

**TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO  
(Hg<sup>+2</sup>), CADMIO (Cd<sup>+2</sup>) Y CROMO (Cr<sup>+3</sup>) EN LA VEREDA CIUDAD LATINA DEL  
MUNICIPIO DE SOACHA; USANDO COMO AGENTE LA *Eisenia foetida***

**PRESENTADO POR:**

**HERNAN GONZALO RODRIGUEZ MORENO**

**PROYECTO DE GRADO PRESENTADO PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**UNIVERSIDAD ECCI - ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS**

**INDUSTRIALES**

**FACULTAD DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**BOGOTA D.C.**

**2015**

**TRATAMIENTO BIOLÓGICO DE SUELOS CONTAMINADOS CON MERCURIO  
(Hg<sup>+2</sup>), CADMIO (Cd<sup>+2</sup>) Y CROMO (Cr<sup>+3</sup>) EN LA VEREDA CIUDAD LATINA DEL  
MUNICIPIO DE SOACHA; USANDO COMO AGENTE LA *Eisenia foetida***

**PRESENTADOR POR**

**HERNAN GONZALO RODRIGUEZ MORENO**

**DIRECTOR**

**MICROBIOLOGO INDUSTRIAL ANDRES FELIPE MOLANO GUARIN**

**UNIVERSIDAD ECCI - ESCUELA COLOMBIANA DE CARRERAS**

**INDUSTRIALES**

**FACULTAD DE INGENIERIA**

**BOGOTA**

**MAYO DEL 2015**

## TABLA DE CONTENIDO

1.	INTRODUCCION .....	7
2.	PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	11
3.	PREGUNTA PROBLEMA.....	14
4.	JUSTIFICACIÓN.....	15
5.	OBJETIVOS.....	18
5.1	OBJETIVO GENERAL .....	18
5.2	OBJETIVOS ESPECIFICOS .....	18
6.	MARCO DE REFERENCIA.....	19
6.1	MARCO TEORICO .....	19
6.1.1	INVESTIGACIONES DESARROLLADAS .....	19
6.1.2	ESTUDIO DE CASO .....	21
6.1.3	INVESTIGACION EXPERIMENTAL.....	23
6.2	MARCO CONCEPTUAL .....	24
6.2.1	SUELO.....	24
6.2.2	LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA:.....	25
6.2.2.1	Morfología y Fisiología .....	26
6.2.2.2	Ciclo Biológico .....	30
6.2.2.3	Requerimientos de crecimiento y factores limitantes.....	31
6.2.3	Lombricultura.....	32
6.2.4	Cadmio .....	33
6.2.5	Mercurio.....	34
6.2.6	Cromo .....	35
6.2.7	Inducción de Plasma Acoplado ICP .....	36
6.2.8	Bioacumulación .....	39
6.2.9	Biomagnificación.....	39
6.3	MARCO LEGAL.....	40
7.	TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	41
8.	DISEÑO METODOLOGICO.....	42
8.1	Revisión Bibliográfica .....	43

8.2	Localización Zona de Estudio .....	43
8.3	Toma de muestras .....	45
8.4	Preparación Soluciones metales en estudio.....	46
8.5	Preparación Medios de cultivo .....	47
8.6	Adaptación <i>Eisenia foetida</i> .....	49
8.7	Aplicación Soluciones contaminantes .....	51
8.8	Análisis de Muestras.....	51
9.	TRATAMIENTO ESTADISTICO.....	53
10.	ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	57
9.1	Resultados Cadmio Cd <sup>+2</sup> .....	57
9.2	Resultados Cromo Cr <sup>+3</sup> .....	60
9.3	Resultados Mercurio Hg <sup>+2</sup> .....	63
9.4	Resultados Control .....	65
11.	CONCLUSIONES .....	72
12.	RECOMENDACIONES.....	74
13.	BIBLIOGRAFIA .....	75

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Normas de Referencia México y Alemania.....	40
Tabla 2. Resultados Iniciales Suelos Sector Rural Comuna Ciudad Latina.....	44
Tabla 3. Concentraciones de Trabajo Empleadas.....	46
Tabla 4. Concentraciones Obtenidas Cadmio $Cd^{+2}$ , Cromo $Cr^{+3}$ , Hg $^{+2}$ .....	52
Tabla 5. Resumen Estadístico Resultados Cadmio 32 ppm – 64 ppm .....	53
Tabla 6. Resumen Estadístico Resultados Cromo 40 ppm – 80 ppm.....	54
Tabla 7. Resumen Estadístico Resultados Mercurio 36 y 72 ppm.....	55
Tabla 8. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cadmio $Cd^{+2}$ medio contaminado con 32 ppm.....	58
Tabla 9. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cadmio $Cd^{+2}$ medio contaminado con 64 ppm.....	59
Tabla 10. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cadmio $Cr^{+3}$ medio contaminado con 40 ppm.....	61
Tabla 11. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cromo $Cr^{+3}$ medio contaminado con 80 ppm.....	62
Tabla 12. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Mercurio Hg $^{+2}$ medio contaminado con 36 ppm.....	64
Tabla 13. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Mercurio Hg $^{+2}$ medio contaminado con 72 ppm.....	65

## LISTADO DE GRAFICAS

Gráfica 1. Cajas y Bigotes Concentraciones Cadmio Cd+2 .....	54
Gráfica 2. Cajas y Bigotes Concentraciones Cromo Cr+3.....	55
Gráfica 3. Cajas y Bigotes Concentraciones Mercurio 36 y 72 ppm .....	56
Gráfica 4. Concentraciones de Cadmio Cd+ <sup>2</sup> en Medio Contaminado con 32 ppm58	
Gráfica 5. Concentraciones de Cadmio Cd+ <sup>2</sup> en Medio Contaminado con 64 ppm 60	
Gráfica 6. Concentraciones de Cromo Cr+3 en Medio Contaminado con 40 ppm. 61	
Gráfica 7. Concentraciones de Cromo Cr+ <sup>3</sup> en Medio contaminado con Cromo a 80 ppm .....	62
Gráfica 8. Concentraciones de Mercurio Hg+ <sup>2</sup> medio Contaminado con Mercurio a 36 ppm.....	63
Gráfica 9. Concentraciones de Mercurio medio contaminado con Mercurio a 72 ppm .....	64
Gráfica 10. Concentraciones Metales en Estudio Mesocosmo Control.....	66
Gráfica 11. Concentraciones Mercurio Hg+2 36 ppm y 72 ppm vs. Medio Control 67	
Gráfica 12. Concentraciones Cadmio Cd+ <sup>2</sup> 32 ppm y 64 ppm vs. Medio Control ... 68	
Gráfica 13. Concentraciones Cromo Cr+ <sup>3</sup> 40 ppm y 80 ppm vs. Medio Control.....	69

## RESUMEN

Se realizó el tratamiento de suelos contaminados con los metales mercurio, cromo y cadmio procedentes del sector rural de la vereda Ciudad Latina en el municipio de Soacha, en donde se realiza el riego de cultivos hortícolas con agua del río Bogotá, incrementando las concentraciones de estos metales en los suelos, usando como agente biológico la *Eisenia foetida*, puesto que diferentes estudios realizados con esta especie de lombriz, han determinado su efectividad en la reducción de las concentraciones de metales en los suelos, bioacumulándolos en sus tejidos, modificando además las características del suelo, ya que el humus excretado por *Eisenia foetida* incide en la actividad enzimática y microbiana en los suelos, incrementando además la disponibilidad de nitrógeno y fósforo, necesarios para el crecimiento de las plantas.

Se tomaron muestras en las cuales se incrementaron deliberadamente las concentraciones de estos metales, con el fin de evaluar su capacidad en la reducción de las mismas, además de esto se tomó un control en el cual no se manipula la concentración de los metales estudiados. El ensayo se realizó durante cuatro semanas, tomando muestras cada semana para cuantificar la concentración en cada medio trabajado, obteniéndose reducciones importantes en las concentraciones de los metales evaluados.

## ABSTRACT

They treating contaminated with metals mercury, chromium and cadmium from the rural sector of the sidewalk City America in the municipality of Soacha, where irrigation of horticultural crops with river water Bogotá is done soils was carried out, increasing the concentrations of these metals in soils, using as a biological agent *Eisenia foetida*, since different studies with this species of worm, have determined their effectiveness in reducing the concentration of metals in soils, bioacumulandolos in their tissues, besides modifying the characteristics of soil as humus *Eisenia foetida* excreted affects the enzymatic and microbial activity in the soil, besides increasing the availability of nitrogen and phosphorus, necessary for plant growth.

Samples in which deliberately increased concentrations of these metals, in order to assess their ability in reducing the same, in addition to this a control in which the concentration of metals is not manipulated studied took were taken. The trial was conducted over four weeks, taking samples every week to quantify the concentration in each working environment, yielding significant reductions in the concentrations of metals evaluated.



## 1. INTRODUCCION

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente bajas concentraciones ( $< \text{mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ) en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas (anomalías) en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. (Baena, 2008).

Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (RSU) (Baena, 2008). Con respecto a esto, es necesaria la implementación de tratamientos para suelos afectados y/o contaminados, que sean eficientes y rentables, además de amigables con el medio ambiente, adquiriendo relevancia e importancia el concepto de Eco Negocios y Eco tecnologías, involucrados como nuevos actores en el sector económico y ambiental<sup>1</sup>

Teniendo en cuenta el desarrollo sostenible como lineamiento para la generación de tecnologías innovadoras para el tratamiento de las problemáticas ambientales, siendo este uno de los referentes del programa de Ciencia Tecnología e Innovación en ambiente, Biodiversidad y Hábitat de Colciencias, entendiéndose que la innovación debe relacionarse también con cambios estructurales que incluyan toda la cadena de valor y con modificaciones en procesos o prácticas existentes (OCDE, 2012), en el presente proyecto se evaluará la posibilidad del empleo de la *Eisenia foetida* o conocida vulgarmente como Lombriz Roja Californiana como un agente biológico para el tratamiento de suelos contaminados, en este caso, con metales pesados, clasificación a la que pertenecen los elementos: Cadmio  $\text{Cd}^{+2}$ , Cromo  $\text{Cr}^{+3}$  y Mercurio  $\text{Hg}^{+2}$  disminuyendo las concentraciones cuantificadas en muestras de suelo tomadas en el sector rural de la comuna Ciudad Latina en el vecino municipio de Soacha haciendo uso y apropiación del conocimiento<sup>2</sup> de experiencias exitosas con otras especies de lombrices de tierra

---

<sup>1</sup> Ecobusiness and the State-Analysis and scenarios,

<sup>2</sup> Programa Ciencia, Tecnología e Innovación en Ambiente, Biodiversidad y Hábitat Colciencias

empleadas para la disminución de las concentraciones de metales tales como el cadmio, plomo y mercurio, acumulándolos en sus tejidos.

## 2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Dentro de las actividades económicas que se desarrollan en el municipio de Soacha, se encuentra la agricultura, que de acuerdo al censo experimental de Soacha del año 2003, el 2,4% de la población está ocupada en la agricultura, cifra que revela la poca importancia del sector a pesar que el municipio cuenta con una gran extensión rural (85% del territorio). Esta producción resulta marginal para la región e incluso para el propio municipio. El uso más generalizado de las tierras en actividades económicas, es el de pastos para ganado Bovino, que ocupan el 41,7% de las tierras rurales, es decir 6 700 hectáreas. La ganadería existente es de doble propósito, con bajo componente tecnológico en la producción. (Soacha, 2008)

La parte occidental y suroccidental del municipio, en la comuna uno Compartir, en los barrios San Nicolás y Ciudad Latina, presenta severos conflictos por la utilización de las aguas contaminadas del río Bogotá y río Tunjuelito para el riego. Esto debido a que es la única fuente de abastecimiento con la que cuentan para realizar el riego de sus cultivos. El río Bogotá (cuenca media) a su paso por la comuna uno del municipio de Soacha presenta altas cargas contaminantes; el río Soacha transporta un 75% de las aguas negras e industriales generadas por el municipio, las cuales son descargadas sin ningún tratamiento al río Bogotá. (Soacha, 2008)

El riego con estas aguas incrementa la concentraciones de sustancias tóxicas en los suelos y en los cultivos, un estudio realizado en la facultad de agronomía de la Universidad Nacional de Colombia y apoyado por Colciencias, en el año 2009 (Osorno, Hortalizas con Exceso de Metales Tóxicos, 2009), determinó residuos de metales pesados en hortalizas regadas con aguas del río Bogotá, albergando en sus tejidos foliares cadmio, arsénico, plomo y mercurio. Para el caso de Soacha, la lechuga presentó en su tejido foliar una concentración de plomo (Pb), de 0,74 ppm y en Mosquera, de 0,45 ppm, cifras que son muy superiores a la normatividad de la Unión Europea para el año 2007, cuya permisividad es de 0,1 ppm en hortalizas frescas. El Plomo puede causar daño en los riñones, en el tracto gastrointestinal, en el sistema reproductor y en las neuronas", el

organismo puede tardar hasta 20 años en eliminar esta sustancia. (Osorno, Hortalizas con Exceso de Metales Toxicos, 2009)

El contenido de arsénico, en Soacha, también superó los 0,20 ppm permitidos por la norma de la Unión Europea, con 0,51 ppm. Un caso similar ocurrió con el mercurio (Hg), que con 0,59 ppm superó los estándares establecidos. El problema con el mercurio, es que el cuerpo nunca lo elimina. Eso hace que se vaya acumulando y empiece a causar efectos en la salud: afecciones en el cerebro, en el sistema nervioso y reacciones alérgicas (Osorno, Hortalizas con Exceso de Metales Toxicos, 2009), se encuentra en diferentes formas que pueden ser bioacumulables y biomagnificados (Rodríguez C. R., 2014) . Estudios más recientes como el desarrollado por León en el 2013, determinó altas concentraciones de plomo cadmio y mercurio en las aguas empleadas para riego por las huertas hortícolas de la vereda Ciudad Latina, provenientes del río Bogotá, generadas por la agrupación de diferentes industrias del municipio. (León, 2013)

Además del contacto directo con el agua, la acumulación de metales en las hortalizas, se presenta a través de la incorporación de estos metales en las raíces, absorbiéndolos del suelo; las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber, translocar y acumular sustancias (IASAT, 2000), sin embargo, algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos, translocados y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos (Viñuela, 2015)

En muestras de suelo tomadas en el mes de agosto de 2014, en el sector rural del barrio Ciudad latina, se determinaron concentraciones de 3,646 mg/Kg para Hg; 1,15 mg/Kg para Cd y 11,5 mg/Kg para Cr, comprobándose la presencia de metales pesados, en este sector del municipio de Soacha.

El consumo de hortalizas contaminadas, es un riesgo para los consumidores, puesto que como se ha expuesto, las concentraciones de metales pesados en los mismos, acarrear problemas de salud graves a mediano y largo plazo debido a su acumulación en algunos órganos del cuerpo humano. Como principal medida para la solución de esta problemática, se debería suspender el riego de cultivos con aguas sin tratar del río

Bogotá; pero esta medida además de costosa, no se podría aplicar de manera inmediata, ya que se carece de la infraestructura para el tratamiento del agua, además de las pérdidas para los agricultores, por carecer de otra fuente de abastecimiento de agua para riego. Teniendo esto en cuenta, el tratamiento de los suelos usados para cultivo, disminuiría el riesgo de acumulación de metales pesados en las hortalizas cultivadas, siendo esto más viable desde el punto de vista económico y más asequible para el.

Por tales motivos, se hace necesaria la búsqueda de tecnologías que logren la degradación o eliminación de este tipo de contaminantes, sin causar mayor alteración en el ambiente y generando bajos costos en su implementación; en los últimos años se ha enfocado el uso de tratamientos biológicos, muchos de los cuales se basan en la acción degradadora de agentes microbianos (Ercoli, 1998) como en una alternativa en los procesos de reducción, transformación de compuestos orgánicos tóxicos presentes en los cuerpos de agua o suelo en productos menos tóxicos o inocuos. Para este caso se propone el uso de un organismo mayor como lo es la *Eisenia Foetida* teniendo en cuenta su alta resistencia a condiciones ambientales adversas, su alta adaptabilidad, lo cual implica menores factores de riesgo en su mantenimiento y desarrollo en comparación con los factores a tener en cuenta para el proceso microbiológico.

### 3. PREGUNTA PROBLEMA

¿Es posible emplear la *Eisenia foetida*, como agente de tratamiento de suelos contaminados con mercurio ( $\text{Hg}^{+2}$ ), cadmio ( $\text{Cd}^{+2}$ ) y cromo ( $\text{Cr}^{+3}$ )?

## 4. JUSTIFICACIÓN

Todas las técnicas de descontaminación del suelo tienen como objetivo eliminar o reducir la concentración de los contaminantes presentes en el terreno, de manera que el suelo sometido a tratamiento pueda reutilizarse posteriormente. Puede establecerse una primera división de las técnicas de recuperación en dos grandes categorías, según donde se lleve a cabo el proceso de descontaminación del suelo. (Santiago, 1995)

- Técnicas Ex situ: el volumen del suelo es excavado, transportado y tratado en una instalación a tal efecto.
- Técnicas In situ: el suelo contaminado es sometido a tratamiento en su localización original, sin existir un traslado del mismo, aunque pueda procederse a removerlo o mezclarlo en su mismo emplazamiento.

La principal diferencia entre ambos tipos de tratamiento radica en los costos de uno y otro, que se estiman de los siguientes órdenes de magnitud:

In situ: 3-400 \$ Tonelada de suelo tratado

Ex situ: 650 \$ Tonelada de suelo tratado

Los métodos in situ presentan varios problemas o limitaciones en su aplicación. Aunque desde un punto de vista teórico pueda lograrse la completa eliminación de los contaminantes de un suelo con la aplicación de estas técnicas, la realidad es que se requieren tiempos de limpieza muy largos mucho más que para los métodos ex situ, y que los porcentajes de degradación de los contaminantes son menores, entre otros aspectos por la ausencia de agitación y mezcla, además del uso de sustancias químicas y fuerzas mecánicas en algunos casos, que demandan recursos energéticos y financieros que representan baja eficiencia y rentabilidad; para el caso de métodos de biorrecuperación, la escasez de nutrientes y la existencias de temperaturas diferentes de las óptimas condicionan la efectividad del tratamiento (Santiago, 1995)

Teniendo en cuenta lo expuesto, las técnicas ex situ resultan más rentables y eficientes en el tratamiento de suelos contaminados, así pues, el tratamiento que se plantea llevar a cabo se clasifica como un tratamiento ex situ que por el contrario no requiere ayudas mecánicas ni la aplicación de sustancias químicas o agua, disminuyendo considerablemente los costos del mismo; se hace necesario estudiar con mayor profundidad la eficiencia en la disminución de las concentraciones de metales, los tipos de suelo aptos para tratamiento, sus costos y tiempos de duración, representando una alternativa rentable e innovadora para el tratamiento de suelos contaminados con sustancias persistentes como lo son los metales pesados, los cuales no se pueden degradar, más sin embargo es posible disminuir su concentración en el suelo hasta valores que permitan una reutilización del suelo tratado (Santiago, 1995).

