
UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

POSGRADO EN CIENCIAS BIOLÓGICAS



**“LA LOMBRIZ DE TIERRA, *Eisenia andrei* (Bouche,1972)
COMO BIOACUMULADOR DE METALES PESADOS (Pb)
DURANTE LA TRANSFORMACIÓN DE LOS DESECHOS
SÓLIDOS ORGÁNICOS DE GUADALAJARA, JALISCO,
MÉXICO”**

**POR
JUANA AMÉRICA LOZA LLAMAS**

Tesis presentada como requisito para obtener el grado de

**DOCTOR EN CIENCIAS BIOLÓGICAS
(ÁREA DE ECOLOGÍA)**

**LAS AGUJAS, ZAPOPAN, JALISCO
MAYO DEL 2007.**

DEDICATORIA

A **mis padres**, por darme la oportunidad de existir, por ser un ejemplo de amor, de perseverancia y de integridad.

A **Jorge** por ser mi compañero, mi amigo, por apoyarme en todos los momentos, mil gracias.

A mi hijo **Altair** por ser la razón principal de mi vida y por enseñarle que los sueños se hacen realidad trabajando, gracias mi amor.

A **Dios** que siempre te haces presente.

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Mater, porque me ha dado la oportunidad de formarme y superarme.

A la Dra. Martha Reínés por ser más que una amiga, mi directora, guía académica, además de compartir todos sus conocimientos y por haberme motivado a introducirme al maravilloso mundo de las lombrices.

Al Dr. Javier García Velasco , por su dirección y su disposición para el desarrollo del presente trabajo.

A la Dra. Blanca Catalina Ramírez Hernández, por aceptar dirigir esta tesis y compartir su amistad.

Al MC Porfirio Gutiérrez González, por su actitud durante su asesoría de la parte de estadística.

A mis sinodales la Dra Anne Santere Lucas y el Dr. Eulogio Pimienta Barrios, por sus comentarios y sugerencias para mejorar este trabajo.

A todos mis maestros del Doctorado por su gran entusiasmo al impartir sus cátedras.

A la Dra. Alicia Otazo Sánchez, Decana de la Facultad de Biología de la Universidad de la Habana, por su amistad y apoyo incondicional.

A mis queridos alumnos que compartieron sus vacaciones y fines de semana para que este trabajo llegará a su fin: Miguel, Nestor, María del Tránsito, Israel y Jesús.

Agradezco profundamente a mi gran amiga Araceli por compartir su amistad y el valor de la lealtad.

A mis hermanos, sobrinos por ser un gran apoyo emocional, sabiendo que en todo momento nuestro apoyo es incondicional.

A mis entrañables amigos que no los cito por no cometer una falta de omisión, que creen en mi y me apoyan incondicionalmente.

Mil gracias a todos los que participaron directa o indirectamente en este trabajo.

CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY.....	xiv
INTRODUCCION.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	6
OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	6
HIPOTESIS.....	7
ANTECEDENTES.....	8
MATERIALES Y METODOS.....	45
I. Los residuos sólidos municipales (RSU).....	45
a. Tipificación física.....	50
b. Tipificación química.	52
1. Composición química y la presencia de residuos peligrosos.....	
2. Índice de madurez.....	
c. Caracterización Biológica.....	56
1. Microbiología.....	
2. Pruebas de fitotoxicidad.....	
II. Adecuación ecológica de los residuos para su transformación (Composteo).....	59
III. Bioacumulación del plomo, por la lombriz roja californiana, <i>Eisenia andrei</i> (Bouche, 1972):	
a. Toxicidad aguda (CL50) del plomo en <i>Eisenia andrei</i> .	64
b. Evaluación de los efectos del plomo sobre el rendimiento reproductivo de <i>Eisenia andrei</i>	67
c. Acumulación del plomo por <i>Eisenia andrei</i>	75
IV. Influencia de los RSU en el desarrollo de <i>Eisenia andrei</i> empleado como alimento en comparación con la celulosa y excreta vacuna.	
a. En condiciones medio ambientales no controladas.- Cría masiva.....	79
b. En condiciones controladas de temperatura, luz y humedad.....	80

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

I.	Los residuos sólidos municipales (RSU).....	81
a.	Tipificación física.....	82
b.	Tipificación química.	86
	1. Composición química y la presencia de residuos peligrosos.....	
	2. Índice de madurez.....	
c.	Caracterización Biológica.....	90
	1. Microbiología.....	
	2. Pruebas de fitotoxicidad.....	
II.	Adecuación ecológica de los residuos para su transformación (Composteo).....	94
III.	Bioacumulación del plomo, por la lombriz roja californiana, <i>Eisenia andrei</i> (Bouche, 1972):	
a.	Toxicidad aguda (DL50) del plomo en <i>Eisenia andrei</i>	103
b.	Evaluación de los efectos del plomo sobre el rendimiento reproductivo de <i>Eisenia andrei</i>	107
c.	Acumulación del plomo por <i>Eisenia andrei</i>	112
IV.	Influencia de los RSU en el desarrollo de <i>Eisenia foetida</i> empleado como alimento en comparación con la celulosa y excreta vacuna.	
a.	En condiciones medio ambientales no controladas.- Cría masiva.....	125
b.	En condiciones controladas de temperatura, luz y humedad.....	135
	DISCUSIÓN.....	139
	CONCLUSIONES.....	143
	LITERATURA CITADA.....	146

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Lombrices de tierra *Eisenia foetida andrei*, empleada en el proceso de lombricultura.

Figura 2. Mapa del municipio de Guadalajara, donde se sitúan las colonias con servicio de recolección selectiva de residuos sólidos urbanos.

Figura 3. Disposición de las pilas de residuos sólidos urbanos y replicas.

Figura 4. Pila de RSU donde se observa la membrana de polietileno que impide el contacto directo de los desechos con el suelo.

Figura 5. Esquema del método de extracción de muestras de cuarteo en la pirámide o montículo de los RSU.

Figura 6. Separación de los componentes de los RSU (1 vidrios, 2 metales, 3 plásticos, 4 materia orgánica).

Figura 7. Esquema para la toma de las muestras a la altura y profundidad de las pirámides de compostas de basura.

Figura 8. Potenciómetro Jenway empleado para las mediciones de pH de los sustratos y el agua.

Figura 9. Balanza de precisión con estufa de secado marca. PRECISA Moisture analyser HA60, donde se procesaron las muestras, para la determinación de la humedad.

Figura 10. Termómetro de suelo metálico de vástago largo.

Figura 11. Distribución del CUCBA y área de implementación del experimento.

Figura 12. Composta de RSU después de haber sido tamizada.

Figura 13. Promedio del comportamiento de la temperatura en diferentes replicas en RSU.

Figura 14. Promedio de temperatura en diferentes replicas a 30cms en los RSU.

Figura 15. Promedio de temperatura en diferentes variantes a 60 cm de profundidad.

Figura 16. Promedio de temperaturas a os profundidades (30 y 60 cm.) en los RSU.

Figura 17. Temperaturas presentes en los cuatro puntos cardinales de las pilas.

Figura 18. Porcentaje de humedad en las replicas durante el periodo del experimento.

Figura 19. Valores de pH en los diferentes tratamientos en RSU durante el experimento.

Figura 20. Valores promedios del pH de las replicas de RSU a diferentes profundidades, durante el experimento.

Figura 21. Mortalidad de *Eisenia andrei* en diferentes concentraciones de plomo.

Figura 22. Recta de regresión lineal que muestra la relación entre la mortalidad de las lombrices inoculadas con diferentes concentraciones de plomo.

Figura 23. Medias de los pesos de las lombrices adultas con y sin plomo adicionado en el alimento.

Figura 24. Medias de los pesos de las lombrices juveniles con y sin plomo adicionado en el alimento.

Figura 25. Medias del número de lombrices juveniles con y sin plomo adicionado en el alimento.

Figura 26. Comportamiento del resultado del análisis de Rangos múltiples para el número de capullo alimentados con y sin plomo.

Figura 27. Concentración del plomo en las lombrices en diferentes períodos.

Figura 28. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 7 días.

Figura 29. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 14 días.

Figura 30. Comportamiento de los pesos de las lombrices del experimento por tratamientos de alimentación en general.

Figura 31. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 21 días.

Figura 32. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 28 días.

Figura 33. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para los diferentes periodos del experimento (Celulosa).

Figura 34. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para los diferentes periodos del experimento (Excretas Vacunas).

Figura 35. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para los diferentes periodos del experimento (RSU).

Figura 36. Peso inicial de las lombrices por los diferentes sustratos (celulosa, estiércol y RSU).

Figura 37. Peso final de las lombrices por los diferentes sustratos (celulosa, estiércol y RSU).

Figura 38. Líneas de regresión de la correlación entre la concentración del plomo, con alimento de celulosa durante los días.

Figura 39. Líneas de regresión de la correlación entre la concentración del plomo, con alimento de estiércol durante los días.

Figura 40. Líneas de regresión de la correlación entre la concentración del plomo, con alimento de RSU durante los días.

Figura 41. Dinámica del número de adultas de *Eisenia andrei* en diferentes alimentos por lugar y nivel en condiciones naturales.

Figura 42. Comportamiento de la población total de diferentes estadios de *Eisenia andrei* en alimento de 50 % RSU. (Muestreo: 1. Inicio del experimento, 2, final del experimento.)

Figura 43. Comportamiento de la población total de diferentes estadios de *Eisenia foetida* en alimento de 50 % RSU y Estiércol Vacuno. (Muestreo: 1. Inicio del experimento, 2, final del experimento).

En la figura 44. Resultado del análisis de las medias de los tratamientos en la prueba de Rango múltiples al 95% de confiabilidad de los adultos y juveniles A y B.

Figura 45. Resultado del análisis de las medias de los tratamientos en la prueba de Rango múltiples al 95% de confiabilidad. En los diferentes tratamientos para el numero de fragmentos (A), y capullos (B).

Figura 46 Fertilidad de capullo en porcentaje de lombrices de *Eisenia andrei* alimentadas con diferentes tratamientos

LISTADO DE TABLAS

- Tabla 1. Diámetro y altura de las cuatro pilas para composteo.
- Tabla 2. Diseño de experimento de las concentraciones de Plomo para determinar la toxicidad aguda.
- Tabla 3. Diseño de experimento de concentraciones de Plomo para determinar el efecto del plomo en el rendimiento reproducido de la lombriz roja californiana *Eisena andrei*.
- Tabla 4. Diseño de experimento para el estudio de la acumulación de plomo por la lombriz en diferentes períodos de tiempo con tres alimentos.
- Tabla 5. Característica de las pilas de RSU y promedio.
- Tabla 6. Componentes en peso y porcentaje de diferentes materiales de los RSU.
- Tabla 7. Clasificación de los subproductos de las muestras de basura urbana trituradas utilizada como materia prima en la producción de compost, según la **NMX-AA-022-1985**, “selección y cuantificación de subproductos.
- Tabla 8. Resultados promedio de los análisis físico-químicos con la aplicación de la **NOM-004-SEMARNAT-2002** para la caracterización de las muestras de basura urbana triturada.
- Tabla 9. Comparativo de resultados promedio de las muestras de basura urbana triturada y del compost obtenido de esta.
- Tabla 10. Resultado de las pruebas microbiológicas de la composta de RSU y los límites máximos permitidos de acuerdo a la Norma Mexicana (NOM 044, SEMARNAP- 2002).
- Tabla 11. Valores de la prueba de Minesota “Z”.

Tabla 12. Valores del análisis de varianza entre las muestras de temperaturas de las diferentes replicas de RSU, para $p= 0.05$ en los cuatro puntos cardinales.

Tabla 13. Presencia de plomo en los sustratos originales y los especímenes de prueba.

Tabla 14. Medias y desviaciones Standard de mortalidad de *Eisenia andrei* en cada uno de los tratamientos para un periodo de tiempo de 28 días.

Tabla 15. Medias del número y peso de los estadios del desarrollo de *Eisenia andrei*, alimentadas sin plomo y con una dosis de plomo por debajo de concentración subletal (%ECN).

Tabla 16. Medias del peso total de todas las lombrices en los tratamientos por tratamiento.

Tabla 17. Peso inicial y final del tratamiento total de las lombrices adultas de los diferentes periodos de días.

Tabla 18. Estadísticos de posición y dispersión para el número de individuos de los diferentes estadios de las lombrices de tierra *Eisenia andrei*.

Tabla 19. Estadísticos de posición y dispersión para el peso de individuos de los diferentes estadios de las lombrices de tierra *Eisenia andrei*.

Tabla 20 Medias de la puesta de capullos por las adulta de *Eisenia andrei*, en diferentes alimentos para el periodo de 28 días del desarrollo en general.

Tabla 21. Parámetros poblacionales de la lombriz roja californiana en diferentes alimentos.

.

RESUMEN

La contaminación es un proceso degradativo que afecta los recursos naturales y bienes materiales, alterando las condiciones ambientales, e impactando a las p Existen numerosas evidencias de la biomagnificación o reforzamiento de la contaminación en los ciclos biogeoquímicos producida por la actividad económica del hombre (Odum, 2000). La lombriz de tierra es un invertebrado es indicador de la contaminación y reúne condiciones excepcionales para ese fin. .Siendo necesario su caracterización y el establecimiento de patrones de conducta, para un empleo eficiente como tal. Además de ser buenas para la estabilización de los residuos y como fuente proteica y de salud .Cada día es mas el deterioro del medio ambiente para un desarrollo sustentables deben establecerse método naturales, para corregir los malos manejos ambientales, siendo la lombriz una buena opción, no obstante muchos investigadores están consciente de esta necesidad pero deben acometerse acciones mas activas. Para caracterizar la contaminación del suelo por plomo se estableció este trabajo, su objetivos son: Evaluar a la lombriz de tierra roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972) como bioacumulador de plomo (Pb), en la transformación en abonos orgánicos de los desechos sólidos orgánicos de Guadalajara, Jalisco, México.

Caracterizar el proceso de transformación de los residuos sólidos municipales mediante la Lombricultura.

Determinar la bioacumulación de plomo, por la lombriz roja californiana, *Eisenia andrei* (Bouche, 1972).

Proponer el método de manejo de los residuos sólidos urbanos para su uso como abono orgánico.

Para la realización del trabajo se trasladaron residuos sólidos Urbanos procedentes de las colonias de Guadalajara donde se recoge basura seleccionada de 16 colonias. Para su empleo fue necesaria su caracterización físico, química, una parte de ella se fermento hasta composta y otra parte se empleo para alimento de las lombrices con y sin plomo, determinándose el CI50, La concentración de algún efecto esperado con la que se determino el efecto del plomo en la eficiencia reproductiva de la lombriz *Eisenia andrei*, el patrón de

acumulación de plomo, y el empleo de los RSU para su degradación con la lombricultura, estableciendo ese proceso en el campo, comparando su biología en el laboratorio con condiciones controladas. Se determinó el

El 80 % de los Residuos sólidos Urbanos proceden de papel higiénico, restos de jardines y residuos finos inertes.

Aunque la presencia de metal, vidrio y residuos de la construcción es importante, este material procedente de la basura urbana “sí” es sujeto de compostear pudiendo dar como producto una buena composta...

Por otra parte se recomienda cribar la composta para eliminar la presencia de material indeseable.

Según el método de Solvita la composta obtenida presenta un índice de madurez de valor de 6 por lo que se infiere que es una composta activa, sin embargo con este grado ya el método recomienda que sea posible utilizarla en el campo, previa separación de los materiales inorgánicos (vidrio, metal y trapo).

El método Solvita no es suficiente para determinar la madurez de la composta ya que de inicio hubo que continuar la fermentación para que pudiera ser empleado por las lombrices.

La prueba de fitotoxocidad da un porcentaje de brotes del 95%, indicando su viabilidad para su empleo como fertilizante orgánico.

La prueba de Minezota dio que aun no estaba madura la composta a pesar de lo que se refleja en el método Solvita.

Los valores de las concentraciones para la toxicidad Aguda del plomo sobre la lombriz de Tierra *Eisenia foetida* dio un valor de 32-40ppm.

El valor de CL 50 esta entre los 45 y 60ppm, por lo que por extrapolación se obtuvo el valor de % que puede causar algún efecto se estimó en 45.7ppm,

La inoculación del sustrato alimenticio con plomo afectó la eficiencia reproductiva de la lombriz de tierra *Eisenia andrei*. hasta un 18% con relación al control.

Se pudo caracterizar la influencia de plomo sobre la morfología, fisiología y etología de la lombriz de tierra *Eisenia andrei*, lo que permitirá establecer una metodología de uso de la lombriz para la identificación de la toxicidad en el suelo, causada por plomo.

La lombriz acumulo plomo en su organismo en dependencia d los sustratos alimenticios que se emplearon como vehiculo para la inoculación.

Hay que considerar la posibilidad de que el plomo sustancia anfótera se mezcle con los residuos y disminuya la disponibilidad del metal para se consumido por la lombriz de tierra.

Mientras más tiempo de exposición al contaminante en excretas vacunas la lombriz acumulo mayor concentración de plomo en su organismo.

El plomo incide sobre el desarrollo de *Eisenia andrei*, disminuyendo su peso, tamaño, movilidad, y reduciendo la reproducción.

La lombriz *Eisenia andrei*, se desarrolla activamente en las condiciones climáticas de Jalisco. El RSU no brinda todas las condiciones para un óptimo desarrollo de las lombrices, siendo recomendable su mezcla con excretas vacunas para mejorar la eficiencia del proceso.

En condiciones controlas el ciclo de vida de la lombriz *Eisenia andrei*, tuvo un comportamiento similar en cuando a la reproducción y el ciclo de vida, no obstante, su comportamiento reproductivo fue mejor en condiciones controladas.

Es recomendable continuar con estos trabajos a fin de establecer un patrón de conducta más exacto para cada uno de los posibles contaminantes del suelo.

Estos resultados son preliminares de lo debe ser una necesidad imperiosa para el Manejo de los RSU, puesto que algunos parámetros establecidos en las normas Mexicanas, todavía aceptan rangos muy altos de contaminantes en los residuos para ser empleados como abonos orgánica.

SUMMARY

The contamination is a degradation process that affects the natural resources and material goods, altering the environmental conditions, and hitting to p Existent numerous evidences of the biomagnification or reinforcing of the contamination in the biogeoquímicos cycles produced by the economic activity of the man (Odum, 2000). The earthworm of earth is an invertebrate is indicating of the contamination and reunites exceptional conditions for that aim. Being necessary its characterization and the establishment of conduct patterns, for an efficient use like so. In addition to being good for the stabilization of the remainders and like protein source and of health. Every day is but the deterioration of environment for a natural development sustainable must settle down method, to correct the bad environmental handlings, being the earthworm a good option, despite many investigators are conscious of this necessity but active actions must be undertaken but. In order to characterize the contamination of the ground by lead east work settled down, its objectives are: To evaluate to the red earthworm of earth Californian *Eisenia andrei* (Bouche, 1972) as bioacumulador of lead (Pb), in the transformation in organic installments of the organic solid remainders of Guadalajara, Jalisco, Mexico. To characterize the process of transformation of the municipal solid remainders by means of the Lombricultura. To determine the bioacumulación of lead, by the Californian red earthworm, *Eisenia andrei* (Bouche, 1972). To propose the method of handling of the urban solid remainders for its use as organic installment. For the accomplishment of the work Urban solid remainders coming from the colonies of Guadalajara were transferred where selected sweepings takes shelter of 16 colonies. For its use its physical characterization was necessary, chemical, a part of her ferment until compost and another part use for food of the earthworms with and without lead, determining itself the CI50, the concentration of some waited for effect with which I determine the effect of the lead in the reproductive efficiency of the earthworm *Eisenia andrei*, the pattern of lead accumulation, and the use of the RSU for its degradation with the Lombricultura, establishing that process in the field, comparing its Biology in the laboratory with

controlled conditions. I determine myself And is 80% of the Urban solid Remainers come from hygienic paper, fine rest of gardens and inert remainders. Although the presence of metal, glass and remainders of the construction is important, this material coming from the urban sweepings "yes" is subject of compost being able to give like product good compos On the other hand it is recommended to sift compost to eliminate the presence of undesirable material. According to the method of Solvita compost obtained presents/displays an index of maturity of value of 6 reason why the recommended practice is inferred that one is compost active, nevertheless with this degree already that it is possible to use it in the field, previous separation of the inorganic materials (glass, metal and rag). The Solvita method is not sufficient to determine the maturity of compost since of beginning it was necessary to continue the fermentation so that it could be used by the earthworm. The test of fitotoxicity gives percentage of buds of a95%, indicating its viability for its use like organic fertilizer. The test of Minnesota gave that not yet compost was mature in spite of which it is reflected in the Solvita method. The values of the concentrations for the acute toxicity of the lead on the eartworm of foetida Eisenia Earth gave a value of 32-40ppm. The value of CL 50 this between the 45 and 60ppm, reason why by extrapolation obtained the value of % that can cause some effect I am considered in 45.7ppm,

The inoculation of the nutritional substrate with lead affection the reproductive efficiency of the eartworm of Eisenia earth andrei. Until a 18% in relation to the control. It was possible to be characterized the lead influence on the morphology, physiology and etiology of the earthworm of Eisenia earth andrei, which will allow to establish a methodology of use of the earthworm for the identification of the toxicity in the ground, caused by lead. The earthworm I accumulate lead in its organism in dependency d the nutritional substrates that were used like vehicle for the inoculation. It is necessary to consider the possibility that the lead anfótera substance I mixed myself with the remainders and diminishes the availability of the metal for consumed by the earthworm of earth. While more time of exhibition to the polluting agent in you excrete vaccines the earthworm I accumulate greater lead concentration in its organism. The lead affects the development of Eisenia andrei,

diminishing its weight, size, mobility, and reducing the reproduction. The earthworm *Eisenia andrei*, is developed actively in the climatic conditions of Jalisco. The RSU does not offer to all the conditions for an optimal development of the earthworm, being recommendable their mixture with you excrete vaccines to improve the efficiency of the process. In conditions you control the service life of the earthworm *Eisenia andrei*, had a similar behavior in when to the reproduction and the service life, however, its reproductive behavior was better in controlled conditions. He is recommendable to continue with these works in order to establish a more exact pattern of conduct for each one of the possible polluting agents of the ground. These results are preliminary of it must be an urgent necessity for manage of the RSU, since some parameters established in the Mexican norms, still accept very high ranks of polluting agents in the remainders to be used like installments organic.

INTRODUCCIÓN

Dos de los problemas más graves, inmediatos y cercanos que generan las actividades del hombre civilizado en su insensata destrucción del equilibrio natural por su afán de progreso y desarrollo, son las basuras y aguas residuales. Existen diversas alternativas para su disposición; la más favorecida por su menor inversión ha sido el reciclaje, sistema que apoyan los ambientalistas.

La contaminación es un proceso degradativo que afecta los recursos naturales y bienes materiales, alterando las condiciones ambientales, e impactando a las poblaciones de organismos de cada región. (Callaba., 1998).

La contaminación química es un problema mundial que se ha agravado en proporción geométrica, particularmente a lo largo del último quinquenio, siendo un asunto de índole prioritario (Ob.cit.).

Existen numerosas evidencias de la biomagnificación o reforzamiento de la contaminación en los ciclos biogeoquímicos producida por la actividad económica del hombre (Odum, 2000).

La disposición de los residuos sólidos urbanos (RSU) es uno de los problemas a enfrentar para evitar la creciente contaminación ambiental, debido a la diversidad

en su composición ya que a ellos van a parar todo lo que se considera desechable por la población, la forma de almacenamiento, el proceso de traslado, etcétera. Hasta la disposición final de los residuos, se le agregan mayor contaminación, siendo este un medio de cultivo para microorganismos y todo va a parar al suelo incorporándose a los ciclos biogeoquímicos, afectando, entre otras cosas, la fertilidad del suelo, la calidad del agua y la vida en el medio.

En la actualidad los problemas de degradación del ambiente por su envergadura, han transformado nuestra visión del mundo, por lo que se plantean nuevas prácticas científicas en diversos campos del conocimiento, para la mitigación del daño al ecosistema.

Los invertebrados del suelo y en particular las lombrices de tierra son buenos indicadores por ser vulnerables a los impactos de los contaminantes en el suelo, donde todo va a parar y son empleadas para pruebas ecotoxicológicas. (Edwards, C. A., 1996). Por otro lado el manejo de las lombrices de tierra sobre el suelo, contribuye a la degradación y transformación de los residuos y sustancias tóxicas, siendo además filtros biológicos de metales pesados.

La lombriz de tierra es un invertebrado excepcionalmente prolífico, resistente, vivaz, de carne sólida y de un insaciable apetito, capaz de digerir cualquier residuo que contenga materia orgánica en estado de putrefacción, fermentadas o en estado fresco, tales como estiércoles, residuos de cosechas, basura doméstica, urbana, lodos, celulosa, etc., y transformarlo en humus. El humus de lombriz es

un producto con gran contenido orgánico altamente humificado, elevado contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, oligoelementos y lo que es más importante cientos de millones de microorganismos saprófitos activos que al ser incorporado al suelo contribuyen al equilibrio ecológico y a la transformación de los minerales del suelo, liberando en forma soluble elementos inorgánicos requeridos como nutrientes por las plantas (nitrógeno y fósforo, tiene buena estructura, bajos niveles de metales pesados, baja conductividad, alto contenido de ácidos húmicos y buena estabilización y maduración) (Reinés et al. 1998).

Por lo tanto las lombrices (Figura 1) tienen uso en la estabilización de basura urbana, industrial y agrícola, además de producir fertilizante orgánico y proteína obtenida para alimento animal. Dados sus requerimientos nutricionales y reproductividad biológica, las especies ***Eisenia fetida*** y ***Eisenia andrei*** son ampliamente empleadas. Su modelo de desarrollo y reproducción está ampliamente documentado, demostrando su eficiencia en el proceso de lombricultura o vermicultura. (C. Elvira y col., 1998).

La mayoría de los desechos sólidos municipales (RSU) son depositados en basureros a cielo abierto no normados careciendo de medidas para mitigar los olores a la atmósfera, lixiviados producto de la materia orgánica, además sin ningún aprovechamiento de los sólidos orgánicos, una de las alternativas para dar solución a los desechos sólidos municipales es el reciclado utilizando a la lombriz de tierra como agente biológico para transformar estos desechos en un abono orgánico a través del proceso biotecnológico llamada Lombricultura.



Figura 1. Lombrices de tierra *Eisenia foetida andrei*, empleada en el proceso de lombricultura.

En México se ha experimentado en los últimos años un acelerado proceso de urbanización concentrado en ciertas urbes (e. g. Ciudad de México, Monterrey, Zona Metropolitana de Guadalajara), lo que trae como consecuencia el crecimiento de los RSU en varias zonas urbanas del país y se han creado metrópolis como: La ciudad de México, Monterrey y Guadalajara. (Brambila, C. 1992), lo que ha traído como consecuencia también el crecimiento de los RSU difíciles de eliminar. El estado de Jalisco, ubicado en la región occidental de México cuenta con 126 municipios, caracterizado fundamentalmente por la actividad agropecuaria.

En la regionalización realizada por Dirección General de Materiales, Residuos y Actividades Riesgosas (INE) respecto a la generación de Residuos Sólidos

Urbanos (RSU).(Región Fronteriza, Norte, Occidente, Centro, Sureste), Jalisco pertenece a la Región Occidental conjuntamente con 22 ciudades donde se incluye Guadalajara (Carabias J., Provencio E. Durazo.E., 1997).

La Ciudad de Guadalajara, capital del estado de Jalisco, es considerada como el segundo municipio de importancia del país, con una población estimada de 1'633,216 habitantes, según datos de INEGI 2005. y 2'364,760 para el 2010, y un crecimiento promedio esperado del 1.99% (Ob.cit.), En torno a este Municipio se ha conformado la zona metropolitana de Guadalajara con 4'600,531 habitantes.(INEGI 2005).

Actualmente se calcula que en la zona metropolita de Guadalajara (Guadalajara, Tlaquepaque, Tonalá y Zapopan) se generan más de 3,200 t diarias, y tan solo en Guadalajara 1,600 t. En el 2005 toda esta población genero una gran cantidad de residuos de 1.215Kg./hab./día y se calcula que para el 2010 esta sea de 1.342 Kg./hab./día, (Ob. Cit.), a lo que hay que agregarles los residuos industriales, que contaminan el ambiente.

El programa de recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios implementado por la empresa CAABSA, EAGLE, S.A. de C. V. incluye las siguientes colonias de Guadalajara: Independencia Oriente, Alcalde Barranquitas, Colinas de la Normal, Residencial Victoria, Bosques de la Victoria, Verde Valle, Monumental, Independencia Poniente, Jardines Alcalde, Sutaj, Universitaria,

Lomas del Paradero, Hermosa Provincia, Lagos de Oriente, San Joaquín, Jardines de la Paz.

Debido al impacto actual y futuro de los RSU en la ciudad de Guadalajara el objetivo del presente trabajo es realizar la caracterización físico - química de estos residuos del municipio de Guadalajara, Jalisco, de manera que los datos sirvan para proponer su uso práctico, contribuyendo a la mitigación de la contaminación ambiental.

OBJETIVO GENERAL:

- ❖ Evaluar a la lombriz de tierra roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972) como bioacumulador de plomo (Pb), en la transformación en abonos orgánicos de los desechos sólidos orgánicos de Guadalajara, Jalisco, México.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- ❖ Caracterizar el proceso de transformación de los residuos sólidos municipales mediante la Lombricultura.
- ❖ Determinar la bioacumulación de plomo, por la lombriz roja californiana, *Eisenia andrei* (Bouche, 1972).

HIPÓTESIS:

Los residuos sólidos orgánicos municipales se emplean como sustrato y alimento a la lombriz roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972), y son un filtro biológico de los metales pesados presentes, si esto ocurre, entonces la lombriz de tierra es un agente biológico transformador de basura orgánica municipal, generando como producto un abono orgánico de buena calidad.

ANTECEDENTES

Ecotoxicología.

Para la protección de la salud humana y el medio ambiente desde la perspectiva de la ecotoxicidad, es preciso proteger tanto a la flora y fauna silvestres como a los ecosistemas de los efectos perjudiciales que se puedan derivar de la generación, el transporte y la eliminación de desechos peligrosos (Shirazi, 19881).

Los efectos ecotoxicológicos de una sustancia o desecho químicos dependen de su capacidad para actuar como elemento tóxico para los organismos presentes en el medio, así como de la exposición de estos organismos (Forbes, 2003).

Los sistemas de clasificación de sustancias químicas para determinar sus peligros ecotoxicológicos, OCDE (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos), (2001), tienen en cuenta normalmente tanto las propiedades toxicológicas de las sustancias como las propiedades relacionadas con la exposición, su potencial de bioacumulación y capacidad para degradarse en el medio ambiente. También, como se indica en la definición anterior, una evaluación ecotoxicológica debería abordar los efectos agudos (la letalidad aguda de los organismos) así como los efectos crónicos (reducción del crecimiento o la imposibilidad de la reproducción), como puntos terminales.

