Díaz, L. F. 1993. Composting and recycling municipal solid waste. Lewis Publishers. U.S.A.
- Dominguez, J. 2004. State of the art and new perspectives on vermicomposting research. En: Edwards, C.A. (ed.), *Earthworm Ecology*, 2nd edn., pp. 401-424, , CRC Press, Boca Raton FL, USA.
- Dominguez, J., R. W. Parmelee, C. A. Edwards, 2003. Interactions between *Eisenia andrei* and nematode populations during vermicomposting. *Pedobiologia* 47:53-60.
- Durán, L. & C. Henríquez, (2007). Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostas producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. Revista Agronomía Castrense. 31, 001, 41-51 (en línea) <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/436/43631105.pdf>.
- EPA, Environmental Protection Agency. (1998). *An analysis of composting as an environmental remediation*.
- Espinoza, L. F. 1999. Manual básico de lombricultura para condiciones tropicales. Escuela de Agricultura y Ganadería, Estelí, Nicaragua.

- Fernández C., J. María, Llobregat, Henry Bastidas y Bonnie Sien (2009), Venezuela. Influencia de la *Eisenia foetida* y de Sustratos Orgánicos. p 20-25.
- Ferruzzi, C. 1994. *Manual de lombricultura*, Ediciones MUNDI- PRENSA, Madrid, España.
- Gallego, P., R. Cuéllar, J. Dussán, (2005). Biorremediación de residuos de petróleo. Documento en línea. Disponible en: <http://www.mindefensa.gov.co/derecho/mea01gua.html>. Acceso: 16 junio (2009).
- García, I., y C. Dorronsoro, 2005. Contaminación por Metales Pesados. En Tecnología de Suelos. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- García, P. R. 1996. "La lombricultura y el Vermicompuesto en México". Agricultura orgánica: Una opción sustentable para el Agro Mexicano. La Agricultura del siglo XXI. V. A. Chapingo, México
- Geissen, V., 2008. "*Using earthworms to test the efficiency of remediation of oil-polluted soil in tropical Mexico*", *Ecotoxicology and Environmental Safety*: 70, Issue 1.
- Han, F.X., A. Banin, W. L. Kingery, G. B. Triplett, L. X. Zhou, S. Zheng, J. Ding, 2003. Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area: Heavy Metals on the Growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal.
- Hubálek T., 2007; "*Ecotoxicity monitoring of Hydrocarbon- Contaminated Soil during bioremediation: A case of study*". *Arch. Environ. Contam. Toxicol.*: 52, 1-7.

- INE. 2006 (En línea). Reglamento interior de la Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. ([http://www.ine.gob.mx/ueajei/download/reg\\_semarnat.pdf](http://www.ine.gob.mx/ueajei/download/reg_semarnat.pdf)). (Consultada el 20 de noviembre del 2009)
- Infante, C. 2001. Biorrestauración de áreas impactadas por crudo por medio de intebios® y biorize®. *Interciencia*, 26,504-507.
- Legall Meléndez, J. R. Luis, E., R. Dicovsky y I. Zoyla, Valenzuela C. 1999. Manual Básico de Lombricultura para condiciones tropicales. Escuela de Agricultura y Ganadería Esteli. Nicaragua.
- Levin, M. y M. Gealt, 1997; "*Biotratamiento de residuos tóxicos y peligrosos*". 1ª Edición. Editorial Mc.Graw Hill, Madrid.
- Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. 2009. Anaya Editores, S. A. p.p. 100-125.
- Lores, M., M. Gómez, D. Pérez, J. Domínguez, 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2993-2996.
- Luevano A. G. 2001. Torreón, México. *Revista Mexicana de Agronegocios*. Estiércol vacuno: de problema ambiental a excelente recurso. p. 310-316.
- Macchi, 2006. <http://remocion.blogspot.com/2006/11/propuesta-de-remocion-de-metales.html>. (Consultado el 19 de octubre de 2009).
- Magnano, J. C. y O. Gómez, 1999. Curso de lombricultura. Vita-Fertil. Argentina. Manual de lombricultura. (En línea)<http://www.emison.com/115.htm> . Lombricultura (consultado octubre, 2009)
- Martin, C.W. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill.

- Martínez C. 1999. Potencial de Lombricultura. Lombricultura técnica mexicana; México D.F.
- Monard C. 2008. "*Combined effect of bioaugmentation and bioturbation on atrazine degradation in soil*". Soil Biology and Biochemistry: 40, 2253-2259.
- Moore, J.C., E. L. Berlow, D. C. Coleman, P. C. de Ruiter, Q. Dong, N.C. Johnson, K. S. McCann, K. Melville, P. J. Morin, K. Nadelhoffer, A. D. Rosemond, D. M. Post, J. L. Sabo, K. M. Scow, M. J. Vanni, D. H. Wall, 2004. Detritus, trophic dynamics and biodiversity. *Ecology Letters* 7:584-600.
- Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Establece las especificación de de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf>. (Consultado el día 22 de noviembre de 2009).
- NVLMPHLTCTNNPAP.2007. Normas vigentes de límite máximo permisible en humus de lombriz del Comité Técnico de Normalización Nacional de Productos Agrícolas y Pecuarios, humus de lombriz - especificaciones y métodos de prueba. NMX-FF-109-SCFI-2007. México, D.F. P. 12.
- Orden jurídico. 2009. En línea. Proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio.