Hoy en día existen una serie de mercados de bienes y servicios que demandan respuesta a las problemáticas ambientales en los sectores económicos, cuyo objetivo es reducir el impacto ambiental de la industria tanto a gran escala como a pequeña escala, entendiéndose esto como los Ecobussines o Eco-negocios, requiriéndose el desarrollo de tecnología, experiencia y conocimiento de las empresas que suministran estos mercados para dar soluciones y alternativas a las presentes y futuras problemáticas ambientales (Benninghoff, 1996), ya que la producción industrial y agrícola muchas veces se desarrolla sin tener en cuenta el hecho de que los recursos no se pueden renovar, puesto que la capacidad de restauración de la naturaleza no es infinita (Moscow State University of Engineering Ecology, 1998)

Los resultados del tratamiento que se plantea llevar a cabo, permitirán determinar si la *Eisenia foetida* es apta para tratar suelos contaminados con los metales pesados mercurio, cadmio y cromo, además de su uso a escalas industriales buscando tratar grandes volúmenes de suelos contaminados, a bajos precios y en periodos relativamente cortos de tiempo, sin generar residuos peligrosos asociados al tratamiento puesto que no se incorporan sustancias químicas, además del ahorro en recursos (agua y energía) dadas las facilidades en cuanto a espacio y mantenimiento de los agentes reparadores (Santiago, 1995), en este caso la *Eisenia foetida*., convirtiéndose esto en una alternativa para los agricultores de hortalizas de la comuna uno Compartir, sector rural del barrio Ciudad Latina, municipio de Soacha, disminuyendo las concentraciones de metales



pesados en los suelos, que se pudieran acumular en las hortalizas cultivadas, sin interrumpir su proceso productivo, y las subsecuentes pérdidas de dinero, representando además una potencial Eco tecnología y Eco negocio que logre disminuir el impacto ambiental causado en los suelos empleados para el cultivo de hortalizas.

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar la capacidad de la *Eisenia foetida* como un agente biológico que permita disminuir la concentración de los metales pesados Mercurio ( $Hg^{+2}$ ), Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) y Cromo ( $Cr^{+3}$ ) en los suelos procedentes del sector rural de la vereda Ciudad Latina en el municipio de Soacha.

### 5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Realizar el montaje de camas de crecimiento para el desarrollo y reproducción de la *Eisenia foetida* empleando como sustrato las muestras de suelo contaminado con Mercurio ( $Hg^{+2}$ ), Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) y Cromo ( $Cr^{+3}$ ) tomadas del sector rural del barrio ciudad latina del municipio de Soacha.

Cuantificar las concentraciones de Mercurio ( $Hg^{+2}$ ), Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) y Cromo ( $Cr^{+3}$ ) en los suelos tratados con el agente *Eisenia foetida*, realizando mediciones por inducción de plasma acoplado durante un periodo de cuatro semanas.

Evaluar el comportamiento de las concentraciones determinadas de los metales Mercurio ( $Hg^{+2}$ ), Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) y Cromo ( $Cr^{+3}$ ) en los suelos tratados con el agente *Eisenia foetida* en el periodo de tiempo monitoreado en el presente estudio.

Determinar la eficiencia del agente *Eisenia foetida* en la disminución de las concentraciones de los metales Mercurio ( $Hg^{+2}$ ), Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) y Cromo ( $Cr^{+3}$ ) en los suelos tratados.

## 6. MARCO DE REFERENCIA

### 6.1 MARCO TEORICO

#### 6.1.1 INVESTIGACIONES DESARROLLADAS

Se entiende por Ingeniería verde como el “diseño, comercialización y uso de procesos y productos, los cuales son técnica y económicamente viables a la vez y que minimizan: la generación de contaminación en el origen y riesgo para la salud y el medioambiente”, por lo que tiene clara vocación de aplicarse a la industria en general y a todas las fases del manejo de productos de consumo. (Gómez, 2008). Muchos de los tratamientos existentes para la recuperación de suelos, involucran el uso y aplicación de solventes y/o sustancias químicas, las cuales cumplen con la función de remover el contaminante específico, resultando un nuevo residuo del cual se debe realizar una adecuada disposición que no genere un nuevo impacto en el medio ambiente. Muchas de estas sustancias pueden llegar a reutilizarse en procesos de recuperación de suelos posteriores, muchas otras no.

Teniendo en cuenta la ingeniería verde, se hace necesaria la búsqueda de nuevos procesos que no contemplen el uso de sustancias artificiales y/o químicas, que no requieran de gastos energéticos ni consumo de agua. Enmarcado en este contexto la biorremediación aparece como una alternativa, como proceso para el tratamiento de suelos contaminados. Diferentes estudios en lombrices de tierra han demostrado que por su capacidad de acelerar la descomposición de la materia orgánica (*Tian et al., 1995 y 1997*), han sido tomadas en cuenta para su utilización en el procesamiento de residuos.

Dentro de las lombrices de tierra más estudiada se encuentra la *Eisenia foetida*: un estudio publicado por la revista *Natura Neotropicalis* de la Universidad Nacional del Litoral en Santa Fe Argentina en el año 2002, concluyo que la *Eisenia foetida* constituye un eficaz bioacumulador del cromo presente en los ambientes contaminados y es un medio efectivo para evaluar suelos, presentando como desventaja que a exposición prolongada acumula cromo de forma efectiva pero no regula su incorporación, dado que la concentración en tejidos se incrementa en función del aumento del metal en el medio,

pudiéndose controlar esto último regulando las concentraciones de cromo en el suelo. (Rodríguez A. R., 2002)

La Universidad Centro Occidental Lisandro Alvarado, Barquisimeto, Estado Lara, Venezuela, en el año 2011, publicó un estudio a través de la revista científica internacional *Journal of Global Environmental Issues*, proponiendo el uso de Lombrices Rojas Californianas con el fin de eliminar Arsénico (As) y Mercurio (Hg) en suelos contaminados en el vertedero Pavia (Barquisimeto, estado Lara, Venezuela), determinándose la eficiencia en la eliminación de Arsénico presente en el suelo con una eficiencia de entre 42% y el 72% y en el Mercurio con una eficiencia de entre 7.5% y el 30.2% en un tiempo de 2 semanas; a su vez, se pudo comprobar que el compost producido por las lombrices sirve como substrato absorbente efectivo para limpiar aguas residuales con metales como el Níquel (Ni), Cromo (Cr) y el Plomo (Pb) (Jesus Arroyo, 2011)

Otro estudio resalta la importancia en la utilización de lombrices de tierra como agente degradador de hidrocarburos presentes en el suelo, el cual fue sometido a tres tipos de tratamientos, empleando estiércol equino, humus líquido y Lombrices Rojas Californianas, los resultados reportaron diferencias significativas para el tratamiento con la lombriz los cuales con la presencia de estiércol Equino presentaron un alto porcentaje de remoción de hidrocarburos saturados, siendo la lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) el agente más eficaz en la descontaminación de suelo impactado (Celeste Fernandez, 2001)

Además del cromo, arsénico y mercurio, el cadmio también ha sido contemplado para ser tratado mediante lombrices de tierra. El Proyecto denominado: Respuesta fisiológica de la comunidad bacteriana en suelos contaminados por cadmio y el papel de la lombriz (*A. Caliginosa*) como posible remediador, llevado a cabo por la Universidad de Zaragoza en el año 2012, ya que son relativamente resistentes a los metales pesados, pueden bioacumular metales como el Cd y después ser retiradas del suelo mediante expelentes, lo que permitiría incluso recuperar los metales (J, 2012). Por ejemplo, Liang (2009) citado por J. Lacarta, relataron que el 50% del Cd presente en un suelo contaminado (5mg/kg suelo seco) se bioacumuló en *Metaphire posthuma* lo que supuso una biorremediación

que redujo su efecto tóxico sobre las bacterias del suelo hasta hacerlo insignificante. (Rodríguez, 2002)

Conjuntamente se ha evaluado el empleo de lombrices de tierra, en la reducción de las concentraciones de metales pesados en suelos, también se han realizado estudios para la Evaluación de la toxicidad de los suelos mediante bioensayos con lombrices, ya que la contaminación del suelo con compuestos orgánicos, metales pesados, plaguicidas y lluvia ácida puede afectar a las poblaciones de lombrices. Estos contaminantes se acumulan en sus tejidos y pueden constituir un problema para el gran número de animales que se alimentan de ellas, debido a su potencial Biomagnificación. (Adriana Palafox, 2012)

Los estudios realizados han demostrado que la *Eisenia Foetida* es capaz de disminuir las concentraciones de algunos metales en suelos, sin generar residuos de alguna clase, ya que los metales son acumulados en los tejidos de las lombrices, siendo esto favorable para la aplicación del mismo, puesto que no se requieren inversiones en insumos ni gastos por disposición de residuos, líquidos o gaseosos, ya que además de las lombrices, el medio empleado es suelo contaminado y la fuente de alimento residuos orgánicos o estiércol animal, representando una alternativa para la reutilización de estos residuos, disminuyendo esto mucho más los costos del tratamiento.

### **6.1.2 ESTUDIO DE CASO**

El estudio de caso es un examen intensivo de una entidad individual de una categoría o especie. Esta técnica permite la recopilación e interpretación detallada de toda la información posible sobre un individuo, una sola institución, una empresa, o un movimiento social particular. Los estudios de caso pueden hacer uso de pruebas en las que se emplea una serie de preguntas diseñadas para conocer la entidad bajo estudio. Más aún, cuando se emplean los estudios de caso como técnica de investigación, la meta no consiste únicamente en conocer la entidad a la que se estudia, sino también conocer la categoría que representa. Los estudios de caso pueden clasificarse en dos tipos: el primero intenta derivar conclusiones generales a partir de un número limitado de casos; el segundo tipo intenta llegar a conclusiones específicas a partir de un solo caso, debido a la

importancia o interés particular de su historia. Yin (1984), distingue tres usos del estudio de caso:

1. El exploratorio, cuyos resultados pueden ser usados como base para formular preguntas de investigación más precisas o hipótesis que puedan ser probadas;
2. el descriptivo, que intenta describir lo que sucede cuando un producto nuevo es desarrollado o lanzado al mercado;
3. y el explicativo, que facilita la interpretación de las estrategias y procesos que utiliza una compañía en particular.

Este último tipo es sumamente útil para generar teorías, así como para iniciar cambios en una organización. Las observaciones detalladas del estudio de caso permiten estudiar múltiples y variados aspectos con un mismo objeto de examen. Además, el estudio de caso permite examinar cada uno de esos aspectos en relación con los otros, a la vez que verlos dentro de su ambiente total. Esta capacidad de la técnica resulta en una de las ventajas del estudio de caso, la oportunidad que ofrece para desarrollar una visión holística del objeto de estudio.

Otra de las ventajas, y tal vez la más importante, de los estudios de caso es la capacidad que ofrece para aplicar sus resultados. La familiaridad de los gerentes con el lenguaje, los datos y el análisis utilizado en los estudios de caso facilitan el diseño de cualquier intervención. Más aún, la riqueza conceptual y descriptiva de los datos le permite al investigador determinar la aplicabilidad de los hallazgos a sus particulares circunstancias. Entre las críticas principales señaladas sobre los estudios de caso, como técnica de investigación cualitativa, se encuentran las siguientes:

- que los estudios de caso no tienen validez estadística,
- que los estudios de caso pueden utilizarse para generar teorías, pero no para probarlas, y

- 3) que los estudios de caso no permiten hacer generalizaciones.

Si bien estas críticas parecen lógicas, sólo lo parecen si se miran a través del prisma positivista. Como se ha señalado, la validez científica no descansa en el establecimiento de una correlación sino en la comprensión fundamental de la estructura, los procesos y las fuerzas que mueven al ente de estudio. La capacidad del investigador para adquirir el conocimiento fundamental sobre la organización y sus actores sociales, no descansa en su capacidad para establecer relaciones de causa y efecto, sino en su habilidad para desarrollar un lenguaje común y conceptos apropiados al caso bajo estudio. Finalmente, la generalización desde una muestra estadística es sólo un tipo de generalización. En la investigación cualitativa la generalización debe abordarse de forma diferente, las posibilidades de generalizar desde un solo caso residen no en lo numeroso, sino en lo abarcador de las medidas. (Reyes, 1999).

### **6.1.3 INVESTIGACION EXPERIMENTAL**

La *investigación experimental* es aquella que permite con más seguridad establecer relaciones de causa-efecto; usa grupo experimental y de control; el investigador manipula el factor supuestamente causal; usa procedimientos al azar para la selección y asignación de sujetos y tratamiento; y es artificial y restrictivo. La *investigación cuasiexperimental* estudia relaciones de causa- efecto, pero no en condiciones de control riguroso de todos los factores que puedan afectar el experimento; es apropiado en situaciones naturales en que no es posible el control experimental riguroso. (Rodríguez J. M., 2011)

## 6.2 MARCO CONCEPTUAL

### 6.2.1 SUELO

Para Jaramillo, el suelo es aquella delgada capa, de pocos centímetros hasta algunos metros de espesor, de material terroso, no consolidado, que se forma en la interfase atmósfera – biosfera – litosfera. En ella interactúan elementos de la atmósfera e hidrosfera (aire, agua, temperatura, viento, etc.), de la litosfera (rocas, sedimentos) y de la biosfera y se realizan intercambios de materiales y energía entre lo inerte y lo vivo, produciéndose una enorme complejidad. (Jaramillo, 2002)

Hillel (1998), citado por Jaramillo, considera el suelo como un cuerpo natural involucrado en interacciones dinámicas con la atmósfera que está encima y con los estratos que están debajo, que influye el clima y el ciclo hidrológico del planeta y que sirve como medio de crecimiento para una variada comunidad de organismos vivos. Además, él juega un papel ambiental preponderante como reactor bio-físico-químico que descompone materiales de desecho y recicla dentro de él nutrientes para la regeneración continua de la vida en la Tierra. (Jaramillo, 2002)

Tarbuck y Lutgens (1999) citados por Jaramillo, consideran la Tierra como un sistema dentro del cual el suelo es una interface donde interactúan diferentes partes de aquel: la litosfera, la atmósfera, la hidrosfera y la biosfera. Debido a esto, el suelo es dinámico y sensible a prácticamente todos los aspectos de su entorno. (Jaramillo, 2002)

La organización para de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, lo define como el medio natural para el crecimiento de las plantas. También se ha definido como un cuerpo natural que consiste en capas de suelo (horizontes del suelo) compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo y combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), de materiales parentales (rocas y minerales originarios). Como resultado el suelo difiere de su material parental en su textura, estructura, consistencia, color y propiedades químicas, biológicas y físicas (*Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura, 2014*)



### 6.2.2 LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA:

La lombriz se clasifica como un invertebrado del tipo anélidos terrestres (gusanos segmentados) de la clase de los oligoquetos (desprovistos de parapódos o patas). Hace parte de la macro fauna del suelo y tiene una amplia distribución en el mundo, con más de 7000 especies identificadas, siendo la más conocida la lombriz de tierra (*Lumbricus terrestris*). (Rodrigo Vazques, 2008)

La lombriz de tierra tiene un cuerpo cilíndrico, delgado y segmentado, por lo general, presentan un color uniforme, casi siempre rojo pálido, que puede variar del rosa mate al castaño; su principal constituyente es el agua que representa entre 80 y 90% del peso total. Vive en ambientes húmedos, es fotofóbica (organismo que no tolera la luz) y eurífaga (organismo que se alimenta indistintamente de los restos orgánicos vegetales y animales en descomposición). Las lombrices prefieren sitios húmedos, no toleran las sequias ni las heladas. (Rodrigo Vazques, 2008)

Su tamaño varía de acuerdo con la especie, con longitudes entre 5 y 30 cm de largo y un diámetro que oscila entre 5 y 25 mm; por tanto el número de segmentos va de 80 a 75 anillos (*Tineo, 1990*). Todas las especies terrestres se alimentan de materia orgánica en descomposición y por lo general son muy voraces, pues llegan a comer el 90% de su peso vivo por día; entre 25 y 30% de los productos ingeridos son utilizados para satisfacer sus necesidades fisiológicas y el resto lo desecha en forma de excretas convertido en humus de lombriz (*Reines, 1998*). (Rodrigo Vazques, 2008)

De acuerdo con los recursos alimenticios que explotan y las condiciones ambientales en las que habitan, las lombrices pueden clasificarse como detritívoras y geófagas (Satchell, 1971).

- Detritívoras: lombrices que comen sobre el mantillo vegetal o sobre estiércol animal en horizontes superficiales del suelo ricos en materia orgánica; su cuerpo tiene pigmentos rojos.

- Geófagas: lombrices que comen grandes cantidades de suelo; poseen generalmente colores pálidos.

En relación a su distribución en el suelo, las lombrices se clasifican funcionalmente en tres categorías ecológicas (Bouché, 1992; Lavelle col, 1989):

- Epigeas: viven sobre la superficie del suelo, en la capa de restos vegetales en descomposición o en los montones de estiércol y compost de los campos cultivados; entre estas cabe destacar la mayoría de lombrices del género *Lumbricus* o *Eisenia*.
- Endógenas: viven dentro del suelo, cavan galerías horizontales muy ramificadas pero poco profundas, como *Allolobophora chlorotica* y *Allolobophora caliginosa*. Por el contrario hay especies que pueden cavar galerías de hasta un metro de profundidad e incluso más en suelos en los que la materia orgánica es abundante a esos niveles, como sucede con ciertos Chernozems; a este grupo pertenece *Lumbricus terrestris* y *Aporrectodea nocturna*.
- Anecicas: se caracterizan por tener hábitos de consumo y hábitat en diferentes estratos del suelo; así, en la noche se alimentan de hojarasca y durante el día se refugian en sus galerías, como la *Lumbricus friendi* y *Allolobophora longa*.

La *Eisenia foetida*, también conocida como “Lombriz roja californiana”, “Lombriz de estiércol” o “Híbrido rojo”, tolera altas temperaturas, tiene una alta tasa reproductiva, presenta eclosión múltiple por capullo, un alto consumo de materia orgánica y es fácil su manejo. Adicionalmente, esta especie tiene la capacidad de vivir en altas densidades llegando a unos 40 000 individuos por metro cúbico sin que se alteren sus hábitos de conducta. (Rodrigo Vazques, 2008)

### **6.2.2.1 Morfología y Fisiología**

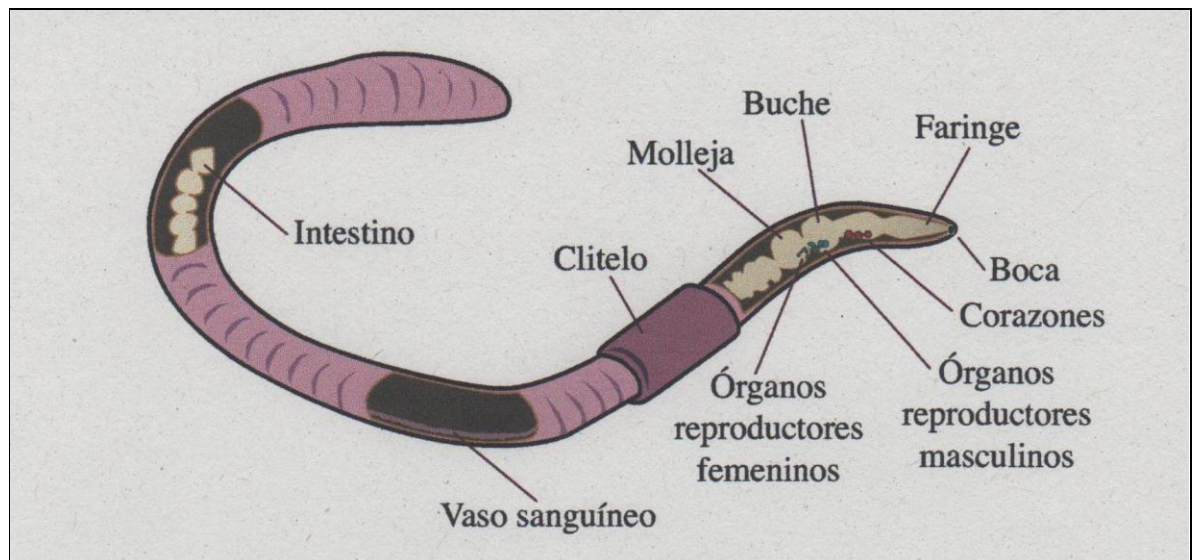
Anatomía Externa: Rodríguez y col. (1998) citados por Vazques, mencionan que la lombriz de tierra presenta el cuerpo dividido en tres segmentos:

- El prostomio: zona anterior la cual no es lobulada, presenta esta zona los órganos sensoriales del organismo.
- El metastomio: o zona glandular, anillado o lobulado, con estructuras idénticas una detrás de la otra
- El Pigidio: zona posterior en donde se abre el ano (Ver imagen 1)

En el metastomio, a manera de cinturón, se encuentra el clitelo, estructura que se aprecia solo cuando el animal está sexualmente maduro. El clitelo favorece el acoplamiento de los animales durante la copula, produce albumina para la alimentación de los embriones y forma el capullo que contendrá los embriones (Apellof, 1982; Martínez, 1995).