En ecotoxicología, los efectos tóxicos en los sistemas bióticos de las sustancias o las mezclas de sustancias se evalúan mediante pruebas en las que los organismos son expuestos en condiciones controladas. Pueden hacerse pruebas muy diversas, desde simple pruebas de letalidad a corto plazo para una sola especie hasta combinaciones cerradas con comunidades de organismos. Sin embargo, en comparación con el gran número de productos químicos que actualmente utiliza la sociedad, solo se dispone de datos sobre ecotoxicidad de un número relativamente reducido de productos químicos, y en la mayoría de los casos estos datos se limitan a los resultados de unas pocas pruebas acuáticas básicas, o la toxicidad aguda para peces o *Daphnia*, y algunas en lombrices para suelos, temáticas en la que existen muchas controversias.

Las propiedades relacionadas con la exposición, tales como la biodegradación y la bioacumulación, son importantes para la evaluación de los peligros ecotoxicológicos de las sustancias, ya que influyen de manera importante en su distribución entre la biota y el ambiente y en su capacidad de persistir en el medio. Los resultados de pruebas sobre degradación rápida y potencial de bioacumulación según las directrices de la OCDE, (1993) se utilizan a menudo como indicadores de esas propiedades y se incluyen en los planes de clasificación de sustancias químicas (OCDE, 2001).

Un principio básico de la estrategia propuesta es que los peligros ecotoxicológicos de los desechos están determinados por su contenido de sustancias peligrosas.

Los peligros ecotoxicológicos de esas sustancias se evalúan utilizando datos de pruebas ecotoxicológicas de laboratorio normalizadas con organismos que representan diversos niveles en el ecosistema y/o diferentes tipos de medios.

Estos datos y los de biodegradación y bioacumulación se usan para clasificar los peligros ecotoxicológicos de las sustancias contenidas en los desechos.

Los criterios propuestos se basan en las propiedades ecotoxicológicas: toxicidad, biodegradación y bioacumulación. Otros aspectos terminales pertinentes, como la disrupción endócrina y la transferencia por conducto de las cadenas tróficas, no se incluyen debido a la inexistencia de criterios aceptados internacionalmente.

Los ecosistemas en general y el urbano en particular, deben contemplar un balance energético cuyo resultado sea al menos, cero. Específicamente en las ciudades a través de la problemática de la basura, vemos que las "entradas" están representadas con los consumos, y las "salidas" son los residuos que producimos y que al enterrarlos o incinerarlos no los estamos aprovechando como lo que son: energía y recursos que podrían volver al ciclo aportando un balance más nivelado, reiterando que nos estamos refiriendo al mayor volumen de residuos sólidos domiciliarios, que son los orgánicos.

La contaminación ambiental por agentes químicos potencialmente tóxicos, constituye en la actualidad una preocupación a nivel mundial por los riesgos que conlleva para la salud humana y para los ecosistemas. (Anónimo 1988)

El acelerado desarrollo industrial ha provocado la presencia de agentes que, por sus características o por su alta concentración, son dañinos tanto para los organismos como para los ambientes en donde aquellos se desarrollan. Estos agentes nocivos provocan alteraciones en la estructura y función de los organismos expuestos, que se aprecian como enfermedades, incapacidades muertes y hasta desaparición de especies animales y vegetales, así como el desequilibrio de la dinámica natural de los ecosistemas (Ob.cit.).

La toxicología estudia los efectos de sustancias nocivas (agentes tóxicos) para los sistemas biológicos; además establece la magnitud del daño en función de la exposición a dichas sustancias. (Ob.cit.)

Si un animal come alimentos que contienen sustancias tóxicas día tras día, en ciertas circunstancias dichas sustancias se concentrará en el animal a un nivel más elevado que en el alimento, a este fenómeno se le llama Biomagnificación (o bioconcentración), puede llevar a niveles peligrosos de sustancias tóxicas en los alimentos. (Harte J. et al, 1988).

¿Cuáles son las circunstancias en que ocurre la biomagnificación y que tan grave es el problema?

Un animal crece al metabolizar algunos de los alimentos que come en nuevos tejidos corporales. Incluso un animal que no esta realmente creciendo utiliza algunos de sus alimentos para reemplazar el tejido gastado. Típicamente sólo del

1 - 10 % de los alimentos ingeridos por un animal se retienen para estos propósitos; el resto se utiliza en el cuerpo como una fuente de energía o se excreta. Si la sustancia tóxica en el alimento se retiene a una mayor velocidad que el mismo alimento, la concentración de la sustancia tóxica en el animal aumentará de manera gradual. (Ob. Cit.)

Algunas de las sustancias tóxicas son excretadas por los animales con facilidad, en dichos casos no se bioconcentrarán. Generalmente, las sustancias se bioconcentran cuando se depositan en algunos tejidos u órganos del cuerpo. Por ejemplo el DDT se bioconcentra debido a que se une al tejido graso. (Ob. Cit.)

En relación a los plaguicidas, si su aplicación fuera adecuada, no deberían de existir residuos de ellos o deberían estar presentes solo en cantidades limitadas; la concentración de residuos debe ser inferior a la ingesta diaria admisible (IDA), definida por los expertos en residuos de plaguicidas de la FAO/OMS. Sin embargo algunas sustancias pueden bioacumularse en los organismos comestibles y estos resultar inapropiados para el consumo humano (Anónimo, 1988)

Entre más superior se encuentre el animal en la cadena alimenticia es mayor la probabilidad de que tenga un nivel elevado de bioconcentración de sustancias tóxicas en sus tejidos. La cantidad de sustancia tóxica que se mueva a través de la cadena alimenticia se determinará en parte por qué tanto de la sustancia resida en el suelo o el agua, porque ahí es donde comienza el proceso de bioconcentración (Harte, et al 1995).

El uso de métodos de prueba eco toxicológicos para la evaluación de los peligros de los desechos tiene que validarse y aceptarse más ampliamente a nivel internacional antes de que se tengan en cuenta para su utilización en dicha directriz. Esto incluye los métodos de muestreo y preparación de desechos para pruebas (por ejemplo, extractos acuosos) así como la selección de métodos de prueba que representen distintos compartimientos ambientales. Sin embargo, esta esfera se está desarrollando rápidamente y debería tenerse en cuenta en futuras revisiones de los criterios.

Los conocimientos sobre fertilidad de suelo, los riesgos de los productos químicos que se lixivian en el agua potable, la contaminación del suelo, y los efectos perjudiciales de contaminantes en el ambiente vivo han dado lugar a un interés cada vez mayor sobre los organismos del suelo.

Muchos materiales tóxicos se acumulan a lo largo de redes alimenticias y los niveles detritivoro – descomponedor. Estos son con frecuencia los primeros que se afectan puesto que la materia orgánica y el suelo son el último reducto de en la cadena de contaminación, para la deposición de la mayoría de los contaminantes.

Recientemente científicos y legisladores en muchos países han centrado su atención en la necesidad del empleo de organismos del suelo sensibles en al

ambiente del ecosistemas del suelo para el uso en la investigación, el control del medio ambiente, y como indicadores de la contaminación.

Importancia de las lombrices de tierra:

El extraordinario interés que ha suscitado el tema de las lombrices se debe a que estos invertebrados, en primer lugar son excelentes descomponedores de la materia orgánica, lo que ha dado lugar a su comercialización para la producción de abono orgánico (humus de lombriz o casting), en la naturaleza forman parte de la cadena alimenticia de muchos grupos animales, constituyendo una fuente no convencional de proteína, poseen propiedades medicinales y antimicrobianas. Sin capaces de acumular metales pesados en su organismo, siendo indicadores de la contaminación. Desde el punto de vista evolutivo sirven para la predicción de la distribución, sobre todo de la fauna en las islas, y su relación filogenética.

Acción descomponedora de las lombrices de tierra:

Las lombrices no se comen las raíces de las plantas vivas, sino que transforman la materia orgánica en estado de descomposición (Barois et al, 1986). Son formidables devoradores de excrementos animales, y de materia orgánica en descomposición tanto vegetal como animales (Campanioni, L.1985).

Las lombrices son un importante componente en el ecosistema del bosque tropical lluvioso. Sin embargo no se conoce todavía su rol exacto en la dinámica global de energía y flujo de material. (Fragoso, Lavellle P. 1992).

Las lombrices de tierra son pequeños agricultores que excavan a fondo el suelo a varios metros de profundidad. A lo largo de toda su vida toman incesantemente tierra y desechos orgánicos y excretan finos y fructíferos cúmulos de humus. Todo su cuerpo es un intestino donde se mezclan los componentes orgánicos y los minerales del suelo con los jugos gástricos hasta producir agregados estables. Así se origina el conocido complejo arcillo-húmico (Kokta, 1992).

Los biosólidos, obtenidos de las industrias textiles y el resto de residuos procedentes de otras industrias y de las casas pueden ser descompuestos a través de la Lombricultura con la especie *Eisenia fetida*.

Utilizando excretas vacunas y paja de avena como alimento de *E. fetida* durante dos meses a diferentes humedades (60%, 70% y 80% en bases seca) se probó que se triplica la reducción de patógenos y compuestos tóxicos orgánicos y esta mezcla constituye un sustrato favorable para el desarrollo de *E. fetida*. El humus resultante presentó buena estabilidad y madurez, y es bajo en peso y se obtuvo 18% con 1,800 g de biosólidos, sin paja y 800 g excretas al 70% de humedad. El Cromo, Cobre, Plomo y Zinc estuvieron por debajo del límite establecido, por la USEPA. El Índice de Germinación: (*Lepidium sativum*) de 80% después de 2 meses). No se detectó: *Salmonella* spp., coniformes fecales y *Shigella* spp, huevos de helmintos. (Contreras *et al.* 2005)

Los excrementos de las lombrices de tierra contienen altas concentraciones de sustancias nutritivas; el análisis de las principales sustancias nutritivas del humus de lombriz en comparación con la tierra cercana muestra que el primero contiene:

5 veces más nitrógeno.

7 veces más fósforo.

11 veces más potasa.

2 veces más magnesio

4 veces mas calcio

Las cifras mencionadas anteriormente pueden oscilar según el tipo de suelo y su proporción de nutrientes; sin embargo, siempre son sensiblemente altas (Ob. Cit.).

La temperatura del suelo, en ausencia de la intervención humana, el mantenimiento de la estructura del suelo, y la fertilidad bajo ciertas circunstancias de pedogénesis, puede ser ampliamente atribuido a las actividades de las lombrices de tierra. La actividad de las lombrices de tierra proveen al suelo aireación, drenaje, nutrientes asimilables para las plantas y generalmente integran al suelo elementos orgánicos y minerales de forma agregada.

En ausencia de lombrices de tierra, los suelos pueden deteriorarse considerablemente mostrando incremento de volumen, densidad y reducción de permeabilidad, rango de infiltración y de contenido de materia orgánica. A la

inversa, la adición de lombrices en áreas donde estaban ausentes, contribuyó a la rápida mejoría de la de la variedad del tipo de suelo, y es actualmente considerada como un paso hacia la completa rehabilitación de los suelos degradados (Butt et al, 1994).

Las lombrices de tierra entre los muchos animales subterráneos forman parte de la fauna del suelo, éstas habitan las arenas, el cieno y las arcillas (Jambhekar, 1994).

Incansables y metódicas, las lombrices constantemente ingieren materia orgánica y suelo, produciendo humus, un almacén de carbono, nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, micro nutrientes y más. Entre otras funciones, el humus es amortiguador del pH del suelo, absorbe material tóxico, mejora la estructura del suelo y la humedad, y modifica la temperatura del mismo (Ob. Cit.).

La enorme importancia de éstos animales como detritívoros es la recuperación de suelos con alta deposición orgánica (Elvira *et al.*, 1998).

La presencia de las lombrices acelera la mineralización de la materia orgánica, favoreciendo la ruptura de la estructura de los polisacáridos e incrementa la velocidad de humidificación

Importancia ecológica de las lombrices de tierra; distribución vertical:

La distribución vertical de las fuentes de alimento explotadas por las lombrices de tierra tropicales es un factor que promueve la diversificación y estratificación de sus comunidades. En los trópicos, las lombrices utilizan el espectro completo de las fuentes de alimento disponibles a lo largo del perfil del suelo y se encuentran desde los horizontes más profundos, con bajo contenido de materia orgánica, hasta la hojarasca de la superficie y los suelos suspendidos de las epífitas y las coronas de las palmas (Lavelle, 1984; Fragoso y Lavelle, 1987; 1995).

Las diferentes especies de lombrices habitan distintas profundidades del suelo y su distribución vertical varía en el transcurso del año en respuesta a factores abióticos y bióticos (Martín y Lavelle, 1992). Sin embargo, muchas especies prefieren, aparentemente, el suelo superficial la mayor parte del tiempo ya que es la más rica en calidad y posee la mayor digestibilidad de la materia orgánica (Valle *et al.*, 1999). Los datos de la literatura señalan la existencia de una marcada tendencia a que las comunidades se establezcan fundamentalmente en los primeros 10 cm del suelo, donde se registran los valores máximos de densidad y biomasa.; así lo han observado Martínez y Rodríguez (1991) y Martínez y Sánchez (2000) en bosques siempre verdes de Cuba y Fragoso y Lavelle (1992), después de analizar y sintetizar la información de una amplia variedad de selvas tropicales en diferentes regiones del mundo; mientras que en bosques semidecíduos mesófilos, Rodríguez (2000), notó que la abundancia y biomasa de estas

comunidades podían estar distribuidas más homogéneamente en los 30 cm superiores de suelo durante la época de sequía, debido a la migración de parte de la comunidad hacia los niveles más profundos.

La influencia de los factores abióticos sobre las comunidades de lombrices de tierra es determinante en la distribución, densidad y riqueza de especies en los distintos ecosistemas.

Sin embargo, la determinación de los patrones de distribución espacial específicos de los megadrilos en los ecosistemas donde se presentan, no ofrecen un consenso general de la forma en que se comportan en relación a la temperatura y humedad del suelo, ya que en ocasión su acción se enmascara por el efecto sinérgico de muchos otros factores. Según Lavelle (1983) la humedad del sustrato y la temperatura son los factores más importantes que determinan la cantidad y calidad de las poblaciones de estos anélidos.

Como consecuencia de su fisiología, estos invertebrados son extremadamente sensibles a la sequía o a las lluvias excesivas. Cuando los niveles de agua en el suelo son muy elevados, la mayoría de las poblaciones muere por falta de oxígeno; mientras que durante los períodos de sequía parte de la población adulta es eliminada y sólo quedan los capullos y juveniles, quienes aseguran la supervivencia de la especie.

También Lavelle (1983) demostró que la temperatura es un factor determinante en las características de las comunidades de lombrices de tierra pues al incrementarse la temperatura superficial ellas tienden a moverse hacia niveles más profundos del suelo. Asimismo, la granulometría y composición mineral del suelo pueden modificar la distribución de los individuos de la comunidad al influir directamente en la capacidad de campo.

En los bosques tropicales, la temperatura del suelo es extremadamente estable y exhibe ínfimas variaciones debido a que la cubierta vegetal actúa como una efectiva capa aislante o protectora (Adis y Schubart, 1983; Lavelle, 1984), pero cuando hay una estacionalidad marcada, la abundancia y la biomasa se eleva en la estación de lluvia (Nemeth, 1981; Montadert, 1985; Fragoso y Lavelle, 1995).

Sobre este tema, Fragoso y Lavelle (1992) concluyeron que la estructura de las comunidades de lombrices está determinada fundamentalmente por variables ambientales, más que por restricciones filogenéticas, y dentro de las primeras variables, se destaca la humedad del suelo y su contenido de nutrientes; asimismo, observaron que la abundancia y biomasa siguen el mismo comportamiento que el de las precipitaciones anuales.

Resulta interesante que en zonas adyacentes a fuentes hídricas permanentes o discontinuas como lagunas y arroyos, las lombrices de tierra se encuentran en abundancia; ello presupone que dichos sitios constituyen reservas naturales de sus comunidades, además de ser fuentes potenciales y probablemente

funcionales para la dispersión de la misma hacia otras regiones, fundamentalmente después de los períodos de sequía y favorecidas por las lluvias durante la estación correspondiente (Rodríguez y Martínez, 2001).

Respecto a la tolerancia de las lombrices al grado de acidez del sustrato, Petersen y Luxton (1982) señalaron que las lombrices prefieren suelos ligeramente ácidos con pH entre 5 y 6, mientras que Lavelle (1996) amplió los estudios y como resultado obtuvo que la abundancia de las lombrices de tierra está significativamente relacionada con el pH. En climas templados, las lombrices epígeas tienen un pico de abundancia en suelos ácidos mientras, las endógeas son sólo abundantes en suelos ligeramente neutros. Sin embargo, las lombrices en los trópicos tienen preferencia por pH más bajo con relación a las de regiones templadas; esto quizás se deba a la diferente calidad de la hojarasca que se produce en ambos climas.

En relación a la necromasa del ecosistema, se ha demostrado que su calidad y cantidad influye directamente sobre la densidad y biomasa de los megadrilos (Zou, 1993; González *et al.*, 1996). El primer autor demostró que la densidad de *Pontoscolex corethrurus* y *Amynta gracilis* aumentó de 92 ind.m⁻² en una plantación de *Eucaliptus* sp. a 469 ind.m⁻² en una de *Albizia* sp. debido a que en esta última, se produce una hojarasca más fina y rica en nitrógeno.

Larson y Pierce (1994) afirman que la calidad del suelo se puede representar por una serie de propiedades físicas, químicas y biológicas que a su vez: (i) permiten

el crecimiento de las plantas y la actividad biológica; (ii) regulan el flujo y el almacenamiento del agua en el medio ambiente; y (iii) sirven como amortiguador en la formación y destrucción del medio ambiente.

En los sistemas naturales e intervenidos, el funcionamiento y las características físicas, químicas y biológicas del suelo están determinadas por una jerarquía de factores que actúan a diferentes escalas: el clima a la más grande escala, la naturaleza del sustrato que determina el almacenamiento de nutrientes y la cantidad y calidad de las arcillas, la comunidad vegetal que determina la abundancia y calidad de la materia orgánica producida, los organismos ingenieros (macro fauna y raíces), la meso y micro fauna y, por último la microflora (Lavelle *et al.*, 1993). En agro ecosistemas, la calidad del suelo esta afectada por muchos factores externos como el tipo de uso de la tierra, manejo de prácticas agrícolas, interacción entre ecosistema y medio ambiente, prioridades socioeconómicas y políticas, entre otras.

Doran y Parkin (1994) han definido la calidad del suelo como "la capacidad de funcionamiento del suelo, dentro del ecosistema y de las limitaciones de uso de la tierra, que permite la productividad biológica y favorece el mantenimiento y crecimiento de plantas, animales y del hombre".

Biodiversidad y bioindicadores:

Uno de estos importantes recursos que se pierden en los sistemas actuales de manejo es la biodiversidad. Esta responde de manera significativa, por diferentes vías, a las perturbaciones causadas por el manejo humano, provocando cambios en la abundancia y estructura de las comunidades biológicas ; (Lavelle, 1997).

La biodiversidad, entendida como la riqueza específica de plantas, animales y microorganismos que existen e interactúan dentro de un ecosistema, es un parámetro que permite valorar la estructura y la transformación del medio.

Los bioindicadores pueden usarse como preeditores de la biodiversidad y de la actividad biológica para evaluar la sostenibilidad del uso del medio, desde el nivel de parcela hasta el nivel de paisaje. El estado de los indicadores describe las condiciones del medio y permite evaluar los efectos de las prácticas de manejo o de restauración. Por ejemplo, los bioindicadores pueden utilizarse para monitorear el efecto del uso de pesticidas en la agricultura o evaluar la eficiencia de acciones de recuperación de áreas contaminadas (Van Straalen, 1990).

Un bioindicador puede ser definido como una especie o un grupo de especies que reaccionan de una forma específica a ciertos tipos de cambios ambientales (Paoletti and Bressan, 1996; Van Straalen, 1990). Ejemplos de especies indicadoras pueden ser especies que normalmente no pueden vivir fuera del bosque, especies que viven únicamente en pastizales o en áreas cultivadas,

aquellas que soportan altos niveles de contaminantes en sus tejidos, especies que reaccionan a prácticas particulares en el manejo del suelo y aquellas que soportan estrés hídrico (Paoletti, 1999).

El uso de pequeños invertebrados como herramienta de evaluación de los daños causados en el ambiente tales como el efecto de prácticas agrícolas (e.g. uso de pesticidas, labranza, fertilización química, lodos residuales, pisoteo, monocultivo) aparece como una buena estrategia ya que las especies que componen sus comunidades presentan una gran diversidad de reacciones a distintos efectos; la composición y estructura de estas comunidades proporciona mucha información, aunque muchas veces solamente entendible por especialistas con alto nivel de formación .

La macrofauna como bioindicador:

El efecto de la macrofauna en los procesos del suelo ha sido ampliamente revisado (Curry, 1994; Edwards y Bohlen, 1996; Lavelle y Pashanasi , 1989).

La macrofauna puede usarse como bioindicador de la calidad del suelo debido a su destacado papel en la comunidad de organismos del suelo y a su función de promover procesos importantes en el suelo (e. g. la descomposición de la materia orgánica, formación de estructuras, ciclo de nutrientes y control de enfermedades) (Lee y Foster, 1991; Doube *et al.*, 1994; Edwards y Bolhen, 1996; Brown *et al.*, 1999).

Lavelle (1997) ha mostrado que la macrofauna y en especial los “Ingenieros del ecosistema” (lombrices, hormigas y termitas principalmente) ejercen una gran influencia sobre la diversidad y actividad de la biota y de los niveles tróficos subordinados, por ejemplo, transformadores de hojarasca, microdepredadores y en la microflora como transformador fundamental de nutrientes. Esta relación entre la actividad y la diversidad de los “Ingenieros del ecosistema” y las propiedades físicas y químicas del suelo influyen en: la heterogeneidad estructural del suelo, la estabilidad de los agregados, la distribución horizontal y vertical de la MO, y la infiltración y retención de agua (Blanchart *et al.*, 1997).

La macrofauna cumple diversas funciones en los procesos del suelo tales como:

- La utilización de cantidades significativas de materia orgánica del suelo (MOS) para producir estructuras biogénicas (Lavelle *et al.*, 2001).
- La regulación de la actividad de microorganismos y otros pequeños invertebrados incluidos en sus “dominios funcionales” (conjunto de estructuras biogénicas que la macrofauna crea en el suelo y los organismos que allí habitan) (Lavelle, 1997). Trabajos recientes muestran efectos significativos de la macrofauna en la composición de la microflora encontrada en las estructuras biogénicas que ellos producen (Tiwari y Mishra, 1993; Magurran *et al.*, 1989).
- Mantenimiento de las propiedades físicas del suelo, (Mangurran *et al.*, 1999; Blanchart *et al.*, 1997).

- Regulación de la dinámica de la MOS en diferentes vías en una escala de tiempo, desde horas y días hasta meses, años y décadas (Martín, 1986; Parmelee *et al.*, 1998).
- Acelera el proceso de mineralización durante el tránsito por su intestino y a menudo estimula la producción de plantas a través de la liberación y asimilación de nutrientes y a través de numerosas interacciones (Elvira *et al.* 1998, Brown *et al.*, 1999; Brussard, 1997).

Todas estas características, hacen que la macrofauna sea un buen indicador de la calidad y de la sostenibilidad del uso del suelo, ella está en contacto directo con la solución del suelo y con los minerales de este, afecta también, a través de su actividad, las comunidades de organismos más pequeños e influye sobre las propiedades físicas, químicas y micro morfológicas del suelo.

Dentro de este contexto, en éste trabajo se diseñó un indicador de calidad de suelo, basado en la hipótesis que la macrofauna es un buen indicador de la calidad del suelo debido a su estrecha relación con características físicas y químicas del suelo y a su sensibilidad a las perturbaciones del suelo. Para esto se evaluó la respuesta de las comunidades de macrofauna (abundancia y diversidad) a variaciones de las condiciones físicas y químicas del suelo, evaluando suelos con diferentes estados de calidad.

Relación de las lombrices de tierra con la flora microbiana:

Las lombrices de tierra y microorganismos mejoran las otras actividades en el proceso del composteo (Satchell, 1983). la empleo en residuales para su tratamiento, incrementando el tiempo de estabilización con otros métodos de composteaje, siendo valorada en términos económicamente de costo de operación y marketing del producto final.

La lombriz *E. andrei*, la presenta cilios en el tubo digestivo involucrados en la actividad celulolítica localizados en la molleja, intestino anterior. A nivel del intestino anterior, e intestino medio, existe una importante trama de mucopolisácaridos donde se sitúan bacterias de forma bacilares. Este mucus que tapiza la pared del tubo digestivo debe permitir la vida de estas bacterias pegadas al epitelio, asociadas al bolo alimenticio. La producción de mucus favorece las actividades funcionales de estos microorganismos (Ob. Cit.).

La existencia de bacterias filamentosas de un morfotipo a nivel de intestino posterior es muy particular, y constituye la microflora autóctona.

El ecosistema del tubo digestivo presenta características diferentes del medio ambiente edáfico. La estructura, el revestimiento natural del tubo digestivo, el pH, el potencial de energía, explica la presencia de una microflora residente adaptada (Ob. Cit.).

Eisenia andrei posee enzimas celulolíticas en diferentes niveles del tubo digestivo. La acción esta complementada por la actividad microbiana (Trigo et al. 1999).

E. andrei es un detritívoro que puede ingerir ricos substratos con microflora celulolíticas, aportando así más enzimas. Las bacterias celulolíticas actúan sobre la celulosa, y son capaces de reducir el azúcar en 3 horas. Estas enzimas se albergan en el tubo digestivo de *E. andrei*. La existencia del sinergismo entre dos enzimas de organismos diferentes, son necesarios para las lombrices en la degradación de la celulosa. Esto sugiere la asociación de las lombrices con una microflora celulolítica, en un sistema de digestión mutualista (Ob. Cit.)

Kristufek y colaboradores (1992) en su investigación estimaron el número de bacterias, actinomicetos y micomicetos en el contenido estomacal de dos especies de lombrices usando la técnica de placa y el método de fluorescencia microscópica. Un incremento en número de todos los tres grupos microbiales fueron observados en el intestino de *Lumbricus rubellus* durante el paso de los residuos por el tracto digestivo. El total de número de bacterias aerobias y anaerobias facultativas fue 7×10^6 grs. contenido seco en la parte anterior del intestino, pero éste incrementó a 16×10^6 y 29×10^6 en el intestino medio e intestino posterior, respectivamente. Un incremento similar fue observado en el número de actinomicetos y micomicetos siendo detectados en la parte anterior del intestino (62×10^6 , 6×10^6 g contenido seco) en la parte media del intestino (37×10^6 , 4×10^6) de *Aporrectodea caliginosa*, y sus concentraciones no cambiaron significativamente con relación a la región media y posterior del intestino.

Los micomicetos fueron relativamente estables en número en las tres secciones intestinales. El número de bacterias vivas estimadas por el método de fluorescencia microscópica, correspondió en general con el contenido de la placa, aunque fue detectado un incremento en el número de bacterias en la parte media y posterior del intestino de *A. Caliginosa*. Los factores que podrían ser responsables de las diferentes comunidades intestinales de microorganismos entre las dos especies son discutibles.

Un análisis y selección representativa de bacterias y actinomicetos fue realizado por Rashed, S. y Dozsa-Farkas, (1992). de una cepa aislada de la parte posterior de la cutícula de *Fridericia hegemon* (Enchytraeidae), Esta reveló la presencia de pseudomonas, predominando *Pseudomona aureofaciens*.

No puede ignorarse que la distribución de las lombrices de tierra son indicadoras ideales de las conexiones de las áreas de la tierra entre las islas o tierras separadas por agua salada, ya que ellas solo pueden dispersarse si son trasladadas en balsas o por el hombre.

Su historia evolutiva refleja las últimas conexiones, puesto que la separación de las tierras, establece poblaciones de especies aisladas. De la teoría de la vicarianza biogeográfica, estos aislamientos o eventos de vicarianza son factores primarios de interés en la historia de la flora y de las áreas de las islas.

La dispersión es un carácter evolutivo y se considera como fuente de disturbio en los datos (Sober 1988).

En biogeografía la vicariance representa un sistema de hipótesis que predicen los patrones de la distribución basados en los modelos históricos (Blair et al 1995). Los modelos históricos existentes tienen que ver con la creación de barreras para el intercambio genético. Cualquier especie, de lombrices de tierra puede ser afectada por la fragmentación del ecosistema, de forma diversa, debido al clima, geológico, u otros procesos.

Es posible hacer un mapa ramificado entre diferentes puntos de un cladograma de las lombrices de tierra entre las islas teniendo en cuenta las taxa de lombrices de tierra existentes.

En la nomenclatura de la vicarianza biogeográfica, se sustituyen los taxa en la rama terminal del árbol filogenético por los nombres de las localizaciones de colecta para hacer un cladograma del área.

El modelo geológico proporciona la predicción del cladograma del área, que se puede comparar con el derivado biológico. El éxito de este acercamiento depende en gran medida de un buen análisis filogenético y los datos la dispersión-inducida.

Debe estar claro que cualquier análisis biogeográfico de esta clase requiere de un análisis filogenético anterior (Blair et al 1995).

Ball (1975) puntualiza que las lombrices de tierra no tienen nada que ofrecer al análisis biogeográfico si el tratamiento de los datos disponibles en su momento son superficiales. Desafortunadamente, muy poco ha cambiado desde entonces, y las revisiones taxonómicas continúan siendo hechas sin un análisis filogenético explícito.

Los taxonomistas de las lombrices de tierra son pocos, y al parecer están aislados de sus contrapartes que trabajaban en otros taxa, o quizás sus trabajos se basan en la taxonomía básica, y muchos tratan los conceptos taxonómicos desconociendo otros métodos sistemáticos, y desconociéndose entre si. Con una excepción (Jamieson 1988), Toda la investigación de más alto nivel de la sistemática sobre lombrices de tierra se basa en la metodología clásica. Esto no quiere decir que el método clásico sea malo, pero los “nuevos” métodos, particularmente el análisis cladístico (Gates, 1972), más recientemente son investigaciones de otra generación. Desafortunadamente, muy poco especialistas en lombrices de tierra se han aprovechado de la revolución del conocimiento de la sistemática y las estimaciones carecen de datos de peso por los métodos obsoletos.

La biogeografía no puede ser tratada ligeramente. Existe la oportunidad del empleo de tecnologías y técnicas más modernas generadas por la investigación,

entre las que se encuentran la capacidad de obtener secuencia de la DNA y otros datos molecular es de forma rápida y barata.

Empleo de las lombrices de tierra como bioindicadoras de la contaminación:

Muchas sustancias toxicas que se acumulan en los alimentos afectan en primer lugar a nivel de los detritívoros - descomponedores, siendo la materia orgánica en el suelo el último reducto de máxima contaminación a donde van a parar todos los residuos.

Los invertebrados del suelo y en particular las lombrices de tierra son buenos indicadores por ser vulnerables a los impactos de los contaminantes en el suelo, donde todo va a parar y son empleadas para pruebas ecotoxicológicas (Edwards, 1998). Por otro lado en manejo de las lombrices de tierra sobre el suelo, contribuye a la degradación y transformación de los residuos y sustancias tóxicas, siendo además filtros biológicos de metales pesados.

