

**EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA EN LODOS CONTAMINADOS CON
MERCURIO Y/O CIANURO PRODUCIDOS EN EL BENEFICIO DE ORO EN
SUÁREZ - CAUCA POR MEDIO DE PROCESOS BIOLÓGICOS**



CORPORACION UNIVERSITARIA
AUTONOMA
DEL CAUCA

ELIZABETH VELASCO AMBUILA

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
CIENCIAS AMBIENTALES Y DESARROLLO SOSTENIBLE
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA**

2021

**EVALUACIÓN ECOTOXICOLÓGICA EN LODOS CONTAMINADOS CON
MERCURIO Y/O CIANURO PRODUCIDOS EN EL BENEFICIO DE ORO EN
SUÁREZ - CAUCA POR MEDIO DE PROCESOS BIOLÓGICOS**



CORPORACION UNIVERSITARIA
AUTONOMA
DEL CAUCA

ELIZABETH VELASCO AMBUILA

Trabajo de grado para optar el título de Ingeniera Ambiental y Sanitaria

Director

Magister ARNOL ARIAS HOYOS

**CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES Y DE DESARROLLO
SOSTENIBLE.**

INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA

2021

NOTA DE ACEPTACIÓN

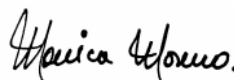
Una vez revisado el documento final del trabajo de grado denominado: "Evaluación ecotoxicológica en lodos contaminados con mercurio y/o cianuro producidos en el beneficio de oro en Suárez-Cauca por medio de procesos biológicos" realizado por la alumna **ELIZABETH VELASCO AMBUILA**, se autoriza la sustentación del mismo, para así poder realizar la gestión administrativa correspondiente y optar al título como Profesional en Ingeniería Ambiental y Sanitaria



ARNOL ARIAS HOYOS

Director

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Corporación Universitaria Autónoma del
Cauca



MONICA ALEJANDRA MORENO RUANO

Jurado

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Corporación Universitaria Autónoma del
Cauca



NATALIA EUGENIA SAMBONI RUIZ

Jurado

Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria
Corporación Universitaria Autónoma del
Cauca

Popayán, Abril 2021

DEDICATORIAS

A Dios por ser mi guía en el camino de la vida.

A mis padres por el incuantificable esfuerzo para contribuir a mis estudios y por todo su amor.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por su infinita bondad, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por regalarme una vida llena de aprendizajes y felicidad.

A mi madre Rosaura Ambuila por su apoyo incondicional y por su lucha constante para mi bienestar.

A mi padre Jairo Velasco por su apoyo, por depositar su entera confianza en mí y en los retos que me propongo sin dudar de mi capacidad.

A mi abuela Victoria Ambuila por su amor infinito y apoyo en toda mi vida.

A mis sobrinas Hellen Zharith, Ahsly Luciana Victoria, Brinnith Yuliethe y Katherin Dirley por ser mi gran motivación para salir adelante.

A mi hermano Jairo Andrés y demás familiares por estar siempre prestos a colaborarme.

A mis profesores por todos los conocimientos transmitidos.

A mis amigos y compañeros por su amistad, compañerismo y por haber hecho de mi etapa universitaria un trayecto de vivencias que nunca olvidare.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN	11
ABSTRACT	12
INTRODUCCIÓN	13
CAPÍTULO 1. PROBLEMA	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	15
1.2 JUSTIFICACIÓN	16
1.3 OBJETIVOS	188
1.3.1 Objetivo General	188
1.3.2 Objetivos Específicos	188
CAPÍTULO 2. REFERENTES CONCEPTUALES	19
2.1 MINERÍA	19
2.1.1 Tipos y etapas de la minería	20
2.1.2 Minería en Suárez – Cauca	23
2.2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	23
2.2.1 Descripción del sitio de muestreo	26
2.2.2 Manejo de lodos en la minería artesanal y a pequeña escala	28
2.2.3 Uso de sustancias peligrosas para el manejo de lodos	29
2.3 EVALUACIÓN DE TOXICIDAD	31
2.3.1 Ensayos ecotoxicológicos	31
2.3.2 Bioindicadores de origen animal	31
2.3.3 Bioindicadores de origen vegetal	33