Sistema Digestivo: En el intestino de la lombriz ocurren procesos de fraccionamiento, desdoblamiento, síntesis y enriquecimiento enzimático y microbiano del alimento, lo cual tiene como consecuencia un aumento significativo en la velocidad de degradación y mineralización del residuo, obteniendo un producto de alta calidad. Según Reines (1998) el sistema digestivo se encuentra conformado por las siguientes estructuras: cavidad bucal, faringe, buche. Molleja, esófago, glándulas calcíferas (permiten neutralizar la acidez del material orgánico que consume), intestino y ano (Imagen 2). (Rodrigo Vazques, 2008).

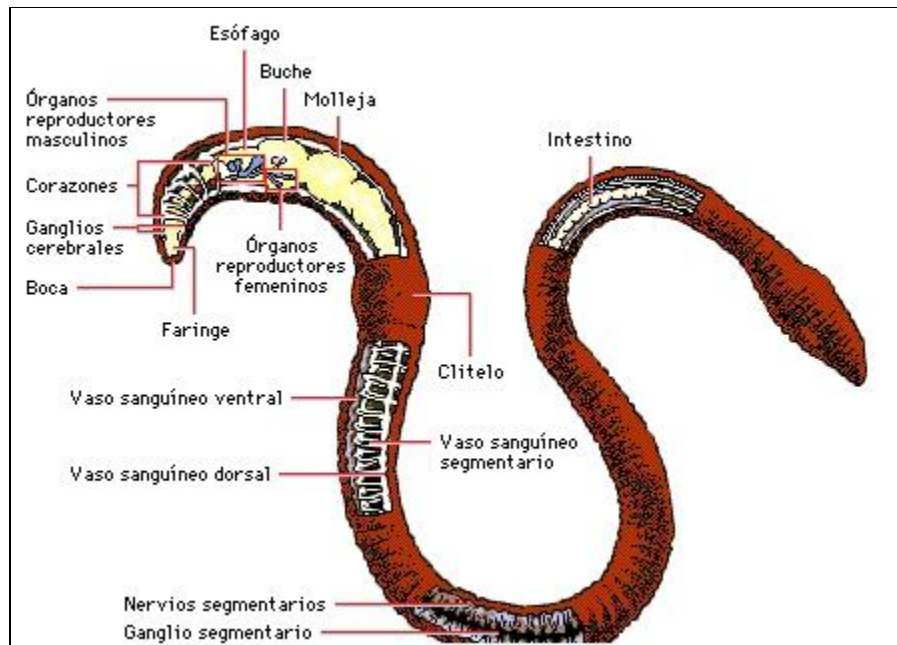
**Imagen 1. Anatomía Externa Lombriz Roja Californiana**



**FUENTE:** [inversanet.wordpress.com](http://inversanet.wordpress.com)

El tracto digestivo de la lombriz secreta muy pocas enzimas para la conversión de proteínas y carbohidratos en energía; no obstante, genera múltiples enzimas que ayudan a desdoblar la celulosa (Edwards, 1983 citado por Irison, 1995). (Rodrigo Vazques, 2008).

**Imagen 2 Anatomía Interna Lombriz Roja Californiana**



**FUENTE:** ecocultivos.wordpress.com

**Sistema Nervioso:** Las lombrices carecen de ojos, oídos y otros órganos de los sentidos, pero poseen un sistema nervioso muy desarrollado el cual es de tipo escaleriforme (en forma de escalera); en éste se distinguen las siguientes estructuras (Rodríguez y col, 1998): ganglio cerebroide, conectivos circunfaríngeos, ganglio subfaríngeo, cadena central y plexo nervioso. (Rodrigo Vazques, 2008)

Aunque la lombriz presenta una alta sensibilidad a la luz, el tacto es el sentido más desarrollado, lo que le permite detectar pequeñas vibraciones en el terreno, seleccionar el alimento, son muy sensibles a las variaciones de temperatura y humedad, así como a las reacciones químicas del suelo (pH), lo cual detectan mediante quimiorreceptores y poseen fototropismo negativo (Rodrigo Vazques, 2008)

**Sistema Circulatorio:** El sistema circulatorio de la lombriz posee la mayoría de las características básicas de los animales superiores. La sangre está formada por plasma y hemoglobina y circula por los vasos sanguíneos capilares entre las células epidérmicas superficiales donde recibe el oxígeno y elimina el dióxido de carbono por difusión simple; es bombeada por medio de diez corazones que están situados en los segmentos 7 a 11 (Rodrigo Vazques, 2008)

**Sistema Respiratorio:** la lombriz respira a través de la piel, siempre y cuando esta se encuentre irrigada de sangre. El contacto de los capilares de la piel con el aire origina el intercambio gaseoso (entra oxígeno y sale dióxido de carbono); por lo tanto, la epidermis de la lombriz debe mantenerse húmeda para realizar satisfactoriamente este intercambio (Rodrigo Vazques, 2008)

**Sistema Excretor:** El sistema excretor se compone de órganos pares llamados “metanefridios” que se repiten en casi cada segmento del cuerpo; cada órgano individual comprende un embudo ciliado que se abre a la cavidad celómica anterior del vientre y comunica por un tubo con el exterior del cuerpo; los residuos se eliminan de la cavidad celómica gracias a las ondas generadas por cilios y por corrientes provocadas por la contracción de los músculos de la pared del cuerpo (Rodrigo Vazques, 2008)

**Sistema Reprodutor:** Las lombrices (y todos los gusanos oligoquetos) son hermafroditas incompletos, es decir, cada individuo tiene órganos reproductores masculinos y femeninos pero necesitan aparearse con otro individuo para reproducirse. Los órganos reproductores masculinos y femeninos están dispuestos en la región ventral entre los segmentos 9 a 14. Bajo condiciones favorables cada lombriz puede producir dos capullos por semana, mientras que cada capullo puede dar lugar desde 2 a 20 individuos, los cuales después de tres meses serán lombrices sexualmente maduras; a partir de entonces pueden aparearse con un intervalo de siete días. Su periodo reproductivo dura hasta 60 semanas, por lo que una lombriz puede originar en un año unas 1500 crías (Rodrigo Vazques, 2008)

**Sistema Locomotor:** La lombriz posee un sistema muscular bien desarrollado, en el que se destaca los músculos longitudinales y circulares; estos producen ondas peristálticas que viajan del extremo anterior al posterior y originan así un movimiento ondulante;

además tienen cerdas en todo el cuerpo que le ayudan adherirse a la base y a los lados del túnel con lo cual logran un desplazamiento eficiente (Rodrigo Vazques, 2008)

### **6.2.2.2 Ciclo Biológico**

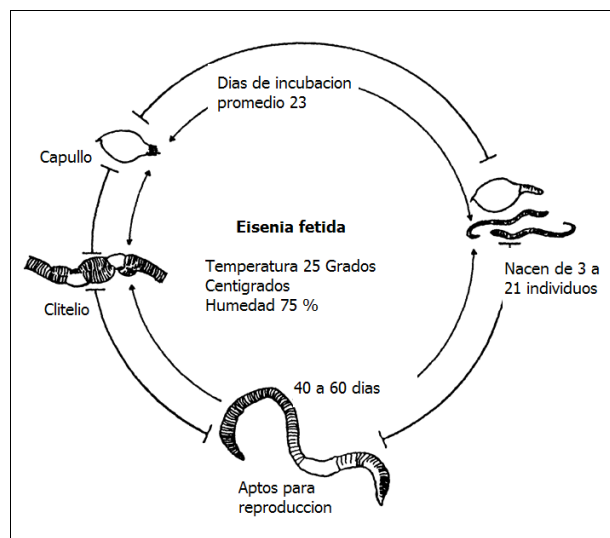
Las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo y la reproducción de las lombrices incluyen una humedad del 80% y una temperatura media de 20°C; sin embargo, *Eisenia foetida* vive sin problemas en ambientes con temperaturas que fluctúan entre 10 y 20°C. Bajo estas condiciones los capullos eclosionan después de 4 a 5 semanas de incubación (Lund, 1987). La madurez ocurre entre los 45 a 50 días después de eclosión, siendo característico del estado adulto el clitelo. El apareamiento de *Eisenia foetida* ocurre cada siete días los que esta determinado por los siguientes factores: la densidad, la calidad del alimento, la temperatura y la humedad del medio. (Rodrigo Vazques, 2008)

Si la lombriz es periódicamente trasladada a alimentos frescos aumenta la producción de capullos y la fecundidad. Esta disminuye a medida que pasa el tiempo de crianza, pues las reservas alimenticias disminuyen; su reproducción tiene lugar durante todo el año. Algunos autores como Martínez (1996), Reines (1998) y Rodríguez y col., (1998) indican que bajo condiciones de temperatura de 25°C, humedad del 75%, pH entre 6,8 y 7,2 unidades, usando como sustrato de crianza el estiércol vacuno, la lombriz presenta el siguiente ciclo vital:

- Nacimiento hasta la fase clitelada: fase de crecimiento que dura de 40 a 60 días, cuando la lombriz alcanza la madurez sexual
- Acoplamiento o intercambio espermático: a partir del momento de la aparición del clitelo
- Aparición del capullo: tres días después del acoplamiento
- Etapa Embrionaria: es el periodo de incubación que dura aproximadamente 21 días
- Etapa Post embrionaria: pasado este tiempo emergen las lombricillas, aproximadamente 6 por capullo.

Otros autores indican que a una humedad del 80% y a temperaturas entre 21 y 31°C tienen su máxima capacidad de reproducción; esto indica que en los países intertropicales son muy aptos para el desarrollo de la *Eisenia foetida*. El tiempo de duración desde el acoplamiento hasta la presencia del clitelo es de 84 días. Adeil y Mensua (1989), mencionan que después de una copula cada individuo produce capullos en número variable; a 20°C de cada capullo emergen las lombrices después de un periodo de incubación de 2 a 4 semanas y viven de 4 a 5 años. (Imagen 3).

**Imagen 3. Ciclo Vital Eisenia Foetida**



FUENTE: <http://lombriz-californiana.blogspot.com/>

### 6.2.2.3 Requerimientos de crecimiento y factores limitantes

*Eisenia foetida* requiere de ciertas condiciones de vida para desarrollarse; las más importantes son (Martínez, 1995):

- El alimento: es importante conocer el contenido de nutrientes de los diversos materiales orgánicos con la finalidad de balancear adecuadamente la mezcla ya que de estos depende el buen desarrollo de la lombriz, su fecundidad y la calidad del producto.

- La temperatura: se desarrolla en temperaturas que van desde 10 a 29°C, pero es eficiente en el rango de los 19 a 23°C, siendo la temperatura optima de unos 25°C. Cuando la temperatura es inferior a 7°C, las lombrices no se reproducen, pero siguen produciendo excretas, aunque en menor cantidad.
- La Humedad: esta especie requiere de una fina película de agua para realizar el intercambio de gases; los mejores resultados se tienen cuando el sustrato presenta humedad entre el 80 y el 85%.
- El pH: el sustrato debe presentar un pH de 7 (neutro), aunque soporta un rango entre 6,8 a 7,8 aunque pueden soportar un pH entre 5 y 9.
- La relación C/N (Carbono/Nitrógeno): el sustrato debe poseer una relación C/N de 25:1 a 30:1 (de 25 a 30 unidades de carbono por 1 unidad de nitrógeno); bajo estas condiciones toda la fauna (micro y macroscópica) presente en el sustrato participa en el proceso de degradación de materia orgánica eficientemente.
- Luz: todas las especies de lombriz son fotofóbicas, especialmente a los rayos ultravioleta; cuando se exponen demasiado tiempo mueren, razón por la cual realizan sus actividades en la oscuridad.

### **6.2.3 Lombricultura**

Según Reinés, Rodríguez y Sierra (1986), la lombricultura es una biotecnología de primera generación consistente en la utilización intensiva de la lombriz de tierra bajo condiciones controladas, asumida como agente biológico para la transformación de los residuos orgánicos y biodegradables a escala industrial, lo cual representa una solución simple, racional y económica al problema que causa la acumulación de restos orgánicos.

Fundamentalmente, la lombricultura permite obtener dos productos: el humus y la proteína. El humus es un fertilizante orgánico que se origina de las deposiciones (heces)



de la lombriz. Por su parte, la carne de la lombriz constituye una fuente de proteína convencional de bajo costo y alta digestibilidad que se puede utilizar en la alimentación humana y animal.

La producción de lombrices, en sus modalidades tradicional e industrial, presenta buenas perspectivas, ya que genera ingresos económicos directos provenientes de la comercialización del humus y de la carne de lombriz; así mismo, se obtienen beneficios indirectos, puesto que la lombricultura ha demostrado ser una herramienta muy eficiente para la recuperación de los suelos dedicados a la actividad agrícola.

Por lo tanto, la práctica de la lombricultura logra satisfacer uno de los requerimientos actuales de la humanidad referido a mejorar la calidad de vida, preservar la naturaleza y contribuir a la alimentación, al ser esta una actividad que permite una interacción estrecha entre la ecología y la economía (Reines y Rodríguez, 2006).

#### **6.2.4 Cadmio**

El cadmio es un elemento natural de la corteza terrestre. Generalmente se encuentra como mineral combinado con otros elementos tales como oxígeno (óxido de cadmio), cloro (cloruro de cadmio) o azufre (sulfato de cadmio, sulfuro de cadmio). Todos los suelos y rocas, incluso el carbón y abonos minerales, contienen algo de cadmio.

El cadmio entra al suelo, al agua y al aire durante actividades industriales y de minería, y durante la combustión de carbón y desechos domésticos; no se degrada en el ambiente, pero sí cambia de forma. Las partículas de cadmio en el aire pueden movilizarse largas distancias antes de depositarse en la tierra o el agua y algunas formas de cadmio se disuelven en agua. El cadmio se adhiere fuertemente a partículas del suelo. las plantas, los peces y otros animales incorporan cadmio del ambiente.

Respirar niveles altos de cadmio puede dañar gravemente los pulmones. Ingerir alimentos o tomar agua con niveles de cadmio muy altos produce irritación grave del estómago causando vómitos y diarrea. La exposición prolongada a niveles más bajos de cadmio en el aire, los alimentos o el agua produce acumulación de cadmio en los riñones y

posiblemente enfermedad renal. Otros efectos de la exposición prolongada consisten en daño del pulmón y fragilidad de los huesos. Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencias para la Investigación del Cáncer (IARC) han determinado que el cadmio y los compuestos de cadmio son carcinogénicos en seres humanos. La EPA determinó que el cadmio probablemente es carcinogénico en seres humanos (grupo B1). (Enfermedades, Cadmio, 2012)

### **6.2.5 Mercurio**

El mercurio es un metal que ocurre en forma natural en el ambiente y que tiene varias formas químicas. El mercurio metálico es un líquido inodoro, de color blanco-plateado brillante; al calentarlo se transforma en un gas inodoro e incoloro. El mercurio se combina con otros elementos, por ejemplo cloro, azufre u oxígeno para formar compuestos de mercurio inorgánicos o “sales,” las que son generalmente polvos o cristales blancos; también se combina con carbono para formar compuestos de mercurio orgánicos, el más común, metilmercurio, es producido principalmente por organismos microscópicos en el suelo y en el agua. Mientras mayor es la cantidad de mercurio en el medio ambiente, mayores la cantidad de metilmercurio que estos organismos producen. El mercurio metálico se usa en la producción de gas de cloro y soda cáustica y también se usa en termómetros, tapaduras dentales y pilas, las sales de mercurio se usan en cremas para aclarar la piel y en cremas y ungüentos antisépticos.

El mercurio inorgánico en contacto con el mercurio, (mercurio metálico y compuestos de mercurio inorgánicos) pasa al aire durante la extracción de depósitos minerales, al quemar carbón y basura y de plantas industriales. El mercurio pasa al agua o a la tierra de depósitos naturales, de basurales y de actividad volcánica; puede ser formado en el agua y el suelo por bacterias. El metilmercurio se acumula en los tejidos de peces, que a mayor tamaño y de mayor edad tienden a tener niveles de mercurio más altos.

El sistema nervioso es muy susceptible a todas formas de mercurio: el metilmercurio y los vapores de mercurio metálico son más nocivos que otras formas, ya que una mayor cantidad de estas formas de mercurio llega al cerebro. La exposición a altos niveles de mercurio metálico, inorgánico, u orgánico puede dañar en forma permanente a los

riñones, el cerebro, y al feto. Los efectos sobre la función cerebral pueden manifestarse como irritabilidad, timidez, temblores, alteraciones a la vista o la audición y problemas de la memoria. La exposición por corto tiempo a altos niveles de vapores de mercurio metálico puede causar lesiones al pulmón, náusea, vómitos, diarrea, aumento de la presión sanguínea o del pulso, salpullidos e irritación a los ojos. Hay datos disponibles, aunque inadecuados, acerca de todas las formas del mercurio y cáncer en seres humanos. El cloruro mercúrico produjo un aumento en varios tipos de tumores en ratas y ratones, y el metilmercurio produjo tumores del riñón en ratones machos. La EPA ha determinado que el cloruro mercúrico y el metilmercurio son posiblemente carcinogénicos en seres humanos. (Enfermedades, Mercurio, 1999)

### **6.2.6 Cromo**

El cromo es un elemento natural que se encuentra en rocas, animales, plantas y el suelo. Puede existir en varias formas diferentes. Dependiendo de la forma que toma, puede encontrarse en forma de líquido, sólido o gas. Las formas más comunes son el cromo (0), cromo (III) y cromo (VI). Los compuestos de cromo no tienen ningún sabor u olor especial. El cromo metálico, que es la forma de cromo (0), se usa en la fabricación de acero. El cromo (VI) y el cromo (III) se usan en cromado, colorantes y pigmentos, curtido de cuero y preservación de madera.

El cromo se puede encontrar en el aire, el suelo y el agua luego de ser liberado durante su manufactura o la manufactura, uso o disposición de productos de cromo, generalmente no permanece en la atmósfera, sino que se deposita en el suelo y el agua; puede transformarse fácilmente de una forma a otra en el agua y el suelo, dependiendo de las condiciones presentes. Los peces no acumulan en el cuerpo mucho cromo del agua.