Las lombrices tienen uso en la estabilización de basura urbana, industrial y agrícola, además de producir fertilizante orgánico y proteína obtenida para alimento animal. Dados sus requerimientos nutricionales y reproductividad biológica, las especies *Eisenia fetida* y *Eisenia andrei* son empleadas para dichos fines. Su modelo de desarrollo y reproducción están ampliamente documentado,

demostrando su eficiencia en el proceso de vermicompostaje (Elvira *et al.*, 1996; Reinés *et al.*, 1994).

Los métodos y pruebas ecotoxicológicas del suelo han sido poco desarrollados. Algunas pruebas que se empleaban en la valoración de la contaminación ambiental, hoy días están obsoletas. En los últimos 5 años se ha desarrollado considerablemente el empleo de las lombrices de tierra para dichas evaluaciones.

La prueba de toxicidad aguda está bien establecida y estandarizada, aunque no es suficiente para suministrar información sobre el efecto de una determinada sustancia contaminante en el suelo, aplicada en condiciones de campo (Tomlin, 1992; Bouché, 1992; Van Gestel, 1992. Algunos trabajos relacionan modificaciones y simplificaciones a estas pruebas, buscando encontrar mayor información ecológica, sin embargo los métodos ecotoxicológicos del suelo están poco desarrollados, siendo urgentemente necesario desarrollar las técnicas de análisis de la contaminación del suelo y los productos que se emplean en las enmiendas agrícolas.

Recientemente los intereses de los científicos y las naciones han dirigido sus esfuerzos a encontrar organismos sensibles en el ecosistemas del suelo para el monitoreo de las condiciones ambientales e indicadores de la contaminación y pruebas de control.

En pruebas de reproducción: de las lombrices de tierra de las especies *Eisenia fetida fetida* (Savigny, 1826) o *Eisenia fetida andrei* (Andre, 1963) se evalúan los efectos de productos químicos sobre el rendimiento reproductivo.

Empleo de las lombrices de tierra en pruebas de ecotoxicología:

Las lombrices desempeñan un papel importante en una variedad de suelos donde contribuyen a los procesos complejos de la descomposición incidiendo en la aeración, el transporte del agua, y la estructura del suelo.

Van Hook (1974) concluyó que las lombrices podrían servir como indicadores biológicos útiles de la contaminación debido a las constantes relaciones entre las concentraciones de ciertos contaminantes en ellas. Los invertebrados del suelo y en particular las lombrices de tierra son buenos indicadores por ser vulnerables a los impactos de los contaminantes en el suelo, donde todo va a parar y son empleadas para pruebas ecotoxicológicas. (Edwards, 1998). Por otro lado en manejo de las lombrices de tierra sobre el suelo, contribuye a la degradación y transformación de los residuos y sustancias tóxicas, siendo además filtros biológicos de metales pesados.

Debido a que las lombrices de tierra son comunes en muchos suelos son vulnerables a los impactos en el suelo por lo que son seleccionadas para valorar el riesgo ambiental por varias razones: Son beneficiosas para promover fertilidad de suelo y sirven como alimento para una variedad de animales. No sólo son

representantes generales de la fauna del suelo sino que también prácticas de utilizar en laboratorio y en pruebas de campo, son fáciles de manejar debido a su relativamente gran tamaño y pueden alcanzar una biomasa relativamente alta en algunos suelos. Muchas especies son convenientes para la crianza en cautiverio, que las hace fácilmente disponibles.

Por su comportamiento están en contacto cercano con el suelo y tienen ciclos vitales relativamente cortos, teniendo en cuenta estudios a largo plazo de generaciones sucesivas.

El uso de las pruebas con muestras de los líquidos del suelo para investigar la toxicidad y predecirla (Gälli *et al.*, 1994) es una nueva tendencia, a pesar de estas nuevas tendencias todavía sin embargo no se puede sustituir la necesidad de los estudios con los organismos que habitan en el suelo, esta práctica del empleo de las lombrices de tierra no ha quedado obsoleta, siendo muy útil.

Los compuestos que no son suficientemente solubles en agua o fijados fuertemente por adsorción en partículas del suelo, no se podrían evaluar por pruebas biológicas de los líquidos.

Por otro lado las lombrices tienen uso en la estabilización de basura urbana, industrial y agrícola, además de producir fertilizante orgánico y proteína obtenida para alimento animal. Dados sus requerimientos nutricionales y reproductividad biológica, las especies *Eisenia fetida* y *Eisenia andrei* son empleadas para dichos

finés. Su modelo de desarrollo y reproducción están ampliamente documentado, demostrando su eficiencia en el proceso de vermicompostaje (Elvira *et al.*, 1996; Reinés *et al.*, 1994).

Los métodos y pruebas ecotoxicológicas del suelo han sido poco desarrollados. Algunas pruebas que se empleaban en la valoración de la contaminación ambiental, hoy días están obsoletas. En los últimos 5 años se ha desarrollado considerablemente el empleo de las lombrices de tierra para la evaluación ecotoxicológica, experimentando un desarrollo considerable.

La prueba de toxicidad aguda ha sido establecida y estandarizada. Según lo precisado por Tomlin (1992), Bouché (1992), y Van Gestel (1992), estas pruebas por sí mismas no proporcionan la suficiente información para predecir el efecto de un producto químico aplicado en situaciones del campo. Diferentes acercamientos se han adoptado para refinar y simplificar los procedimientos que conducen a la información ecológica de más relevancia puesto que los métodos ecotoxicológicos de la prueba para los suelos son relativamente subdesarrollados (Van Straalen y Van Gestel 1993). Sin embargo, siguen existiendo problemas, y se han hecho ajustes a las técnicas existentes.

Forbes y Forbes en 1994 plantearon la necesidad de desarrollar nuevos acercamientos, Reinecke (1994) hizo una tentativa de discutir los últimos acercamientos que se habían tenido hasta la fecha a los varios problemas y trata de explicar nuevas rutas de la investigación con énfasis en las recomendaciones

del taller internacional en la ecotoxicología de las lombrices de tierra, llevadas a cabo en Sheffield, Inglaterra, en 1991.

Ha habido dudas sobre el uso de *Eisenia fetida* como lombriz “típica” en las pruebas de toxicidad. El requisito básico para estas pruebas es encontrar una especie fácil de criar y que sea genéticamente homogénea (Bouché 1992). Este requisito se satisface empleando esta especie (*E. fetida*)

Bouché (Ob.cit.) plantea que para el uso de *E. andrei* o del complejo no hay ninguna evidencia considerablemente firme de las variaciones de las especies de *E. fetida*. Heimbach (1985) es de la opinión que es una especie sensible a los cambios. Por lo tanto es representativa de las variaciones a los efectos que se producen en el suelo, a pesar de que se ha planteado que es muy adaptable y resistente a los cambios del medio.

Heimbach (1985), propuso la semejanza entre *E. foetida* y *Lumbricus terrestris* para el empleo en pruebas toxicológicas. El autor obtuvo buenos resultados correlacionados para ambas especies en trabajos realizados en Lc50 en pruebas estandarizadas de suelo artificial, a pesar de las diferencias de los tipos ecológicos entre ambas, recordemos que la primera es epígea y la segunda endógea.

Callahan *et al.* (1994) sugirieron que *E. foetida* puede ser representativa de las otras cuatro especies de eisenia. Basándose en las relaciones de respuesta a las

concentración de 62 productos químicos. Todas estas especies no obstante son una extensa representación del mismo grupo ecológico.

Dentro de la evaluación de las diferentes especies para ser empleadas como patrones de toxicidad. Heimbach (1992) dándole valor a las especies sugirió un factor de 10 para tener a *E. fetida* como la especie más sensible. Este acercamiento permite el uso continuado de *E. fetida* en muchas pruebas de la toxicidad. En el sentido en *E. fetida* se combinan varios factores: su sensibilidad, importancia económica, y su importancia ecológica, estas cualidades hacen de *E. foetida* una especie de lombriz de tierra que puede ser, entre otras especies, seleccionada para pruebas rutinarias de la toxicidad.

La extrapolación de estos trabajos a especies de lombrices de diferentes tipos ecológicos como plantea Heimbach en 1985 puede ser menos acertada.

Según Edwards y Coulson (1992) en 42 comparaciones de pesticidas por los varios investigadores, empleando de 2 a 5 especies, no encontraron una relación consistente en el comportamiento entre las especies. Sin embargo hay que tener en cuenta que, las pruebas de la toxicidad llevadas a cabo no se realizaron bajo condiciones experimentales idénticas.

En pruebas de toxicidad crónica también como en estudios de la bioacumulación, lo ideal es incluir un representante de cada tipo ecológico (endógeas, epígeas y anécicas).

Eisenia andrei Bouche la lombriz, catalogada como (ultra epígea), *Lumbricus rubellus* Hoffmeister (epígea), y *Aporrectodea caliginosa* (Savigny), (endógea) fueron empleadas en suelos tratados con $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ en los rangos de concentraciones entre de 1000 a 10 000 mg Pb kg⁻¹). Después de 28 días LC50 con limite de confiabilidad de -95% y +95% los valores para *E. andrei* fueron de 5824(-361)(+898) mg Pb kg⁻¹), *L. rubellus* 2867(-193)(+145) mg Pb kg⁻¹) y *A. caliginosa* 2747(-304)(+239) mg Pb kg⁻¹) y EC50 para la variación de peso fue para *E. andrei* 2841(-68)(+150) Pb kg⁻¹), *L. rubellus* 1303(-201)(+204) mg Pb kg) y *A. caliginosa* 1208(-206)(+212) Mg, Pb, kg⁻¹). A ninguna de las concentraciones de Pb.

Este autor señala que al no existir diferencias entre las especies en las pruebas la baja sensibilidad al Pb presentada por *E. andrei* esta más ligada a las adaptaciones fisiológicas asociadas con los modos de vida de las lombrices, y puede tener serias implicaciones en el uso de esta especie en pruebas toxicológicas estándar esto coincide con lo planteado por (Langdon *et al.*, 2005).

Las concentraciones de Pb en los tejidos después de los 28 días fue la misma para las tres especies, según plantean los autores (Ob. Cit.).

Como se puede observar las concentraciones de plomo en los tejidos de las lombrices son muy elevadas, y deja un poco en duda el planteamiento, sobre todo cuando no se relaciona en el trabajo los métodos precisos de lectura empleados

por el autor, y es uno de los grandes problemas que encontramos en la literatura sobre la temática, a pesar de que la (OCDE 2000).

Los efectos Subletales sobre el crecimiento y la reproducción se han medido en el laboratorio (Lofs-Holmin 1982; Martin 1986; Van Gestel y otros. 1989), pero la carencia de suficientes datos comparativos para los efectos subletales ha hecho las comparaciones de la susceptibilidad de la especie casi prácticamente imposibles.

Todavía según Van Gestel *et al.* (1988, 1989), queda mucho por hacer en pruebas de la toxicidad en la reproducción de *E. foetida* para determinar si esta especie podría ser considerada como especie estándar de laboratorio para estudiar efectos sublethal.

Edwards y Coulson (1992) aseveraron la necesidad de un nuevo acercamiento. Abogan un programa de la investigación cooperativa para comparar la susceptibilidad de diversa especie bajo condiciones idénticas en diversos laboratorios.

Posteriormente y ya mas recientemente la EPA reconoce a *E. foetida* en las metodologías establecida a través de las investigaciones realizadas como la especie para estas pruebas, a pesar de su resistencia a la contaminación y adaptación a condiciones cambiantes del medio a pesar de lo planteado por SETAC (1998).

En pruebas de reproducción: de las lombrices de tierra de las especies *E. fetida* *fetida* (Savigny, 1826) o *E. fetida andrei* (Andre, 1963) se evalúan los efectos de productos químicos sobre el rendimiento reproductivo.

Las Normas para Pruebas de productos químicos de la OCDE están diseñadas para ser usadas con las especies *E. fetida fetida* (Savigny, 1826) o *E. fetida andrei* (Andre, 1963). La prueba ha sido del tipo prueba de los ciclos. Otras diversas normas internacionales y nacionales contienen estipulaciones que son útiles para la ejecución de esta prueba. (ISO Internacional Standard Organization 1993, , 1998: EPA, 1996).

Otras especies tienen varias dificultades debido a sus hábitos alimenticios, de vida, reproducción y largos ciclos de vida. Por lo que se prefiere definitivamente a *E. foetida* para pruebas de toxicidad.

Es necesario que quede claro el propósito u objetivo de las diferentes pruebas, al enfrentar un estudio, al seleccionar la especie en cuestión.

En ecotoxicología terrestre, se han diseñados exámenes para tasar los efectos tóxicos de químicos existentes, añadidos a la tierra y el agua como parte de la valoración de riesgo particularmente pesticidas originalmente, La valoración de riesgo específica las pruebas biológicas usan muestras de tierra directamente de los sitios contaminados (Greig-Smith, 1992). A pesar de que de un punto de vista

técnico todas pruebas los métodos siguen los mismos principios, y son herramientas útiles para la valoración de contaminantes en el, se debe tener en cuenta que el subsistema del suelo es un ecosistema muy particular.

Una de las técnicas más empleadas para determinar la presencia de una sustancia toxica en un sustrato o suelo es la prueba o “Bioensayo: Minnesota” empleando como indicador la lombriz de tierra roja californiana *E. foetida andrei* . Esta prueba es suministrada por TMECC(2001, 2002) no determina la fuente o la causa de la misma sino toxicidad.

Las metodologías descritas en TMECC (Departamento americano de Agricultura o la Composting Consejo Investigación americana y Fundación de Educación) aunque están estandarizadas, y se emplean mucho en estos estudios deben ser validadas para cada situación particular.

La lombriz de tierra en la descomposición de los residuos:

Con un incremento en la densidad de población, combinado con las restricciones de verter fluidos al océano, incineración y rellenos sanitarios requiere métodos innovadores de disposición de residuos domésticos. Una disposición apropiada involucra al máximo el costo-eficiencia, recuperación y reciclaje de los constituyentes y transformación de materiales no recuperables dentro de formas que no presenten peligros ambientales (Applehof, 1981). Dos métodos tradicionales de disposición que tienen buena acogida por un grupo son

compostaje y extender los biosólidos en las tierras como fertilizante. Los problemas potenciales con estos métodos son la persistencia con los metales pesados, pesticidas y la diseminación de patógenos. (Reinecke, and A. Reinecke, 1997). Este problema se trato en el pasado por volumen de lodo residual con inoculación de material, diluyendo la concentración de contaminantes y por esterilización y aireación, reduciendo los microorganismos patógenos.

Se puso a prueba la lombricultura de lodos residuales a principios de los 70' (Knight, 1989). Varios trabajos de residuos se establecieron en proyectos pilotos en USA. Entre la larga lista se encontraba Lufkin, Texas y Keysville, Maryland. La planta de Lufkin pudo procesar arriba de 4 t por semana siendo el aserrín un material con buenas condiciones para la lombricultura usando la especie *Eisenia foetida* (Savigny, 1826) la lombriz tigre o lombriz compostera (Neuhauser, 1984).

La lombriz de tierra facilita la estabilización de desechos orgánicos debido a que ellas mantienen condiciones de actividad aeróbica e ingieren sólidos que han sido convertidos en sustratos con bajos olores bajos del estiércol (Ob. C.).

New Cork en 1976, Hartenstein y Biesesi, 1989) realizaron investigaciones de lombricultura con lodo residual, incluye un compilación de Applehof (1981). Asimismo, Edwrd C. y Lofty M. (1977), Satchell (1983), Lee (1985) y Edwards, N. & Bohlen (1996) realizaron trabajos acerca de la Biología y Ecología de la lombriz de tierra.

En Jalisco comenzó la lombricultura en el año 1994 (Loza, A. 2002), Extendiéndose rápidamente hasta nuestros días. Ahora no solo se emplean las lombrices para producir abono, sino también para otros fines, siendo sumamente importante su implantación en métodos de detección de toxicidad en el suelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El trabajo se desarrollo en las instalaciones del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara, Km. 15.5 Carretera a Nogales Las Agujas Zapopan, Jalisco, en el periodo comprendido de enero de 2003 a marzo del 2007.

Con el fin de cumplir con los objetivos planteados, el presente trabajo se desarrolló en varias etapas las cuales a continuación se describen:

- I. Caracterización de los Residuos Sólidos Municipales (RSU).
- II. Adecuación ecológica de los residuos para su transformación.
- III. Bioacumulación del plomo por la lombriz roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972).
- IV. Influencia de los RSU en el desarrollo de *Eisenia andrei*, empleado como alimento en comparación con la celulosa y excretas vacunas.

I. Los residuos sólidos municipales:

Los residuos sólidos orgánicos municipales se obtuvieron a través del programa de recolección selectiva de residuo sólido domiciliario (que en el presente trabajo los denominaremos residuos sólidos urbanos RSU), implementado por la empresa CAABSA, EAGLE, S.A. de CV., Industrializadora de desechos sólidos de la Planta de Tonalá.

El programa de recolección selectiva de residuos sólidos domiciliarios implementado por esta empresa incluye 16 colonias de Guadalajara, de todos los

estratos socio-económicos, siendo: Independencia Oriente, Alcalde Barranquitas, Colinas de la Normal, Residencial Victoria, Bosques de la Victoria, Verde Valle, Monumental, Independencia Poniente, Jardines Alcalde, Sutaj, Universitaria, Lomas del Paradero, Hermosa Provincia, Lagos de Oriente, San Joaquín, Jardines de la Paz (Figura 2).

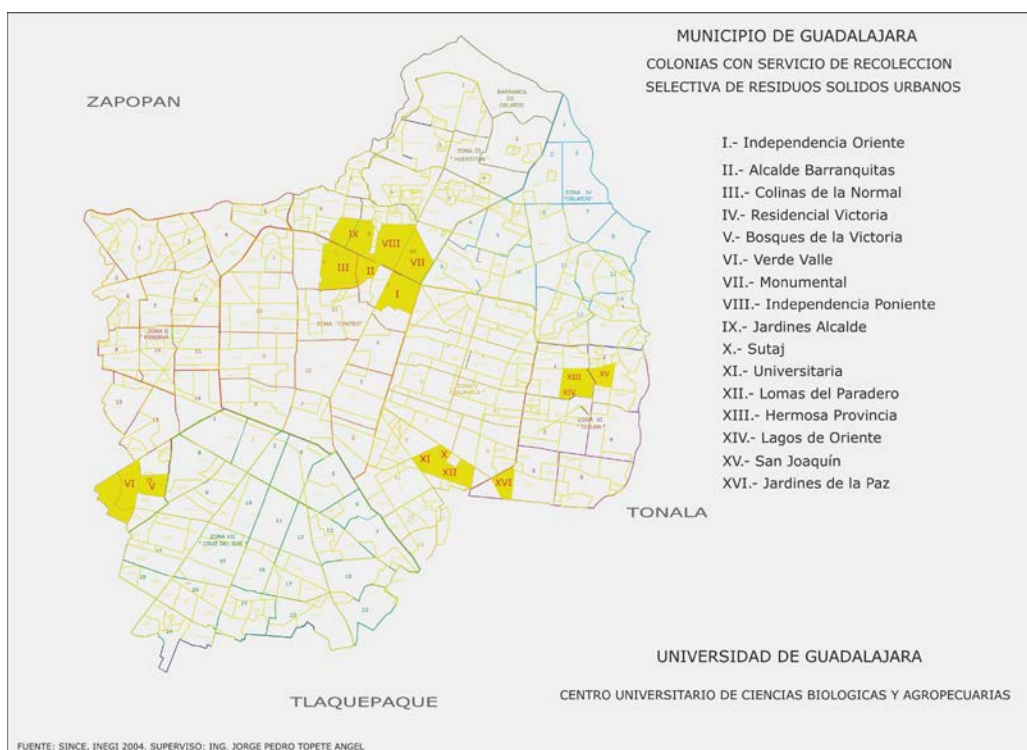


Figura 2. Mapa del municipio de Guadalajara, donde se sitúan las colonias con servicio de recolección selectiva de residuos sólidos urbanos.

El programa de recolección de basura de las colonias antes mencionada se lleva a cabo a través de 12 rutas, donde los camiones recolectores pasan los lunes,

miércoles y viernes por los residuos sólidos orgánicos (residuos de comida, cáscaras de frutas, restos de verduras, residuos de jardín, servilletas con alimento) martes, jueves y sábados por los inorgánicos (papel, cartón, plásticos, vidrio, aluminio, metales y trapos) y sanitarios (papel sanitario, pañales desechables, toallas sanitarias, algodones de curación, pañuelos desechables) que se colocan en bolsas diferentes para no contaminarlas.

Para la caracterización de los residuos sólidos municipales el trabajo se dividió en cuatro etapas:

- a. Tipificación física.
- b. Tipificación química.
- c. Caracterización Biológica.
- d. Adecuación ecológica de los residuos.

La implementación del experimento para la tipificación de los residuos sólidos municipales se realizó en un área de 25 m², trasladándose un total de 18,680 kg. de basura orgánica triturada, la cual se organizó en 4 montículos en forma de pilas (Figura 3).



Figura 3. Disposición de las pilas de residuos sólidos urbanos y replicas.

Se denominaron pila 1 “A” 1 “B”, con una replica cada uno llamada 2 “A” y el 2 “B”, se conformaron de aproximadamente 1.47 m de altura y 3.75 m de diámetro (Tabla 1).

NUMERO DE LA PILA	DIAMETRO (CM)	ALTURA (CM)
1A	3.66	1.41
1B	3.68	1.56
2A	3.80	1.40
2B	3.86	1.50
MEDIA	3.75	1.47

Tabla 1. Diámetro y altura de las cuatro pilas para composteo.

Para evitar el contacto con el suelo y la subsiguiente contaminación de los RSU se colocó una membrana de polietileno transparente antes de depositar los residuos (Figura 4).



Figura 4. Pila de RSU donde se observa la membrana de polietileno que impide el contacto directo de los desechos con el suelo.

Las pilas se orientaron sur- norte, estableciéndose cuatro sitios ubicados (norte, sur, este oeste) para la toma de las muestras siempre fueran en cada uno de estos puntos.

a. Tipificación física.-

Para la tipificación física de los residuos sólidos se tomaron muestras mixtas de RSU por cada replica. Las pilas de residuos sólidos (RSU) se mezclaron con pala y/o biello, hasta homogeneizarlos, a continuación, se dividió en cuatro partes aproximadamente iguales A, B, C, D (Figura 5) eliminándose las partes opuestas A y C ó B y D, repitiendo esta operación hasta dejar un mínimo de 50 kg de residuos sólidos con los cuales se hizo la selección de subproductos de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-22 (protección del medio ambiente- contaminación del suelo- residuos sólidos municipales- selección y cuantificación de subproductos).

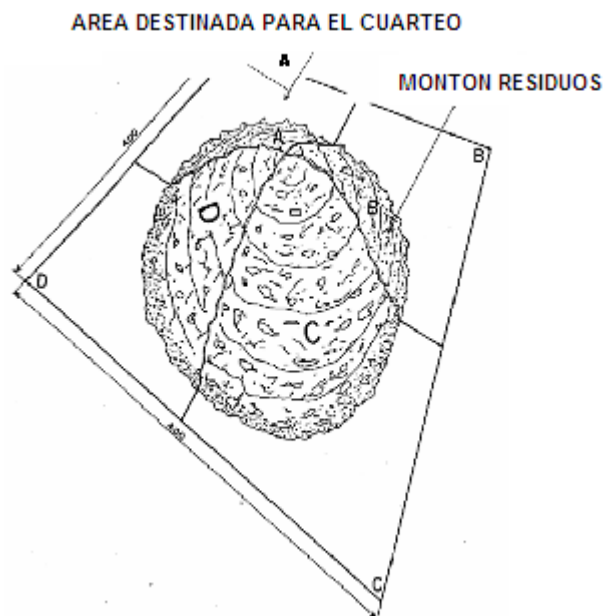


Figura 5. Esquema del método de extracción de muestras de cuarteo en la pirámide o montículo de los RSU.

De las partes eliminadas del primer cuarteo, se tomaron 10 kg aproximadamente de RSU para los análisis del laboratorio, físicos, químicos y biológicos, con el resto se determinó el peso volumétrico de los residuos sólidos "in situ", según Norma Oficial Mexicana NOM-AA-19 (Protección al Ambiente-Contaminación del suelo-Residuos sólidos Municipales-Peso volumétrico "IN SITU").

La muestra obtenida para los análisis físicos, químicos y biológicos se trasladaron al laboratorio en bolsas de polietileno debidamente selladas e identificadas evitando que queden expuestas al sol durante su transporte y teniendo cuidado en el manejo de la bolsa que contiene la muestra para que no sufrieran rotura. Antes de las dos horas fueron procesadas siguiendo el método de Test Methods for the Examination of Composting and Compost (TMECC) 0.2.01 (Field sampling of compost material) establecido en la Norma Mexicana NOM-053-ECOL-93 (procedimiento para llevar a cabo la prueba de extracción para determinar los constituyentes que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente).

Una alícuota de alrededor de 250 cm^3 de la muestra, tal como se extrae se pasó a través de un tamiz de 16 mm y se seca a $36\text{ }^{\circ}\text{C}$., una vez seca, la muestra se tamizó por un tamiz de 4 y 2 mm. En cada fracción se remueven manualmente los materiales inertes (TMECC 02.02-C).

Después de la extracción de las muestras se procedió a la separación manual de los componentes orgánicos, vidrios, metales y plásticos fundamentalmente, determinándose su peso y el porcentaje de sus componentes (Figura 6).



Figura 6. Separación de componentes de los RSU (1 Vidrio, 2 Metales, 3 Plásticos, 4 Materia orgánica).

b. Tipificación química.-

1. Composición química y presencia de residuos peligrosos:

La composición química se determinó para conocer sus características y compararla con el humus producto de la descomposición por parte de las lombrices de tierra, establecer los criterios de su manejo e inferir y sugerir la posibilidad de emplearla como abono orgánico de acuerdo a lo establecido en la NOM 004- 2002 (Protección ambiental -Lodos y biosólidos – especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final).

Las fracciones secas menores de 16 mm y libres de materiales inertes se mezclaron y molieron (TMECC 02.02-E) para su análisis la muestra fueron mixtas se tomaron de las pirámides de los RSU por replica., por el método señalado (Ob.cit.)

Se determinaron: Nitrógeno total, cenizas, fósforo, conductividad eléctrica, pH, relación de C/N, porosidad, porcentaje de materia orgánica, cenizas, fósforo, metales pesados, etc., mediante el método de química proximal y se calculan su contribución al 100% de la muestra. (Ob. Cit.).

La conductividad se tomó mezclando la muestra de RSU con agua desionizada, en una relación 1:5, en base a muestra seca a $70 \pm 5^{\circ}$ C. con un medidor de conductividad/resistencia Hanna.

El pH se determinó en una mezcla de la muestra con agua desionizada, en una relación 1:5, agitando y dejándolo reposar varias veces durante 30 minutos tomando el valor por potenciometría (Potenciómetro Hanna).

Las pruebas para conocer la presencia y el porcentaje de residuos peligrosos esenciales y no esenciales, así como sus características corrosivas, reactivas, explosivas, tóxicas, inflamables y biológico infecciosas (Prueba CRETIB), (SERMARNAT 2002) se realizaron en el CIATEJ con el apoyo de personal especializado, para lo cual se tomaron muestras mixtas, como se describe en el método de Composición química.

Para la determinación de los metales pesados las muestras se digieren: Con ácido nítrico en plancha caliente (TMECC 04.12-A), este método es aplicable para arsénico, cadmio, cinc, cobre, cromo, mercurio, níquel, plomo y selenio.

La determinación de la presencia de metales en las muestras digeridas se realizó por varios métodos: Espectrofotometría de absorción atómica electrotérmica (equipo Perkin Elmer) método apropiado para determinar micro cantidades de aluminio, arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo, cobalto, cobre, hierro, plomo, manganeso, molibdeno, níquel, selenio, plata y estaño. (Clesceri, L., Anold E, Rhodes, T. 1992),).

Los productos se clasificaron y se determinó su peligrosidad teniendo en cuenta lo planteado en la Norma Oficial NOM-052-ECOL-93 que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente comparando los niveles admisibles de cada uno de los componentes de de los RSU de Guadalajara.

2. Índice de madurez:

El índice de madurez de la composta se determinó para conocer el grado de descomposición de acuerdo a los factores ambientales del lugar de trabajo, para conocer el momento óptimo de emplear los RSU como alimento de las lombrices y para su uso final como composta en la fertilización agrícola mediante la según las Normas Mexicanas (NMX-AA-022-1985.).

Se utilizaron dos métodos para determinar el índice de madurez, el método Solvita y la de Minesota, "Prueba Z" (TMCC 2001)

La madurez se determinó por el método de Solvita. (Índice de madurez Solvita), en las muestras de compost. (Woods End Research Laboratory, 1999). Este método consiste en la determinación de la existencia de nitrógeno amoniacal y nítrico. Según el grado de presencia de estos compuestos así será el nivel de descomposición del compost, y por ende su estabilidad. La muestra se incubó en un frasco Solvita y se determinó cuantitativamente el anhídrido carbónico y el amoniaco liberado, midiéndolo por la coloración de dos tiras reactivas, la coloración se comparó con la escala de valores pares del fabricante de 1 a 9, mientras mayor es el valor, mas descompuesto esta el compost.

Parte de los RSU se emplearon como alimento de las lombrices, por lo que antes de finalizar el proceso de composteo se separo una cantidad de RSU para alimentación de las lombrices, ya que al finalizar el proceso de composteo el material orgánico esta totalmente degradado en sustancia mas sencillas, y la energía alimenticia del mismo se ha liberado a través del proceso metabólico de los microorganismos y no constituye alimento para las lombrices. El indicador para determinar el momento de la separación del sustrato en alimento de las lombrices o composta fue: la temperatura entre 24 y 27° y el pH entre 6.5 y 8.5.

La otra prueba biológica que se le practico a los RSU es la de Minesota, “Prueba Z” (TMCC 2001), la cual se llevó a cabo de acuerdo con la metodología descrita, en el capítulo 0.5.05.C, que consiste en colocar seis lombrices con un peso de 100 a 200 mg en una caja de plástico, con suelo artificial, agregándoles agua desionizada hasta alcanzar el 80% de humedad. Se colocaron a temperatura controlada de 20 ± 2 °C y 12 horas luz. Se montaron cinco replicas y se alimentaron con RSU y otras cinco cajas con celulosa como control. Las lombrices se extrajeron a los 7 días y se pesaron y se determinó la ganancia o pérdida de peso.

c. Caracterización Biológica.-

1. Microbiológica:

Para las pruebas microbiológicas de los residuos se tomaron muestras mixtas de las pilas de RSU, de acuerdo a los métodos de muestreos de lodos y biosólidos del Anexo II de las Norma Oficial Mexicana NOM-004-ECOL-2002. (Protección ambiental -Lodos y biosólidos – especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final).