2.4 LOMBRICULTURA.....	35
2.5 ANTECEDENTES.....	35
2.6 BASES LEGALES.....	38
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA.....	39
3.1. Fase 1. Determinación de la ecotoxicidad mediante bioensayos utilizando semillas de lechuga (<i>Lactuca sativa L.</i>).....	39
3.2 Fase 2. Determinación de la ecotoxicidad y las dinámicas del mercurio de lodos mineros en lechos de suelo con <i>Eisenia foetida</i>	42
3.3 Fase 3. Análisis de los impactos en resultados de ecotoxicidad de lodos mineros obtenidos en las pruebas de <i>Daphnia magna</i>	47
CAPÍTULO IV. RESULTADO Y ANÁLISIS.....	48
4.1 DETERMINACIÓN DE LA ECOTOXICIDAD MEDIANTE BIOENSAYOS CON <i>Lactuca sativa L.</i>	48
4.2 DETERMINACIÓN DE LA ECOTOXICIDAD Y LAS DINÁMICAS DEL MERCURIO DE LODOS MINEROS EN LECHOS DE SUELO CON <i>Eisenia foetida</i>	51
4.3 ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS EN RESULTADOS DE ECOTOXICIDAD DE LODOS MINEROS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE <i>Daphnia magna</i>	55
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	58
5.1 CONCLUSIONES.....	58
5.2. RECOMENDACIONES.....	59
6. BIBLIOGRAFÍA.....	60
7.ANEXOS.....	68

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación científica de la <i>Daphnia magna</i>	32
Tabla 2. Clasificación científica de la <i>Eisenia foetida</i>	33
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la <i>Lactuca sativa</i> L.....	34
Tabla 4. Marco normativo colombiano.....	38
Tabla 5. Porcentaje de mezclas del montaje con <i>Lactuca sativa</i> L	41
Tabla 6. Consideraciones para la prueba de puño	45
Tabla 7. Total y porcentaje de semillas germinadas.....	48
Tabla 8. Porcentaje total de semillas germinadas para cada sustrato.....	¡Error!
Marcador no definido.	
Tabla 9. Análisis estadístico	50
Tabla 10. Promedios del conteo de lombrices.....	52
Tabla 11. Resultados de análisis de mercurio en lombrices.....	55
Tabla 12. Resultados de ensayo de toxicidad aguda en <i>Daphnia magna</i>	56

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama del proceso de beneficio de oro en los entables mineros de Suárez – Cauca	22
Figura 2. Localización del municipio de Suárez en el departamento del Cauca	24
Figura 3. Mapa político de Suárez - Cauca, corregimientos y veredas	25
Figura 4. Localización geográfica de la planta de cianuración	27
Figura 5. Diagrama del proceso de cianuración en la planta “Inversiones Ambuila”	28
Figura 6. Plaza de almacenamiento de lodos en la planta de cianuración “Inversiones Ambuila”	29
Figura 7. Planteamiento de la metodología	39
Figura 8. Tamizado de lodos para los distintos experimentos después de secados	40
Figura 9. Siembra de semillas de lechuga día 0	42
Figura 10. Montaje con lombrices en las diferentes composiciones en el día 0	44
Figura 11. Ajuste de humedad en el lodo mediante la prueba de puño	46
Figura 12. Germinación de las semillas de <i>Lactuca Sativa L.</i> día 30	51
Figura 13. Cuento de lombrices	53

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico, preparación del material para montajes	68
Anexo 2. Lodo seco y cernido	68
Anexo 3. Adecuación del lugar para evitar el ingreso directo de los rayos solares y de animales.....	69
Anexo 4. Alimentación y riego de agua para las lombrices	69
Anexo 5. Almacenamiento de lodos en taques.....	70
Anexo 6. Almacenamiento de lodos en plaza.....	70
Anexo 7. Germinación de semillas	71
Anexo 8. Análisis de toxicidad en <i>Daphnia magna</i>	72
Anexo 9. Análisis de toxicidad en <i>Daphnia magna</i>	73
Anexo 10. Resultados concentración de metales en lodos	74
Anexo 11. Resultados de la concentración de metales en lodos.....	75
Anexo 12. Resultados de análisis concentración de mercurio en lombrices	76
Anexo 13. Resultados de análisis concentración de mercurio en lombrices	77
Anexo 14. Resultados de análisis concentración de mercurio en lombrices	78

RESUMEN

En el municipio de Suárez Cauca gran parte del sector minero utiliza procesos físicos y químicos para el beneficio de oro, en los cuales se emplean sustancias altamente tóxicas como mercurio y cianuro, que al ser manipulados de manera incorrecta pueden causar graves daños a la salud y al medio ambiente, así mismo estos procesos generan residuos con altos contenidos de estas sustancias, los cuales no son tratados adecuadamente para su disposición final.