El cromo (III) es un elemento nutritivo esencial que ayuda al cuerpo a usar azúcares, proteínas y grasas. Respirar niveles altos de cromo (VI) puede producir irritación del revestimiento interno de la nariz, úlceras nasales, secreción nasal y problemas respiratorios tales como asma, tos, falta de aliento o respiración jadeada. Las concentraciones de cromo en el aire que producen estos efectos pueden ser diferentes

para los diferentes tipos de compuestos de cromo; los efectos del cromo (VI) ocurren a concentraciones mucho más bajas que los del cromo (III). El efecto principal que se observa en animales que ingieren compuestos de cromo (VI) son irritación y úlceras en el estómago y el intestino delgado y anemia. Los compuestos de cromo (III) son mucho menos tóxicos y no parecen causar estos problemas. En animales de laboratorio machos expuestos al cromo (VI) también se han observado daño de los espermatozoides y del sistema reproductivo. El contacto de la piel con ciertos compuestos de cromo (VI) puede producir úlceras en la piel. Algunas personas son muy sensibles al cromo (VI) y cromo (III); en algunas personas se han descrito reacciones alérgicas que se manifiestan como enrojecimiento e hinchazón grave de la piel.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS), la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) y la EPA han determinado que los compuestos de cromo (VI) son carcinogénicos en seres humanos. En trabajadores, la inhalación de cromo (VI) ha producido cáncer del pulmón. El cromo (VI) también produce cáncer del pulmón en animales. En seres humanos y animales expuestos a cromo (VI) en el agua potable se ha observado un aumento de tumores estomacales. (Enfermedades, Cromo, 2008)

### **6.2.7 Inducción de Plasma Acoplado ICP**

la espectroscopia de emisión (OES) se basa en la producción y detección de espectros de línea emitidos durante el proceso de des excitación radiactiva de electrones que sufren transiciones entre niveles excitados superiores y niveles excitados inferiores. Esos electrones pertenecen a las órbitas externas de los átomos y se llaman electrones ópticos. Los espectros de líneas son específicos de cada elemento y la adecuada selección de una línea y su aislamiento por medio de un sistema dispersivo permite al analista verificar la presencia de ese elemento y determinar su concentración. Un espectrómetro de emisión atómica mediante plasma inductivo de argón consiste en una fuente de radiación, un sistema de presentación y/o introducción de la muestra, un sistema óptico dispersivo, un detector y la correspondiente electrónica para adquisición, procesamiento y edición de resultados.

Cada elemento de la tabla periódica tiene un determinado número de electrones igual a su número atómico. Los electrones tienen la posibilidad de estar localizados en capas y subcapas alrededor del núcleo de acuerdo con la teoría cuántica. La teoría cuántica asume que la energía electromagnética es emitida o absorbida en valores discretos, lo que significa que la energía es discontinua.

Al absorber energía, el electrón es promovido a estados energéticos superiores y cuando regresa al estado fundamental o inferior, ocurre la des-excitación radiactiva, por des-excitación o por procesos colisionales. En el caso de la des-excitación radiactiva, hay emisión de radiación electromagnética: si la transición ocurre entre el nivel superior  $E_m$  y el nivel inferior  $E_k$ , la radiación emitida tiene una frecuencia  $\nu$  dada por:

$$h\nu = E_m - E_k \quad (6.1)$$

dónde  $h$  es la constante de Planck. En espectroscopia de emisión atómica, la longitud de onda,  $\lambda$ , se usa habitualmente en vez de la frecuencia,  $\nu$ , siendo:

$$\lambda = c/\nu \quad (6.2)$$

donde  $c$  es la velocidad de la luz. La longitud de onda se expresa en nm (nanómetros,  $10^{-9}$  m)

Se debe hacer notar que las transiciones correspondientes a un electrón que retorna al estado fundamental se denominan transiciones de resonancia y dan origen a líneas de resonancia. De acuerdo con reglas de selección y posibles estados excitados, cada elemento de la tabla periódica puede exhibir un conjunto de líneas (espectro) que es específico para ese elemento.

Se debe resaltar que para líneas emitidas por átomos se usa el símbolo I y para líneas emitidas por átomos simplemente ionizados se usa el símbolo II. Por ejemplo, para el átomo de aluminio, Al, hay 46 niveles electrónicos por debajo de los límites de ionización, correspondientes a 118 líneas en el ámbito que va desde 176 a 1000 nm. Hay 226 niveles para un átomo simplemente ionizado de Al ( $Al^+$ ), lo que conduce a aproximadamente a

318 líneas en la zona que va desde 160 a 1000 nm. Al I y Al II son especies que emiten espectros relativamente simples. En el mismo ámbito de longitudes de onda, el uranio, U, puede emitir decenas de miles de líneas, lo que conduce a uno de los espectros más complejos que pueden ser observados. Sin embargo, si bien las líneas de resonancia pueden ser observadas en cualquier fuente de radiación, las líneas originadas de estados altamente excitados pueden ser observadas sólo a partir de fuentes de radiación de alta temperatura o bajo condiciones específicas de excitación. Se debe destacar que la radiación de fondo es la emitida por la muestra cuando están presentes todos los componentes excepto el analito. La emisión de fondo consiste en la radiación emitida por todos los otros elementos (analitos, concomitantes) presentes en la muestra, que emiten sus propios espectros, y de un continuo que se origina en un conjunto de fuentes incluyendo electrones, Ar, OH, y especies presentes en la matriz, tanto atómicas como moleculares.

Un plasma es un gas ionizado, macroscópicamente neutro, con el mismo número de partículas positivas (iones) y negativas (electrones). Un plasma conserva algunas propiedades de los gases ideales, como las referentes a la presión y al volumen, en contraste con otras propiedades tales como la viscosidad y la conductividad térmica, que difieren significativamente de las de los gases ideales debido a la presencia de partículas cargadas

En contraste con la espectroscopia de llama, es necesario proveer energía externa en forma de campo magnético para poder ionizar al gas que sustenta al plasma, que a su vez va a transmitir parte de su energía a la muestra para atomizarla y excitarla. Los plasmas se clasifican de acuerdo a la clase de campo eléctrico que se use para crear y mantener al plasma: - Plasma de acoplamiento inductivo (ICP): se obtiene cuando se aplica un campo de alta frecuencia a través de una bobina. - Plasma inducido por microondas (MIP): se obtiene cuando se aplica un campo de microondas a una cavidad. La fuente más utilizada es el ICP. Se usa un generador de alta frecuencia (27,12 ó 40 MHz) para producir el campo de alta frecuencia a través de la bobina de inducción. La potencia debe ser del orden de 1-2 kW, y su estabilidad es un parámetro crucial para evitar cualquier alteración en las propiedades del plasma. El generador debe ser lo suficientemente flexible como para compensar cualquier variación de la impedancia del

plasma debido a cambios en su carga, por ejemplo, durante la inyección de distintos tipos de soluciones, acuosas u orgánicas.

El gas usado para generar el plasma (gas del plasma) es argón; como cualquier gas noble, es monoatómico y tiene altas energías de ionización (15,76 eV), y es químicamente inerte. Por lo tanto, emite un espectro muy simple en contraste con la llama, en donde se observan primariamente espectros moleculares, y tiene la capacidad de excitar e ionizar a la mayoría de elementos de la tabla periódica. No se forman compuestos estables entre el argón y los analitos. (metodologías analíticas para la determinación y especiación de arsénico en aguas y suelos). (M. I. Litter, 2009)

### **6.2.8 Bioacumulación**

El término bioacumulación hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales [u otras sustancias persistentes] en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticas (suelo, aire y agua). (AMAP, 1998)

### **6.2.9 Biomagnificación**

Aumento en la concentración de un contaminante en un nivel trófico respecto del nivel trófico anterior, debido a la acumulación a través del alimento. Por ejemplo, desde presa a predador. (Degrossi, 2013)

### 6.3 MARCO LEGAL

Tabla 1. Normas de Referencia México y Alemania

Norma	Descripción	País	Entidad
NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004	Norma oficial mexicana, que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados con arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio.	MEXICO	Secretaria de medio ambiente y recursos naturales
Ley de Protección del Suelo Federal (Bundes-Bodenschutzgesetz - BBoSchG - 1998 ) ... Ordenanza de Protección de 1999 ( Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung )	El BBodSchG pretende asegurar las funciones del suelo o su restauración ( Conservación de Suelos ). Para este propósito, "cambios en el suelo perjudiciales" para protegerse de la tierra y los sitios contaminados , y por lo tanto causado la contaminación del agua para rehabilitar y tomar precauciones contra los impactos adversos sobre el suelo.	ALEMANIA	Comisión Europea – Dirección General de Medio Ambiente

FUENTE: Autor



## 7. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para el desarrollo del presente proyecto se emplearon dos tipos de investigación: estudio descriptivo de caso e investigación experimental.

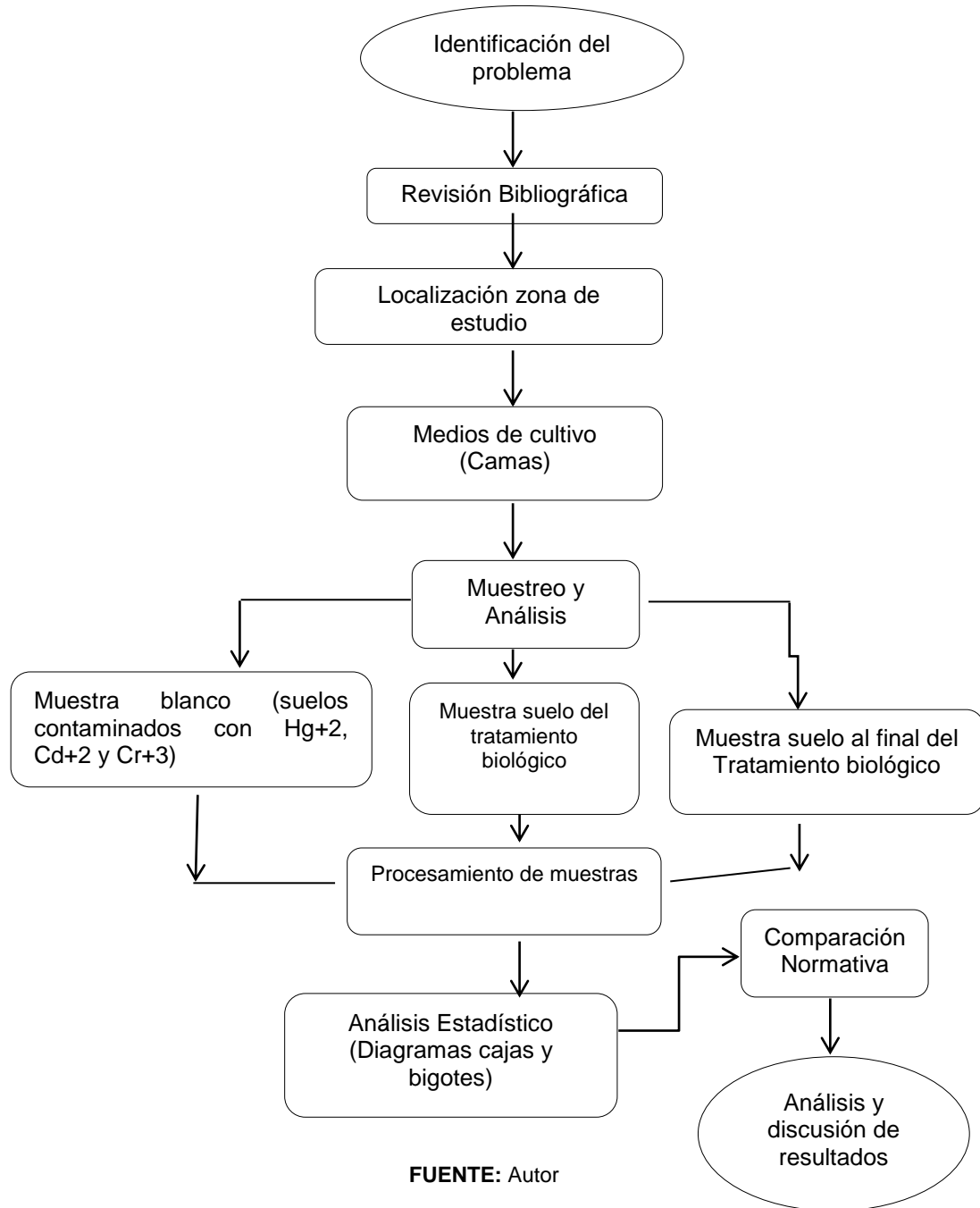
Mediante el enfoque de investigación, estudio descriptivo de caso, partiendo de una unidad de observación, en este caso, se busca establecer las causas que expliquen el comportamiento o las condiciones en las que se está presentando una situación puntual. Partiendo de estudios anteriores realizados con *Eisenia foetida* y otras especies de lombrices (*Eisenia andrei* – *A. caliginosa*), empleadas para la disminución de las concentraciones de metales en suelos contaminados, se tomó como base para la selección de *Eisenia foetida* como agente biológico en la eliminación de las concentraciones de los metales Mercurio ( $Hg^{+2}$ ), Cadmio ( $Cd^{+2}$ ) y Cromo ( $Cr^{+3}$ ) en las muestras de suelo tomadas en el sector rural de la comuna Ciudad Latina de Soacha.

En cuanto a la investigación experimental, se tiene como base fundamental el análisis en laboratorio de las muestras de suelo contaminado con metales pesados, tomadas previamente, antes del inicio del tratamiento con *Eisenia foetida*. Posteriormente se realizó la aplicación de soluciones de concentraciones conocidas de los metales mercurio, cadmio y cromo incrementando sus concentraciones en los suelos objeto de estudio, para evaluar la capacidad y eficiencia de *Eisenia foetida* en la disminución de las concentraciones de estos metales en el suelo.

## 8. DISEÑO METODOLOGICO

Las etapas desarrolladas para la ejecución del presente proyecto se presentan en el diagrama 1.

**Diagrama 1.** Definición Metodológica del Estudio



**FUENTE:** Autor

## **8.1 Revisión Bibliográfica**

Partiendo del enfoque de estudio de caso descriptivo, se realizó una revisión bibliográfica sobre estudios realizados con lombrices de tierra como agentes para la disminución de las concentraciones de metales pesados en suelos, con el objeto de contrastar teorías ya existentes a partir de una serie de hipótesis surgidas de la misma, siendo necesario obtener una muestra, ya sea en forma aleatoria o indiscriminada, pero representativa de una población o fenómeno objeto de estudio. (Pensamiento y gestión, 20. Universidad del norte, pagina 168, 2006). Por tal razón, para la realización de estudios del caso descriptivos, es indispensable contar con una teoría ya construida, dado que el método científico utilizado en la misma es el deductivo. Es importante resaltar, que en la presente investigación, en primer lugar se verificara la teoría existente en cuanto a la utilidad de la *Eisenia foetida* como agente biológico para el tratamiento de suelos contaminados; y en segundo lugar, se evaluara su eficiencia en la disminución de las concentraciones de los metales cadmio, cromo y mercurio, controlando las concentraciones de estos metales durante un periodo de cuatro semanas, puesto que en las investigaciones citadas, principalmente se realizaron los estudios en suelos contaminados sin controlar la concentración del contaminante.

## **8.2 Localización Zona de Estudio**

Algunos de los sectores rurales, en el vecino de municipio de Soacha, presentan inconvenientes en el riego de sus cultivos, puesto que emplean el agua del Rio Bogotá, para el riego de los mismos, hallazgo realizado por investigadores de la facultad de agronomía de la Universidad Nacional de Colombia en el año 2009, determinando altas concentraciones de plomo y mercurio en el tejido foliar de lechugas cultivadas en el municipio. (Osorno, Hortalizas con Exceso de Metale Tóxicos, 2009) Teniendo conocimiento de esta problemática, se realizó la toma de muestras de suelo en el sector aldaño a los cultivos de hortalizas localizados en la comuna ciudad latina en el municipio de Soacha, ya que al emplearse el agua del Río Bogotá, que a esta altura del municipio cuenta con altas concentraciones de metales pesados, aportados por las diferentes descargas recibidas en su recorrido por la

ciudad de Bogotá D.C., incrementa las concentraciones de metales pesados en el suelo así como en las hortalizas cultivadas.

Se realizó visita de campo al sector rural de la comuna ciudad latina en el municipio de Soacha para la toma de muestras de suelo que permitieran determinar la presencia de cadmio ( $\text{Cd}^{+2}$ ), cromo ( $\text{Cr}^{+3}$ ) y mercurio ( $\text{Hg}^{+2}$ ), el muestreo se ejecutó el día 6 de agosto del 2014.

Se tomaron 3000 g de muestra de suelo para la determinación de los metales objeto de estudio, además del análisis en laboratorio de pH, conductividad, textura, capacidad de intercambio catiónico, nitritos, nitratos, fosfatos, cadmio, cromo y mercurio. En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos y los parámetros evaluados en laboratorio.

**Tabla 2. Resultados Iniciales Suelos Sector Rural Comuna Ciudad Latina**

Parámetro	Unidades	Técnica Analítica	Método	RESULTADO
pH 1:1	UNIDADES	ELECTROMETRICO	SW 846, EPA 9045D, Rev 4/2004	6,01
CONDUCTIVIDAD	mmhos/cm			0,304
ARENA	%	AGENTE DISPERSANTE	BOUYOUCOS	38
ARCILLA	%	AGENTE DISPERSANTE	BOUYOUCOS	36
LIMO	%	AGENTE DISPERSANTE	BOUYOUCOS	26
TEXTURA		AGENTE DISPERSANTE	BOUYOUCOS	Franco - Arcilloso
CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO	meq/100	VOLUMETRICO	ACETATO DE AMONIO 1N-PH7.0 PROTOCOLO IGAC, 6ta ED/2006	21,3
NITRITOS	mg/Kg	COLORIMETRICO	SM 4500 NO <sub>2</sub> B	0,82
NITRATOS	mg/Kg	ESPECTROFOTOMETRICO UV	SM 4500 NO <sub>3</sub> B	1,46
FOSFATOS	mg/Kg	COLORIMETRICO – ACIDO ASCORBICO	SM 4500 – P-E	12,1
CADMIO	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B – SM 3120 B	1,15
CROMO	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B – SM 3120 B	11,5
POTASIO	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B – SM 3120 B	1440
MERCURIO	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B – SM 3120 B	3,646

FUENTE: Autor

Como se puede observar, el análisis en laboratorio determinó concentraciones apreciables de los metales objeto de estudio en los suelos muestreados, asociándose el posible incremento de los mismos por el riego con aguas del Río Bogotá, resultando apropiados para el tratamiento con el agente biológico *Eisenia foetida* teniendo en cuenta los resultados obtenidos.

### **8.3 Toma de muestras**

Determinado el sitio de monitoreo, se realizó la toma de muestras para la preparación de los mesocosmos en los cuales se desarrolló el estudio.