Se cuantificaron los coliformes fecales, *Salmonella* y huevos de helmintos, por los métodos establecidos en la Norma Oficial Mexicana (Ob.cit.) en Fecales en lodos y biosólidos y Anexo III. Anexo IV, Método para la cuantificación de *Salmonella sp.* en lodos y biosólidos, y el Anexo V, Método para la cuantificación de huevos de helmintos.

Esta Norma Mexicana establece un método para la detección y enumeración en agua de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termotolerantes) y *Escherichia coli* presuntiva (*E. coli*) mediante el cultivo de un medio líquido en tubos múltiples y el cálculo de sus números más probables (NMP) en la muestra. La materia orgánica se diluye en agua desionizada, para conocer la presencia de estos organismos.

En la práctica la detección de *E. coli* presuntiva, da usualmente una indicación satisfactoria de la contaminación fecal. (NMX-AA-042 Calidad del agua. Determinación del número más probable de NMP de coliformes totales y fecales, termotolerantes y *Escherichia coli* presuntiva).

El método se basa en la inoculación de alícuotas de la muestra diluida o sin diluir, en una serie de tubos de un medio de cultivo líquido conteniendo lactosa. Los tubos se examinan a las 24 y 48 horas de incubación ya sea a 35 a- 37°C. Cada uno de los tubos que muestren turbidez con producción de gas se resiembró en un medio selectivo para confirmación.

Se llevó a cabo la incubación de estos medios selectivos hasta por 48 horas a 35 - 37 ° C para la detección de organismos coliformes y por 24 horas a 44.0 ± 1 ° C para organismos coliformes fecales (termo tolerantes) y *E. coli*.

Mediante tablas estadísticas, se llevó a cabo el cálculo del número más probable (NMP) de organismos coliformes totales, organismos coliformes fecales (termo

tolerantes) y *E. coli* que puedan estar presentes en 100 ml de muestra a partir del número de tubos que den resultados confirmativos positivos (Ob. cit.).

Para la detección de *Salmonera sp.* se tomó una muestra como se describió, se incubó en un medio con anticuerpos y mediante observación de las bandas de crecimiento producidas en el medio. La cuantificación se basa en el formato del número más probable. Se expresa como NMP por 4 g de compost seco a $70 \pm 5^\circ$ C (TMECC 07.02-A). (Ob. Cit)

La presencia de Huevos viables de helmintos principalmente de *Ascaris lumbricoides* se determinó en una muestra por flotación, se cuantificaron bajo el microscopio. La cantidad se expresa como número de huevos viables por 4g de compost seco a $70 \pm 5^\circ$ C (TMECC 07.04-A). (Ob. Cit.).

2. Prueba de fitotoxicidad:

La materia orgánica no humificada en los residuos orgánicos potencialmente agrícolas, puede producir fitotoxicidad en las plantas. A fin de estimar el nivel de estabilidad de la materia orgánica se realizó la prueba de germinación de semillas para evaluar la fitotoxicidad por sustancias orgánicas, observando: Emergencia y desarrollo de una plántula hasta un estado donde el aspecto de sus estructuras esenciales indica la posibilidad o no de que termine siendo una planta normal bajo condiciones favorables a campo. Se incubaron las semillas seleccionadas y certificadas con un 90% de germinación de pepino americano, cogombro o cohombro (*Cucumis sativus*) en bandejas con papel de sustrato, y se

humedecieron con el extracto acuoso, procedente del compost. Se determinó el índice de germinación, mediante conteo a mano.

II. Adecuación ecológica de los residuos para su transformación (composteo).

En la adecuación de los residuos sólidos urbanos, es decir su procesamiento para la transformación en humus, por el método de composteo, la materia orgánica se fermenta y descompone en fracciones moleculares más simples, participando en dicho proceso, la flora microbiana, que requiere de determinadas condiciones de los factores ambientales para su desarrollo eficiente y el producto final es la composta. Este es un proceso dinámico de cambio de pH en el que los factores abióticos van a variar y es necesaria su caracterización para un adecuado procesamiento. Los parámetros de dichos factores deben ser controlados y regulados.

El proceso de composteo de los RSU transcurrió en cuatro montículos de una altura mínima de 1.60 m., hasta que alcanzan las condiciones requeridas de pH, temperatura y humedad (pH entre 6.5 - 10.5, temperatura entre 26 - 27⁰C, y humedad del 60 al 70 %), con el fin de adecuarlos para alimento de las lombrices y obtener abono orgánico. Para obtener las características de pH, temperatura y humedad requeridos controlando los datos iniciales y finales de cantidad de basura, porosidad, tamaño de la pila, la humedad.

Para la determinación de los parámetros temperatura y humedad, así como el pH, se consideró la forma cónica de la pirámide estableciendo dos profundidades para la toma de las muestras y altura, según las metodologías de la EPA. (Copeland, T. R.; J.P. Maney 1986), (Figura 7) teniendo como elementos la mitad y cuarta parte del diámetro de la pirámide y la mitad de la altura de la misma, es decir a los 60 y 30 cm. de profundidad, centro a media altura y mitad del diámetro a media altura de la pirámide.

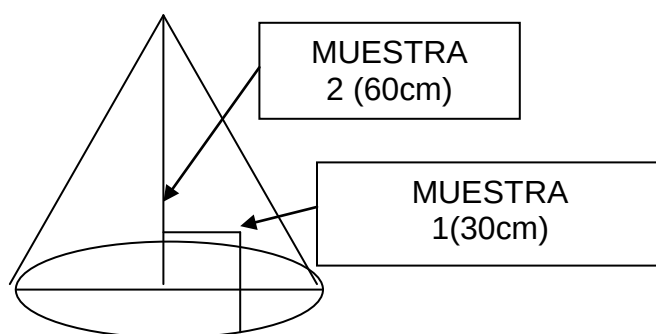


Figura 7. Esquema para la toma de las muestras a la altura y profundidad de las pirámides de compostas de basura.

A las pilas se les controló durante 20 semanas la temperatura y el pH, observando la variación de los mismos en el transcurso del tiempo y su transformación en humus.

Las mediciones de los parámetros: pH, temperatura y humedad se realizó como a continuación se describe:

Medición de pH:

Cada semana se tomaron dos muestras mixtas (martes y viernes) a los 30 y 60 cm determinando el pH mediante un potenciómetro Jenway. La medición se realizó mezclando en proporción 1:5 el sustrato con agua desionizada, colocándolo en un agitador mecánico durante 15 minutos, después de lo cual se dejó reposar y se tomó el pH, introduciendo el electrodo, verificando varias veces el valor (Figura 8).



Figura 8. Potenciómetro Jenway empleado para las mediciones de pH de los sustratos y el agua.

Medición de la humedad:

Cada semana se midió la humedad, procurando mantenerla entre el 60 y 70 de su capacidad de campo.

La humedad del sustrato se determinó mediante una muestra mixta homogenizada; tomando una alícuota de 5 gr colocándola en una balanza de precisión con con gabinete de secado para determinar el contenido de agua del sustrato férreo secado marca. PRECISA Moisture analyser HA60 (Figura 9).



Figura 9. Balanza de precisión con estufa de secado marca. PRECISA Moisture analyser HA60, donde se procesaron las muestras, para la determinación de la humedad.

Medición de la Temperatura:

La temperatura se midió dos veces a la semana (martes y viernes) empleo un termómetro de suelo, metálico de vástago largo, marca Metron el cual se introdujo en cada uno de los puntos cardinales (Norte, Sur, Este y Oeste), a dos profundidades a 30 cm. y a 60 cm. (Figura 10).



Figura 10. Termómetro de suelo metálico de vástago largo.

Aireación de las pilas:

Se realizó la inversión de los montículos cada catorce días para asegurar el proceso aeróbico. Este proceso se desarrollo con un tractor con pala frontal, marca Caterpillar, cuidando que el mezclado de los residuos fuera homogéneo y

no dañar la membrana de polietileno, y que la forma del montículo quedara en forma de pirámide.

III. Bioacumulación de plomo por la lombriz roja californiana, *Eisenia andrei*.

a.- Toxicidad aguda CL 50 del Pb en *Eisenia andrei*.-

Para conocer el valor de CL50 se realizaron varios experimentos, adicionando diferentes dosis de la sustancia de prueba (Pb) y conocer por discriminación es el valor (OECD, 2002).

Para el propósito de la prueba se seleccionó un rango de concentraciones de prueba para abarcar aquellas que puedan causar tanto efectos subletales como letales. Las observaciones se realizaron por un periodo de 28 días. La mortalidad y los efectos sobre el crecimiento en lombrices adultas fueron determinados luego de cuatro semanas de exposición.

Las concentraciones de la sustancia de prueba empleadas se muestran en la tabla 2. En cada experimento se realizaron 5 replicas y un control al que no se le agrego plomo. El montaje fue en cajas de petri plásticas desechables de 8.5cm de diámetro y 1.5 cm de altura. El interior de las tapas de las cápsulas se cubrió con papel de filtro Walthman. No.5 y se colocaron invertidas, para evitar el escape de las lombrices.

Tabla 2. Diseño de experimento de las concentraciones de Plomo para determinar la toxicidad aguda.

EXPERIMENTO 1	TRATAMIENTO (ppm)	REPLICAS	NO. LOMBRICES
	TESTIGO	5	30
	0.1	5	30
	1	5	30
	10	5	30
	100	5	30
	1000	5	30
		30	180
EXPERIMENTO 2	TRATAMIENTO (ppm)	REPLICAS	NO. LOMBRICES
	TESTIGO	5	30
	8	5	30
	20	5	30
	40	5	30
	60	5	30
	80	5	30
		30	180
EXPERIMENTO 3	TRATAMIENTO (ppm)	REPLICAS	NO. LOMBRICES
	TESTIGO	5	30
	15.2	5	30
	30.4	5	30
	45.6	5	30
	60	5	30
		25	150
EXPERIMENTO 4	TRATAMIENTO (ppm)	REPLICAS	NO. LOMBRICES
	TESTIGO	5	30
	16	5	30
	19.2	5	30
	22	5	30
	25.6	5	30
	32	5	30
		30	180

A cada caja se le adicionaron 6 lombrices seleccionadas, teniendo en cuenta que fuesen sanas, de la misma generación, adultas cliteladas y de peso individual de 200 a 300 mg , el período de cada experimento fue de 28 días, observándose la mortalidad y las diferencias o transformaciones morfológicas en los individuos.

Las lombrices se consideraron sanas teniendo en cuenta: Su movilidad a través del sustrato, no intentan abandonar el sustrato, y la coloración de su cuerpo rojo claro. El papel filtro de las cajas se humedeció con dos ml de agua desionizada para condicionar el medio a la lombrices, las que permanecieron dos días en ese estado, posterior a lo cual se le adicionó las dosis de plomo correspondientes a cada uno de los tratamientos. Las cajas de petri se colocaron durante todo el experimento en una incubadora marca Presición modelo 818 a una temperatura de 20 ± 2 °C.

Diariamente se ajustó el peso de las cajas al peso inicial agregándole agua desionizada.

Los resultados se comparan con el control a fin de determinar la concentración de ningún efecto observado (CNEO) para brindar seguridad de que las condiciones de prueba en el laboratorio son adecuadas y para verificar que la respuesta de los organismos de prueba no ha cambiado significativamente con el tiempo.

b) Evaluación de los efectos del Pb sobre el rendimiento reproductivo de *Eisenia andrei*.-

Para la prueba de toxicidad del Pb en la reproducción de *Eisenia andrei* se emplearon diferentes alimentos y el plomo se adiciono a estos, según el método de la “Prueba de reproducción de las lombrices” (OECD, 2000). Como sustancia de prueba se empleo Pb puro para análisis soluble en agua, por adición de (NaOH).

La sustancia de prueba empleada para conocer la toxicidad y Bioacumulación de las lombrices de tierra fue Plomo 1000 ppm marca Hycel.

Para la determinación de la concentración del metal a adicionar en el alimento de la lombriz para la prueba se seleccionó una concentración (X%) de Pb a partir del experimento anterior del CL50 para conocer el efecto de la concentración para un X% de efecto (ECX).

Los datos se analizaron usando un modelo regresivo a fin de estimar la concentración que causaría una reducción de porcentaje (x%) en el rendimiento reproductivo; es decir, CEX (concentración de efecto porcentual).

Las lombrices adultas cliteladas se seleccionaron como en el experimento anterior de CL50.

Se emplearon contenedores de prueba de uno litro de capacidad, de plástico, de 12 x 12 x 15 x cm. con un área de sección transversal de 200 cm² y una profundidad de sustrato artificial húmedo de 5 – 6 cm. (600g), asegurando 50g. de aproximadamente de sustrato por lombriz. La tapa del contenedor se diseñó con una malla media sombra, para permitir el intercambio gaseoso entre el sustrato y la atmósfera, el acceso a la luz y evitar el escape de las lombrices.

Se empleo un sustrato artificial de composición determinada preparado de acuerdo de acuerdo con la norma 207 de la OCDE, (OCDE 2001).como sigue a continuación:

Composición del Sustrato artificial:

Componente del sustrato artificial	Contenido expresado en % base de masa seca
1.- Musgo de la turba Sphagnum (secado al aire), molido y sin restos visibles de plantas.	10
2.- Arcilla caolinita (secada al aire), conteniendo no menos de 30% de caolinita	20
3.- Arena de cuarzo industrial (secada al aire), predominantemente arena fina con más de 50% de masa de partículas de tamaño entre 0.05 y 0.2 mm (la cantidad depende del carbonato de Calcio requerido)	70

- 4.- Carbonato de calcio (Na OH, pulverizado, grado 0.3–1.0 Analítico), para obtener un pH inicial de 6.0 ± 0.5

Los componentes del sustrato se lavaron previamente con agua desionizada, se escurrieron y se dejaron secar, antes de mezclarlos perfectamente.

Uno o dos días antes del montaje de la prueba, el sustrato artificial es humedecida mediante la adición de suficiente agua desionizada teniendo en cuenta la humedad que contiene llevándola al 60% de la capacidad máxima de retención o agua o capacidad higroscópica. (Correspondiente a $50 \pm 10\%$ de humedad de la masa seca). La capacidad máxima de contención de agua de la tierra artificial se determinó de acuerdo con los procedimientos descritos en el Anexo 2 (OCDE, 2000).

La capacidad máxima de retención de agua del sustrato artificial se determinó de acuerdo con los procedimientos descritos en el Anexo 2 de la norma (OCDE, 2000).

Previo al montaje del experimento se estabilizó el pH, de acuerdo con el Anexo 3 (OCDE 2000). Estas determinaciones deben ser efectuadas en una muestra de control y en una muestra de cada concentración de prueba. El pH del sustrato fue medido con el potenciómetro. Para estabilizar los sustratos se le agregó una mezcla de solución de NaOH 0.1molar. En dependería del sustrato incluyendo el

alimento, se emplearon diferentes cantidades, determinadas por mediciones de submuestras del sustrato.

Las mediciones del pH se realizaron tanto durante el proceso de estabilización del sustrato artificial como inmediatamente antes de implementar el experimento.

Paralelamente a ello se procedió de igual manera con los diferentes alimentos. Al adicionar la sustancia (Pb) al sustrato se calculó la concentración deseada en dependencia de la cantidad de alimento necesario de adicionar a la lombriz, teniendo en cuenta que las mismas consumen el doble de su peso diario y la biomasa existente en cada contenedor.

El contenido de humedad del sustrato es determinado al principio y al final de la prueba y el pH de la tierra, de acuerdo con el Anexo 3 de la OCDE, 2000. Estas determinaciones se efectúan en una muestra de control y en una muestra de la concentración de prueba.

El contenido de humedad se mantuvo en las cajas adicionándoles periódicamente el agua evaporada cada 48 horas por el método de igualación de pesos de las cajas.

Al principio de la prueba, el alimento prehumedecido que se va a emplear para la prueba y controles usados en la prueba, se dividió en porciones. En el alimento de prueba el contenido de humedad se ajusta 60% de la capacidad máxima de

retención de agua mediante la adición de solución de sustancia de prueba y/ adición de agua desionizada.

Después de lo cual se adiciono a cada contenedor el sustrato preparado como se menciono anteriormente, dejándolos reposar 2 días aproximadamente. La cantidad de sustrato artificial por contenedor utilizado, fue proporcional al número de lombrices (50 g por lombriz) 12 lombrices por contenedor.

Se diseñaron los experimentos teniendo en cuenta los diferentes sustratos alimenticios, RSU, Celulosa y Excretas vacunas (Tabla 3).

Para la estabilización de los sustratos alimenticios se siguió el mismo procedimiento de manejo que para el sustrato artificial.

A los alimentos se le adiciono la cantidad X de la sustancia de prueba Pb, teniendo en cuenta la capacidad de retención de agua característica para cada sustrato corroborando previamente la humedad de los mismos, asegurando que la disponibilidad de Pb fuese igual en cada tratamiento. Empleando como co-solvente Hidróxido de sodio.

Tabla 3. Diseño de experimento de concentraciones de Plomo para determinar el efecto del plomo en el rendimiento reproducido de la lombriz roja californiana *Eisena andrei*.

Para mayor exactitud en la adición del plomo a los alimentos, se empleó una micro pipeta digital volumen 1ml con puntas intercambiables, después de lo cual se agita fuertemente el sustrato para lograr la homogeneidad de la mezcla.

Las lombrices se expusieron a la concentración seleccionada de la sustancia de

EXPERIMENTO 1 CON PLOMO			
ALIMENTO	SUATRATO	REPETICIONES	LOMBRICES
RSU	ARTIFICIAL	5	60
CELULOSA	ARTIFICIAL	5	60
EXCRETA VACUNAS	ARTIFICIAL	5	60
		15	180
EXPERIMENTO 2 SIN PLOMO			
ALIMENTO	SUSTRATO	REPETICIONES	LOMBRICES
RSU	ARTIFICIAL	5	60
CELULOSA	ARTIFICIAL	5	60
EXCRETAS VACUNAS	ARTIFICIAL	5	60
		15	180

prueba (OCDE, 2001), mezclada en el alimento en una sola aplicación por un periodo de 4 semanas de exposición. Después de dicho tiempo se determinó la mortalidad y los efectos sobre el crecimiento en las lombrices adultas. Las lombrices adultas son retiradas de la tierra y se evalúan los efectos sobre la reproducción mediante el conteo capullos y del número de descendientes presentes en el sustrato. EL efecto del alimento inoculado con Pb se comparó con el control, teniendo en cuenta los siguientes indicadores:

– Mortalidad de adultos (%) en cada contenedor.

- Biomasa total de adultos vivos al principio de la prueba.
- Masa total de lombrices supervivientes en cada contenedor de prueba.
- Cambios en el peso corporal de los adultos vivos (% del peso inicial) en cada contenedor de prueba.
- El número de jóvenes producidos en cada contenedor de prueba al final de la prueba.
- Descripción de los síntomas obvios o patológicos o de los diferentes cambios en el comportamiento.

Selección y preparación de los animales de prueba.-

La especie utilizada en la prueba es *Eisenia andrei*, para iniciar la prueba se seleccionaron lombrices adultas de entre dos meses y un año de edad, cliteladas. Los organismos se seleccionaron de un cultivo con una estructura de edad relativamente homogénea, los individuos del grupo de prueba no difieren en edades por más de cuatro semanas.

Las lombrices seleccionadas se aclimataron durante 7 días en el sustrato artificial usado para la prueba. Durante este periodo las lombrices se alimentaron con la misma comida que se empleó en la prueba (RSU, Celulosa y Excretas vacunas).

Se determinó la biomasa viva húmeda de lombrices. Se formaron grupos de doce lombrices que se pesaron individualmente antes de colocarlos en cada contenedor de prueba al principio de la prueba. Con un peso individual entre 250 y

300 mg la masa húmeda de lombrices individuales 3- 6 g y la masa seca del suelo artificial fue de 600 g.

Las lombrices tomadas aleatoriamente son lavadas y escurridas en papel absorbente por un corto periodo de tiempo, para retirar el exceso de agua, y después se pesaron individualmente, cuidando la homogeneidad de las mismas y asegurando que las lombrices sean de una primera generación.

El experimento transcurrió en una incubadora PRECISA a la temperatura de 20 ± 2 ° C, y bajo ciclos controlados de luz - oscuridad 16 horas de luz y 8 horas de oscuridad, 8 horas luz diarias de 600 luxes. Para determinar la intensidad de luz se empleo un luxó metro.

Los contenedores de prueba donde se encuentran las lombrices poseen las tapas perforadas cubiertas de tela plástica para mosquitos de ojo de hueco de 1mm, y se destaparon cada dos días para suministrar el agua perdida por diferencia de pesada.

Los contenedores se alimentaron una vez por semana esparciendo el alimento sobre la superficie de la tierra de cada contenedor y humedeciéndolos con agua desionizada, asegurando que la cantidad de alimento fuera el doble de su peso diario, y no les faltara el alimento a la población contenida en cada recipiente.

A la comida suministrada se le controló temperatura, humedad y pH, adecuadamente asegurando la calidad del mismo según las condiciones descritas

en la norma OCDE (2002). El alimento se adiciono según la necesidad del consumo, para evitar el crecimiento de hongos. Las lombrices adultas se retiran a los 28 días de la prueba cuando concluyó el experimento.

c. Acumulación de plomo por *Eisenia andrei* (Bouche, 1972).-

Para determinar la posible acumulación de plomo la lombriz de tierra se establecieron diferentes experimentos teniendo las siguientes similitudes con la metodología del estudio anterior: “Evaluación de los efectos del plomo sobre el rendimiento reproductivo”:

- El sustrato (suelo artificial)
- Los alimentos (RSU, estiércol vacuno y celulosa)
- La metodología para el montaje de los experimentos (los parámetros de temperatura, humedad y luz en condiciones controladas y la selección de las lombrices).
- De igual manera las lombrices se colocaron en cajas plásticas con el sustrato artificial y se alimentaron con la concentración seleccionada (X%).
- Las lombrices se aclimataron al sustrato y los alimentos durante una semana previa la adición de alimento con Pb.

Los experimentos se evaluaron en diferentes periodos de tiempo (7, 14, 21 y 28) días. Para lo cual se realizaron 5 replicas de cada uno y para cada alimento. (Tabla 4), al cual se le adicionó plomo, careciendo el testigo de este metal.

Cada semana las cajas se alimentaron con una ración igual al doble de su peso diario, y se les mantuvo la humedad con adición de agua desionizada por diferencia de pesada.

Cada experimento concluyó al término del periodo correspondiente a cada tratamiento, en el cual se extrajeron del sustrato, las lombrices capullos y descendientes, se pesaron individualmente para comprobar su desarrollo.

Se anotaron las observaciones de modificaciones morfológicas y comportamiento de las lombrices.

Tabla 4. Diseño de experimento para el estudio de la acumulación de plomo por la lombriz en diferentes períodos de tiempo con tres alimentos.

Se tomaron muestras iniciales y finales de entre 8 -10g de las lombrices, de

EXPERIMENTO CON PLOMO				
ALIMENTO	TRATAMIENTO	SUSTRATO	REPETICIONES	LOMBRICES
RSU	TESTIGO	ARTIFICIAL	5	60
	7 días	ARTIFICIAL	5	60
	14 días	ARTIFICIAL	5	60
	21 días	ARTIFICIAL	5	60
	28 días	A RTIFICIAL	5	60
			25	300
CELULOSA	TESTIGO	ARTIFICIAL	5	60
	7 días	ARTIFICIAL	5	60
	14 días	ARTIFICIAL	5	60
	21 días	ARTIFICIAL	5	60
	28 días	A RTIFICIAL	5	60
			25	300
EXCRETAS VACUNAS	TESTIGO	ARTIFICIAL	5	60
	7 días	ARTIFICIAL	5	60
	14 días	ARTIFICIAL	5	60
	21 días	ARTIFICIAL	5	60
	28 días	A RTIFICIAL	5	60
			25	300

sustrato y de alimento, así como las excretas para analizar la presencia de Plomo en las mismas. Las lombrices se depositaron en bolsas plásticas estériles transparentes identificadas, se colocaron en refrigeración por 48-72 horas temperatura de 4°C, luego de lo cual se colocaron en termos para su transportación al laboratorio.

Para determinar el plomo existente en las muestras, el método consiste en la digestión de las muestras con ácido nítrico y Clorhídrico concentrados en placa caliente. En este proceso la muestra se evapora hasta completar la digestión en un sistema cerrado con corriente de agua, se filtra y se lleva a un volumen 100 ml con agua grado reactivo. El extracto digerido y filtrado, es aspirado y atomizado en una flama de aire - acetileno en un Espectrofotómetro de Absorción Atómica (AAA), esta muestra genera una señal (absorbancia) que es proporcional a la concentración del Plomo.

La lectura de absorbancia de la muestra se comparó una curva de calibración analizada en las mismas condiciones que la muestra. NMX-AA-000-SSCFI –2000

IV. Influencia de los RSU en el desarrollo de *Eisenia andrei* empleado como alimento en comparación con la celulosa y excretas vacunas.

Para conocer la influencia de los RSU en el desarrollo de *Eisenia andrei* y poder valorar el manejo de estos residuos en la degradación, transformación, y empleo como abono orgánico para la agricultura a través del proceso de lombricultura se realizaron experimentos de reproducción y crecimiento de la especie en condiciones de cría masiva en condiciones no controladas y en el laboratorio en condiciones controladas de temperatura humedad y luz durante 28 días.

a. En condiciones ambientales no controladas.- Cría masiva.

El trabajo se desarrollo en la Planta Piloto de lombricultura del Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias de la Universidad de Guadalajara. Se seleccionaron tres canteros de paredes de bloques de cemento de 5 metros de largo por 0.70m de ancho, considerando cada metro una replica, estos canteros estaban ubicados en condiciones de sol.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en el laboratorio se alimentaron las lombrices con tres tratamientos consistentes en: RSU, Excretas Vacunas y una mezcla al 50% de RSU y Excretas vacuna, respectivamente.

Se prepararon los canteros agregándoles una capa de 15 cm de espesor de humus de lombriz, previamente aireado al que se les extrajeron todas las lombrices después de dejarlo reposar 15 días a la sombra, y tamizarlo. Sobre el sustrato se inocularon las lombrices, biomasa limpia, en pequeños grupos, distribuyéndolas sobre el sustrato siguiendo una distribución regular de trivolillo, cuidando que la densidad de población fuese de 1 Kg /m²

Se midieron los factores ambientales mediante termómetro de bolsillo, termómetro de máxima y mínima y balanza de secado, esta última para determinar la humedad del sustrato.

Mensualmente se realizaron muestreos, mediante el método de cuadrado absoluto de volumen, (Lavelle y Barois, 1992), con una sonda de suelo se extrajeron monolitos de 15 X 15X 10 cm. Los especímenes se extrajeron del sustrato

manualmente, se contaron y pesaron en una balanza digital por categoría de estadios del desarrollo juveniles, adultas, capullos y fragmentos. Se consideró la distribución tanto horizontal (borde y centro de los canteros) como vertical (0-10, y 10-20 cm de profundidad).

Los resultados se evaluaron estadísticamente mediante estadísticos de dispersión y posición, análisis de varianza al 95% de confiabilidad para conocer si existían diferencias significativas dentro y entre las muestras para los diferentes factores controlados, pruebas de rangos múltiples y correlación, para comprobar la fortaleza de las relaciones entre las variables y regresión. Mediante los programas estadísticos, SPSS para Windows (Ferrán, M.2001) y Stat Graphic.

b. En condiciones ambientales controladas de temperatura, humedad.

Se llevó a cabo en el laboratorio con la misma metodología descrita para la parte de la “Evaluación de los efectos del Pb sobre el rendimiento reproductivo de *Eisenia andrei*”

RESULTADOS

I. Los residuos sólidos municipales:

Para la realización del trabajo se trasladaron un total de 18,680 t de basura orgánica de la planta Tonalá, Jalisco. Los desechos orgánicos provenientes del Programa de Recolección Selectiva de residuos sólidos domiciliarios establecido por la empresa CAABSA, S. A. de C. V.

La implementación del experimento se realizó en un área de 25 m² en la parte oeste del Centro Universitario, (Figura 11),

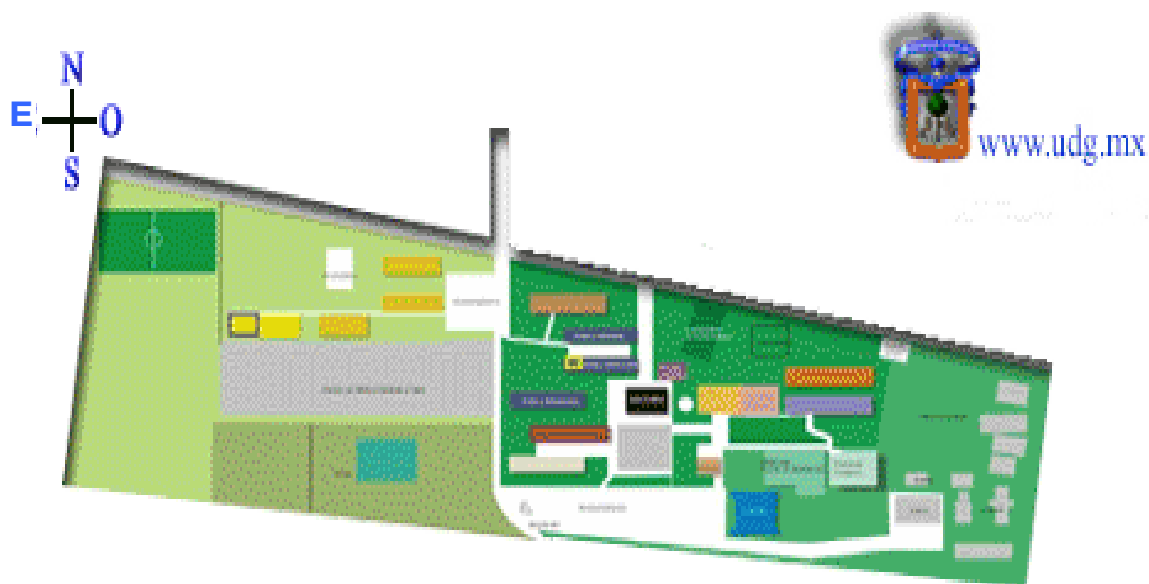


Figura 11. Distribución del CUCBA y área de implementación del experimento.

Los residuos se conformaron en montículos de forma piramidal de 3.75 m diámetro y 1.60 m altura cada uno, como promedio (Tabla 5).

Tabla 5. Característica de las pilas de RSU y promedio.

NÚMERO DE LA PILA	DIÁMETRO cm	ALTURA cm
1 ^a	3.66	1.41
1B	3.68	1.56
2 ^a	3.80	1.40
2B	3.86	1.50
$\bar{X}$	3.75 ± 0.13	1.47 ± 0.05

a. Tipificación física de los residuos sólidos

El tamaño de la muestra de las observaciones fue de 304 por pila, durante las 20 semanas del experimento para un total de 1216.

El resultado de la separación de los diferentes componentes de RSU de las ocho muestras mixtas en general (plásticos, vidrios, metales y materia orgánica), La

clasificación de los productos, subproductos, el cálculo porcentual de su contenido y los resultados se expresan en las tablas 6 y 7.