- Páez O., F., M. G. Frias-Espericueta, and J. I. Osuna-López. 1995. Trace metals in relations to seasonal and gonadal maturation in the Oyster *Crassostrea iridescens*. *Mar. Environ. Res.* 40: 19-31.
- Pagnanelli, F., E. Moscardini, V. Giuliano, L. Toro, 2004. Sequential Extraction of.
- Peña E., N. Companioni, M. Carrión. La materia orgánica: Su producción y manejo. En: *Organopónicos y la producción de alimentos en la Agricultura Urbana*. Seminario- Taller. FIDA.MINAG-CIARA. p. 16-25. 2002.
- Peñaranda, C. G. 1998. Curso Teórico-Práctico de lombricultura. Academia de
- Persson A., M. Quendnau, S. Ahrne, (1995). *Composting oily sludges: Characterizing Microflora using Randomly Amplified polymorphic DNA*. In: *Monitoring and verification of bioremediation*. Hinchee R.E., Douglas G.S. and Ong S.K. Columbus, OH: Battelle Press. pp. 147-155.
- Pineda, G., G. Boll, C. Galeana, A. Mesta, (2004). A microbial consortium isolated from a crude oil sample that uses asphaltene as a carbon and energy source. *Biodegradation*, 15: 145-151.
- Raspeño, N., 1996. Lombricultura-Compost. Revista procampo, número 27. [www.altavista.digital.com/lombricultura](http://www.altavista.digital.com/lombricultura). (Consultado el 20 de junio del 2009).
- Ravera, R. A. 1999. Como criar lombrices Rojas Californianas. Programa de Autosuficiencia Regional. Argentina. *recycling municipal solid waste*. Lewis Publishers. USA.
- Rodríguez Ronny y óscar Contreras  
<http://remocion.blogspot.com/2006/11/propuesta-de-remocion-de-metales.html> (Consultado el 13 de octubre del 2009).

- Rodríguez V.R. Biotec, (2006). Centros de Investigación y de Estudios Avanzados del IPN. Postgrado En el Departamento de Biotecnología y Bioingeniería. Procesos de biorremediación. P. 6.
- Rodríguez, R., J. Moreno y M. Larreal, 2006; "*Comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector Caño San Miguel, municipio Mara, estado Zulia durante un período de dos años*". Revista Facultad de Agronomía: 23 (4) 395-406. Universidad del Zulia.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México, D. F. 431 p.
- Sandoval, J. 2002. Acondicionadores y mejoradores de suelo. Instituto colombiano agropecuario. Medellín. Colombia.
- Santibáñez, E. 1992. La Comarca Lagunera. Monografía. Torreón Coah. Fecha de octubre del 2009.
- Sauve, S., W. Henderson, H. E. Allen. 2000. Solid-Solution Partitioning of Metals in Contaminated Soils: Dependence on pH, Total Metal Burden, and Organic Matter. Environ. Sci. Technol. 34:1125–1131.
- Schaefer, M. y J. Filser (2007); "*The influence of earthworms and organic additives on the biodegradation of oil contaminated soil*". Applied Soil Ecology: 36, 53-62.
- Singer, A.C., 2001; "*Contribution of earthworms to PCB bioremediation*". Soil Biology & Biochemistry, 33, 765-776.
- Spain, A. 2003. Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the.
- Swift, M.J., O. W. Heal, J. M. Anderson, 1979. *Decomposition in terrestrial ecosystems*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. UK. *Technology*. EPA530-R-98-008.USA.

- Torres Flores I., J. Antonio, R. Ticante, E. Calderón, F. Marco, A. Marín (2000).  
Caracterización de compostas, lombricompostas y su potencial uso en  
enmiendas de suelos y producción de cultivos, p 5-7.
- Venegas A., 2006. <http://remocion.blogspot.com/2006/11/propuesta-de-remocion-de-metales.html>. (Consultado el 22 de octubre de 2009).
- Wang, F. Y.; X. Gui Lin, R. Yin, 2007. Effect of arbuscular mycorrhizal.
- Zamorano (2007), honduras. Producción de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) y lombrihumus con estiércol de vaca, cabra, cerdo y caballo. PP., 6-8
- Zhang, Y. y Y. He, 2006. Co-composting solid swine manure with pine sawdust as.