Previo a la toma de muestras, en el punto de muestreo, se realizó una limpieza de sus alrededores para garantizar la seguridad de las operaciones y evitar la contaminación de las mismas. Se retiraron objetos, maleza, residuos y otras sustancias que obstaculizaban o afectaban la representatividad de la muestra de suelo. (ICONTEC, 1997)

Se tomaron muestras compuestas, componiéndose cada una por 6 submuestras; la recolección de muestras por cada metal en estudio se realizó en un área de 40 cm de ancho x 40 cm de profundidad. La disposición de los puntos de monitoreo se realizó, mediante un muestreo estadístico sistemático o de rejilla, para lo cual se dividió la zona en estudio en áreas iguales, similar a una cuadrícula sobre esta, de tal forma que se pudieran obtener las submuestras requeridas. (ICONTEC, 1997)

Para cada metal en estudio se tomaron 3000 g de muestra, posteriormente empacados en bolsas ziploc y embalados en neveras de icopor con compresas de hielo, para reducir la volatilización, biodegradación o transformación de los analitos. (ICONTEC, 1997)

Además de las muestras tomadas para la elaboración de los mesocosmos, se realizó la toma de una muestra adicional, empleada como control del ensayo, ya que no se alteraran las concentraciones de los metales en estudio. (ICONTEC, 1997)

#### 8.4 Preparación Soluciones metales en estudio

Una vez conocidas las concentraciones de cadmio ( $\text{Cd}^{+2}$ ), cromo Cr ( $\text{Cr}^{+3}$ ) y mercurio ( $\text{Hg}^{+2}$ ) en los suelos seleccionados, se procedió a incrementar su concentración mediante la aplicación de soluciones de cada elemento a concentraciones conocidas con el fin de evaluar la eficiencia de *Eisenia foetida* en la disminución de las concentraciones de estos metales en el suelo, manipulando la concentración del contaminante. Se toma una muestra de control, correspondiente a una muestra de suelo a las concentraciones determinadas inicialmente, de tal manera que se puedan comparar los resultados obtenidos en suelos con altas y bajas concentraciones de los metales en estudio.

Las soluciones de los elementos contaminantes se obtuvieron a partir de sales de cadmio, cromo y mercurio, correspondiente a nitratos. A partir de un estándar analítico en ácido nítrico  $\text{HNO}_3$  al 2-3% a una concentración de 1000 ppm. De acuerdo a los casos documentados, se determinó manejar las siguientes concentraciones para cada elemento contaminante, simulando suelos con altas concentraciones de los metales en estudio.

**Tabla 3. Concntraciones de Trabajo Empleadas**

Metal	Concentración 1 mg/kg)	Concentración 2 (mg/kg)
Cadmio $\text{Cd}^{+2}$	32	64
Cromo $\text{Cr}^{+3}$	40	80
Mercurio $\text{Hg}^{+2}$	36	72

**FUENTE:** Autor

La solución de cadmio  $\text{Cd}^{+2}$  se obtuvo a partir de un estándar analítico de nitrato de cadmio  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$  en  $\text{HNO}_3$  2-3% a una concentración de 1000 ppm llevándola a una concentración de 32 ppm y 64 ppm en un volumen de 250 ml de agua destilada, aplicando un factor de dilución de 31 y 16.

$$(32 \text{ ppm} * 250 \text{ mL}) / 1000 \text{ ppm} = \underline{\underline{8\text{mL}}}$$

$$(64 \text{ ppm} * 250 \text{ mL}) / 1000 \text{ ppm} = \underline{\underline{16\text{mL}}}$$

La solución de cromo  $\text{Cr}^{+3}$  se obtuvo a partir de un estándar analítico de nitrato de cromo  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  en  $\text{HNO}_3$  2-3% a una concentración de 1000 ppm, llevándola a una concentración de 40 ppm y 80 ppm en un volumen de 250 ml de agua destilada, aplicando un factor de dilución de 25 y 12,5 respectivamente determinando el volumen de estándar analítico para aplicar en cada solución.

$$(40 \text{ ppm} * 250 \text{ mL}) / 1000 \text{ ppm} = \underline{\underline{10\text{mL}}}$$

$$(80 \text{ ppm} * 250 \text{ mL}) / 1000 \text{ ppm} = \underline{\underline{20\text{mL}}}$$

La solución de mercurio se obtuvo a partir de un estándar analítico de nitrato de cromo  $\text{Cr}(\text{NO}_3)_3$  en  $\text{HNO}_3$  2-3% a una concentración de 1000 ppm, llevándola a una concentración de 32 ppm y 64 ppm en un volumen de 250 ml de agua destilada, aplicando un factor de dilución de 28 y 14 respectivamente determinando el volumen de estándar analítico para aplicar en cada solución.

$$(36 \text{ ppm} * 250 \text{ mL}) / 1000 \text{ ppm} = \underline{\underline{9 \text{ mL}}}$$

$$(72 \text{ ppm} * 250 \text{ mL}) / 1000 \text{ ppm} = \underline{\underline{18 \text{ mL}}}$$

## 8.5 Preparación Medios de cultivo

Con relación a los resultados obtenidos inicialmente, se determinó una textura Franco – Arcillosa para las muestras de suelo tomadas en el sector rural de la comuna Ciudad Latina, pudiendo ser esto un inconveniente para el ensayo, ya que los suelos arcillosos resultan asfixiantes e impermeables.

Previamente a la preparación de los mesocosmos, los suelos fueron disgregados removiéndose raíces y otros elementos presentes. Cada mesocosmo se preparó con 1500 g de suelo en un área de  $186 \text{ m}^2$ . Se seleccionaron recipientes plásticos para contener las muestras de suelo y los individuos de *Eisenia Foetida*, con un largo de 23 cm por 13 cm de alto y 12 cm de ancho para un volumen de  $3588 \text{ cm}^3$ .

Cada recipiente se trabajó con un contaminante a dos concentraciones diferentes, previamente descritas en la preparación de las soluciones contaminantes. Con el fin de evitar la contaminación de cada medio por infiltración de las soluciones contaminantes y la

migración de los individuos de Eisenia Foetida, se utilizó una división en plástico en cada recipiente.

El blanco o control, no fue dividido, sin embargo se trabajó con la misma cantidad de individuos equivalente a los depositados para la evaluación de cada elemento contaminante. El ensayo se realizó en un periodo de un mes, realizándose la toma de muestras cada semana para un total de 4 semanas.

**Fotografía 1. Mesocosmo Medio Control**



FUENTE: Autor

**Fotografía 2. Mesocosmo medio Cadmio Cd<sup>+2</sup>**



FUENTE: Autor



**Fotografía 3. Mesocosmo Medio Cromo Cr<sup>+3</sup>**



FUENTE: Autor

**Fotografía 4. Mesocosmo Medio Mercurio Hg<sup>+2</sup>**



FUENTE: Autor

## 8.6 Adaptación *Eisenia foetida*

Se emplearon 55 individuos jóvenes por cada mesocosmo, afirmándose esto de acuerdo a las observaciones realizadas, básicamente por el tamaño y longitud de cada individuo, algunos de ellos, maduros sexualmente, ya que presentaban un clitelo desarrollado y coloración rojiza intensa a marrón. (Rodrigo Vazques, 2008). Los ejemplares de *Eisenia foetida* fueron adquiridos de la finca Lombricultura de Tenjo localizada en el Km 2,3 vía Tenjo – Tabio vereda Chince.

Los recipientes con lo mesocosmos no fueron expuestos a la luz solar, manteniéndose a la sombra, teniendo en cuenta la fotosensibilidad de *Eisenia foetida*. Cada recipiente fue

cubierto con plástico negro con el fin de mantener una temperatura apropiada para el crecimiento de *Eisenia foetida*, determinada en 20°C. (Rodrigo Vazques, 2008)

**Fotografía 5. Individuos *Eisenia foetida***



**FUENTE:** Autor

Antecediendo la aplicación de las soluciones con los elementos en estudio, se realizó la inoculación de los individuos con dos días de antelación, permitiendo una mejor adaptación de *Eisenia foetida* a su nuevo medio, el cual varió significativamente con respecto a su ambiente de crecimiento, puesto que el medio de cultivo empleado corresponde a suelo fértil abonado con humus de lombriz, de coloración negra, sin compactación aparente, ya que los granos se encontraban disgregados sin presentar aglomerados, adicional a esto como fuente de alimento se emplearon residuos orgánicos vegetales. El nuevo medio, por el contrario es un suelo franco arcilloso con baja capacidad de intercambio catiónico, indicando esto baja fertilidad, asociado con el tamaño de los granos del suelo, puesto que el porcentaje de arcillas es superado por las arenas y limos de mayor tamaño; ya que cuanto más pequeña sea la partícula, más grande será la capacidad de cambio de cambio. (Dorronsoro, 2008)

## **8.7 Aplicación Soluciones contaminantes**

La aplicación de las soluciones contaminantes se realizó el día 07 de octubre del 2014; se aplicaron las soluciones a un volumen de 125 ml a dos concentraciones diferentes para cada metal, realizándose este proceso durante cuatro semanas. Esto debido a que la aplicación de la solución completa de 250 ml, saturaría el mesocosmo, pudiendo causar la muerte de parte de la población de individuos de *Eisenia foetida*.

La aplicación de cada solución se realizó mediante un atomizador de tal manera que la solución se esparciera de forma uniforme en el volumen total de suelo; la aplicación se realizó a 2 cm de distancia del medio.

## **8.8 Análisis de Muestras**

La determinación de las concentraciones de los metales en estudio se realizó por la técnica analítica Inducción de Plasma Acoplado de acuerdo al método EPA 3050 B y al 3051 B, digestión acida de sedimentos, lodos y suelos.

Se tomaron 50 g de muestra de cada mesocosmo desecándose durante 24 horas para eliminar la humedad presente en un horno a una temperatura de 40°C; posteriormente se realizó una digestión en 8 ml de ácido nítrico y 3 ml ácido clorhídrico en un horno durante una hora. Una vez digerido el suelo se aforo a 100 ml y se realizó la lectura de cada muestra en el equipo Inductor de plasma acoplado (Agency, 2007). En la siguiente tabla se presentan los resultados obtenidos para cada contaminante en evaluación

**Tabla 4. Concentraciones Obtenidas Cadmio Cd +<sup>2</sup>, Cromo +<sup>3</sup>, Hg+<sup>2</sup>**

Parámetro	Unidades	Técnica Analítica	Método	Identificación de la muestra			
				131014-32-1	221014-32-2	301014-32-3	051114-32-4
Cadmio 32 ppm	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	2,24	2,11	1,60	0,97
				131014-64-1	221014-64-2	301014-64-3	051114-64-4
Cadmio 64 ppm	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	8,63	4,29	3,73	3,35
				131014-40-1	221014-40-2	301014-40-3	051114-40-4
Cromo 40 ppm	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	9,50	9,76	8,56	7,63
				131014-80-1	221014-80-2	301014-80-3	051114-80-4
Cromo 80 ppm	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	13,26	10,35	9,27	7,30
				131014-36-1	211014-36-2	301014-36-3	051114-36-4
Mercurio 36 ppm	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	2,80	1,59	1,13	0,20
				31014-72-1	221014-72-2	301014-72-3	051114-72-4
Mercurio 72 ppm	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	4,08	4,29	2,37	2,01
				Blanco 131014-1	Blanco 221014-2	Blanco 301014-3	Blanco 051114-4
Mercurio	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	0,98	0,63	0,54	0,26
Cadmio	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	0,63	0,63	0,65	0,45
Cromo	mg/Kg	I.C.P	EPA 3050B - SM 3120 B	6,73	6,60	6,35	6,26

## 9. TRATAMIENTO ESTADISTICO

Teniendo en cuenta la cantidad de resultados obtenidos para cada uno de los metales evaluados, se empleó como tratamiento estadístico el test de Shapiro Wilk y el test de Mann Whitney; el primero por el número total de datos y el segundo debido a que no es posible asumir que los datos obtenidos se ajustan a una distribución conocida.

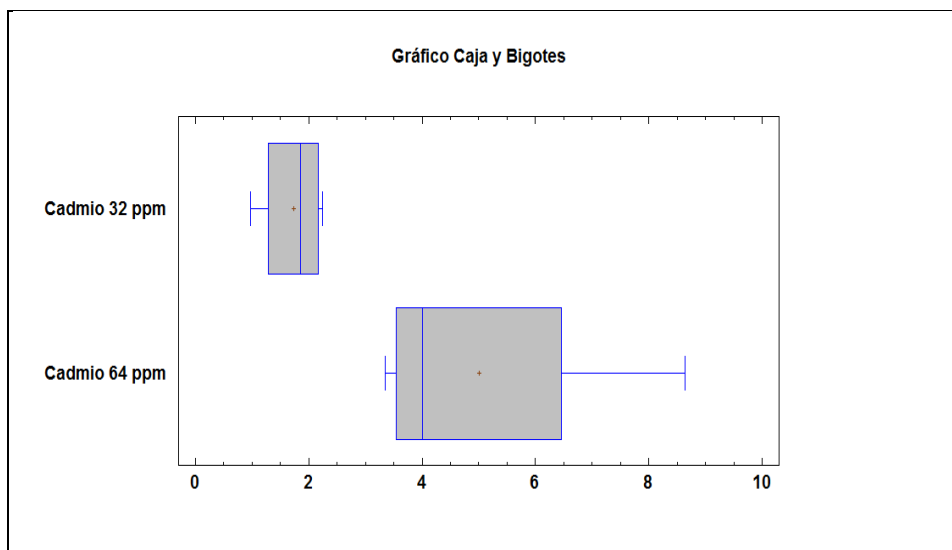
De acuerdo al análisis de normalidad para definir que no son datos paramétricos: el test de Shapiro Wilk establece que estos no se acomodan a una distribución normal con un value menor a 0.05 con un valor del 90 % de confianza, por tal motivo se realizó la prueba no paramétrica para dos muestras de comparación de medianas con el test de Mann Whitney (Wilcoxon) en donde se pudo establecer que las dos concentraciones de Cadmio estadísticamente presenta diferencias significativas con un p-value de 0.0303 con un nivel de confianza del 95 %, indicando esto que no se presentó la misma absorción de la solución con cadmio en el total de la masa de suelo empleada para el análisis.

**Tabla 5. Resumen Estadístico Resultados Cadmio 32 ppm – 64 ppm**

	Cadmio 32 ppm	Cadmio 64 ppm
Recuento	4	4
Promedio	1,73	5,0
Desviación Estándar	0,577062	2,45061
Coficiente de Variación	33,3562%	49,0121%
Mínimo	0,97	3,35
Máximo	2,24	8,63
Rango	1,27	5,28
Sesgo Estandarizado	-0,718508	1,51399
Curtosis Estandarizada	-0,327536	1,42749

**FUENTE:** Autor

**Gráfica 1. Cajas y Bigotes Concentraciones Cadmio Cd<sup>2+</sup>**



**FUENTE:** Autor

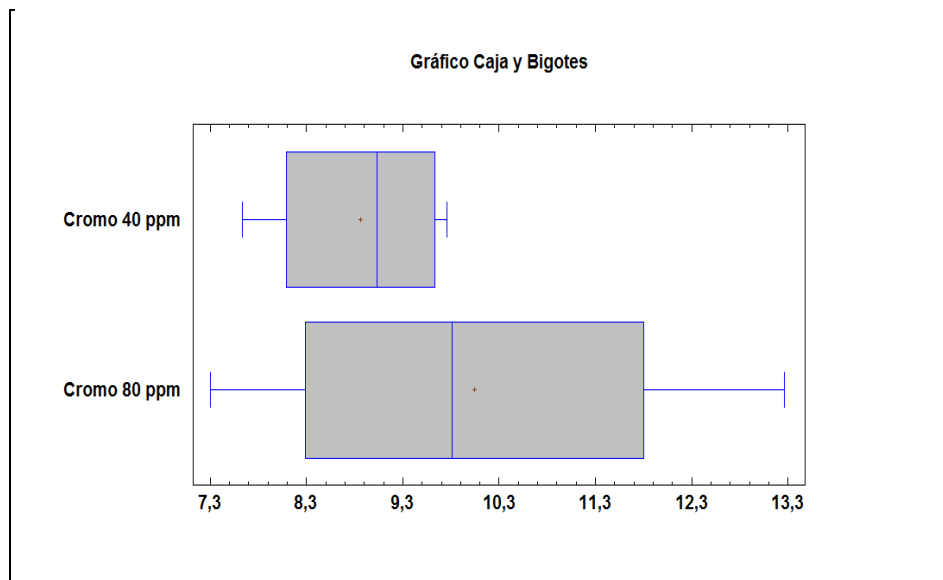
En cuanto a las concentraciones de cromo la prueba de Mann Whitney para comparación de medianas con un p-value de 0.665 establece que las dos muestras no presentan diferencias significativas con un valor de confianza del 95 %. Como se puede observar en la grafica 2, el diagrama de cajas y bigotes establece que el total de los datos empleados para cada concentración de Cadmio no se encuentran alejados de las medianas, o grupo central de datos.

**Tabla 6. Resumen Estadístico Resultados Cromo 40 ppm – 80 ppm**

	Cromo 40 ppm	Cromo 80 ppm
Recuento	4	4
Promedio	8,8625	10,045
Desviación Estándar	0,969961	2,48763
Coficiente de Variación	10,9446%	24,7649%
Mínimo	7,63	7,3
Máximo	9,76	13,26
Rango	2,13	5,96
Sesgo Estandarizado	-0,547509	0,428211
Curtosis Estandarizada	-0,699442	0,315858

**FUENTE:** Autor

**Gráfica 2. Cajas y Bigotes Concentraciones Cromo Cr<sup>+3</sup>**



FUENTE: Autor

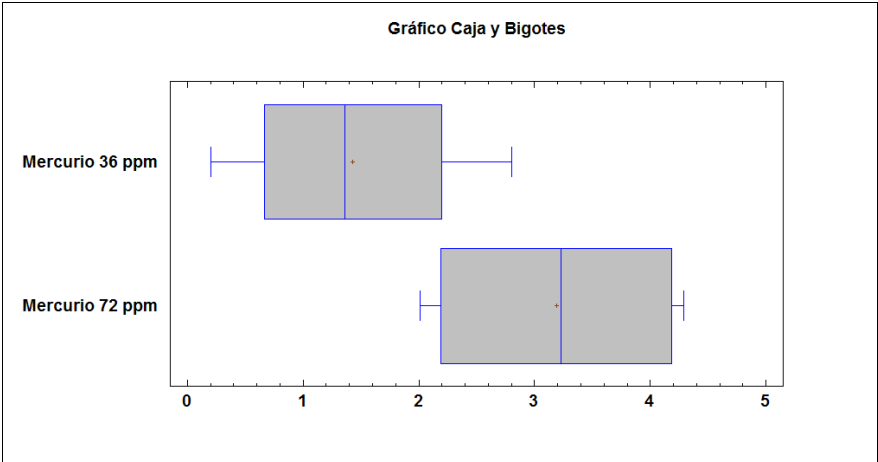
Para las concentraciones de Mercurio la prueba de Mann Whitney arrojando un valor de p-value de 0.112 establece que no existen diferencias significativas entre muestras este valor se compra con un intervalo de confianza del 95 %, presentando el mismo comportamiento las dos concentraciones trabajadas para este metal, correspondiente a 36 y 72 ppm, además de una adecuada absorción de las soluciones contaminantes en los mesocosmos trabajados.