Tabla 6. Componentes en peso y porcentaje de diferentes materiales de los RSU

COMPUESTO	REPLICAS (PILAS)							
	1A	%	1B	%	2A	%	2B	%
	(g.)	1 A	(g.)	1 B	(g)	2 A	(g)	2 B
Plástico	14.90	0.12	202.30	2.18	222.90	2.87	35.48	0.41
Vidrio	45.00	0.59	128.50	1.39	148.40	1.91	186.60	2.14
Metal	251.00	3.28	59.10	0.64	48.70	0.63	63.60	0.73
Materia Orgánica.	7339.90	95.94	8879.50	95.79	7357.70	94.60	8421.30	96.72
TOTAL	7650.80	100.00	9269.40	100.00	7777.70	100.00	8706.98	100.00

El porcentaje de materia orgánica oscila entre el 94% y el 96% de la composición total, lo cual quiere decir que posee suficiente materia orgánica biodegradable como para obtener abono. En orden el menor porcentaje en gramos corresponde a los plásticos seguido por metal y vidrio. Este resultado se corresponde con la recuperación de materias primas, es decir frascos y contenedores plásticos y de vidrio.

De los subproductos, el peso y el porcentaje del peso que componen los residuos sólidos urbanos triturados utilizados como materia prima para la producción de

compost según la Norma mexicana NMX-AA-022-1985 “*selección y cuantificación de subproductos*”, se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Clasificación de los subproductos de las muestras de basura urbana trituradas utilizada como materia prima en la producción de compost, según la **NMX-AA-022-1985**, “selección y cuantificación de subproductos”.

Subproducto	Peso en g.		% en peso		
	A	B	A	B	Prom.
Residuos de jardinería	0,0	22,4	0,00	4,87	2,435
Papel higiénico	77,2	153,2	20,02	33,28	26,650
Plástico rígido	3,0	5,4	0,77	1,17	0,970
Poli estireno	0,8	0,1	0,20	0,02	0,110
Plástico de película	4,3	3,1	1,11	0,67	0,890
Huesos	0,0	3,8	0,00	0,82	0,485
Vidrio	13,3	18,9	3,44	4,11	3,775
Metal	0,7	32,6	0,18	7,09	3,635
Residuo fino (Malla 16/ cm ² .)	134,0	69,1	34,75	15,03	24,890
Piedras o material de construcción	12,7	17,3	3,29	3,76	3,525
Mezcla Res. Jardín y papel higiénico	139,0	103,2	36,04	22,45	29,245
Tierras	0,0	22,8	0,00	4,96	2,480
Tela Natural y Sintética.	0,6	7,7	0,15	1,67	0,910
Total	385,6	459,6	100,00	100,00	100,000

Tabla 7. Clasificación de los subproductos de las muestras de basura urbana trituradas utilizada como materia prima en la producción de compost, según la **nmx-aa-022-1985**, “selección y cuantificación de subproductos”.

La materia orgánica esta compuesta de: papel higiénico, residuos de jardinería mezcla de residuos de jardín y papel higiénico, tierras, tela natural y sintética constituyen 503.3g, si a ello le agregamos la tierra que es imposible de separar hace un total de 526.1g, que representa 64.60%, lo que quiere decir que un 30% de lo clasificado como materia orgánica corresponde a otras partículas contaminantes, que no pueden ser separadas entre las que pueden encontrarse, plásticos, vidrios, etc.

Los componentes inertes no se descomponen y al ser triturados los residuos se convierten en fracciones más pequeñas que persisten en el compost (Figura 12) y para su posterior uso en la agricultura deben ser tamizados para no contaminar el suelo, quedando solo partículas, de celulosa, y fracciones de plástico muy pequeñas, y restos vegetales.

Figura 12. Composta de RSU después de haber sido tamizada.



El 80 % de los residuos proceden de papel higiénico, jardines y residuos finos, lo que es un buen indicativo ya que los mismos sirven de materia prima para la producción de abono orgánico, (Tabla 6) se observa que la pila B presenta mayor cantidad de material inorgánico como son plásticos, vidrios, metales y telas sintéticas.

b. Tipificación química.-

1. Composición química y la presencia de residuos peligrosos.-

En las dos muestras los resultados del análisis químico de los Tratamientos RSU (pilas A y B), los valores permisibles de los metales se encuentran dentro de los límites permisibles de acuerdo a la Norma Mexicana 004-SEMARNAT-2002.

Los compuestos metálicos que se encuentran en mayores porcentajes en las dos muestras son: Zinc, Níquel y Plomo, para 42.82, 25.85 y 15.24% del total de los metales presentes en ambas replicas, 437.30mg/Kg. como promedio.

Los resultados de los análisis muestran que no existe diferencia estadísticamente significativa para $p = 0.003$, en cuanto a la presencia de metales (mg/Kg) entre las replicas, para 313.82 y 317.69 respectivamente y un total de 474.60mg /Kg.

En la tabla 8, se puede observar los valores promedios de los metales presentes en la basura, el arsénico presentó el valor mínimo con $<0,02$ mg/kg, contrario al zinc que fue el mas alto con 136 mg/kg, haciendo la aclaración que todos los valor

estas dentro de los límites permisibles por la norma. La materia orgánica tuvo un valor de 72,25% del peso, lo que se considera alto, por lo que podemos utilizar los RSU para la producción de abonos

Tabla 8 Resultados promedio de los análisis físico-químicos con la aplicación de la **NOM-004-SEMARNAT-2002** para la caracterización de las muestras de basura urbana triturada.

Determinación	Resultados Promedio	Límite máximo permisible según la NOM-004-SEMARNAT-2002		Unidades
		E xcelentes	B uenos	
Arsénico	<0,02	41,00	75,00	mg/kg
Cadmio	0,92	39,00	85,00	mg/kg
Cromo	18,90	1200,00	3000,00	mg/kg
Cobre	29,90	1500,00	4300,00	mg/kg
Plomo	48,40	300,00	840,00	mg/kg
Mercurio	1,45	17,00	57,00	mg/kg
Níquel	82,10	420,00	420,00	mg/kg
Zinc	136,00	2800,00	7500,00	mg/kg
Sólidos Totales	58,88			% en peso
Sólidos Solubles al 10 %	3,30			mg/kg
Contenido de agua	41,10			% en peso
Nitrógeno total	0,025			% en peso
Materia Orgánica	72,25			% en peso
Cenizas	27,75			% en peso
pH al 10 % en sln. acuosa	7,46			Unidades Potenciométricas

Todos los parámetros para los metales pesados esenciales y no esenciales presentes están por debajo de los límites máximos permisibles Sin embargo en las dos muestras tomadas de ambas replicas presentan diferentes cantidades de

estos metales, siendo el tratamiento A donde es mayor el valor de Cadmio, Cromo, Cobre, Mercurio y Níquel, mientras que en el B, el Plomo y el Zinc esta en mayor cantidad, lo cual puede ser casual ya que ambas replicas tienen la misma procedencia y fecha.

El Ph en solución acuosa al 10% es prácticamente neutro por tanto según al NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-052-ECOL-93, (SEMARNAT, 1993) puede ser considerada no peligrosos, que establece que si un producto “En estado líquido o en solución acuosa presenta un pH sobre la escala menor o igual a 2.0, o mayor o igual a 12.5” es peligroso.

Tabla 9. Comparativo de resultados promedio de las muestras de basura urbana triturada y del compost obtenido de esta.

Determinación	Resultados Promedio		Límite máximo permisible según la NOM-004-SEMARNAT-2002		Unidades
	Basura	Compost	Excelentes	Buenos	
Arsénico	<0,02	0,70	41,00	75,00	mg/kg
Cadmio	0,92	0,69	39,00	85,00	mg/kg
Cromo	18,90	14,05	1200,00	3000,00	mg/kg
Cobre	29,90	93,05	1500,00	4300,00	mg/kg
Plomo	48,40	127,55	300,00	840,00	mg/kg
Mercurio	1,45	<0,1	17,00	57,00	mg/kg
Níquel	82,10	132,1	420,00	420,00	mg/kg
Zinc	136,00	213,00	2800,00	7500,00	mg/kg
Sólidos Totales	58,88	91,74			% en peso
Sólidos Solubles al 10 %	3,30	713,33			mg/kg
Contenido de agua	41,10	8,45			% en peso
Nitrógeno total	0,025	0,11			% en peso
Materia Orgánica	72,25	46,86			% en peso

Cenizas	27,75	53,13			% en peso
pH al 10 % en sln. acuosa	7,46	8,23			Unidades Potenciométricas

En la tabla 9 podemos observar que todos los parámetros para los metales pesados esenciales y no esenciales presentes están por debajo de los límites máximos permisibles. Sin embargo comparando los valores promedios de los RSU y la composta, presenta valores mayores la composta de los siguientes metales, arsénico, cobre, plomo, níquel y zinc, siendo el cadmio, cobre, mercurio los valores más bajos.

2. Índice de madurez.

Según el método de Solvita las muestras de la composta de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) en los términos apreciados de madurez presentan un índice de madurez de valor de 6 dentro del rango de 0 a 9 según el método por lo que se puede inferir que es una composta todavía activa, sin embargo con este grado ya es posible según las NOM – 004-ECO-2002 utilizarla en el campo, previa separación de los materiales inorgánicos (Vidrio, metal y trapo). Es necesario señalar que aunque este método es práctico no es tan preciso como otros, y 6 de madurez es casi el 66% de probabilidad en un rango de 9. Por otro lado de los resultados de la composición química el Ph de la composta es casi neutra, lo que se corresponde con una materia orgánica descompuesta, totalmente fermentada y el índice Solvita nos dice que aun no lo está.

c. Caracterización Biológica.-

1. Microbiológica

En la tabla 10 se exponen los resultados correspondientes a las pruebas microbiológicas RSU.

La cuantificación de coliformes fecales son indicio de contaminación por otras bacterias perjudiciales a la salud, en este caso las muestras de la composta de RSU dieron resultados similares. Comparando los resultados con los límites permisibles pueden catalogarse entre Clase B y C.

Salmonella sp. de acuerdo a las NOM 044, (SEMARNAP- 2002. Protección ambiental.) dio el valor mas bajo <3 NMP/g de muestra seca este valor se encuentra entre el rango límite permitido de Clase A y B de la materia orgánica, y por tanto puede ser empleada como abono orgánico,

Respecto a los huevos de helmintos ambas muestras arrojaron resultados diferentes, 8 y 19 huevos/ 2g de muestra seca, cuya diferencia no es significativa, y estos hacen que la composta se encuentre catalogada entre las clases A y B de calidad de la composta.

Haciendo un análisis integral del nivel de calidad de la composta puede decirse que la misma desde el punto de vista microbiológico es de tipo B a pesar de que los coniformes se encuentran entre B y C, este organismo es presuntivo de

contaminación siendo determinantes la presencia de Salmonella y huevos de helmintos.

Tabla 10. Resultado de las pruebas microbiológicas de la composta de RSU y los límites máximos permitidos de acuerdo a la Norma Mexicana (NOM 044, SEMARNAP- 2002)

Determinación	Resultados		Limite Máximo Permitido			Unidades
	Muestra 1A	Muestra 1B	Clase			
			A	B	C	
Coliformes Fecales	>1x10 ⁶	>1x10 ⁶	<1000	<1000	<2x10 ⁶	NMP/g de muestra seca
Salmonella sp..	<3	<3	<3	<3	<300	NMP/g de muestra seca
Huevos de Helminto	8	10	<1	<10	<35	Huevos/2g de muestra seca

La desventaja que presenta este proceso es la lenta descomposición ya que se lleva a cabo en ausencia de la lombriz. Y los procesos anaeróbicos predominan sobre los aeróbicos. (Neuhaser et al., 1988).

La biodegradación por la lombricultura también trae consigo la disminución de la presencia de coliformes, que probablemente son destruidos en el tracto digestivo. (Ob.cit.) y otro beneficio de la estabilización de los RSU por las lombrices es la presencia de hormonas vegetales (Nelson, 1965; Tomati et al., 1987). Krishnamoorthy and Vajranabhaiah (1986, es reportado en Ishmail, 1995).

En relación a la presencia de lignocelulolíticos, la concentración encontrada fue muy baja. Este resultado es de esperar ya que los Residuales Sólidos Urbanos constituyen un sustrato de mezcla heterogénea de residuos, y el tiempo de duración el proceso de compostaje fue solo de tres meses. Estando presentes diferentes fuentes fácilmente degradables por los microorganismos como son: azúcares, polímeros, amino azúcares, etc. Y siendo los residuos lignocelulósicos difíciles de degradar mientras estén presentes otros elementos, como los ya mencionados de fácil degradación, no se induce el sistema enzimático para degradar lignina y celulosa. Ya que las poblaciones de microorganismos se establecen en dependencia de las fuentes de carbono disponibles. Así en el proceso de degradación de las basuras se presenta una sucesión de poblaciones, requiriéndose de estudios dinámico del sistema y definir la eficiencia de cada sucesión de las diferentes poblaciones de microorganismos, para poder caracterizar estas poblaciones, determinando la eficiencia de las diferentes etapas de degradación de los residuos. El proceso de compostaje de los RSU según los resultados de la prueba Solvita no está terminado, y es necesario que este se prolongue más tiempo para que aumente la calidad del producto final, que es uno de los objetivos del proceso de degradación de los residuos. Para que esto ocurra sin la presencia de las lombrices habría que acudir a la inoculación de lignocelulolíticos en el proceso de compostaje ya que como se señaló fue muy baja su concentración en igual tiempo en que estaría terminado el humus de lombriz. Una de las especies mas indicadas seria de las del género *Trichoderma* por su capacidad saprobiótica para degradar determinados sustratos, y mediante el

proceso de las FES (Fermentaciones sólidas.) para poder parecerse el proceso de la lombricultura.

2. Prueba de fitotoxicidad.

La prueba de toxicidad en pepino americano, mostró un porcentaje de brotes Esta prueba se realizó en las muestras de composta, encontrándose que se tuvo un porcentaje de brotes por arriba del 95%, indicando con esto que este material NO es tóxico para las plantas, dicho de otra manera, es viable su empleo como fertilizante orgánico. Las unidades de los resultados están expresadas según la Norma Oficial Mexicana NOM-008-SCFI-2002,

Por otra parte los RSU deben ser un sustrato que como alimento de las lombrices no sea tóxico, deben reunir condiciones óptimas de nutrición y estar libre de metales pesados. (Test de Minesota “Z” Test) , (Thompson, W. 2001).

Para corroborar los valores de la madures obtenidos con la prueba de Solvita, comparamos en la tabla 11, la toxicidad de la composta de RSU en relación al control para 7 y 14 días, propuesto en la norma EPA 0.50.5C (Prueba de Minesota “Z” Test) Ob.Cit . Como puede verse en ambos casos de los tratamientos y para cada periodo de días la ganancia fue muy baja y además negativa, ya que las lombrices al final del periodo bajaron de peso, influido por la mortalidad, lo que quiere decir que después de un periodo de tres meses la composta todavía no estaba estabilizada, ni tampoco la celulosa fue buen alimento para las lombrices, estos resultados acerca de la composta de RSU coinciden con

los resultados obtenidos por Iñíguez G. et al (2006) para el bagazo de agave y otros productos, los cuales fue necesario dejarlos mas tiempo de fermentación, Estos coincide con el hecho que la composta según el criterio para emplearla como abono en el campo, todavía no esta estabilizada y daña al suelo, pues en el continua la fermentación acompañadas de alta temperaturas, lo que corrobora que el método Solvita tiene sus limitaciones para determinar la completa fermentación de los productos orgánicos. Por otro lado la celulosa no es un buen ejemplo de alimentación de calidad para la lombrices, por lo que es mas conveniente emplear como control las excretas vacunas, en las que si hubo ganancia de peso de un 73%,

Tabla 11. Valores de la prueba de Minesota "Z"

TRATAMIENTO	7DÍAS (g.)			14 DIAS (g)			PESO (G)
	N	Peso Inicial	Peso Final	N	Peso Inicial	Peso Final	(%)
RSU	96	11.67	4.31	132	8.79	8.79	-0.024
Celulosa	83	11.62	8.17.	113	7.86	7.861	-0.029

II. Adecuación ecológica de los residuos.

Durante el periodo del experimento el comportamiento de las temperatura de las pilas (replicas) en general fue similar (Figura 13), los valores promedios máximos

fueron de (65 y 69° c), manteniéndose durante las semanas 3 a la 8, después de lo cual decreció, para estabilizarse a 24°c, después de los 21 días, siendo similar el comportamiento para las diferentes replicas siendo el valor de la recta de regresión $y = -1.7471x + 71.697$, $r^2 = 0.8253$

La determinación de la temperatura a 30 cm de profundidad muestra valores máximos de 65 y 69° C, al igual que en la media general a diferencia la disminución de las temperaturas ocurre en las semanas 4 y 5, (Figura 14), conservándose con pocas variaciones hasta la semana 11 comienza a decrecer, bruscamente, siendo los valores de la ecuación de la recta de regresión: $y = -0.9139x + 70.248$ y $r^2 = 0.7463$.

En la figura 15, se puede observar el comportamiento de la temperatura a los 60 cm. de profundidad, donde la temperatura máxima se mantuvo durante las semanas 4 y 9, con valores que oscilaban de 62 a 70° C, siendo la temperatura superior mas alta que a 30cms de profundidad resulta significativo que el momento de disminución de las temperaturas ocurre dos semanas después que a 30cms., siendo los valores de la ecuación de la recta de regresión: $y = -1.7471x + 71.697$ y $r^2 = 0.8253$.

Al aplicar el análisis de varianza con un nivel de confiabilidad del 95%, a los datos obtenidos de la temperatura en los dos niveles de profundidad, el valor de la p igual a 0 indica que existe diferencia significativa entre las muestras de temperatura a 30 cm. y 60 cm. La Prueba de Rangos Múltiples (LSD), corrobora la presencia de dos grupos uno de temperatura de 30° C y el otro a 60° C, lo que se muestra en la Figura 16.

La temperatura media presentada a los 30 cm. es de 53.49 ° C, y a 60 cm. Es de 56.47° C, para una diferencia de 2.982° C.

Las medias presentes en los cuatro puntos cardinales fueron, al este con 55.69 ° C, al norte con 55.42 ° C, al oeste con 55.34 ° C y al sur con 55.05 ° C.

Los valores de p, al aplicar el análisis de varianza a cada uno de las replicas fue mayor que 0.05, como lo muestra la tabla 12, lo que indica que no existe diferencias significativas entre las temperaturas dentro de las replicas de cada uno de los puntos cardinales.

En el análisis de varianza (ANOVA), al 95% de confiabilidad entre las muestras de temperaturas de los cuatro puntos cardinales, p es 0.9142, lo que representa que son muy similares las temperaturas presentadas al Norte, Sur, Este u Oeste, como se puede ver en la figura 17.

El tamaño de las muestras mixtas para la determinación de la humedad de las replicas, es de 76 a cada profundidad para un total de 152 observaciones, los valores obtenidos oscilan entre el 60 y 90 %, como se observa en la figura 18 para $y = 0.547x + 68.477$ y $R^2 = 0.3882$. Esta amplitud de rango se debe a que la humedad se mantuvo con riegos periódicos pero a pesar que las horas de las toma de las muestras se mantuvo, los valores están en dependencia de los factores abióticos temperatura y aire, fundamentalmente.

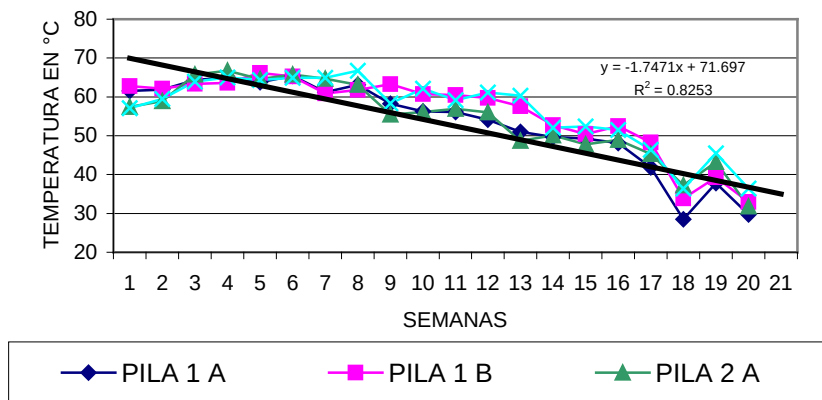


Figura 13. Promedio del comportamiento de la temperatura en diferentes replicas en RSU.

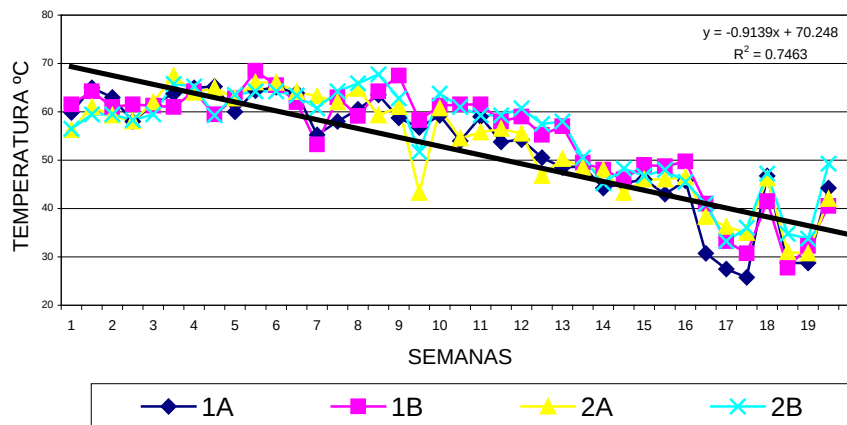


Figura 14. Promedio de temperatura en diferentes replicas a 30 cm en los RSU.

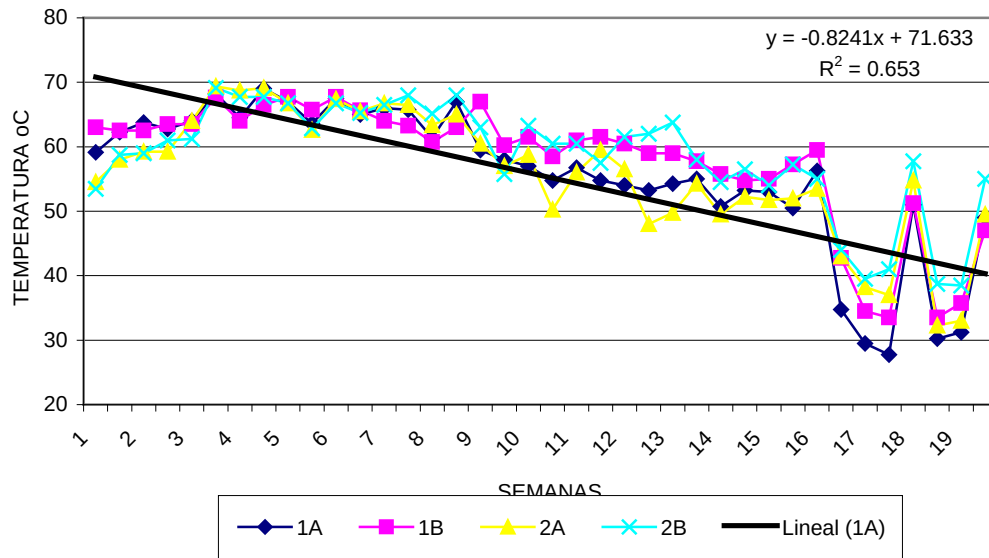


Figura 15. Promedio de temperatura en diferentes variantes a 60 cm de profundidad.

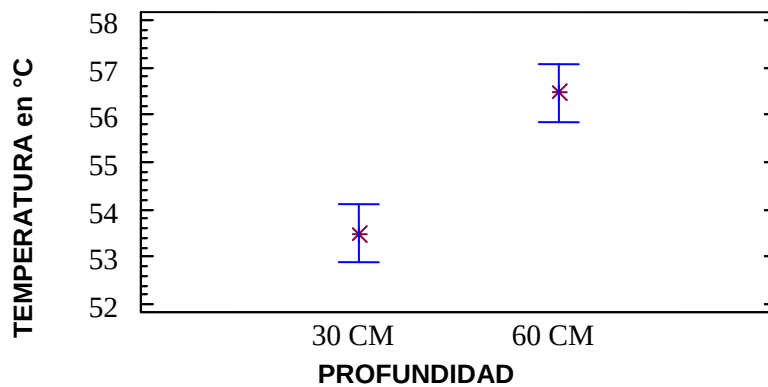


Figura 16. Promedio de temperaturas a las profundidades (30 y 60 cm) en los RSU.

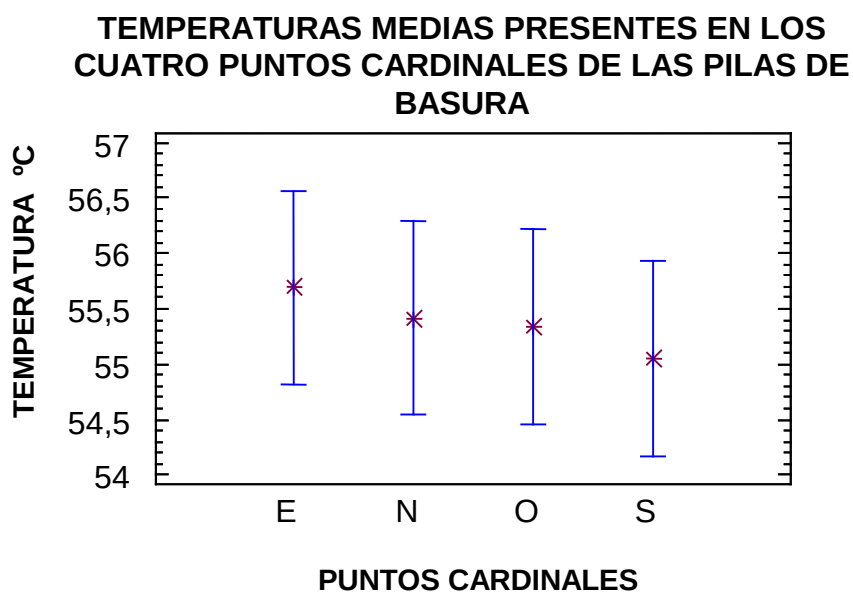
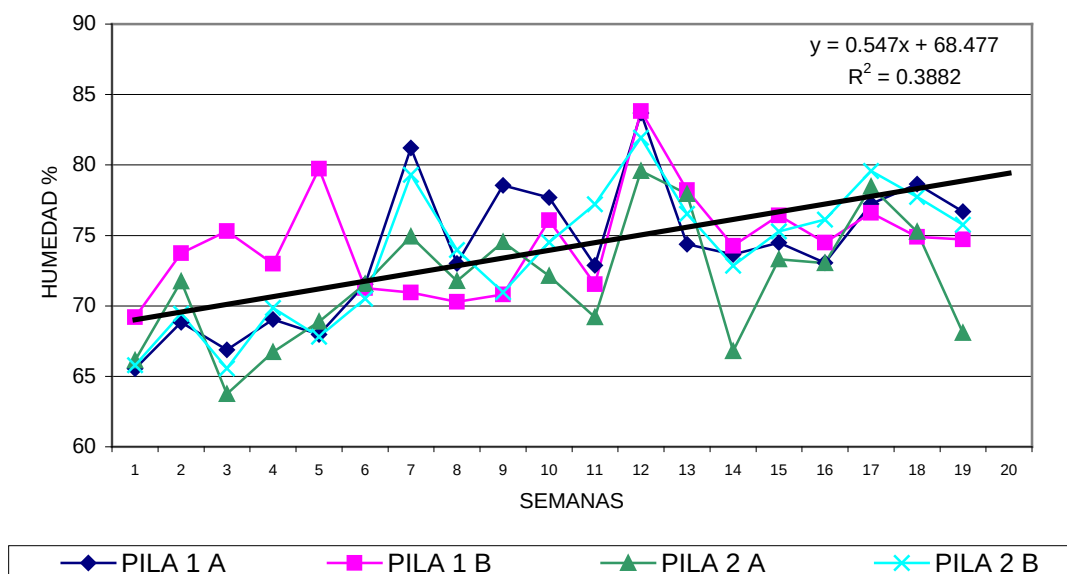


Figura 17. Temperaturas presentes en los cuatro puntos cardinales de las pilas.

Tabla 12. Valores del análisis de varianza entre las muestras de temperaturas de las diferentes replicas de RSU, para $p= 0.05$ en los cuatro puntos cardinales

REPLICA	VALOR DE P
1 A	0.8609
1 B	0.7865
2 A	0.6686
2 B	0.9326

Figura 18. Porcentaje de humedad en las replicas durante el periodo del experimento



El análisis de varianza de las cuatro pilas, resultando un valor de P de .0478, por lo cual hay una diferencia significativa, posteriormente se aplicó una Prueba de Rangos Múltiples (LSD), corroborando que existen dos grupos homogéneos, uno compuesto por las pilas 1A, 1B y 2B y el segundo grupo por la pila 2A, las medias oscilaron entre 71.77 y 74.77.

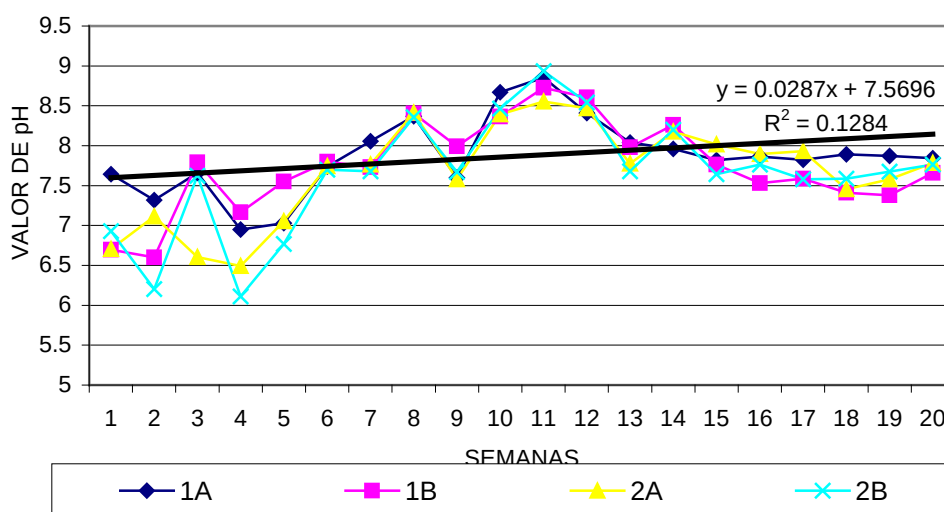
Para conocer si existían diferencias significativas en la humedad presentada en los 30 cm. y 60 cm. de profundidad de las pilas, se aplicó un análisis de varianza obteniéndose un valor de P 0.9241, por lo que no se presentan diferencias significativas.

El tamaño de las muestras para el comportamiento del pH, es de 160 a dos niveles de profundidad a los 30 y 60 cm.

Los valores del pH en las variantes de los RSU por semanas se muestran en la Figura 19, los pH máximos y mínimos se encuentran entre 6 y 9, y las medias oscilaron entre el 7.68 y 7.87.