**Tabla 7.** Resumen Estadístico Resultados Mercurio 36 y 72 ppm

	Mercurio 36 ppm	Mercurio 72 ppm
Recuento	4	4
Promedio	1,43	3,1875
Desviación Estándar	1,08096	1,16431
Coficiente de Variación	75,5914%	36,5275%
Mínimo	0,2	2,01
Máximo	2,8	4,29
Rango	2,6	2,28
Sesgo Estandarizado	0,296321	-0,0441188
Curtosis Estandarizada	0,289896	-2,19319

FUENTE: Autor

**Gráfica 3. Cajas y Bigotes Concentraciones Mercurio 36 y 72 ppm**



FUENTE: Autor



## 10. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La lombriz de tierra es un animal omnívoro, es decir que come de todo: animales, vegetales y minerales. Cuando la lombriz cava túneles en el suelo blando y húmedo, succiona o chupa la tierra y digiere de ella las partículas vegetales o animales en descomposición, expulsando los elementos no digeribles y los residuos metabólicos, que son los que forman el humus. Un porcentaje de los elementos en estudio Cadmio  $Cd^{+2}$ , Cromo  $Cr^{+3}$  y Mercurio  $Hg^{+2}$ , no son expulsados en el humus o las excretas de *Eisenia foetida*, ya que son bioacumulados en sus cuerpos, incorporando en sus tejidos parte de lo ingerido (bioacumulación). (Rodríguez A. R., 2002). La acumulación de metales pesados por las lombrices de tierra se asocia principalmente con los factores como el tipo de mineral del suelo, contenido de materia orgánica y las concentraciones de los metales (Turgay, 2011) Muchas investigaciones han revelado que lombrices de tierra tienen una capacidad de cambiar la disponibilidad, la absorción y la acumulación metales pesados debido a la acumulación de metales tóxicos a través de los tejidos de su cuerpo y por lo tanto reducir su participación en la cadena alimentaria del suelo. (Amity Institute of Microbial Technology, Amity University Uttar Pradesh, Noida, UP, India, 2015).

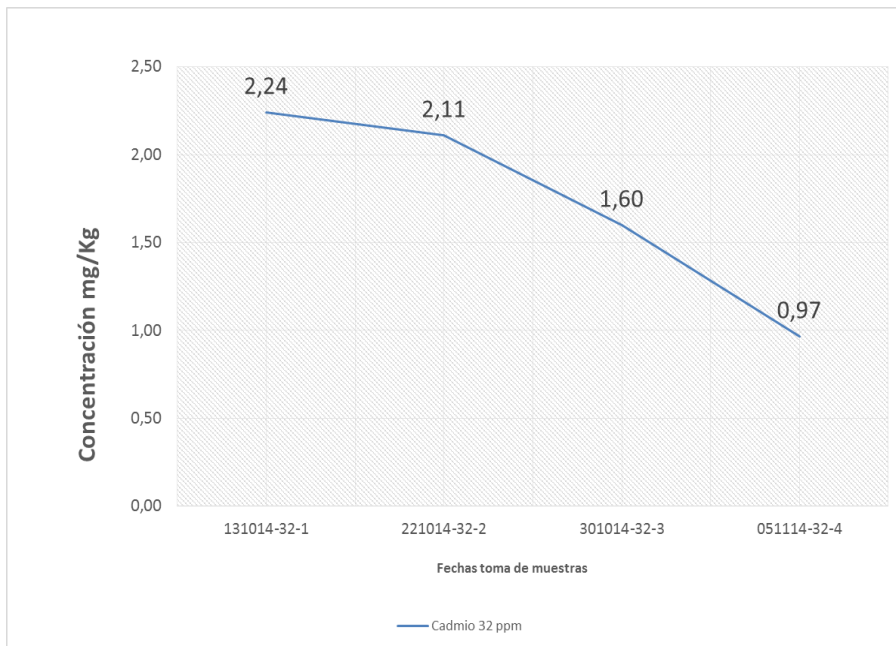
### 9.1 Resultados Cadmio $Cd^{+2}$

Para la primera semana de muestreo se evidenciaron cocones (huevos de lombriz), descartándose disminuciones en las poblaciones de *Eisenia foetida* asociadas por envenenamiento y/o intoxicación por cadmio, no se evidenciaron cambios físicos en los individuos inoculados, manteniéndose la coloración rojiza e intensa de las lombrices; en la siguiente grafica se presentan las concentraciones obtenidas para el mesocosmo del suelo contaminado con Cadmio a una concentración de 32 ppm.

Como se puede observar, las concentraciones de cadmio presentaron disminuciones durante el desarrollo del ensayo; para la segunda semana se presenta una disminución del 5,80% con respecto a la concentración registrada en la primera semana, manteniéndose esta tendencia en la tercera semana del ensayo aumentando el porcentaje de remoción de cadmio en el suelo, correspondiente a 24,2%; para la cuarta

semana del ensayo las concentraciones de cadmio se vieron reducidas en un 39,4% con respecto al valor registrado en la segunda semana del ensayo.

**Gráfica 4. Concentraciones de Cadmio Cd<sup>+2</sup> en Medio Contaminado con 32 ppm**



**FUENTE:** Autor

**Tabla 8. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cadmio Cd<sup>+2</sup> medio contaminado con 32 ppm**

Cadmio Cd <sup>+2</sup> - 32 ppm			
Disminución Concentraciones en suelo (%)	semana 2	semana 3	semana 4
	5,80	24,2	39,4

**FUENTE:** Autor

El mesocosmo trabajado con 64 ppm de Cadmio Cd<sup>+2</sup>, presento disminuciones superiores en las concentraciones de este metal, con respecto al medio trabajado con 32 ppm. Para la primera toma de muestras, el cadmio registró una concentración de 8,63 mg/kg reduciéndose a 4,29 mg/kg en la segunda semana del ensayo, equivalente a una remoción del 50,3%. Para la tercera semana del ensayo, disminuye el porcentaje de

remoción en las concentraciones de cadmio, registrándose 3,73 mg/kg equivalente a una remoción del 13,1% con relación a la segunda semana de monitoreo.

Para la cuarta semana de análisis la concentración de cadmio se determinó en 3,35 mg/kg con un porcentaje de remoción del 10,2%, en la gráfica 4 se presentan las concentraciones determinadas en los suelos trabajados con cadmio a una concentración de 32 ppm.

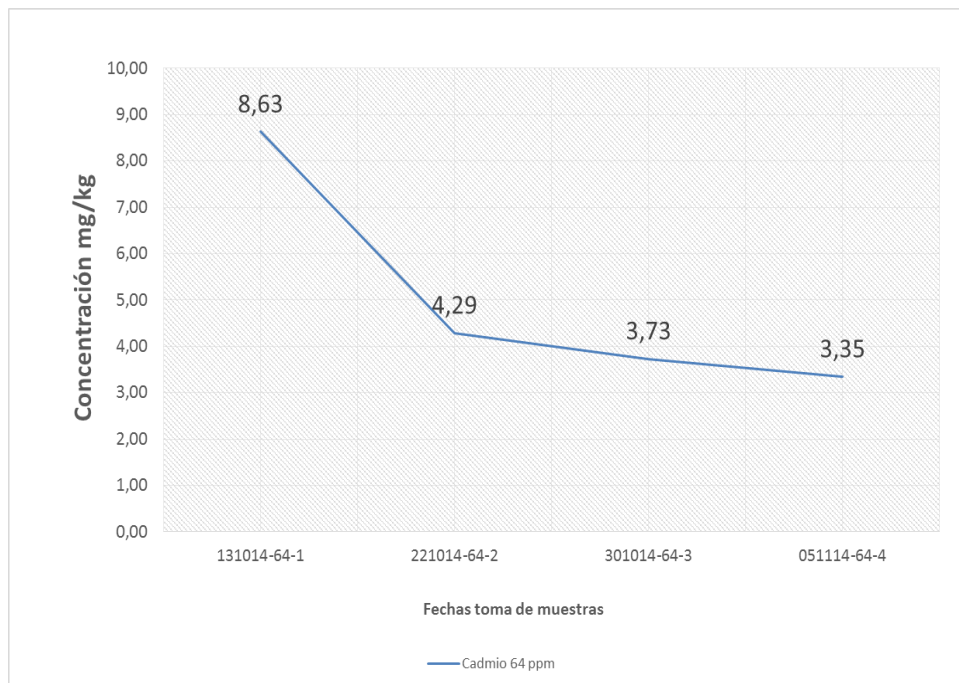
**Tabla 9. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cadmio Cd<sup>+2</sup> medio contaminado con 64 ppm**

Cadmio Cd <sup>+2</sup> - 64 ppm			
Disminución Concentraciones en suelo (%)	semana 2	semana 3	semana 4
	50,3	13,1	10,2

**FUENTE:** Autor

Se infiere que debido a la ausencia de otras fuentes de alimento y a la disponibilidad de Cadmio en el suelo, la bioacumulación del mismo se generó de manera acelerada en las dos primeras semanas del ensayo, disminuyendo en la tercera y la cuarta semana del ensayo, tiempo en los cuales se evidencio mortalidad de individuos de *Eisenia foetida*, los cuales no fueron cuantificados, además de algunos individuos que intentaban huir en horas de la noche, muriendo por causa de la falta de humedad en su medio, presentado esto también en el estudio realizado por Rodríguez, ya que en los tratamientos de más altas concentraciones los individuos presentaron tendencia a huir evitando cavar galerías en el compost. (Rodríguez A. R., 2002)

**Gráfica 5. Concentraciones de Cadmio Cd<sup>+2</sup> en Medio Contaminado con 64 ppm**



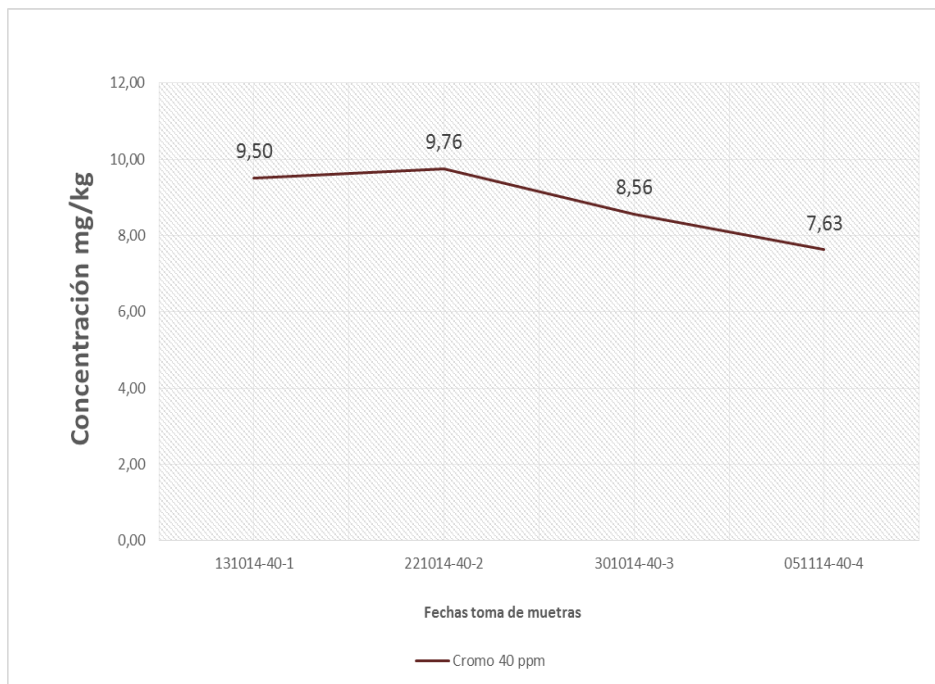
**FUENTE:** Autor

## 9.2 Resultados Cromo Cr<sup>+3</sup>

Para el medio contaminado con Cromo a 40 ppm, en la segunda semana de ensayo se evidencio un ligero incremento en las concentraciones de este metal, asociado a la aplicación realizada con la solución contaminante, indicando que durante la mitad del ensayo correspondiente a 15 días, la *Eisenia foetida* no logro adaptarse con éxito a su nuevo medio, siendo incapaz de disminuir las concentraciones de cromo Cr<sup>+3</sup> en el suelo durante este periodo de tiempo, haciéndose necesario la mezcla del medio con 200 g de compost, con el fin de incrementar la disponibilidad de nutrientes en el medio para incentivar el consumo de Cromo por parte de los individuos de *Eisenia foetida*. En la tercera semana de monitoreo, correspondiente al 30 de octubre del 2014, las concentraciones de Cromo muestran un descenso, con una reducción del 12,3% con respecto a la concentración registrada en la tercera semana, disminuyendo de 9,76 mg/kg a 8,56 mg/kg. Para la cuarta semana de tratamiento, el Cromo disminuyo sus concentraciones en 10,9% con respecto a la tercera semana de tratamiento, reduciéndose la tasa de disminución de Cromo con respecto a la presentada para el medio trabajado

con cadmio; en la gráfica 6 se presentan las concentraciones obtenidas para el medio contaminado con Cromo a 40 ppm.

**Gráfica 6. Concentraciones de Cromo Cr<sup>+3</sup> en Medio Contaminado con 40 ppm**



**FUENTE:** Autor

**Tabla 10. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cadmio Cr<sup>+3</sup> medio contaminado con 40 ppm**

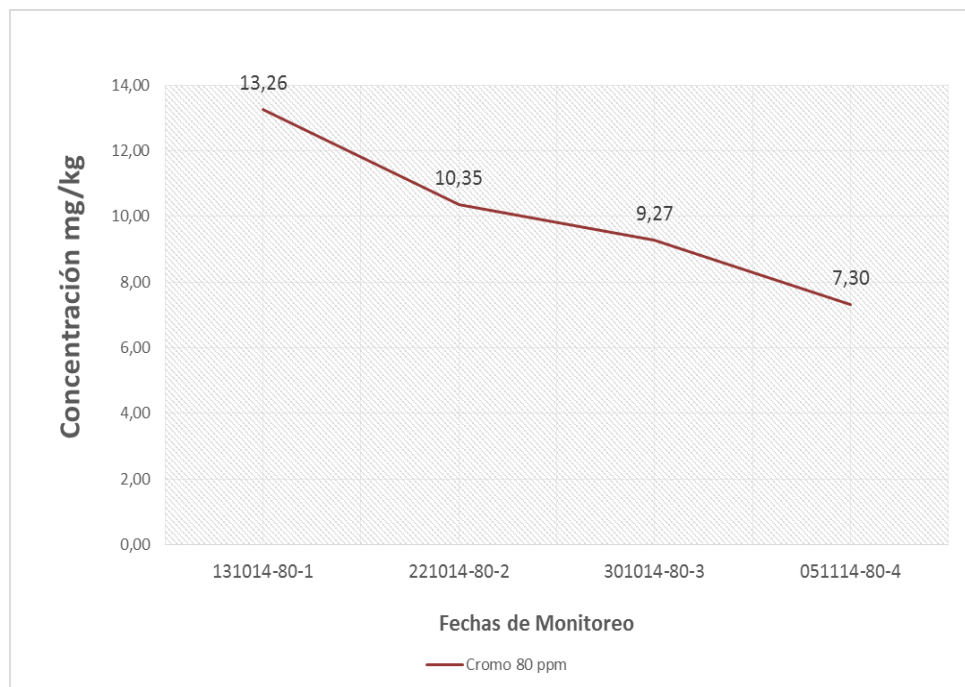
Cromo Cr <sup>+3</sup> - 40 ppm		
Disminución Concentraciones en suelo (%)	semana 3	semana 4
		12,3

**FUENTE:** Autor

Los suelos contaminados con Cromo a 80 ppm presentaron un comportamiento diferente al medio trabajado con Cromo a 40 ppm, puesto que la segunda semana del ensayo la concentración de este metal se vio reducida en 21,9%. Para la cuarta semana la concentración de cadmio disminuyo en 10,4%, incrementándose el porcentaje de remoción de cromo en 21,3% con relación a la tercera semana de muestreo. En la gráfica

7 se pueden observar los resultados obtenidos para el medio contaminado con Cromo a 80 ppm.

**Gráfica 7. Concentraciones de Cromo Cr<sup>+3</sup> en Medio contaminado con Cromo a 80 ppm**



**FUENTE:** Autor

A igual que en el medio trabajado con cadmio a 64 ppm, el medio de Cromo con la concentración más alta, presento porcentajes de remoción más altos en comparación del medio trabajado a menor concentración. A diferencia del medio de Cadmio, no se evidenciaron cocones de lombriz ni la presencia de individuos nuevos.

**Tabla 11. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Cromo Cr<sup>+3</sup> medio contaminado con 80 ppm**

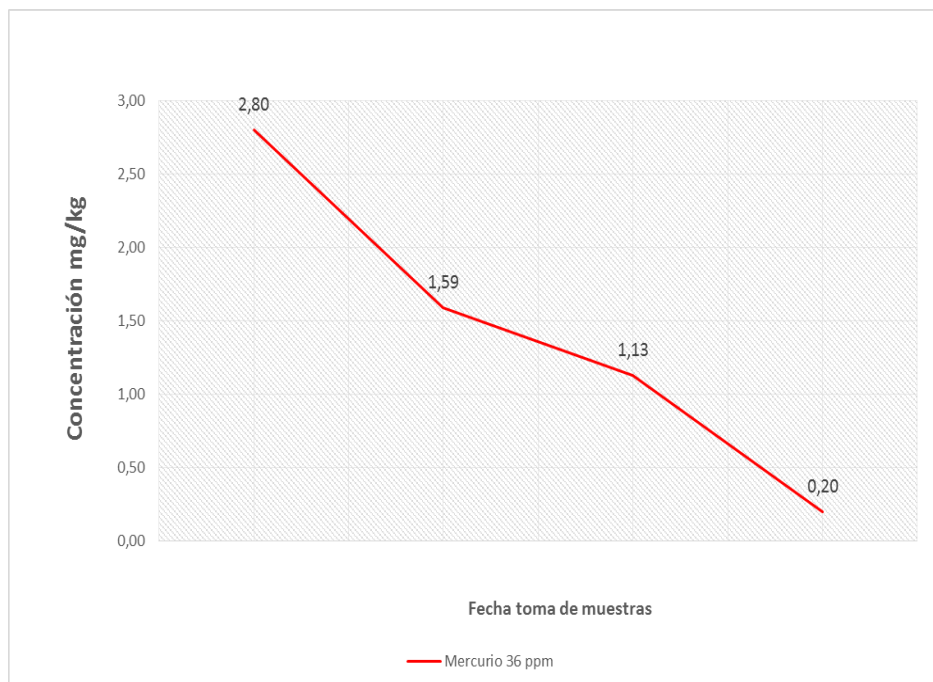
Cromo Cr <sup>+3</sup> - 80 ppm			
	semana 2	semana 3	semana 4
Disminución Concentraciones en suelo (%)	21,9	10,4	21,3

**FUENTE:** Autor

### 9.3 Resultados Mercurio Hg<sup>+2</sup>

El mercurio en el medio trabajado a 36 ppm, presento altas remociones en la segunda semana del ensayo, en comparación a las obtenidas para los elementos Cadmio y Cromo. Las muestras analizadas la segunda semana de monitoreo, indican una reducción del 43,2% en la concentración de mercurio con relación al valor registrado en la primera semana de monitoreo. Para la tercera semana del ensayo el porcentaje de remoción de mercurio, se vio disminuido con relación al presentado en la segunda semana de monitoreo, determinado en 28,9%; para la cuarta semana de monitoreo, el porcentaje de remoción de mercurio se vio incrementado de manera significativa determinado en 82,3%, presentando los resultados más favorables en comparación a los obtenidos para los metales Cadmio Cd<sup>+2</sup> y Cromo Cr<sup>+3</sup>.

**Gráfica 8. Concentraciones de Mercurio Hg<sup>+2</sup> medio Contaminado con Mercurio a 36 ppm**



**FUENTE:** Autor

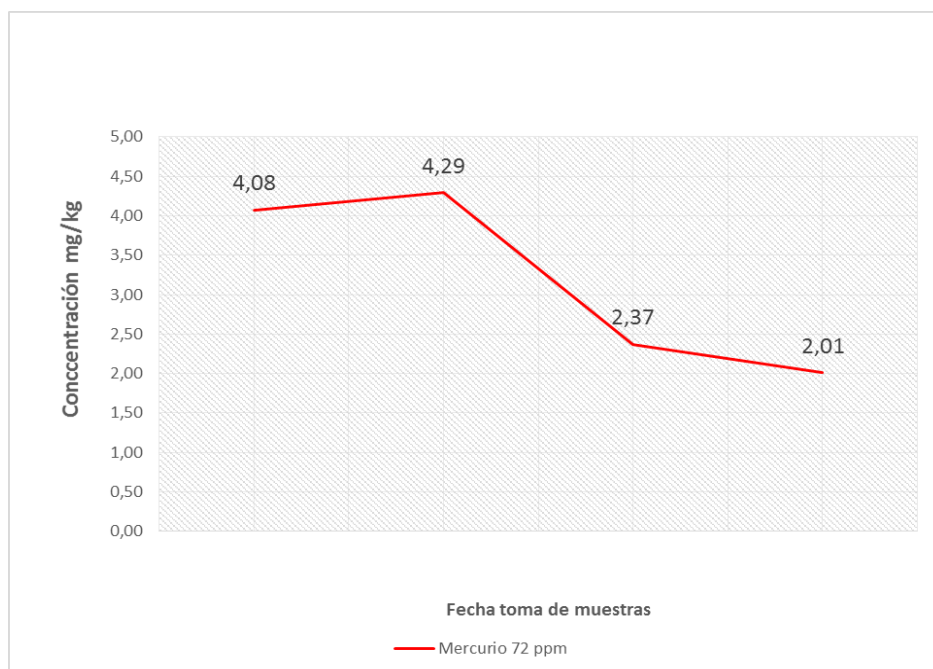
**Tabla 12. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Mercurio Hg<sup>+2</sup> medio contaminado con 36 ppm**

Mercurio Hg <sup>+3</sup> - 36 ppm			
Disminución Concentraciones en suelo (%)	semana 2	semana 3	semana 4
		43,2	28,9

**FUENTE:** Autor

Diferente comportamiento presentaron las concentraciones de mercurio a 72 ppm, ya que no se presentó una disminución en la concentración de este metal en la segunda semana del tratamiento, puesto que se determinaron concentraciones de 4,08 y 4,29 mg/kg en la primera y segunda semanas del ensayo, respectivamente. Para la tercera semana el mercurio se vio disminuido en 44,8% con relación a la concentración determinada en la segunda semana del tratamiento.

**Gráfica 9. Concentraciones de Mercurio medio contaminado con Mercurio a 72 ppm**



**FUENTE:** Autor



Para la cuarta semana, el porcentaje de remoción apenas fue del 15,2%, determinándose una concentración de 2,01 mg/kg variando el porcentaje de remoción de mercurio durante el periodo del tratamiento, correspondiente a 4 semanas, asociándose esto con la mortalidad de parte de la población de *Eisenia foetida*, causada por la falta de nutrientes y otra fuente de alimento, diferente a su medio de crecimiento.

**Tabla 13. Porcentaje de Disminución Concentraciones de Mercurio Hg<sup>+2</sup> medio contaminado con 72 ppm**

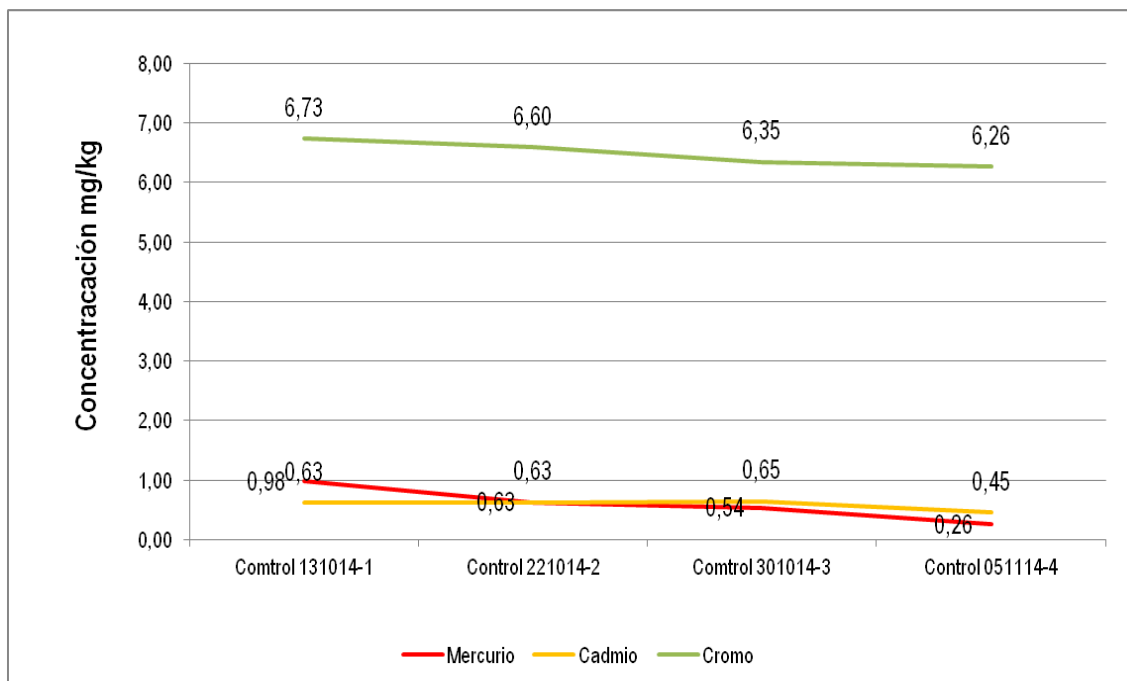
Mercurio Hg <sup>+3</sup> - 72 ppm		
	semana 3	semana 4
Disminución Concentraciones en suelo (%)	15,2	0,0

**FUENTE:** Autor

#### 9.4 Resultados Control

El Mesocosmo control, en el cual no se incrementaron las concentraciones deliberadamente de los elementos en estudio Cadmio<sup>+2</sup>, Cromo<sup>+3</sup> y Mercurio<sup>+2</sup>, presento disminuciones discretas de las concentraciones de Cadmio<sup>+2</sup> y Cromo<sup>+3</sup>, concluyéndose que las bajas concentraciones de estos metales en el suelo, limitan su remoción por medio de la bioacumulacion de *Eisenia foetida*, haciéndose necesaria la mezcla del sustrato con otra fuente de alimento, que permita el consumo de suelo contaminado, puesto que en el medio de cromo a 40 ppm se presenta la misma situación.

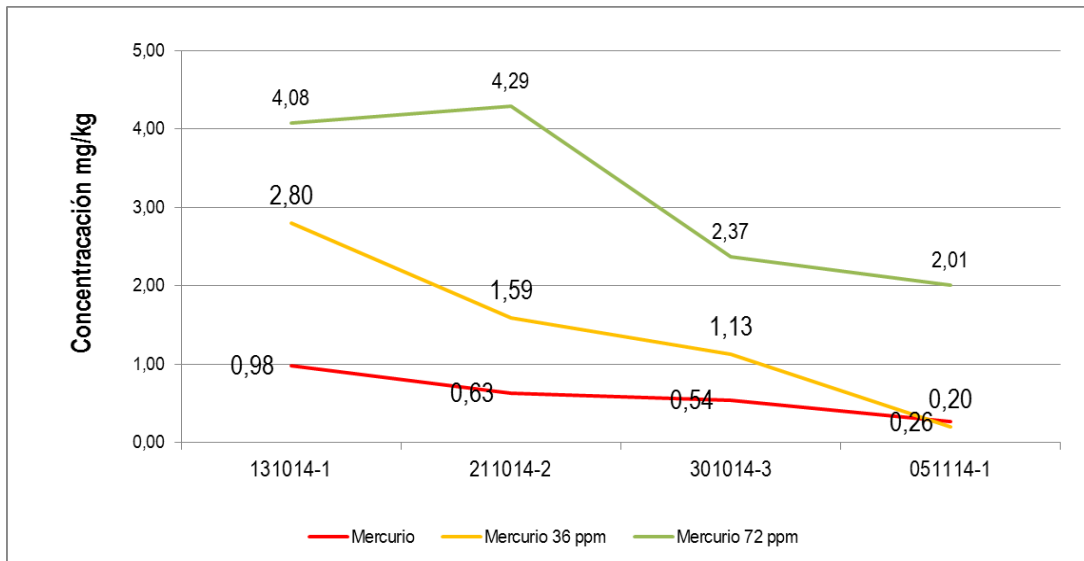
**Gráfica 10. Concentraciones Metales en Estudio Mesocosmo Control**



**FUENTE:** Autor

En la segunda semana de tratamiento el mercurio presento una disminución en su concentración del 35,7% con respecto a la concentración determinada en la primera semana del tratamiento; en la tercera semana disminuye la tasa de remoción de mercurio, determinándose en 14,3% incrementándose sustancialmente en la última semana hasta alcanzar un porcentaje de remoción de 48,1%: en la gráfica 7 se presenta la comparación de las concentraciones determinadas para los medios trabajados con mercurio a 36 y 72 ppm con el medio control. Como se puede observar los tres elementos presentaron una tendencia similar en la disminución de las concentraciones de mercurio.

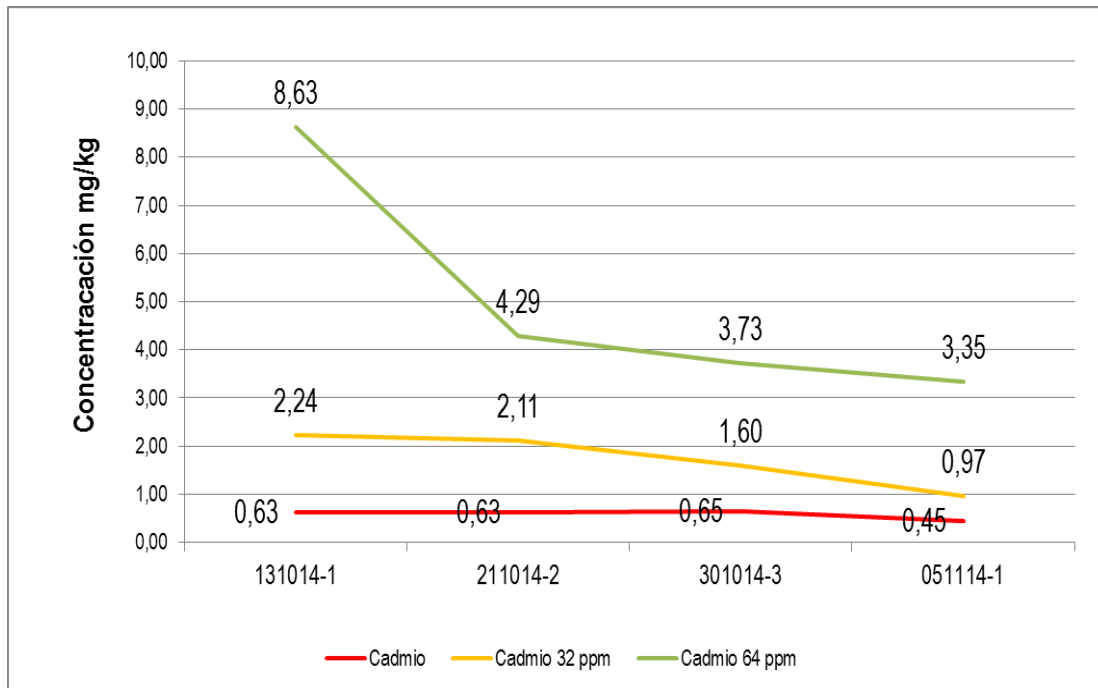
**Gráfica 11. Concentraciones Mercurio Hg<sup>+2</sup> 36 ppm y 72 ppm vs. Medio Control**



**FUENTE:** Autor

El Cadmio<sup>+2</sup> por el contrario no presentó remociones en su concentración durante tres de las cuatro semanas de tratamiento, para la cuarta semana se registró una disminución del 30,8% pasando de 0,65 mg/kg a 0,45 mg/kg de concentración; en las tres primeras semanas de tratamiento el Cadmio mantuvo su concentración estable sin cambios representativos, tal como se presentó en el medio trabajado con Cadmio a 32 ppm en el cual durante las dos primeras semanas de tratamiento no se registraron disminuciones importantes en la concentración de cadmio.

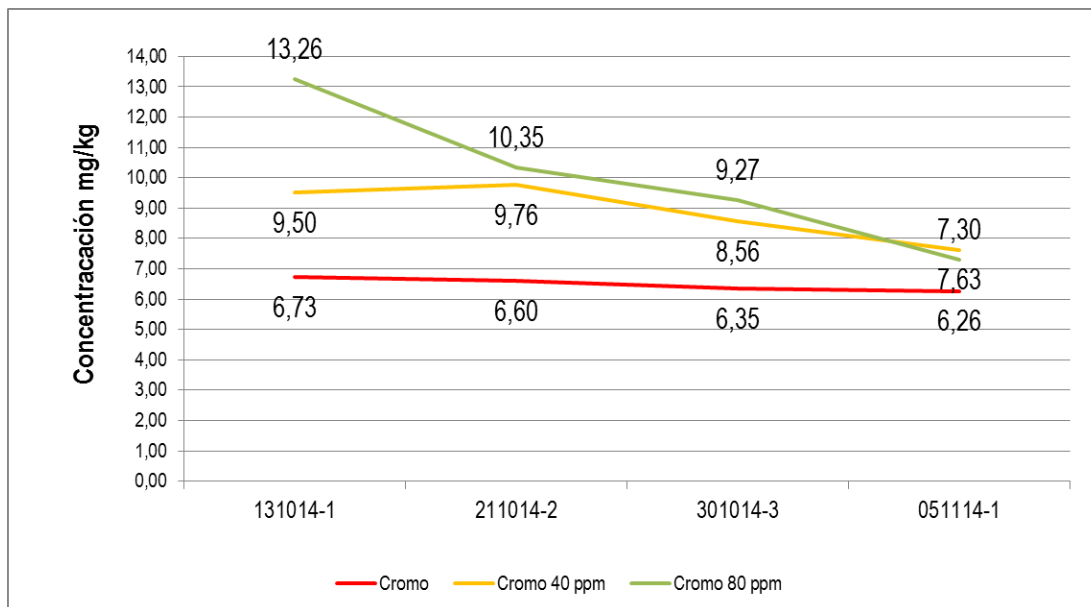
**Gráfica 12. Concentraciones Cadmio Cd<sup>2+</sup> 32 ppm y 64 ppm vs. Medio Control**



**FUENTE:** Autor

En cuanto al cromo, se presentaron ligeras disminuciones de su concentración a lo largo del tratamiento: para la segunda semana se determinó una reducción de 1,9% con respecto a la concentración registrada en la primera semana de tratamiento; en la tercera semana se incrementa ligeramente la tasa de reducción de cromo hasta 3,79%. En la cuarta semana se registró una disminución apenas del 1,42%. En la siguiente gráfica se muestran las concentraciones registradas en los tratamientos trabajados con 32 y 64 ppm comparadas con las concentraciones del medio control.

**Gráfica 13. Concentraciones Cromo Cr<sup>+3</sup> 40 ppm y 80 ppm vs. Medio Control**



**FUENTE:** Autor

Las lombrices de tierra por lo general pueden digerir suelo o materiales orgánicos, a razón de 60% de su de masa corporal y defecar sus partículas fecales que se denominan coladas de lombrices en sus madrigueras en el suelo (Turgay, 2011), siendo esto coherente con los resultados obtenidos, ya que en los mesocosmos trabajados la única fuente de alimento correspondió exclusivamente a los metales disueltos en estudio, además de otros elementos disponibles en el suelo colectado. Los tres elementos en estudio Cadmio Cd<sup>+2</sup> y Cromo Cr<sup>+3</sup> en las dos concentraciones trabajadas y el Mercurio Hg<sup>+2</sup> a 36 ppm, presentaron disminuciones importantes en sus concentraciones en las dos primeras semanas del tratamiento.

En la tercera y cuarta semana de tratamiento el porcentaje de remoción en la concentración de los medios trabajados a concentraciones más altas: Cadmio Cd<sup>+2</sup> a 64 ppm, Cromo Cr<sup>+3</sup> a 40 ppm y Mercurio Hg<sup>+2</sup> a 72 ppm disminuyo con respecto a los determinados en la primera y segunda semana de tratamiento, asociándose esto con una disminución en las poblaciones de individuos de *Eisenia foetida*, ya que aunque la temperatura y humedad de los medios no fueron adversos para su crecimiento, la ausencia de alimento y nutrientes del sustrato en que vivían genera un ambiente de estrés que condiciona el desarrollo de *Eisenia foetida*, congruente a los resultados obtenidos por

Duran y Henriquez y Aira et al. (2007) quienes mencionan que cualquier factor de estrés en el medio se traduce en una elevación de la tasa metabólica de la lombriz, acrecentando el gasto energético y generando una reasignación de recursos que podría estar enfocado al crecimiento corporal en detrimento de la reproducción. (Henriquez, Lolita Duran - Carlos, 2009)

Debido al ambiente de estrés al que fueron sometidos los individuos de *Eisenia foetida* y el incremento de su tasa metabólica se presume un mayor consumo en la ingesta de alimento, en este caso los metales disueltos en estudio. Los metales en estudio no son eliminados en las excretas o humus de las lombrices, por el contrario son acumulados en sus tejidos: el alimento es humedecido y pre digerido con un líquido similar a la secreción del páncreas humano; luego son aspirados por la faringe hasta el esófago, que posee glándulas calcíferas encargadas de neutralizar la acidez de los alimentos y regular el equilibrio ácido-base del cuerpo (A.J. Marshal, 1985). El Papo empuja el alimento a la molleja donde es molido con poderosas contracciones; finalmente en el intestino, se completa el resto de la digestión y la mayor parte de la absorción. El 60% del alimento consumido se convierte en humus y lo restante lo utiliza para su metabolismo y generar tejidos corporales, tejidos en los cuales se acumulan los metales ingeridos, el mercurio por ejemplo se acumula en los intestino del organismo (Rodríguez C. R., 2014).

Adicional a la bioacumulación del Cadmio, Cromo y Mercurio en *Eisenia foetida*, los altos porcentajes de arcilla en las muestras de suelo, disminuyen la retención de los mismos en las partículas de suelo, permitiendo una mejor absorción por parte de *Eisenia foetida*. (Baena, 2008), sin embargo los altos porcentajes de arcilla, generan alta retención de agua, en este caso la aplicada con las soluciones contaminantes, limitando la actividad de *Eisenia foetida* al dificultarse su movimiento y la creación de sus galerías en los suelos.

El Potencial de hidrogeniones del suelo y la textura de los suelos en estudio, pudo influir en la asimilación de los metales en estudio, ya que en estudio realizado por Wei - Chun Ma (Chun-Ma, 1987), sobre la acumulación de cadmio, plomo y zinc en lombrices de tierra y topes, se determinó que en suelos arenosos y con pH ácido, se dio una mayor absorción de cadmio, incluso cuando sus concentraciones eran bajas, presentándose similar comportamiento en el presente estudio, puesto que el mesocosmo trabajado con

cadmio a 32 y 64 ppm, presento reducciones significativas en las concentraciones de este metal.