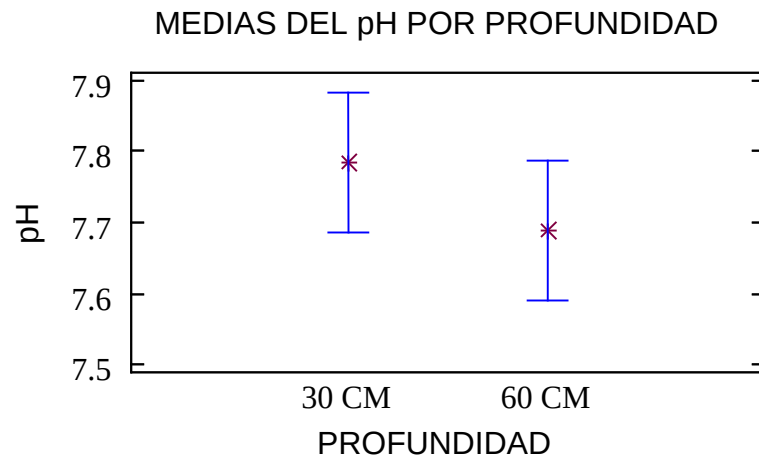
En las primeras cinco semanas los valores del pH estuvieron por debajo del 8 y en la semana 11 alcanzo el máximo valor muy cercano a 9. A partir de la semana 13 se comenzó a estabilizar. La recta de regresión es $Y = 0.0287x + 7.5696$ y $R^2 = 0.1284$.

Figura 19. Valores de pH en los diferentes tratamientos en RSU durante el experimento.



El análisis de varianza para las diferencias significativas del pH entre las replicas ($p=0.3833$) muestra que no existen diferencias significativas. Tampoco existen diferencias significativas entre las profundidades 30 y 60 cm., (Fig.8).

Figura 20. Valores promedios del pH de las replicas de RSU a diferentes profundidades, durante el experimento.



III. Bioacumulación de plomo por la lombriz roja californiana

Eisenia andrei (Bouche, 1972).

a. Toxicidad aguda (CL50) del plomo en *Eisenia andrei*.

Las lombrices inoculadas con las diferentes concentraciones de Pb, antes de morir presentaron síntomas iniciales de intoxicación visibles por constricciones en el cuerpo, aspecto brillante, lentitud al trasladarse y abultamientos a lo largo del cuerpo al morir su cuerpo prácticamente se deshace.

Al inicio del experimento en las pruebas de detección de plomo se observó una determinada concentración de este metal tanto en los alimentos como en los animales de prueba lo que puede observarse en la tabla 13, lo cual no pudo controlarse antes del experimento.

Los valores más altos de presencia de plomo se observan en los RSU, seguido de los especímenes de prueba, las lombrices, por último las excretas vacunas y el sustrato artificial.

Tabla 13. Presencia de plomo en los sustratos originales y los especímenes de prueba.

MUESTRA	Plomo, mg/kg
Sustrato artificial	2.253
Excretas Vacunas	2.100
Residuos Sólidos Urbanos	21.720
Celulosa	0.060
<i>Eisenia foetida</i>	18.870

Este resultado nos dice que las lombrices seleccionadas como especímenes de prueba, que provienen de crías con excretas vacunas, durante varias generaciones han acumulado plomo en su organismo.

En la tabla 14 y en la figura 21 se observan los valores de la mortalidad de la lombriz roja californiana para cada concentración de plomo. Puede observarse que a medida que aumentan las concentraciones también la mortalidad lo mismo puede decirse del porcentaje. El 50% de la mortalidad está entre 40 y 32 ppm para nuestro experimento.

A las concentraciones 1, 8, 10 ppm se observa valores de la mortalidad que no corresponde a lo esperado ya que se salen del rango de las concentraciones subletales que están por debajo del 50 de mortalidad, las no esperadas puede deberse a varios factores que serán aclaradas en el capítulo de discusión.

La prueba de regresión de la correlación entre la mortalidad y las concentraciones se muestra en la figura 22, puede verse la estrecha relación de la mortalidad con las diferentes concentraciones de plomo. Al determinar la recta de regresión de todos los tratamientos, da como resultados la siguiente ecuación: $Y = \pm 3.3x$

Tabla 14 Medias y desviaciones Standard de mortalidad de *Eisenia andrei* en cada uno de los tratamientos para un periodo de tiempo de 28 días.

TRATAMIENTO (ppm)	N	MEDIA	S	PORCENTAJE
0.1	30	1.50	0.71	10
1	30	1.33	1.15	13.33
8	30	2.00	1.15	26.67
10	30	1.75	0.96	23.33
15.2	30	4.00	0.21	8.00
16	30	1.00	0.39	3.33
19.2	30	1.30	0.10	6.67
20	30	1.00	0.10	3.33
22.4	30	1.00	-	6.67
25.6	30	1.00	-	6.67
30.4	30	1.00	-	10.00
32	30	1.50	0.84	30.00
40	30	1.25	0.50	53.33
45.6	30	1.51	3.88	66.67
15.2	30	26.00	0.11	86.67
60	30	4.25	14.63	56.67
80	30	31.33	2.31	100.00
100	30	4.60	4.72	76.67
1000	30	5.00	2.92	83.33

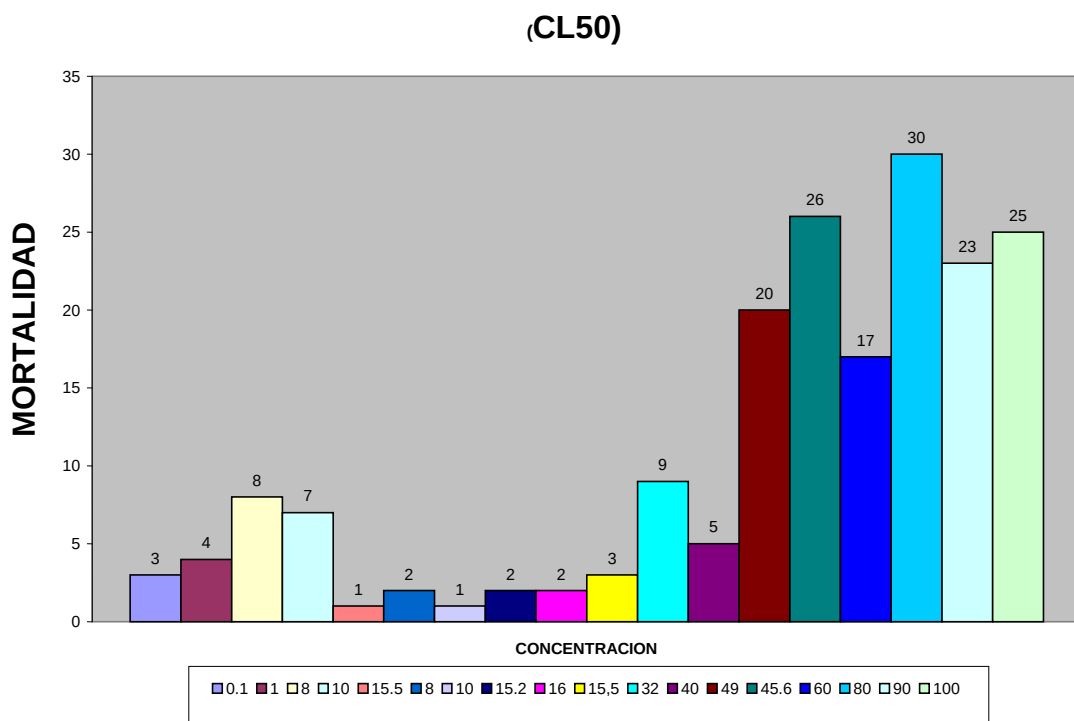


Figura 21. Mortalidad de *Eisenia andrei* en diferentes concentraciones de plomo.

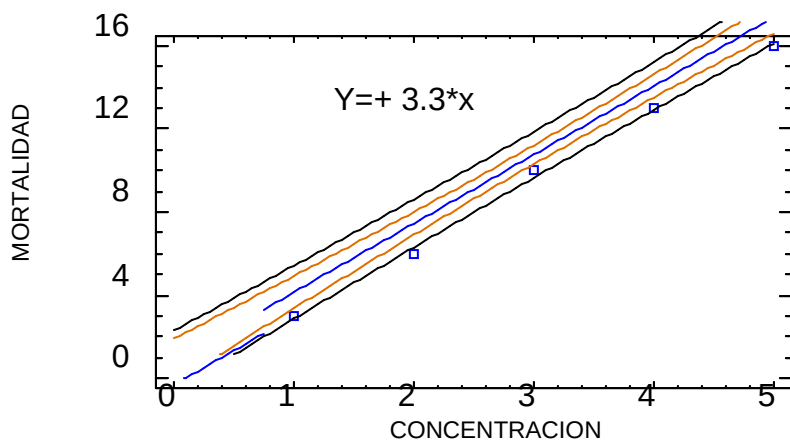


Figura 22. Recta de regresión lineal que muestra la relación entre la mortalidad de las lombrices inoculadas con diferentes concentraciones de plomo.

b. Evaluación de los efectos del plomo sobre el rendimiento reproductivo de Eisenia Andrei.

En la tabla 15 puede observarse los datos de peso y número de estadios del desarrollo de Eisenia andrei alimentadas sin plomo y con un porcentaje de plomo subletal que causa un determinado efecto sobre la reproducción de las lombrices, Con el objetivo de caracterizar el patrón de comportamiento de la especie, se alimentaron con plomo y sin plomo.

De los resultados se puede ver que entre las medias del número de adultas y entre el número de juveniles existe diferencia significativa para el 95% probabilidad, tanto en las lombrices alimentadas con plomo que con las alimentadas sin plomo. No así para el número de capullos que no arrojo diferencia significativa. (Tabla 15).

Tabla 15. Medias del número y peso de los estadios del desarrollo de *Eisenia andrei*, alimentadas sin plomo y con una dosis de plomo por debajo de concentración sublethal (%ECN).

NÚMERO									
TRATAMIENTO	ADULTAS			JUVENILES			CAPULLOS		
PLOMO	N	MEDIA	S	N	MEDIA	S	N	MEDIA	S
CON	15	8.80a	3.97	15	4.8a	3.17	15	3.53 a	5.42
SIN	52	15.92b	8.04	52	27.28b	7.02	52	22.67 a	12.97
Total	67	14.33	7.89	67	22.25	11.38	67	18.39	14.17
PESO									
CON	15	1.29a	0.85	15	1.38a	0.92	----	----	----
SIN	52	6.29b	2.29	52	3.82b	2.14	----	----	----
Total	67	5.18	2.94	67	3.28	2.18	----	----	----

El número de los diferentes estadios fue significativamente mas bajo para las lombrices alimentadas con plomo que con el testigo. Lo que manifiesta la toxicidad del producto o sustancia de prueba inoculada, en el alimento. De igual manera ocurrió con el número de capullo que fue 23 veces menor en el tratamiento inoculado con plomo que en el control.

El resultado del estudio de rangos múltiples se muestra en las figuras 23 y 24, en todos los casos las medias del peso de adultas y juveniles, que fueron

alimentados con y sin plomo en el alimento, esta fuertemente ligada a los tratamientos, Tabla 15.

Lo que quiere decir que el tratamiento con plomo afecto el comportamiento reproductivo de la especie, siendo los síntomas presentados por especímenes:

Deformaciones morfológicas: Constricciones, marcas en la cutícula

Trastornos conductuales: Pérdida de la vitalidad,

Movimientos lentos

Encogimientos y estiramiento del cuerpo.

Trastornos fisiológicos: Pérdida de peso.

Reducción de longitud.

Expulsión de líquido celomático, en exceso.

Disminución de la reproducción al 72%

Todas estas observaciones, nos permiten establecer un patrón conductual y cuantitativo para la contaminación de los sustratos, y su identificación a través de las lombriz de tierra *Eisenia andrei*.

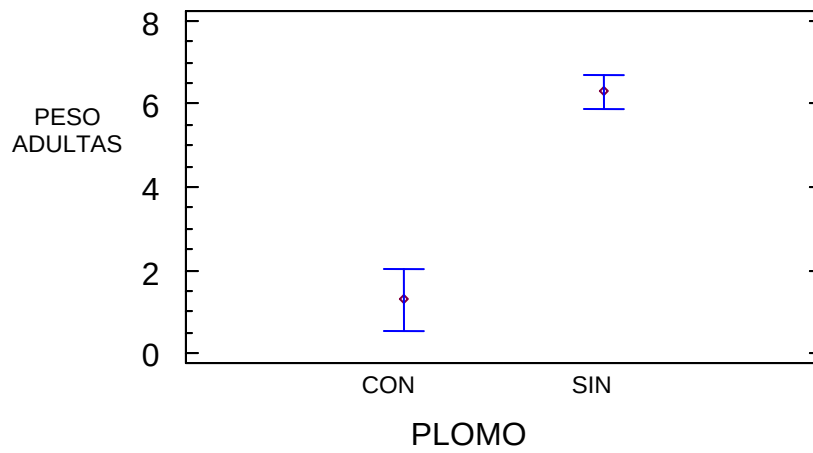


Figura 23. Medias de los pesos de las lombrices adultas con y sin plomo adicionado en el alimento.

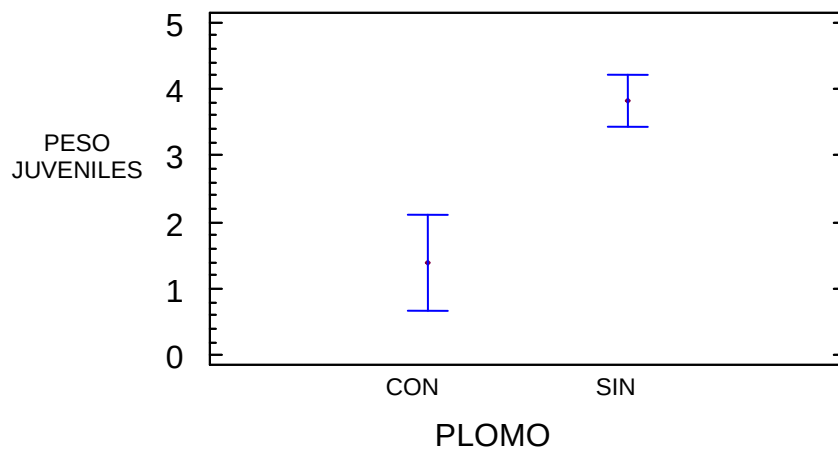


Figura 24. Medias de los pesos de las lombrices juveniles con y sin plomo adicionado en el alimento.

En relación al número de juveniles y capullos se pudo observar que hay una diferencia significativa con estos tratamientos Figuras 25 y 26 respectivamente.

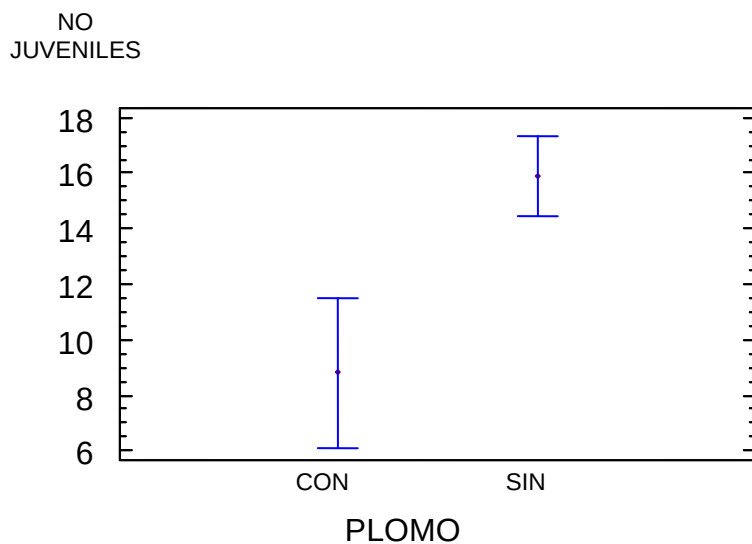


Figura 25. Medias del número de lombrices juveniles con y sin plomo adicionado en el alimento.

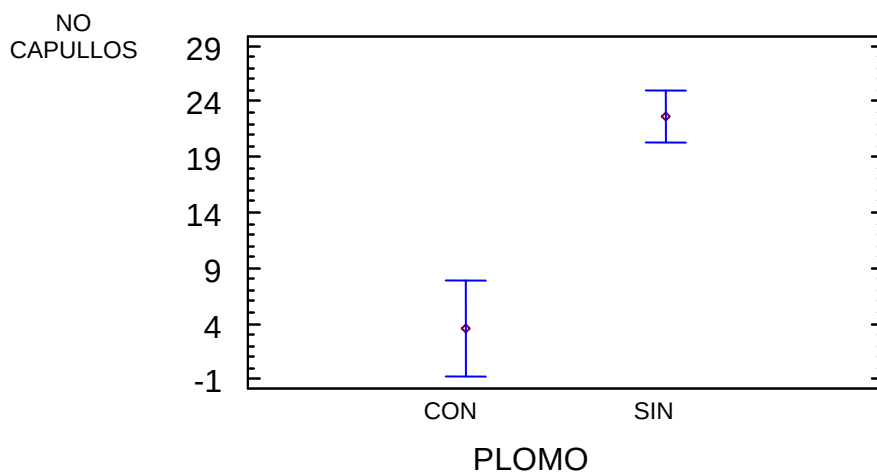


Figura 26. Comportamiento del resultado del análisis de Rangos múltiples para el número de capullo alimentados con y sin plomo.

c. Acumulación del plomo por *Eisenia andrei*.

A partir de los resultados obtenidos de la prueba para determinar el CL50 se seleccionó la concentración subletal 47.5 ppm, concentración subletal que causa algún efecto, para determinar el patrón de comportamiento de *Eisenia andrei*, ante la presencia de plomo en el sustrato.

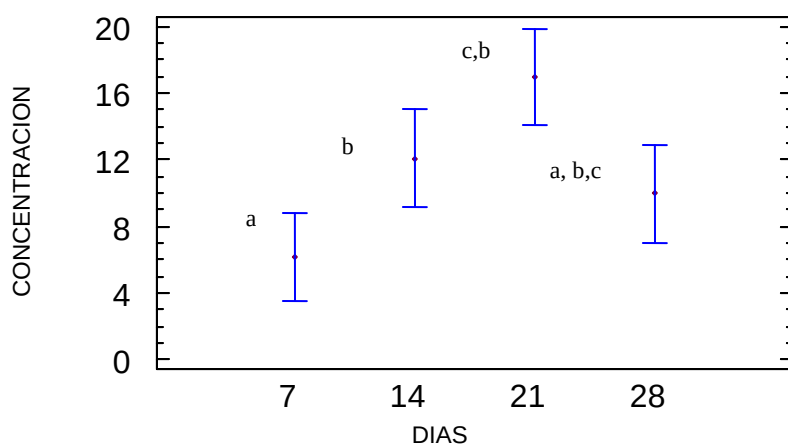


Figura 27. Concentración del plomo en las lombrices en diferentes períodos.

En la figura 27 se observa los resultados de la influencia de las concentración sobre la población total sometida a tratamiento con relación a los diferentes periodos del experimento.(letras diferentes significa diferencia *)

La concentración del plomo en los tejidos de las lombrices varió con la duración de los días de exposición, parece ser que la lombriz es capaz de acumular el plomo en su organismo en línea general hasta los 21 días a partir de ese tiempo comienza a eliminarlo y bajan las concentraciones de este en el cuerpo de las lombrices, existiendo diferencias significativas entre 7 y 21 días.

En las figuras 28 y 29, se puede observar que a los 7 días y 14 días de exposición de las lombrices al plomo, puede verse como influye el periodo de experimento con relación a la acumulación de este en el organismo de la lombriz.

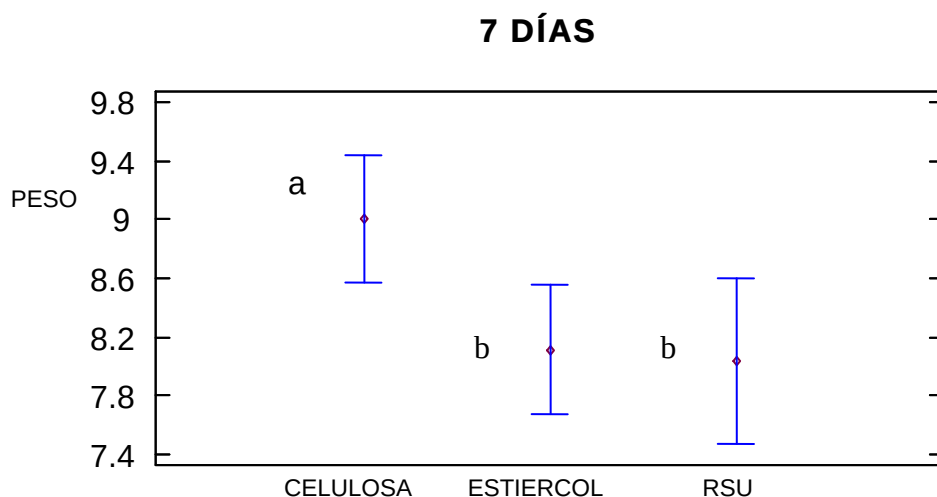


Figura 28. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 7 días.

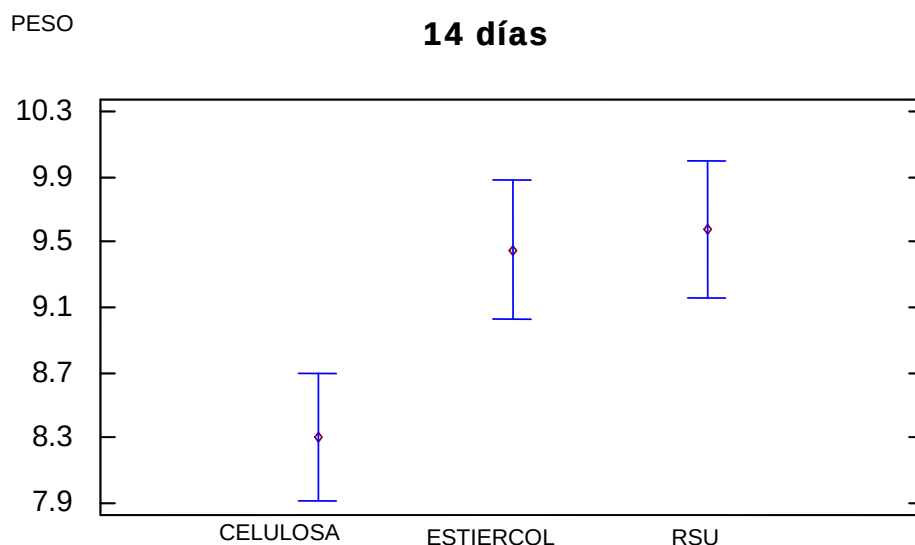


Figura 29. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 14 días.

En relación al peso promedio de las lombrices se observa en la tabla 16, que oscila entre 8.56 y 9.30, existiendo diferencia por la prueba de rangos múltiples para el 95 % de probabilidad entre el estiércol con los RSU y la Celulosa, los resultados arrojan valores iguales entre celulosa y los RSU.

Tabla 16. Medias del peso total de todas las lombrices en los tratamientos por tratamiento

TRATAMIENTO	N	MEDIA	S	Varianza
CELULOSA	21	8.60 a	0.76	0.58
ESTIERCOL	20	9.30 b	0.98	0.96
RSU	18	8.56 a	0.95	0.90
Total	59	8.83	0.94	0.89

Por otro lado las desviaciones estándar y la varianza muestran valores pequeños, lo que nos dice de la variabilidad restringida de las muestras

El comportamiento de la prueba de rangos múltiples para peso de las lombrices en general tiene un comportamiento similar al comportamiento de las concentraciones en los diferentes periodos de duración de los experimentos. Es decir se observa un aumento hasta los 21 días y este después decrece hacia los

Los mayores pesos lo alcanzan las lombrices en el estiércol vacuno, parece ser que la celulosa y los RSU aportan similares condiciones a las lombrices de tierra y las excretas benefician el metabolismo de estas, unido al Pb que aumenta las condiciones adversa ya que es toxico para estos animales. (.Figura 30)

PESO

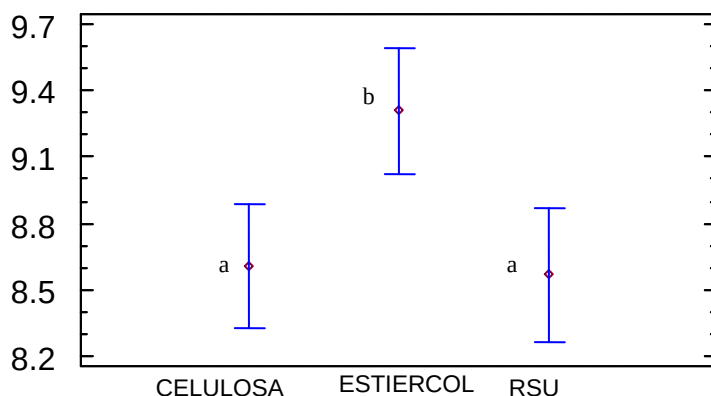


Figura 30. Comportamiento de los pesos de las lombrices del experimento por tratamientos de alimentación en general.

El comportamiento de los pesos en los diferentes tratamientos de alimento a 7, 14, 21 y 28 días se expresa en las figuras. (Figuras 28, 29,31 Y 32).

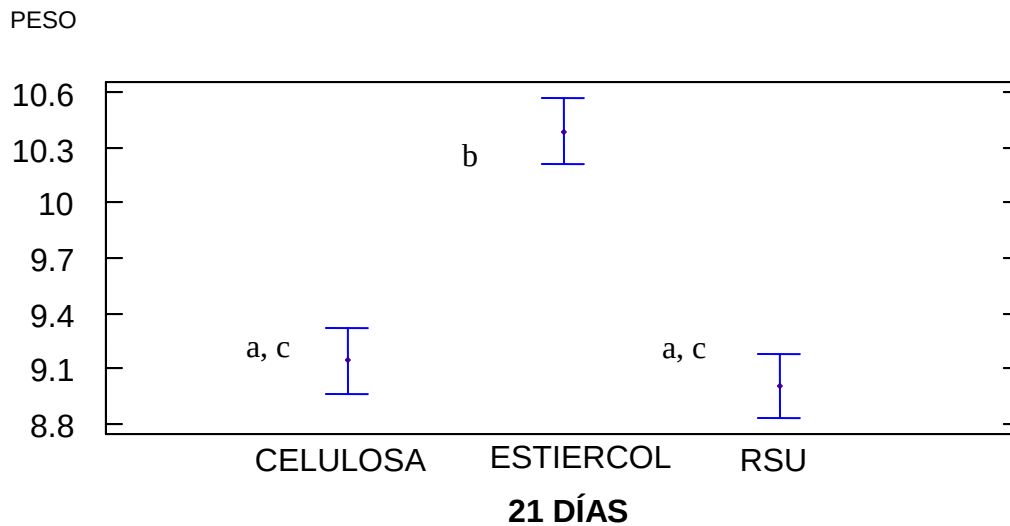


Figura 31. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 21 días.

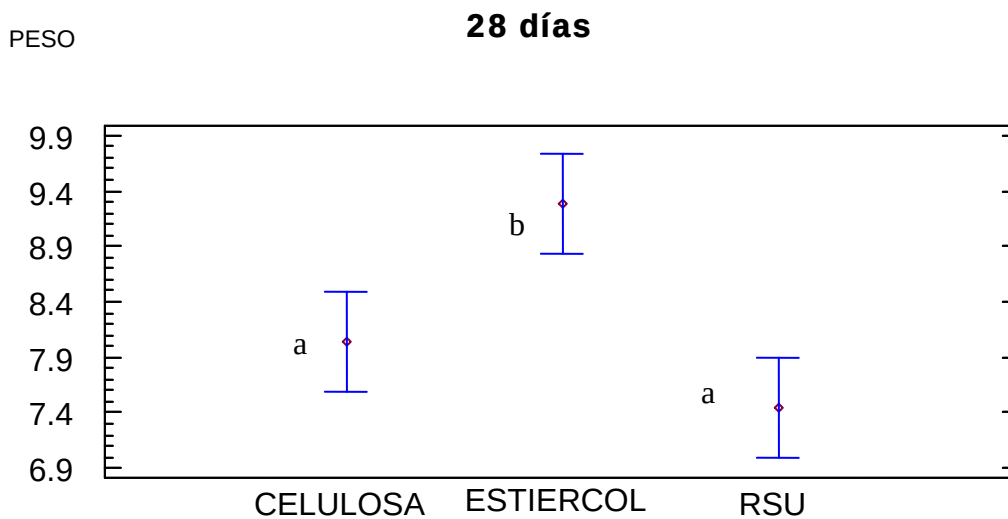


Figura 32. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para un periodo de 28 días.

A los 7 días las lombrices que se alimentan con celulosa, aumentan rápidamente de peso y en estiércol y RSU bajan de peso rápidamente en los primeros 7 días , sin embargo a los 14 día ocurre lo inverso baja rápidamente el peso de la celulosa y aumenta el de el estiércol y los RSU, sin embargo a los 21 días del experimento la tendencia es a que en los RSU los pesos caen bruscamente y se empareja a los valores d los pesos de la celulosa parece ser que estos dos últimos sustratos poseen propiedades menos favorables para el desarrollo de las lombrices, a lo que se le suma la toxicidad del plomo que acentúa esos valores. (Figuras 33, 34 y 35)

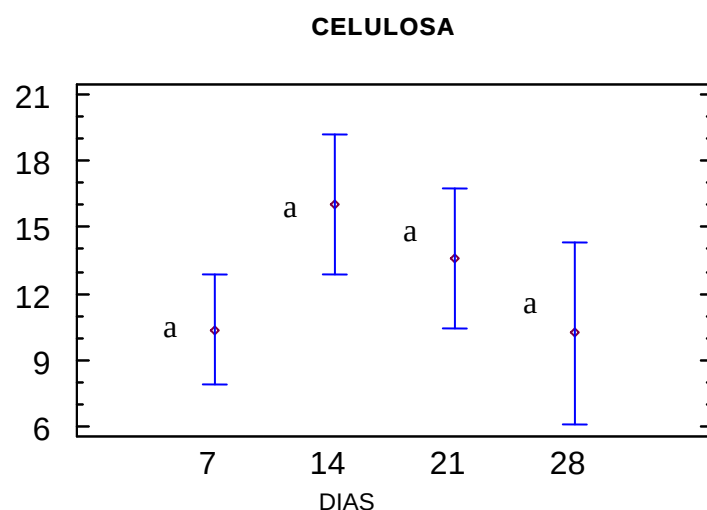


Figura 33. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para los diferentes periodos del experimento (Celulosa).

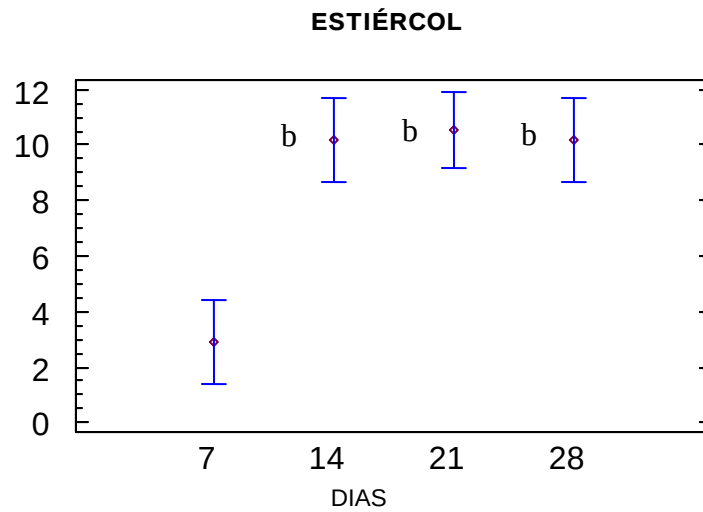


Figura 34. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para los diferentes periodos del experimento (Excretas Vacunas).

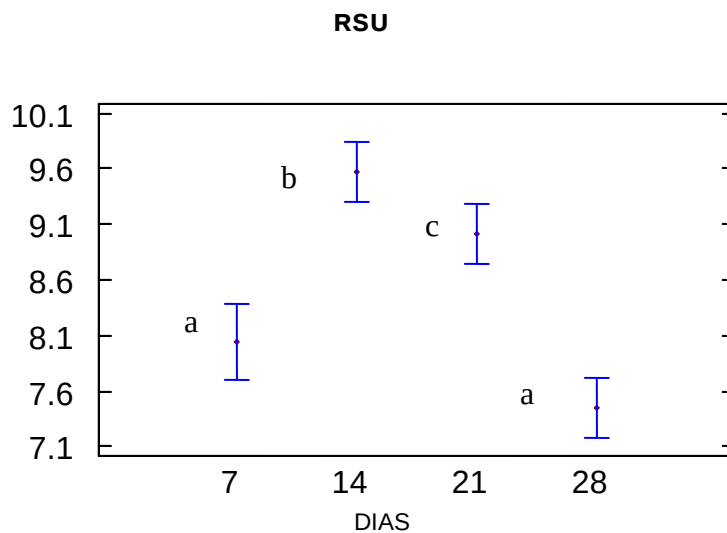


Figura 35. Comportamiento de los resultados del análisis de Rangos Múltiples del peso de la lombriz *Eisenia andrei* en diferentes alimentos para los diferentes periodos del experimento (RSU).

A los 28 días se reafirman los resultados de los 21 días para los pesos de las lombrices sometidas al experimento y aunque el peso de las lombrices en excretas vacunas baja un poco, se mantiene como el más alto entre los tres. (Figuras 31 y 32).

Los pesos iniciales como se señalo varían desde el inicio al final del experimento, En la tabla 17, se presentan los resultados de los pesos iniciales finales para cada tratamiento alimenticio así como la desviación estándar y la varianza.

Como se observa en las tabla 17 y las figuras 36 y 37, por el análisis rangos múltiples de existe diferencia significativa entre la celulosa y el estiércol, no así entre el tratamiento de estiércol y los RSU, en cuanto al peso inicial de las lombrices, sin embargo el peso final si presenta diferencia significativa entre la celulosa y el estiércol e igual a los RSU al igual que los peso iniciales, es decir que la variación de los pesos se comporta con las mismas diferencias tanto al inicio como al final del experimento en general entre los tratamientos de alimento.

Tabla 17. Peso inicial y final del tratamiento total de las lombrices adultas de los diferentes periodos de días.

TRATAMIENTO	PESO INICIAL				PESO FINAL			
	N	MEDIA	VARIANZA	S	N	MEDIA	VARIANZA	S
CELULOSA	21	7.85 a	0.20	0.45	21	6.56 a	3.89	1.97
ESTIERCOL	20	8.75 b	1.47	1.21	20	7.77b	3.93	1.98
RSU	18	7.30 ab	1.95	1.39	18	6.81ab	2.41	1.55
TOTAL	59	7.99	1.48	1.21	59	7.05	3.62	1.90

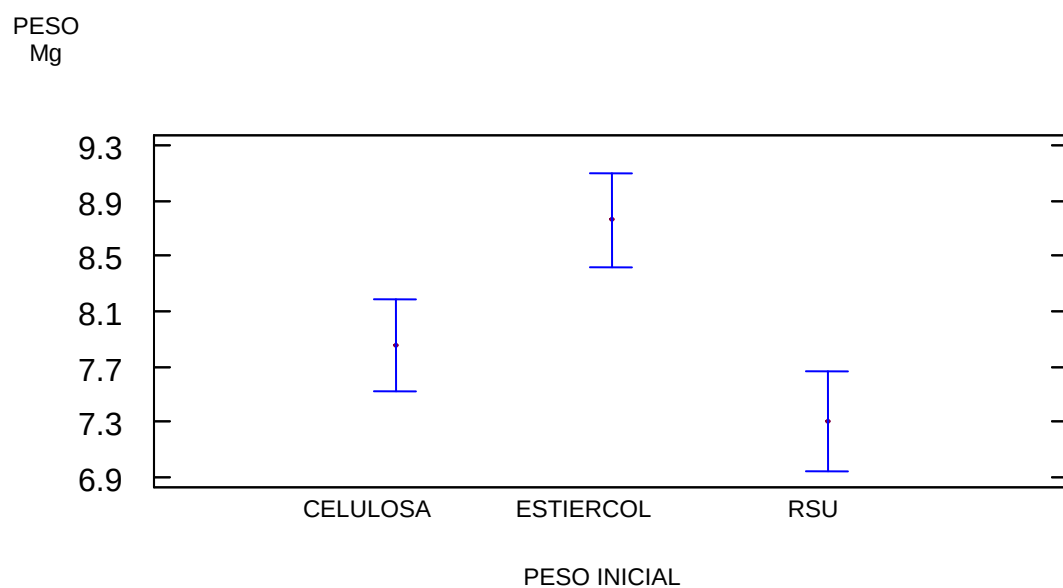


Figura 36. Peso inicial de las lombrices por los diferentes sustratos (celulosa, estiércol y RSU).

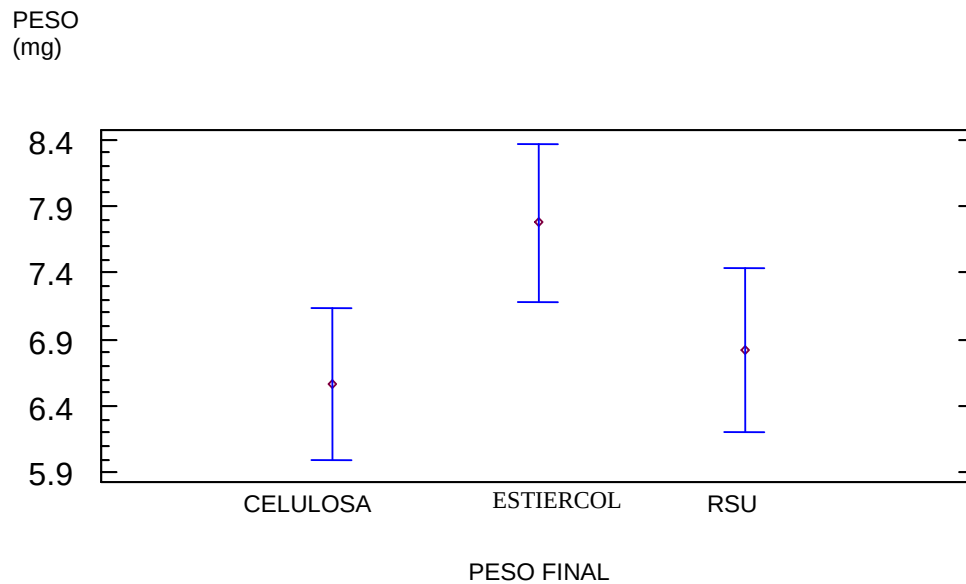


Figura 37. Peso final de las lombrices por los diferentes sustratos (celulosa, estiércol y RSU).

En Celulosa no existe diferencia significativa entre los periodos del experimento para el peso de las lombrices, sin embargo, si existe diferencia en los tratamientos de alimento, Tabla 17, las lombrices en el tratamiento con estiércol, aumentan de peso a medida que pasan los días, y ese peso se mantiene, sin embargo, casi el mismo comportamiento presentan la celulosa y los RSU, cuyo peso final a los 28 días prácticamente es igual que al inicio, si existe diferencia significativa entre los 7 días y 14 días y 7 días y 21 días.

Las líneas de regresión se muestran en las figuras 38, 39 y 40, como puede verse en cada tipo de alimento se expresa de una forma diferente.

CELULOSA

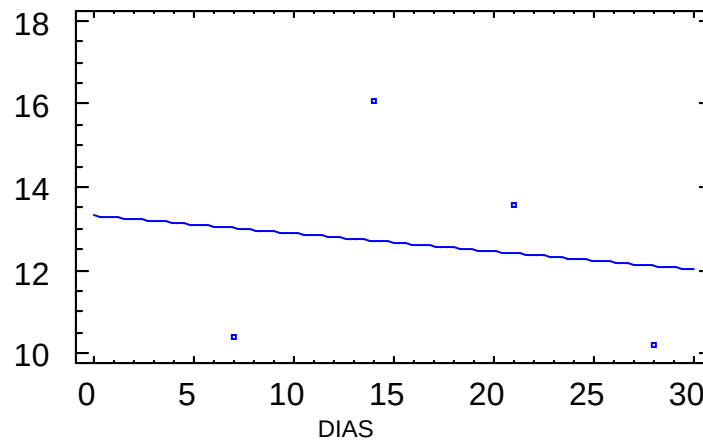


Figura 38. Líneas de regresión de la correlación entre la concentración del plomo, con alimento de celulosa durante los días.

ESTIERCOL

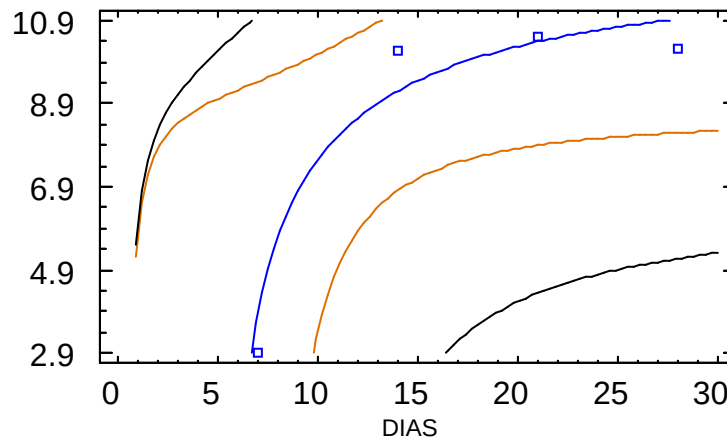


Figura 39. Líneas de regresión de la correlación entre la concentración del plomo, con alimento de estiércol durante los días.

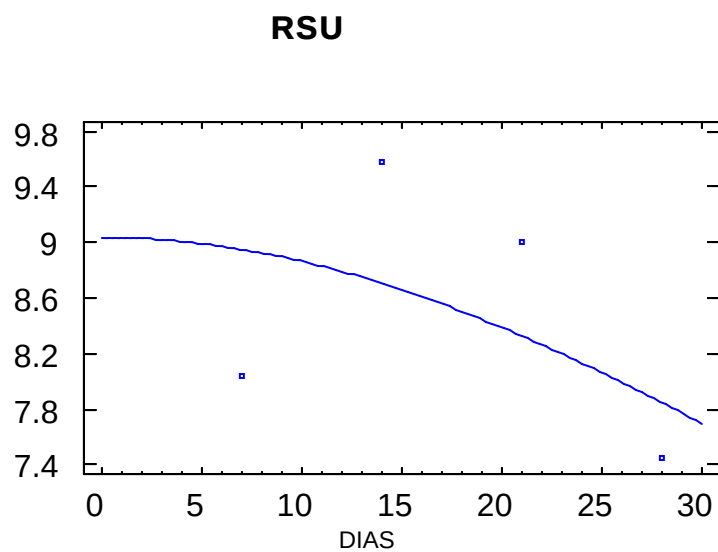


Figura 40. Líneas de regresión de la correlación entre la concentración del plomo, con alimento de RSU durante los días.

IV.- Influencia de los RSU en el desarrollo de *Eisenia andrei* empleado como alimento en comparación con la celulosa y excreta vacuna.

1b. En condiciones medioambientales no controladas. Cría masiva

En la dinámica de la lombriz de tierra *Eisenia foetida* en condiciones naturales se observa una relación en algunos casos en los diferentes estadios del desarrollo para un mismo alimento o tratamiento. El desarrollo del ciclo de vida en condiciones controladas está condicionado por la variación de los factores ambientales, el alimento y el manejo de las crías.

El estadio adulto es el que asegura la descendencia y la reproducción, por ello debemos prestarle atención en cuanto a su evolución. En la figura 41, se observa el comportamiento del número de individuos adultos en el lugar del cantero (borde y centro) y en los diferentes niveles.

Puede observarse una tendencia a un crecimiento en ambos niveles con un pico máximo tanto en Excretas vacunas como en el alimento mezclado con excretas y RSU después del cual se deprime la curva, indicando el fin del ciclo, reproductivo. En el alimento mezclado (Excretas vacunas y RSU) este crecimiento o máxima en la curva se presentan dos veces en el periodo estudiado en el borde del cantero, no coincidiendo con el máximo de la curva para el centro. Lo que quiere decir que se observa claramente que las lombrices adultas prefieren el borde del cantero y

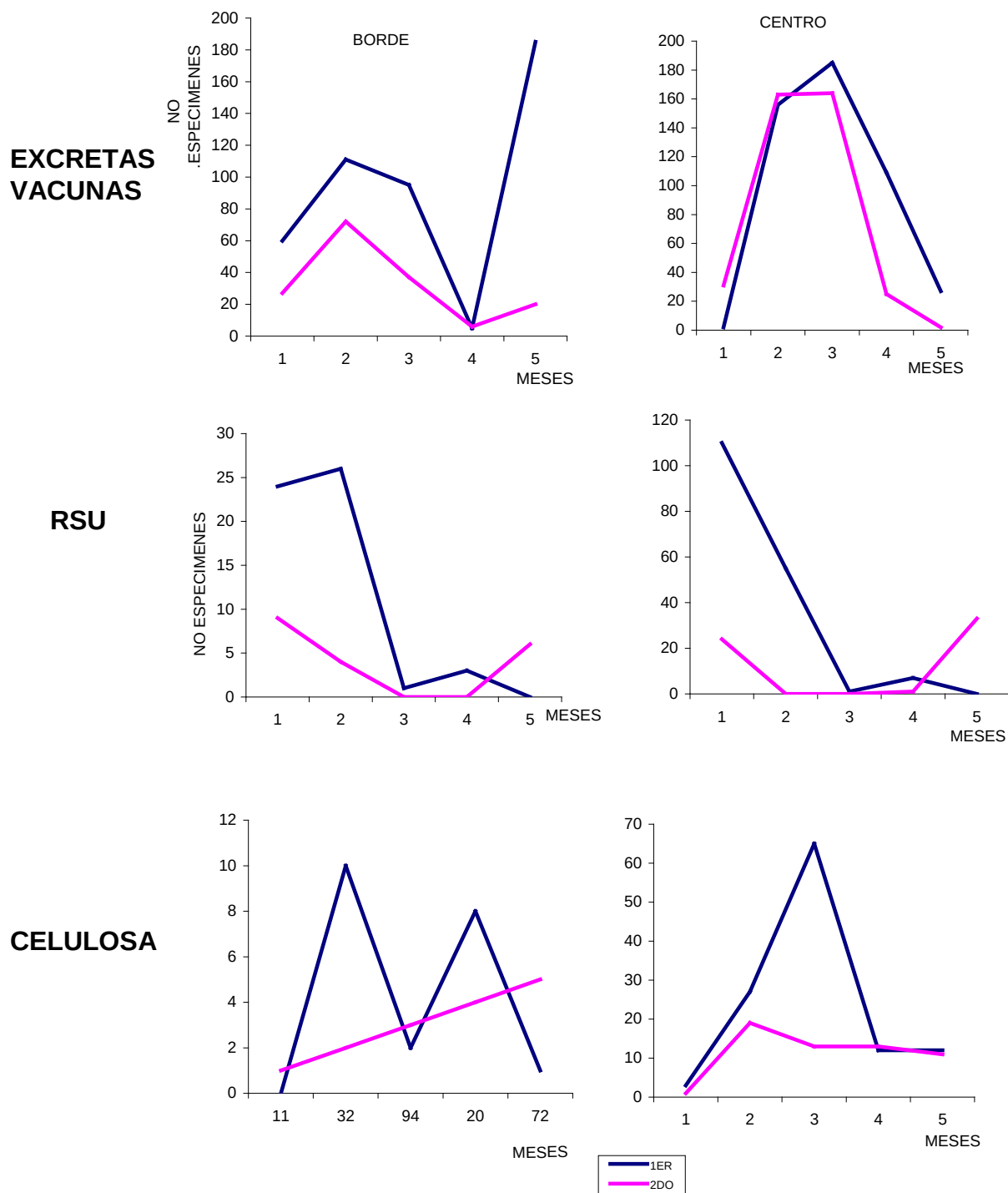


Figura 41. Dinámica del número de adultas de *Eisenia andrei* en diferentes alimentos por lugar y nivel en condiciones naturales.

mayormente cuando su densidad es mas alta este resultado es de esperar, dado que en la época del máximo valor en la curva la lombrices están en reproducción y se alimentan menos ya que su principal actividad es la puesta de capullos y el borde es un lugar donde hay menos alimento, y menos actividad de las juveniles por ende.

En las graficas 42 Y 43, se observa el número de los diferentes estadios en el muestreo inicial después de la inoculación de las lombrices en los canteros y al final del ciclo de 3 meses.

En La combinación de sustratos alimenticios de RSU+ Excretas vacunas al 50% se observa un incremento en el número de juveniles en el periodo del experimento de tres meses, lo que quiere decir que dicho alimento reúne los requisitos adecuados para la reproducción de los especímenes no así los RSU solos, cuyo resultados fueron inferiores a pesar que al inicio el número de capullos fue mayor (Figuras 43) parece ser que estos no fueron tan fértiles como en Excretas vacunas y en sus mezclas en proporción del 50%.

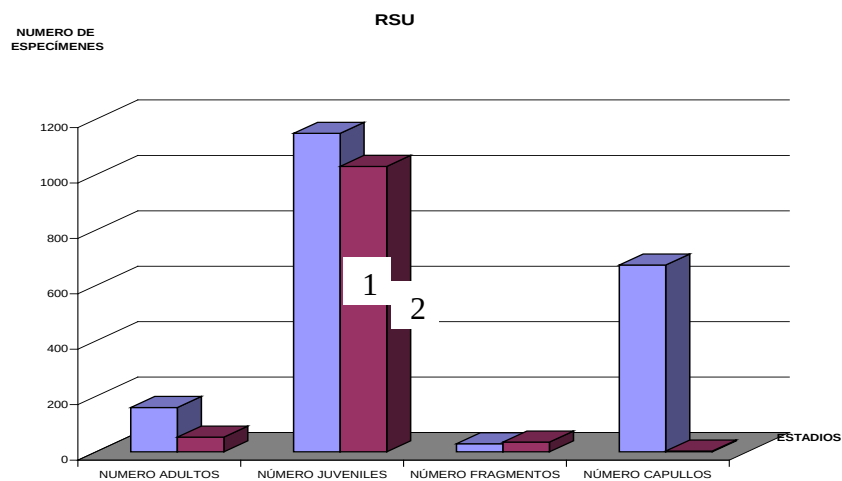


Figura 42. Comportamiento de la población total de diferentes estadios de *Eisenia andrei* en alimento de RSU. (Muestreo: 1. Inicio del experimento, 2, final del experimento.)

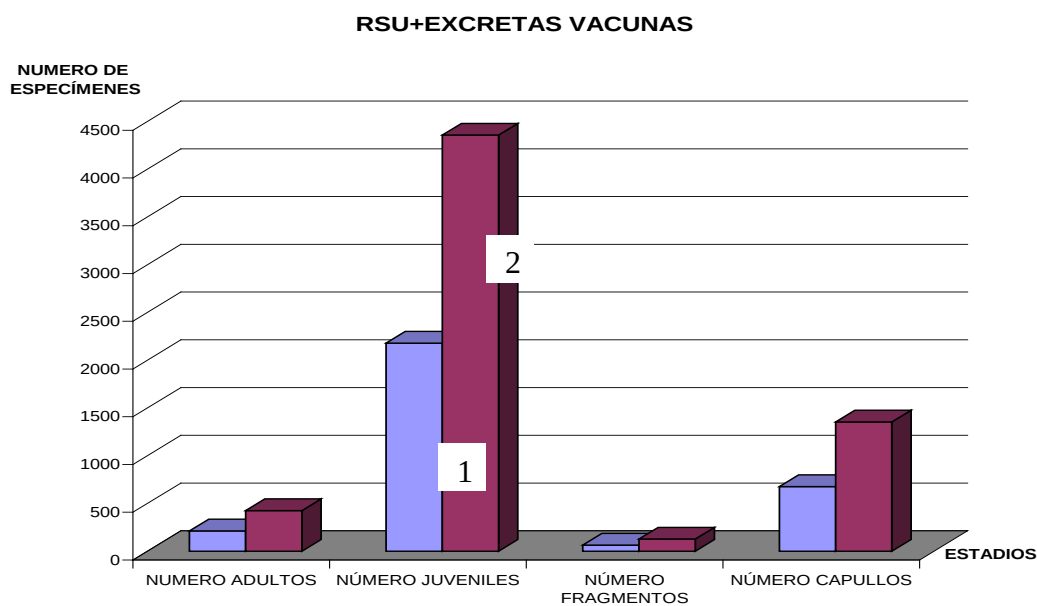
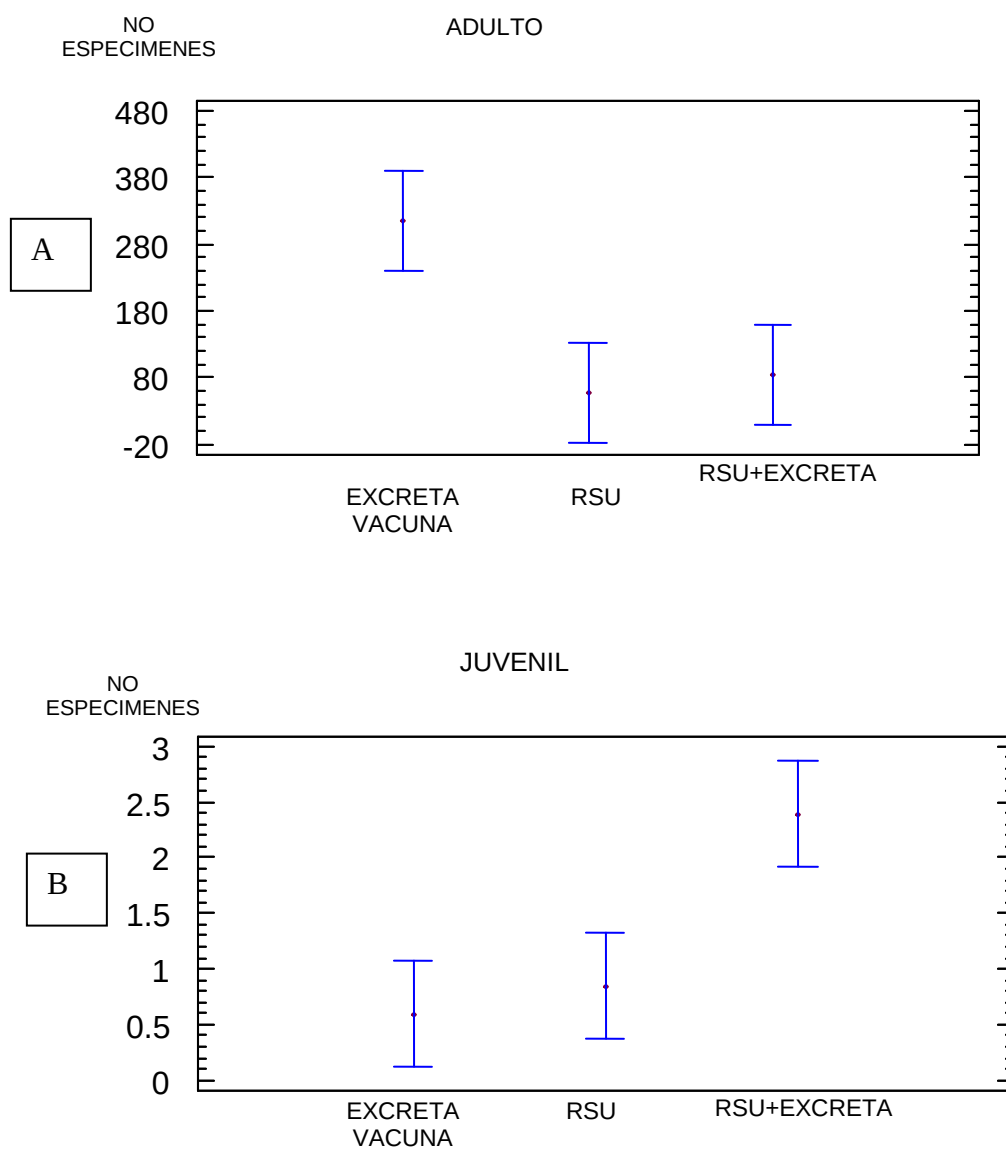
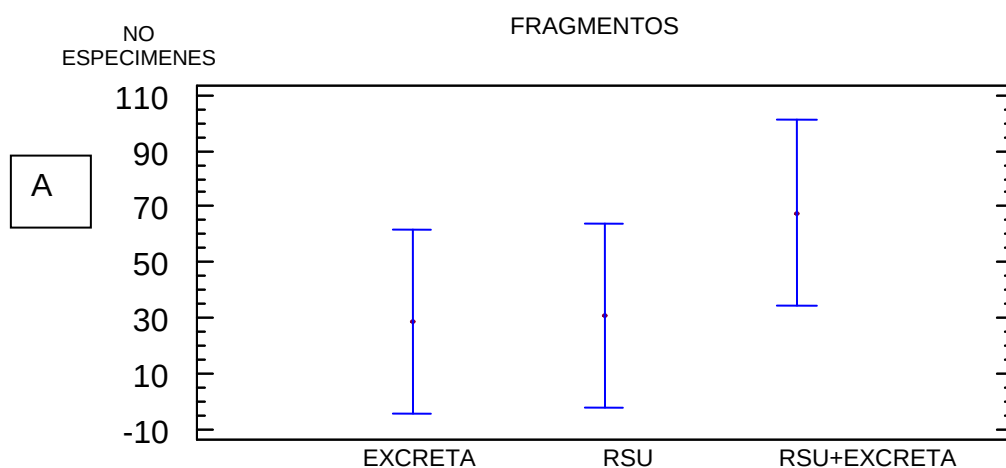


Figura 43. Comportamiento de la población total de diferentes estadios de *Eisenia foetida* en alimento de 50 % RSU y Estiércol Vacuno. (Muestreo: 1. Inicio del experimento, 2, final del experimento).



En la figura 44. Resultado del análisis de las medias de los tratamientos en la prueba de Rango múltiples al 95% de confiabilidad de los adultos y juveniles A y B.

En la figura 44. Resultado del análisis de las medias de los tratamientos en la prueba de Rango múltiples al 95% de confiabilidad. , nos refleja en la gráfica A, que hubo una mayor cantidad de adultos en los experimentos que se alimentaron con excretas y en la gráfica B, los juveniles se desarrollaron mejor en RSU + excretas.



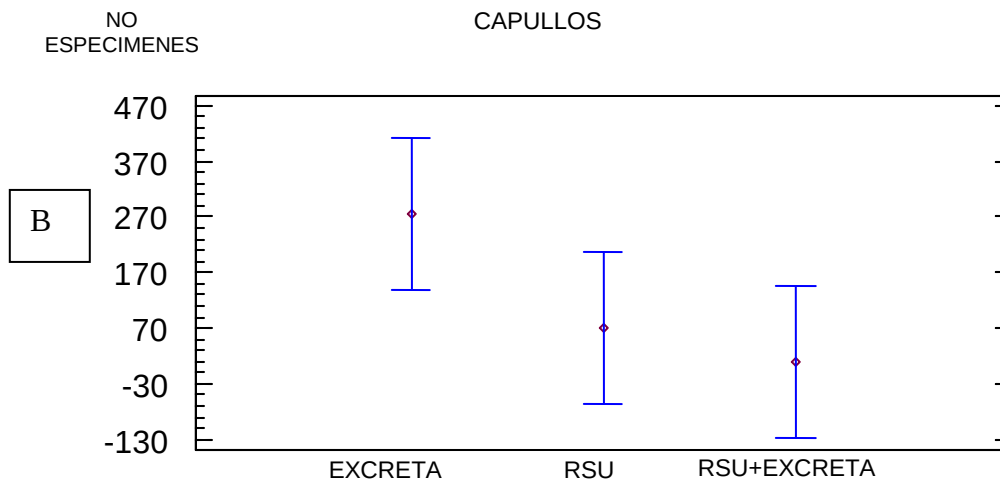


Figura 45. Resultado del análisis de las medias de los tratamientos en la prueba de Rango múltiples al 95% de confiabilidad. En los diferentes tratamientos para el numero de fragmentos (A), y capullos (B).

En el gráfica 45 A, se observa que hay un mayor número de fragmentos en los sustratos RSU + Excretas, siendo casi la misma proporción para excreta y RSU. En la 45 B, la producción de capullos fue mayor en las excretas, seguido de RSU.

Tabla 18. Estadísticos de posición y dispersión para el número de individuos de los diferentes estadios de las lombrices de tierra *Eisenia andrei*.

TRATAMIENTO	N	ADULTO		JUVENIL		FRAGMENTOS		CAPULLOS	
		Media	S	Media	S	Media	S	Media	S
EXCRETA	15	314.2 ab	168.57	589.54a	165.62	28.60 a	7.40	274.23 a	3.26
RSU	15	56.2b	58.165	841.4 b	608.25	30.60 a	29.74	70.4b	0.90
RSUMEXCRETA	15	85.2c	59.10	2388.2a	1018.29	67.8 a	77.38	10.0b	0.18
TOTAL	180	151.867	156.04	1273.05	1042.75	42.33 a	48.24	118.21	2.18

* (En los diferentes tratamientos de alimentos las diferencias entre las medias por la prueba de rangos múltiples se señalan a continuación de las medias con letras)

Los fragmentos presentan el mismo comportamiento pues no depende su número del alimento sino es directamente proporcional al número de individuos, ya que la fragmentación se produce al introducir la sonda del suelo, y el muestreo es siempre igual, a dos niveles, borde y centro del cantero. Los fragmentos como no se puede conocer su estadio se identifican su región anterior para su conteo y contribuyen a la biomasa final, para no introducir errores, pues al proceso de muestreo una lombriz puede fraccionarse en varios pedazos (tabla 18)

El análisis de la prueba de rangos múltiples para los fragmentos no da diferencia significativa lo que corrobora el análisis anteriormente realizado.