Además de disminuir las concentraciones de los metales en estudio, las fundiciones o humus de la *Eisenia foetida* mejora las características de los suelos, puesto que este residuo es rico en carbono y nitrógeno, aumentando la estabilidad del suelo al generar la formación de agregados en el mismo. Adicional a esto las excretas de *Eisenia Foetida* incrementan la actividad enzimática en los suelos, puesto que la disponibilidad de fosforo en el humus incrementa la actividad enzimática o bien un aumento de la actividad microbiana (Amity Institute of Microbial Technology, Amity University Uttar Pradesh, Noida, UP, India, 2015), complementado esto con la disminución de la biodisponibilidad de metales pesados en el suelo que inhiben la actividad enzimática y microbiana, al ser acumulados en los tejidos de la lombriz.

## 11. CONCLUSIONES

- De acuerdo a las concentraciones determinadas de los metales Cadmio  $Cd^{+2}$ ,  $Cr^{+3}$  y  $Hg^{+2}$  en cada una de las semanas de tratamiento, es posible afirmar que la lombriz roja californiana *Eisenia foetida* es capaz de disminuir las concentraciones de estos metales en muestras de suelo, ya que durante las cuatro semanas de tratamiento se presentaron reducciones importantes en las concentraciones de estos metales, con diferentes proporciones para cada uno de los metales en estudio.
- De los metales en estudio, el Mercurio trabajado a 36 y 72 ppm y el Cadmio trabajado a 32 y 64 ppm, presentaron las disminuciones más altas en sus concentraciones, demostrando que *Eisenia foetida* se encuentra en la capacidad de tratar suelos contaminados con los metales pesados Cadmio y Mercurio.
- Aunque se presentaron disminuciones en las concentraciones de los medios trabajados con Cromo a 40 y 80 ppm, fue necesario la mezcla del sustrato con Compost fresco de tal manera que fuera posible la ingesta de suelos contaminado con Cromo, indicando esto que *Eisenia foetida* no asimila fácilmente el elemento Cromo en su digestión.
- Es posible que al realizarse una mezcla de suelo contaminado con otra fuente de nutrientes como residuos orgánicos, se incrementen los porcentajes de disminución de las concentraciones de los metales Cadmio  $Cd^{+2}$ , Cromo  $Cr^{+3}$  y Mercurio  $Hg^{+2}$  en los suelos contaminados, ya que la ausencia de otros nutrientes posibilita la disminución de las poblaciones de *Eisenia foetida*, ya que los medios con las concentraciones más altas durante la cuarta y tercera semana del tratamiento, disminuyeron las tasa de disminución de las concentraciones de los metales en estudio.
- Se determinó la capacidad de *Eisenia foetida*, como alternativa de tratamiento para suelos contaminados con los metales Cadmio  $Cd^{+2}$ , Cromo  $Cr^{+3}$  y



Mercurio  $Hg^{+2}$  ya que se obtuvieron disminuciones importantes en las concentraciones de estos metales en periodos cortos de tiempo, además de ser una alternativa rentable puesto que no requiere de grandes inversiones y las variables de control para el crecimiento de este agente biológico resultan sencillas de manejar.

- La textura franco arcillosa y el potencial de hidrogeniones de las muestras de suelo tomadas en el sector rural del barrio Ciudad Latina en el municipio de Soacha, limitando la actividad de *Eisenia foetida* al presentarse alta retención de agua en los mesocosmos, limitando el movimiento del organismo en la masa de suelo, pudiéndose generar condiciones anoxicas por la baja porosidad del suelo.
- Se demostró la efectividad y eficiencia de *Eisenia foetida* como agente biológico para el tratamiento de suelos contaminados con mercurio, cadmio y cromo, siendo esta una opción ambientalmente sostenible e innovadora, puesto que en Colombia, no se aprovecha el potencial de estos organismos, más que para la producción de abonos orgánicos para el suelo, aun cuando existen variedad de estudios de lombrices de tierra en el tratamiento de suelos contaminados con otras sustancias xenobioticas.
- Además de ser un agente biológico para el tratamiento de suelos, la *Eisenia foetida* puede emplearse como bioindicador de suelos contaminados, teniendo en cuenta la alta acumulación en sus tejidos y su alta resistencia a la toxicidad de los mismos.

## 12. RECOMENDACIONES

Realizar estudios en suelos con diferentes texturas, con el fin de evaluar la respuesta de *Eisenia foetida* para el tratamiento de metales pesados, pudiéndose ampliar su capacidad de uso en otras regiones del país, sin limitarse a suelos de la sabana de Bogotá, puesto que el recurso suelo presenta diferentes características dependiendo de su origen geológico y la afectación que presente.

Controlar el pH en los suelos a tratar, puesto que la *Eisenia foetida* y otras variedades de lombriz de tierra, presentan un mejor comportamiento en suelos con pH en rangos de 5 a 6 unidades; por el contrario en suelos ácidos y muy alcalinos, no logra adaptarse ni sobrevivir.

Realizar una mezcla de suelo contaminado con otra fuente de alimento que brinde nutrientes a los individuos de *Eisenia foetida*, ya que se pueden presentar una mayor absorción de suelo contaminado con el consecuente incremento en la disminución de las concentraciones de los contaminantes en los suelos.

Incentivar el uso de *Eisenia foetida* para el tratamiento de suelos contaminados, ya que es un tratamiento limpio que no genera afectación al ambiente, resultando ser eficiente y económico, pudiéndose implementar en variedad de industrias que generan afectación en el recurso suelo, e incluso para el tratamiento de lodos de plantas de tratamiento de aguas residuales.

### 13. BIBLIOGRAFIA

(s.f.).

A.J. Marshal, W. W. (1985). Anelidos. En A. Marshal, *Zoología Invertebrados* (pág. 378). Londres: The Macmillian Press Ltd.

Adriana Palafox, A. H. (2012). *Métodos Ecotoxicológicos para la evaluación de suelos contaminados con hidrocarburos*. Veracruz: SEMARNAT.

Agency, E. P. (2007). *METHOD 3051A*.

AMAP. (1998). *Artico, Problemas de Investigación*. Oslo, Noruega: AMAP.

Amity Institute of Microbial Technology, Amity University Uttar Pradesh, Noida, UP, India. (2015). *Heavy Metal Contamination of soils Volumen 44*. Berlin: Irena Sherameti - Ajit Varma.

aVasques, R. (s.f.).

Baena, E. G.-A. (2008). Contaminación de Suelos por Metales Pesados. *Revista de la Sociedad Española de Mineralogía*, 49-51.

Benninghoff, M. J. (1996). Ecobusiness : enjeux. En P. Knoepfel, *Ecobusiness : enjeux* (págs. 332 - 333). Francfort: Helbing y Lichtenhahn.

Celeste Fernandez, H. L. (2001). Contribución de la lombriz eisenia foétida en el proceso de biodegradación de un suelo contaminado. *La Investigación en el Siglo XXI: Oportunidades y Retos* (pág. 573). Valencia: Universidad de Carabobo.

Chun-Ma, W. (1987). Las lombrices de tierra y topos como indicadores de la biodisponibilidad de metales en ambientes terrestres. *Medio Ambiente, Contaminación y Toxicología*, 937.

- Degrossi, M. C. (2013). Conceptos Básicos de Toxicología - Toxicocinética. *Fascículos*, 56.
- Dorronsoro, C. (2008). Propiedades del Suelo. En C. Dorronsoro, *Introducción a la Edafología*. Madrid: SECS.
- Enfermedades, A. p. (Abril de 1999). Mercurio. Atlanta, Estados Unidos.
- Enfermedades, A. p. (Septiembre de 2008). Cromo. Atlanta, Estados Unidos.
- Enfermedades, A. p. (Septiembre de 2012). Cadmio. Atlanta, Estados Unidos.
- Ercoli, E. C. (1998). Tratamientos Biologicos. *Curso Latinoamericano de Especialización en Técnicas de Remediación Ambiental* (págs. 1-2). Buenos Aires: AIDIS.
- Gómez, J. I. (2008). Ingeniería Verde: doce principios para la sostenibilidad. *Virtual PRO*.
- Henriquez, Lolita Duran - Carlos. (2009). Crecimiento y Reproduccion de la Limbriz Roja en Cinco Sustratos Orgánicos. En U. d. Rica, *Agronomía Costarricense* (pág. 280). San José.
- ICONTEC. (23 de Julio de 1997). *NTC 4113-2 GESTION AMBIENTAL CALIDAD DEL SUELO.MUESTREO.GUIS SOBRE TECNICAS DE MUESTREO*. Recuperado el 05 de 11 de 2014, de <http://tienda.icontec.org/>
- J, L. (2012). *Respuesta fisiológica de la comunidad bacteriana en suelos contaminados por cadmio y el papel de la lombriz (A.caliginosa) como posible biorremediador*. Zaragoza: Universidad de Zaragoza.
- Jaramillo, D. (2002). Introduccion . En D. Jaramillo, *Introducción a la ciencia del suelo* (pág. vi). Medellín: Universidad Nacional de Colombia.

- Jesus Arroyo, C. O. (2011). Biorremediación de suelos de vertedero en términos de metales contaminantes mediante el uso de la lombriz roja californiana. *Journal of Global Environmental Issues*.
- IASAT, M. (2000). PHYTOEXTRACTION OF METALS FROM CONTAMINATED SOIL: A REVIEW OF PLANT/ SOIL/ METAL INTERACTION AND ASSESSMENT OF PERTINENT AGRONOMIC ISSUES. *Revista de Investigación de Sustancias peligrosas*, 4-5.
- León, I. G. (Mayo de 2013). *Evaluación de la Contaminación por Metales Pesados en el Agua para Riego de Hortalizas Proveniente del Río Bogotá en el Municipio de Soacha - Vereda Ciudad Latina*. Obtenido de Universidad Central: [www.biblios.ucecentral.edu.co](http://www.biblios.ucecentral.edu.co)
- M. I. Litter, M. A. (2009). *Metodologías Analíticas para la Determinación y Especiación de Arsenico en Aguas y Suelos*. Argentina: CYTED Ciencia y Tecnología para el Desarrollo.
- Moscow State University of Engineering Ecology. (1998). INDUSTRIAL ECOLOGY ENGINEERING EDUCATION AND SOLUTION. *Chemical and Petroleum Engineering* (pág. 611). St Petersburg: Kluwer Academic/Plenum Publishers.
- OCDE. (2012). *La Estrategia de Innovación de la OCDE Empezar Hoy el Mañana*.
- Osorno, O. E. (21 de Septiembre de 2009). Hortalizas con Exceso de Metales Tóxicos. Bogotá D.C., Colombia.
- Osorno, O. E. (21 de Septiembre de 2009). Hortalizas con Exceso de Metales Tóxicos. *Agencia Nacional de Medios*.
- Reyes, T. (1999). Métodos cualitativos de investigación: los grupos focales y el estudio de caso. *Forum Empresarial Centro de investigaciones comerciales e Iniciativas Académicas* (págs. 83 - 85). Mayaguez: Centro de Investigaciones e Iniciativas Comerciales Universidad de Puerto Rico.

- Rodrigo Vazques, H. B. (2008). Biología de la Lombriz de Tierra. En H. B. Rodrigo Vazquez, *Manejo Empresarial del Campo* (pág. 22). Bogotá D.C.: Produmedios.
- Rodríguez, A. R. (2002). Efecto del Cromo en Eisenia Foetida: toxicidad y bioacumulación. *Natura Neotropicalis*, 56.
- Rodríguez, C. R. (2014). El papel de las lombrices de tierra en Mercurio Evaluación de la Contaminación del Suelo. En M. J. Moreno, *Química Ambiental de contaminantes y desechos* (pág. 159). Heidelberg: E. Jiménez et al. (Eds.).
- Rodríguez, J. M. (2011). Métodos de Investigación Cualitativa. *Silogismo, mas que concepto*, 14.
- Santiago, F. L. (1995). *Contaminación y Depuración de Suelos*. Barcelona: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Soacha, C. M. (2008). Plan de Desarrollo Municipal de Soacha 2008 - 2011. *Acuerdo Numero 18 Plan de Desarrollo*, (pág. 29). Soacha.
- Turgay, O. C. (2011). Detoxification of Heavy Metals Using Earthworms. En *Biología de Suelos* 30 (págs. 410-411). Berlin: I. Sherameti y A. Varma.
- Viñuela, E. L. (02 de Febrero de 2015). *Universidad Nacional Mayor de San Marcos* . Obtenido de Universidad Nacional Mayor de San Marcos : <http://quimica.unmsm.edu.pe/>

# ANEXOS

REGISTRO ANALISIS INDUCTOR DE PLASMA  
ACOPLADO ICP



Flexible	Report	By	Sample			
<b>Author:</b>						
Published:	21/11/2014	10:15:52AM				
Method	Name:	Hg	ppm	-1		
StandardName	Stated	Found	Diff	%Diff	(S)IR	Stddev
Blanco	0.0000	-0.0002203	0.0002203	0.0000	-0.05697	0.0000
STD1 1ppm	1.000	1.153	0.1531	15.31	68.77	0.0000
STD2 5ppm	5.000	5.142	0.1422	2.844	306.9	0.0000
STD3 10ppm	10.00	10.42	0.4196	4.196	621.8	0.0000
STD4 20ppm	20.00	20.37	0.3702	1.851	1,216	0.0000
STD5 50ppm	50.00	48.91	-1.085	-2.170	2,919	0.0000
StandardName	Stated	Found	Diff	%Diff	(S)IR	Stddev
Blanco	0.0000	-0.0001500	0.0001500	0.0000	0.2309	0.0000
STD1 1ppm	1.000	1.142	0.1415	14.15	94.59	0.0000
STD2 5ppm	5.000	5.001	0.0006014	0.01203	413.5	0.0000
STD3 10ppm	10.00	10.14	0.1398	1.398	838.3	0.0000
STD4 20ppm	20.00	20.00	0.001096	0.005480	1,653	0.0000
STD5 50ppm	ppm	50.00	49.72	-0.2831	-0.5661	4,109
Repeat:	1	0.0867029	0.100285	0.0771637		
SampleName	AcquisitionDate	CorrectionFactor				
1ppm	21/11/2014	8:53:01AM	1.00			
Concentration						
Element/Wavelength	Hg1849	Hg1942	Hg2536			
Units:	mg/L	mg/L	mg/L			
Avg.	of	Repeats:	111.273			
Std	Dev:	0	0	0		
%RSD:	0	0	0			
Repeat:	1	111.273	118.516			
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Blanco131014-1	21/11/2014	8:54:12AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength	Cd2265	Hg1942	Cr 2677			
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:	<b>0,63</b>	<b>0,98</b>	<b>6,73</b>			

Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Blanco131014-2	21/11/2014	8:54:12AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength	Cd2265	Hg1942	Cr 2677			
Units:	mg/L	mg/L	mg/L			
Avg.	Repeats:	Repeats:	Repeats:			
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:	<b>0,63</b>	<b>0,63</b>	<b>6,60</b>			
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Blanco301014-3	21/11/2014	8:55:26AM	25.01			
Concentration						
Element/Wavelength	Cd2265	Hg1942	Cr 2677			
Units:	mg/L	mg/L	mg/L			
Avg.	Repeats:	Repeats:	Repeats:			
Std		0				
%RSD:	0	0	0			
Repeat:	<b>0,65</b>	<b>0,54</b>	<b>6,35</b>			
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Blanco051114-4	21/11/2014	8:56:29AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength	Cd2265	Hg1942	Cr 2677			
Units:	mg/L	mg/L	mg/L			
Avg.	Repeats:	Repeats:	Repeats:			
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:	<b>0,45</b>	<b>0,26</b>	<b>6,26</b>			
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd131014-32-1	21/11/2014	8:57:32AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>2,24</b>				

Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd221014-32-2	21/11/2014	8:58:39AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>2,11</b>				
StandardName	Stated	Found	Diff	%Diff	(S)IR	Stddev
Blanco	0.0000	0.0000	-0.05697	0.0000	1	
STD1 1ppm	1.000	1.037	0.03692	3.692	68.77	0.0000
STD2 5ppm	5.000	4.847	-0.1530	-3.060	306.9	0.0000
STD3 10ppm	10.00	10.05	0.05080	0.5080	621.8	0.0000
STD4 20ppm	20.00	20.11	0.1086	0.5432	1,216	0.0000
STD5 50ppm	50.00	49.96	-0.04165	-0.08329	2,919	0.0000
StandardName	Stated	Found	Diff	%Diff	(S)IR	Stddev
Blanco	0.0000	-0.0001500	0.0001500	0.0000	0.2309	0.0000
STD1 1ppm	1.000	1.142	0.1415	14.15	94.59	0.0000
STD2 5ppm	5.000	5.001	0.0006014	0.01203	413.5	0.0000
STD3 10ppm	10.00	10.14	0.1398	1.398	838.3	0.0000
STD4 20ppm	20.00	20.00	0.001096	0.005480	1,653	0.0000
STD5 50ppm	50.00	49.72	-0.2831	-0.5661	4,109	0.0000
StandardName	Stated	Found	Diff	%Diff	(S)IR	Stddev
Blanco	0.0000	-0.0001197	0.0001197	0.0000	-0.8068	0.0000
STD1 1ppm	1.000	1.171	0.1710	17.10	49.65	0.0000
STD2 5ppm	5.000	4.889	-0.1107	-2.214	209.8	0.0000
STD3 10ppm	10.00	9.785	-0.2149	-2.149	420.8	0.0000
STD4 20ppm	20.00	19.64	-0.3585	-1.793	845.4	0.0000
STD5 50ppm	50.00	50.51	0.5132	1.026	2,175	0.0000
SampleName	AcquisitionDate	Correction	Factor			
Cd301014-32-3	21/11/2014	9:23:13AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>1,60</b>				

Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd051114-32-4	21/11/2014	9:24:12AM	25.01			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>0,97</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd131014-64-1	21/11/2014	9:25:17AM	24.98			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>8,63</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd221014-64-2	21/11/2014	9:26:12AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>4,29</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd301014-64-3	21/11/2014	9:27:07AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>3,73</b>				

Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cd051114-64-4	21/11/2014	9:28:34AM	25.01			
Concentration						
Element/Wavelength		Cd2265				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>3,35</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr131014-40-1	21/11/2014	9:29:34AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>9,50</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr221014-40-2	21/11/2014	9:30:31AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>9,76</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr051114-40-3	21/11/2014	9:31:35AM	24.98			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>8,56</b>				

Cr051114-40-4	21/11/2014	9:31:35AM	24.98			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>7,63</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr131014-80-1	21/11/2014	9:32:39AM	24.98			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>13,26</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr221014-80-2	21/11/2014	9:33:40AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>10,35</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr301014-80-3	21/11/2014	9:34:36AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>9,27</b>				

Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Cr051114-80-4	21/11/2014	9:35:59AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Cr2677				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>7,30</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg131014-36-1	21/11/2014	9:38:12AM	24.98			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>2,80</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg211014-36-2	21/11/2014	9:39:10AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>1,59</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg301014-36-3	21/11/2014	9:40:14AM	25.01			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>1,13</b>				

Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg051114-36-4	21/11/2014	9:41:07AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>0,20</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg131014-72-1	21/11/2014	9:42:10AM	24.98			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Published:		10:15:52AM				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>4,08</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg221014-72-2	21/11/2014	9:43:20AM	25.00			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>4,29</b>				
Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg301014-72-3	21/11/2014	9:44:24AM	25.01			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>2,37</b>				



Sample	Name	Acquisition	Date	Correction	Factor	
Hg051114-72-4	21/11/2014	9:46:31AM	24.99			
Concentration						
Element/Wavelength		Hg1942				
Units:		mg/L				
Avg.		Repeats:				
Std		0		0		
%RSD:		0				
Repeat:		<b>2,01</b>				