La mayor cantidad de capullos se presenta al inicio en los RSU, pero parece ser que estos no llegan a su total desarrollo porque el número de juveniles es bajo lo cual es de esperar ya que los RSU aportan una gran cantidad de celulosa que favorece la puesta de capullos, sin embargo la puesta de capullos final fue mayor en el alimento combinado RSU y excretas vacunas. También hay que señalar que al final del experimento en los tratamientos se alcanza a concluir el ciclo de tres meses

El comportamiento de las lombrices en cuanto a las que se alimentaron con RSU no es comparable con los alimentos anteriores, ya que su máxima densidad la alcanza en las primeras etapas del ciclo y decrece rápidamente, lo cual puede deberse a que este alimento induce rápidamente el desarrollo de las juveniles o mas probablemente no contiene suficiente nutrientes para el desarrollo del estadio adulto y los especímenes se transforman en juveniles como suele ocurrir en condiciones adversas del desarrollo de las lombrices.

En cuanto a la densidad de población en los diferentes niveles coincide en casi todos los casos que fue menor la cantidad en el segundo nivel que en el primero., sin embargo en RSU hay una tendencia al final del ciclo a un crecimiento de la población en el segundo nivel. Generalmente cuando las condiciones no son favorables los especímenes pasan los momentos de adversidad en este nivel a no ser que se trate de especímenes juveniles y este no es el caso, lo que induce a pensar que los RSU no son favorables para retener la humedad del sustrato.

Los valores de las medias y estadísticos para el número de adultos por tratamientos se muestran en la Tabla 18.

El análisis de varianza para el número de adultas entre las muestras y dentro las muestra para $p = 0.05$ para los diferentes tratamientos de alimentos nos muestra que existe diferencia significativa entre ellos, la prueba de rangos múltiples señala que las diferencias son significativas para las dinámicas de Excretas vacunas y RSU y Excretas vacunas y Excretas+residuos, lo cual corrobora el análisis anterior con relación al número de adultas, (Tabla 18)

Tabla 19. Estadísticos de posición y dispersión para el peso de individuos de los diferentes estadios de las lombrices de tierra *Eisenia andrei*.

TRATAMIENTO	N	ADULTO		JUVENIL		FRAGMENTOS		CAPULLOS	
		Media	S	Media	S	Media	S	Media	S
EXCRETA	15	62.58 b	39.84	95.03 a	88.16	28.60 a	7.41	274.23 a	314.15
RSU	15	13.876b	16.02	37.29 a	32.54	30.60 a	29.74	70.4 a	141.86
RSU+ EXCRETA	15	28.66ab	17.68	88.90 a	30.95	67.8 a	77.39	10.0a	9.69
TOTAL	180	35.041a b	32.58	73.74	59.29	42.33 a	48.25	118.21a	218.33

* (En los diferentes tratamientos de alimentos las diferencias entre las medias por la prueba de rangos múltiples se señalan a continuación de las medias con letras)

b. En condiciones controladas de temperatura, luz y humedad.

En la tabla 20, se pueden ver los resultados de los valores de las medias de reproducción de las lombrices en los diferentes tratamientos.

Las lombrices alimentadas con RSU tuvieron el más bajo parámetro reproductivo (puesta de capullos) 11.21 % seguidas de celulosa y estiércol vacuno (Control), este último presentó los valores más altos de la reproducción.

La reproducción del alimento de prueba RSU es el 18.33 % del control. Parámetro que consideramos muy bajo si recordamos los análisis realizados con mezclas de RSU y excretas vacunas en el campo, en el anterior capítulo se analizó el comportamiento de este con las mezclas de los otros alimentos.

Como se muestra en la tabla 20, las varianzas fueron muy altas lo que indica la gran variabilidad de los animales en su comportamiento y la necesidad de aumentar el número de muestras para reducir la misma.

Tabla 20 Medias de la puesta de capullos por las adulta de Eisenia andrei, en diferentes alimentos para el periodo de 28 días del desarrollo en general

TRATAMIENTO	N	MEDIA	%	VARIANZA	S
CELULOSA	74	86.48	28.70	9951.87	99.7591
ESTIERCOL	74	181.08	60.09	17171.4	131.04
RSU	74	33.78	11.21	4185.49	64.6953
Total	222	301	100.00	14072.2	118.626

*N: Numero de muestras. M: Media, S: Desviación Standard

Tabla 21. Parámetros poblacionales de la lombriz roja californiana en diferentes alimentos.

TRATAMIENTO	ADULTOS			JUVENILES			ADULTOS			JUVENILES		
	NO						PESO					
ALIMENTO	N	M	S	N	M	S	M	S	M	N	M	S
ESTIERCOL	56	34.2	3.97	187	12.93	3.17	8.50	0.85	3.30	187	3.29	0.92
RSU	187	34.9	8.04	55	14.28	7.02	46.64	2.29	15.03	55	3.20	2.14

El número de adultas fue similar en ambos tratamientos, y el de juveniles fue ligeramente mayor para los RSU que para Estiércol, sin ser significativa estadísticamente la diferencia. El peso de las adultas, lógicamente fue mayor que el de las juveniles. A pesar de que el número de juveniles fue mayor que el de las adultas no contribuyó al incremento en la biomasa.

Con relación a la fertilidad el porcentaje de las medias para el análisis de Rangos múltiples fue mayor en residuos de excretas vacunas, seguido por los RSU y la celulosa.

En la figura 46, se observan la representación de las medias procedentes del análisis de rangos múltiples, que indica que en los tres tratamientos la diferencia fue significativa. Esto quiere decir que las excretas aportan más nutrientes y mejores condiciones a la fertilidad de los capullos, dicho sea de paso que los RSU por estar compuestos por un alto porcentaje de sustancias celulolíticas, estimulan el crecimiento y desarrollo de la puesta de capullos (Reines, et al, 1994). Pero a pesar de que los RSU estimulan la puesta de capullo no contiene suficientemente proteínas para el desarrollo de la descendencia.

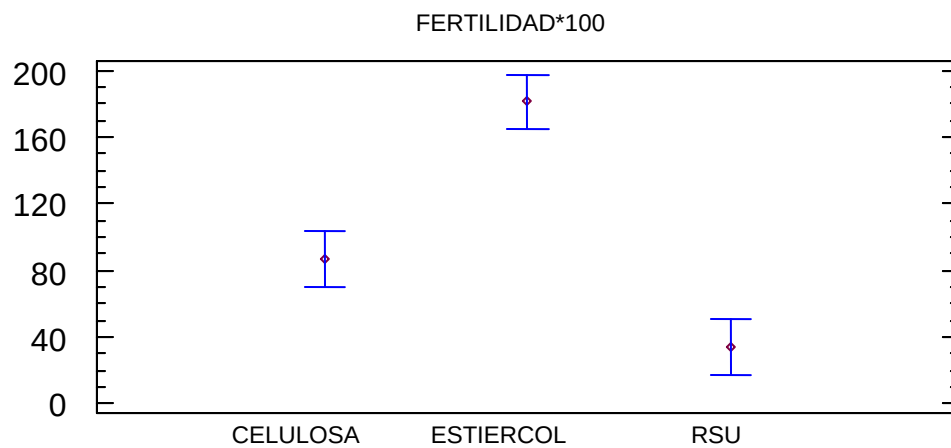


Figura 46 Fertilidad de capullo en porcentaje de lombrices de *Eisenia andrei* alimentadas con diferentes tratamientos

DISCUSIÓN

Para que los RSU puedan ser asimilados por las lombrices de tierra es necesario su adecuación consistente en estabilizar el pH, la temperatura y la humedad, la temperatura facilita el desarrollo de los microorganismos para acelerar la fermentación de los RSU, y su estabilización antes que lleguen al suelo, lo contaminen, y continúen el proceso fermentativo en él, perjudicando al mismo. Neuhauser planeó que: La desventaja que presenta este proceso es la lenta descomposición ya que se lleva a cabo en ausencia de la lombriz. Y los procesos anaeróbicos predominan sobre los aeróbicos. (Neuhaser et al., 1988).

Lo que se desprende de estos datos en primera instancia es que el 80 % de los residuos proceden de papel higiénico, jardines y residuos finos.

Aunque la presencia de metal, vidrio y residuos de la construcción es importante, este material procedente de la basura urbana “sí” es sujeto de compostear pudiendo dar como producto una buena composta.

Por otra parte se recomienda cribar el compost para eliminar la presencia de material indeseable.

La biodegradación por la lombricultura también trae consigo la disminución de la presencia de coliformes, que probablemente son destruidos en el tracto digestivo. (Ob.cit.) y otro beneficio de la estabilización de los RSU por las lombrices es la presencia de hormonas vegetales (Nelson, 1965; Tomati et al., 1987). Krishnamoorthy and Vajranabhaiah (1986, es reportado en Ishmail, 1995).

En relación a la presencia de lignocelulolíticos, la concentración encontrada fue muy baja. Este resultado es de esperar ya que los Residuales Sólidos Urbanos constituyen un sustrato de mezcla heterogénea de residuos, y el tiempo de duración el proceso de compostaje fue solo de tres meses. Estando presentes diferentes fuentes fácilmente degradables por los microorganismos como son: azúcares, polímeros, amino azúcares, etc. y siendo los residuos lignocelulósicos difíciles de degradar mientras estén presentes otros elementos, como los ya mencionados de fácil degradación, no se induce el sistema enzimático para degradar lignina y celulosa. Ya que las poblaciones de microorganismos se establecen en dependencia de las fuentes de carbono disponibles. Así en el proceso de degradación de las basuras se presenta una sucesión de poblaciones, requiriéndose de estudios dinámico del sistema y definir la eficiencia de cada sucesión de las diferentes poblaciones de microorganismos, para poder caracterizar estas poblaciones, determinando la eficiencia de las diferentes etapas de degradación de los residuos. El proceso de compostaje de los RSU según los resultados de la prueba Solvita no está terminado, y es necesario que este se prolongue más tiempo para que aumente la calidad del producto final, que es uno de los objetivos del proceso de degradación de los residuos. Para que esto ocurra sin la presencia de las lombrices habría que acudir a la inoculación de lignocelulolíticos en el proceso de compostaje ya que como se señaló fue muy baja su concentración en igual tiempo en que estaría terminado el humus de lombriz. Una de las especies mas indicadas seria de las del género *Trichoderma* por su capacidad saprobiótica para degradar determinados sustratos, y mediante el

proceso de las FES (Fermentaciones sólidas.) para poder parecerse el proceso de la lombricultura.

Por otra parte los RSU deben ser un sustrato que como alimento de las lombrices no sea tóxico, deben reunir condiciones óptimas de nutrición y estar libre de metales pesados. (Test de Minesota "Z" Test), (Thompson, W. 2001).

Para corroborar los valores de la madurez obtenidos con la prueba de Solvita, comparamos la toxicidad de la composta de RSU en relación al control.

Las lombrices pueden acumular plomo en su organismo, pero no existe una explicación lineal en cuanto a esa acumulación ya que la regresiones simples de la correlación de de la concentración con respecto a la mortalidad todas dieron diferente en relación al tipo de sustrato alimentito que se empleo, también por otra parte la retención del plomo en el organismo de las lombrices fue variable, mas preciso en el estiércol, sustancia que esta menos degradada y mas compleja que los RSU y la celulosa que son coloide, e inciden en la retención y asimilación de plomo. Aunque a medida que transcurrió el tiempo, la acumulación al menos en las excretas vacunas fue mayor la prueba como se establece en la metodologías de la OCDE, 2002, no es suficiente para constatar la evolución del plomo en el organismo de la lombriz, la acumulación por parte de la lombriz, parece depender de la disponibilidad del contaminante, que puede formar enlaces con el sustrato por ser una sustancia anfótera, Estos resultados coinciden con los de Incola A. Deivis (2002), quien plantea que la acumulación de la lombriz de plomo depende de muchos factores también externos. También puede ser que se adaptan a las

elevadas concentraciones de los contaminantes, como plantea Neuhauser, (1998), y también parece ser que algunas lombrices se desarrollan mejor en suelos contaminados como fue planteado por Spurgeoy y Weeks, (1998). A pesar de que Eisenia se adapta a suelos o sustrato contaminados y según plantea Tomlin, 1992, no es buena para pruebas toxicológicas, Spurggeoy y Weeks insisten en que a pesar de que Eisenia andrei presenta menos mortalidad, y es menos sensitiva a la contaminación no hay diferencias en cuanto la acumulación con otras especies de lombrices de tierra, sin embargo Eisenia reúne condiciones especiales de cría etc., para ser utilizada en estas pruebas, si es necesario que se tenga en cuenta que son organismos muy variables y el número de muestras debe ser amplio para llegar a conclusiones confiables y sobre todo también debe conocerse las concentraciones iniciales de los productos en el cuerpo de la lombriz, pues puede afectar los cálculos. Y es preciso ya que el estiércol ya trae concentraciones de plomo al igual de los RSU.

CONCLUSIONES

- El 80 % de los Residuos Sólidos Urbanos proceden de papel higiénico, restos de jardines y residuos finos inertes.
- Aunque la presencia de metal, vidrio y residuos de la construcción es importante, este material procedente de la basura urbana “sí” es sujeto de compostear pudiendo dar como producto una buena composta.
- Por otra parte se recomienda cribar la composta para eliminar la presencia de material indeseable.
- Según el método de Solvita la composta obtenida presenta un índice de madurez de valor de 6 por lo que se infiere que es una composta activa, sin embargo con este valor ya el método recomienda que es posible utilizarla en el campo, previa separación de los materiales inorgánicos (vidrio, metal y trapo).
- El método Solvita no es suficiente para determinar la madurez de la composta ya que de inicio hubo que continuar la fermentación para que pudiera ser empleado por las lombrices.
- La prueba de fitotoxocidad da un porcentaje de brotes del 95%, indicando su viabilidad para su empleo como fertilizante orgánico.
- La prueba de Minesota dio como resultado que aún no estaban madura la composta a pesar de lo que se reflejó en el método Solvita.
- Los valores de las concentraciones para la toxicidad aguda del plomo sobre la lombriz de tierra *Eisenia andrei* dio un valor de 32-40ppm.

- El valor de CL 50 esta entre los 45 y 60 ppm, por lo que por extrapolación se obtuvo el valor de % que puede causar algún efecto se estimó en 45.7ppm,
- La inoculación del sustrato alimenticio con plomo afectó la eficiencia reproductiva de la lombriz de tierra *Eisenia andrei* hasta un 18% con relación al control.
- Se pudo caracterizar la influencia de plomo sobre la morfología, fisiología y etología de la lombriz de tierra *Eisenia andrei*, lo que permitirá establecer una metodología de uso de la lombriz para la identificación de la toxicidad en el suelo, causada por el plomo.
- La lombriz de tierra acumuló plomo en su organismo en dependencia de los sustratos alimenticios que se emplearon como vehículo para la inoculación.
- Hay que considerar la posibilidad de que el plomo sustancia anfótera se mezcló con los residuos y disminuya la disponibilidad del metal para ser consumido por la lombriz de tierra.
- Mientras más tiempo de exposición al contaminante, en excretas vacunas la lombriz acumuló mayor concentración de plomo en su organismo.
- El plomo incide sobre el desarrollo de *Eisenia andrei*, disminuyendo su peso, tamaño, movilidad y reduciendo la reproducción.
- La lombriz *Eisenia andrei*, se desarrolla activamente en las condiciones climáticas de Jalisco. El RSU no brinda todas las condiciones para un

óptimo desarrollo de las lombrices, siendo recomendable su mezcla con excretas vacunas para mejorar la eficiencia del proceso.

- En condiciones controlas el ciclo de vida de la lombriz *Eisenia andrei*, tuvo un comportamiento similar en cuanto a la reproducción y el ciclo de vida, no obstante, su comportamiento reproductivo fue mejor en condiciones controladas.
- Es recomendable continuar con estos trabajos a fin de establecer un patrón de conducta más exacto para cada uno de los posibles contaminantes del suelo.
- Estos resultados son preliminares de lo debe ser una necesidad imperiosa para el Manejo de los RSU, puesto que algunos parámetros establecidos en las normas Mexicanas, todavía aceptan rangos muy altos de contaminantes en los residuos para ser empleados como abonos orgánicos.
- Para el desarrollo de la lombricultura la mezcla de RSU con excretas u otros residuo que aporte energía y proteínas a las lombrices. Para que el proceso sea más eficiente, y se asegure la descendencia.

LITERATURA CITADA

Adis, J. y H. Schubart. 1983: The macroarthropods of the Brazilian Amazon forest. Ecology Futures Workshop, Louvain-la-Neuve. INTECOL / NATO.

Anónimo. 1988: Evaluaciones epidemiológicas de riesgos causados por agentes químicos ambientales. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de la Salud. Edit Lemusa, 88 pp.

Appelhof, M. 1981: Workshop on the role of Earthworms in the Stabilization of Organic Residues, Vol. 1, Proceedings. Beech Leaf Press. Kalamazoo, Michigan, 315 pp.

Ball, L. C. 1975: Nature and formulation of Biogeographical hypotheses. Syst. Zool. 24(4): 407-430.

Barois, I., y P. Lavelle. 1986: Changes in respiration rate and some phycochemical properties of a tropical soil during transit through *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta). Soil Biology and Biochemistry: 18, 539-541

Blair, J., R. W. Parmelee y P. Lavelle. 1995: Influences of earthworms on biogeochemistry. En: Earthworm ecology and biogeography in North America. (Hendrix, P. F. ed.) Lewis Publishers, Boca Raton, FL., USA : 127-158.

Bouché, M. B. 1992: Earthworm species and ecotoxicological studies. In Ecotoxicology of Earthworms, P.W. Greig-Smith et al. (eds.). Intercept Ltd, Hants, U.K: 20-35.

Brambila, C. 1992: Expansión urbana en México. Colegio Tecnológico de Monterrey, México, 87 pp.

Brown, G. G., B. Pashanasi, C. Villenave, J. C. Patrón, B. K. Senapati, S. Giri, I. Barois, P. Lavelle, E. Blanchart, R. J. Blackmore, A. V. Spain y L. Brussaard. 1999: Effects of Earthworms on Plant Production in the Tropics in: Earthworm Management in Tropical Agroecosystems (P. Lavelle, L. Brussaard & P. Hendrix, eds.), CAB International Publishing, 300 pp.

Brussaard, L., V. S. R. Vadakattu, Val M. Behan-Pelletier, V. K. Brown, P. Lavelle, W. Didden, D. W. Malloch, P. Folgarait, et al. 1997: Biodiversity and Ecosystem Functioning in Soil. En: Ambio: 26 (8), 563-570.

Butt, K. R., J. Frederickson, y R.M. Morris 1994: Effect of earthworm density on the growth and reproduction of *Lombricus terrestris* L. in culture. Pedobiología: 38, 254-261.

Callaban A. 1998: Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo, elementos para el ordenamiento y la planeación del territorio. Editorial

Compagnoni, L. y G. Putzolu. 1985: Cria moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. Editorial De Vecchi, Barcelona, 127 pp.

Carabias J. E. Provencio, J. Sánchez. 1997: Estadísticas e indicadores de inversión sobre residuos sólidos municipales en los principales centros urbanos de México. SEMARNAP, Coordinación de Participación Social y Publicaciones del Instituto Nacional de Ecología, Impreso y hecho en México /Printed in México, 57 pp.

Contreras-Ramos S.M., Escamilla-Silva EM, Dendooven L. 2005: Vermicomposting of biosolids with cow manure and oat straw. *Biology and Fertility of Soils* 41 (3: 190-198)

Curry, J. P. 1994: *Grassland Invertebrates, Influence on Soils Fertility and Effects on Plant Growth*. Chapman & Hall, London.

Doube, B. M., P. M. Stephens, C. W. Davoren y M. H. Ryder. 1994: Interactions between earthworms, beneficial soil microorganism and root pathogens. *Appl. Soil Ecol*: 1, 3-10

Edwards, C.A. y P. J. Bohlen. 1996: *Biology and Ecology of Earthworms*. Third Edition. Chapman and Hall. London, 426 pp.

Edwards, P.I, and I. M. Coulson. 1992: Choice of earthworm species for laboratory tests. *Ecotoxicology of Earthworms*, P.W. Greig-Smith et al. (eds.), Intercept Ltd., Hants, U.K.: 36-43.

Edwards, C. A. y L. R. Lofty. 1977: *Biology of earthworm*. Chapman and Hall, London England. 333 pp.

Elvira C., Domínguez J., Briones M.J.1998: Composición de las comunidades de lombrices de tierra en un vertedero, un estercolero y un depósito de pasta residual. *Nova Acta Científica, Compostelana (Bioloxia)*, España: 6, 123-129.

Forbes, V.E., and T.L. Forbes. 1994: *Ecotoxicology in theory and practice*. Chapman & Hall, London.

Fragoso, C. y P. Lavelle. 1987: The earthworm community of a Mexican tropical rain forest (Chajul, Chiapas). *On Earthworms*. (A. M. Bonvinici Paglai y P. Omodeo, eds.). Mucchi, Modena: 281-295.

Fragoso, C. y P. Lavelle. 1992: Earthworms communities of tropical rain forest. *Soil. Biol. Biochem*: 24 (12), 397-1408.

Fragoso, C. y P. Lavelle. 1995: Are Earthworm Important in the Decomposition of Tropical Litter? En: *Soil organisms and Litter Decomposition in the Tropics*. (Vikram Reddy, M. ed.). Oxford & I. B. H. Publ. Co. Ltd., New Delhi.

Gälli, R., C. D. Muñiz y R. Scholtz. 1994: Evaluation and application of aquatic toxicity test: use of the Microtox test for prediction of toxicity based upon concentrations of contaminants in soil. *Hydrobiologia*:273, 179-189

Gates, G. E. 1972: Burmese earthworm. An introduction to the systematics and biology of megadrile oligochaeta with special reference to southeast Asia. *Trans. Amer. Philos. Soc.*:62 (7), 1-326

González, G., X. Zou y S. Borges. 1996: Earthworm abundance and species composition in abandoned tropical croplands: comparisons of tree plantations and secondary forest. *Pedobiología*: 40,385-391

Greig-Smith, P.W. 1992: Risk assessment approaches in the U.K. for the side effects of pesticides on earthworms. In *Ecotoxicology of Earthworms*, P.W. Greig-Smith et al.(eds.). Intercept Ltd., Hants, U.K.; 159-168

Hartenstein, R. y M. S. Bisesi. 1989 Use of earthworm biotechnology for the management of effluents from intensive housed livestock. *Outlook on Agriculture*: 18, 72-76

Heimbach, F. 1985: Comparison of laboratory methods, using *Eisenia foetida* and *Lumbricus terrestris*, for the assessment of the hazard of chemicals to earthworms. *Zeitschrift für Pflanzenkrankheiten und Pflanzenschutz*: 92(2), 186-193.

INEGI, 2005. Censo 2005 México.

ISO International Estándar 1993

Jambhekar, H. 1994: Vermicompost experience in grape cultivation. Paper presented at ISEE5.

Jamieson, B. G. M., 1988: On the phylogeny and higher classification of the Oligochaeta. *Cladistics*: 4, 367-410, 396 pp

Kokta, C. 1992: Measuring effects of chemicals in the laboratory: effect criteria and endpoints. In *Ecotoxicology of Earthworms*, P.W. Greig-Smith, H. Bockcr, P.J. Edwards, and F. Heimbach (eds.) *Intercept Ltd., Hants, U.K.*: 55-62.

Langdon C.J., Hodson M.E. Arnold R.E. Black S. 2005: Survival, Pb-uptake and behaviour of three species of earthworm in Pb treated soils determined using an OECD-style toxicity test and a soil avoidance test *ENVIRONMENTAL POLLUTION* : 138 (2): 368-375 NOV

Lavelle, P. 1983: The structure of earthworm communities. En: *Earthworm Ecology : From Darwin to Vermiculture.* (J. E. Satchell ed.). Chapman & Hall. London : 449-465.

- Lavelle, P. 1984: The Soil System in the Humid Tropics. Biol. International 9: 2-17
- Lavelle, P. 1996: Diversity of Soil Fauna and Ecosystem Function. Biol. Int. 33: 3-16.
- Lavelle, P. 1997: Faunal activities and soil processes: Adaptive strategies that determine ecosystems function. Advances in Ecological Soil Research: 27, 93-132
- Lavelle, P. y B. Pashanasi. 1989: Soil Macrofauna and Land Management in Peruvian Amazonia (Yurimaguas, Loreto). Pedobiologia: 33, 283-291.
- Lavelle, P., E. Blanchart, A. Martin, S. Martin, I. Barois, F. Toutain, A. Spain y R. Schaefer. 1993: A hierarchical model for decomposition in terrestrial ecosystems. Application to soils in the humid tropics. Biotropica: 25, 130-150
- Lavelle, P., I. Barois, A. Martin, Z. Zaidi y R. Schaefer. 1989: Management of earthworm population in agroecosystems: A possible way to maintain soil quality?. En: Kluwer Academic Publishers. Ecology of arable land: 109-122.
- Lee, K. E. 1985: Earthworms. Their Ecology and Relationships with Soils and Land Use. Academic Press, Sidney.
- Lee, K. E. y R. C. Foster. 1991: Soil fauna and soil structure. Australian Journal of Soil Research: 29, 745-775.
- Loza, LL. A. 2002: Dinámica poblacional de la lombriz roja californiana *Eisenia andrei* (Bouche, 1972), en la Planta Piloto de Lombricultura del CUCBA.
- Magurran, A. 1989: La diversidad ecológica y su medición. Vedra: 200 pp.
- Martin, N. A. 1986: Toxicity of pesticides to *Allobophora caliginosa*. New Zealand Journal of Agricultural Research: 29, 699-706.
- Martin, S. y P. Lavelle. 1992: A simulation model of vertical movements of an earthworm population (*Millsonia anomala* Omodeo, Megascolecidae) in an African savanna (Lamto, Ivory Coast). Soil Biol. Biochem: 24, 1419-1424.
- Martínez, M. A. y J. A. Sánchez 2000: Comunidades de Lombrices de Tierra (Annelida: Oligochaeta) en un Bosque Siempreverde y un Pastizal de Sierra del Rosario, Cuba. Caribbean Journal of Science: 36 (2), 1-10.
- Martínez, M. A. y C. Rodríguez. 1991: Evaluación preliminar de las poblaciones de Oligoquetos (Annelida: Oligochaeta) en dos ecosistemas de Sierra del Rosario, Cuba. Revista Biología: 5 (1), 9-17.

Montadert, M. 1985: Le Peuplement de Vers de Terre et Autru Macro-invertebres du Sol d'une Forêt Équatoriale humide. Forêt du Mayombe, Station Biologique de Dimonika, Congo. D.E.A. d'Ecologie, Faculté d'Orsay, Paris, France.

Nemeth, A. 1981: Estudio de las lombrices de tierra (Oligochaeta) en ecosistemas de bosque húmedo tropical en San Carlos de Rio Negro, Territorio Federal Amazonas. Ph. D. Thesis, Universidad Central de Venezuela.

Nicola A. Davies, Hodson M. y Black, S. 2003: The influence of time on lead toxicity and bioaccumulation determined by the OECD earthworm toxicity test. Environmental Pollution: 121, 55–61

OCDE, (1993)

OCDE (2001),

Odum E. P. 2000: Ecología. Editorial Interamericana, México D.F.: 639 pp.

Parmelee, R. W., y D. A. Crossley, Jr. 1988. Earthworm production an role in the nitrogen cycle of no-tillage a agroecosystem on the Georgia Piedmont. Pedobiologia: 32, 353-361

Petersen, H. y M. Luxton 1982: A comparative analysis of soil fauna population and their role in decomposition processes: OIKOS 39, 287-388.

Reinecke, S. .A. and A. J. Reinecke. 1997: The influence of toxic heavy metals on growth and reproduction of *Eisenia foetida* (Oligochaeta) a laboratory study. Soil Biology and Biochemistry. In press.

Reinés, M., C. Rodríguez, A. Sierra y Ma. M. Vázquez. 1998: Lombrices de tierra con valor comercial. Biología y Técnicas de Cultivo. Ducere, México, D.F., 61 pp.

Rodríguez, C. 2000: Comunidades de Lombrices de Tierra (Annelida: Oligochaeta) en ecosistemas con diferentes grados de perturbación. Revista Biología: 14 (2), 147-155.

Rodríguez, C. y M. A. Martínez 2001: Comunidades de Lombrices de Tierra (Annelida: Oligochaeta) del desagüe de una vaquería en áreas de pastizales en Cuba. Revista Biología: 15(1), 37-44.

Scheau, S., 1990: Changes in microbial nutrients status during secondary succession and its modification by earthworms. Oecologia: 84, 351 -358

Satchels, J. E. 1983: Earthworm ecology, from Darwin to Vermicultura. Chapman and Hall, London.

SETAC. 1998: Advances in Earthworm Ecotoxicology. Sheppard, S. Cc.,

- Bembridge, J. D., Holmstrump. y L. Posthuma, (eds). SETAC Press, 456 pp
- Shirazi, M.A, and L.N. Lowrie. 1988: Comparative toxicity based on similar asymptotic endpoints. Archives of Environmental Contamination and Toxicology: 17, 273-280.
- TMECC. 2201-2002. Test methods for the examination of composting and compost.
- Tiwari, S. C. y R. R. Mishra. 1993: Fungal abundante and diversity in earthworm casts and in uningested soil. Boilogy and Fertilyty Soils: 16, 131-134
- Tomlin, A.D. 1992: Behavior as a source of earthworm susceptibility to ecotoxieants. In Ecotoxicology of Earthworms, P.W. Greig-Smith et al. (ed5.), Intercept Ltd., Hants, U.K.: 116-125.
- Trigo, D., I. Barois, M. H. Garvín, E. Huerta, S. Irisson y P. Lavelle. 1999: Mutualism between earthworms and soil microflora. Pedobiologia: (43)6, 866-873.
- Tuomas Lukkari, Taavitsainen, M., Väisänen, A. Haimi, J. 2004: Ecotoxicology and Environmental Safety: 59. 340–348
- Valle, J., M. H. Garvin, D. Trigo, F. Martínez, C. Belinchón y D. J. Díaz-Cosín. 1999: Vertical distribution of Hormogaster elisae (Oligochaeta: Hormogastridae) in soil at El Molar (Central Spain). Pedobiologia: 43, 859-865.
- Van Gestel, C. .A. M. 1992: The intluence of soil characteristics on the toxicity of chemicals for earthworms: a review. In Ecotoxicology of Earthworms, P.W. Oreig-Smilh el al. (eds.), Intercept Ltd., Hants, U.K.: 44-54.
- Van Hook, R. I. 1974: Cadmium, lead and zinc distributions between earthworms and soils: potentials for biologieal accumlllation. Bolletin of Environmental Contamination and Toxicology: 2, 509-512.
- Van Straalsen, N. M. y C. A. M. Van Gensel. 1993: Soil Invertebrates and micro-organisms. In Handbook of Ecotoxicology. Vol. 1, P. Calow (ed), . Blackwell Scientific, London: 251-277
- Zou, X. 1993: Species effects on earthworm density in tropical tree plantation in Hawaii. Biol. Fertil. Soils: 15, 35-38.