Por tanto, en el presente trabajo de investigación se evaluó la ecotoxicidad en lodos contaminados con mercurio y/o cianuro producidos en el beneficio de oro en Suárez - Cauca por medio de procesos biológicos, en pro de establecer las posibles vías de reutilización o de disposición final del material. Para dar cumplimiento al objetivo se realizaron dos montajes experimentales utilizando semillas de *Lactuca sativa L* (lechuga), y *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana). También se realizó un análisis de toxicidad en *Daphnia magna* (pulga de agua) para determinar el porcentaje de mortalidad o inmovilización de estos organismos luego de ser expuestos a los residuos mineros (lodos). De esa manera para el montaje con lechuga se propusieron 4 pruebas, variando el porcentaje de lodos y tierra para comparar su proceso de germinación y, para el montaje con lombrices se establecieron 5 pruebas en las que también se variaron los porcentajes de lodo y tierra y así analizar el comportamiento de las lombrices en cada uno de estas.

En todas las pruebas los resultados fueron positivos sin importar la composición lodo: tierra, las semillas de lechugas mostraron un porcentaje de germinación de 72,8 %, las pruebas con lombriz roja californiana indicaron una reproducibilidad en todos los montajes. En cuanto al análisis del porcentaje de inmovilización/mortalidad en *Daphnia magna* este fue de 0 %, lo que significa que los lodos mineros no presentan ecotoxicidad.

Palabras claves: Ecotoxicidad, Mercurio, Cianuro, Lodos, *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana), *Lactuca sativa L.* (lechuga), *Daphnia magna* (pulga de agua)

ABSTRACT

In the municipality of Suárez Cauca, a large part of the mining sector uses physical and chemical processes for the benefit of gold, in which highly toxic substances such as mercury and cyanide are used, which when handled incorrectly can cause serious damage to health and to the environment, likewise these processes generate waste with high contents of these substances, which are not properly treated for final disposal.

Therefore, in the present research work, the ecotoxicity of sludge contaminated with mercury and/or cyanide produced in the gold mill in Suárez - Cauca was evaluated through biological processes, in order to establish possible ways of reuse or disposal. end of the material. To fulfill the objective, two experimental setups were carried out using seeds of *Lactuca sativa L.* (lettuce), and *Eisenia foetida* (Californian red worm). A toxicity analysis was also carried out on *Daphnia magna* (water flea) to determine the percentage of mortality or immobilization of these organisms after being exposed to mining waste (sludge). Thus, for the assembly with lettuce, 4 tests were proposed, varying the percentage of mud and soil to compare their germination process and, for the assembly with worms, 5 tests were established in which the percentages of mud and soil were also varied and thus analyze the behavior of the worms in each of these.

In all the tests, the results were positive regardless of the mud: soil composition, the lettuce seeds showed a germination percentage of 72.8 %, the tests with Californian red worm indicated reproducibility in all the assemblies. Regarding the analysis of the percentage of immobilization/mortality in *Daphnia magna*, this was 0 %, which means that the mining sludge does not present ecotoxicity.

Keywords: Ecotoxicity, Mercury, Cyanide, Sludge, *Eisenia foetida* (California red worm), *Lactuca sativa L.* (lettuce), *Daphnia magna* (water flea).

INTRODUCCIÓN

Colombia se ha caracterizado por ser un territorio con alto potencial para desarrollar actividades mineras, gracias a su riqueza geográfica y geológica. Sin embargo, las afectaciones ambientales que se generan por la extracción de minerales a largo plazo alteran las condiciones del entorno del ser humano, lo que exige un control integral por parte del estado a través de las autoridades competentes, toda vez que la irregular utilización de los recursos ha puesto en riesgo su capacidad de recuperarse, y por consiguiente los ecosistemas existentes en el territorio nacional se ven amenazados y tienden a desaparecer [1].

Es claro que la actividad minera trae beneficios económicos, sin embargo, acarrea también una serie de impactos negativos asociadas a la ausencia de desarrollo local, la ilegalidad en la ejecución de la labor, el choque político y a la degradación de los recursos naturales. Por lo tanto, no puede considerarse como beneficioso el proceso de esta actividad debido a que no apunta a la consecución del desarrollo sostenible [2].

La minería constituye un caso especial en lo que a generación de residuos se refiere. En líneas generales, para obtener el producto a comercializar es necesario extraer una gran cantidad de materiales estériles que, por motivos económicos, se disponen en las proximidades de la explotación. Adicionalmente, para alcanzar la pureza o concentración requeridos para la puesta en mercado del producto deseado, se precisa someter el material extraído a una serie de procesos en los cuales se manipulan sustancias tóxicas y por consiguiente se generan residuos contaminados de estas [3].

El presente trabajo se realizó en el municipio de Suárez - Cauca, uno de los municipios con mayor potencial en minería de oro en Colombia. Durante el desarrollo de esta investigación se evaluó la ecotoxicidad de lodos generados en los procesos de la actividad minera, en los cuales se manipulan sustancias tóxicas como el mercurio (Hg) y el cianuro (CN), razón por la cual se han presentado problemas de importancia en el medio ambiente y en la salud. Por tal motivo es

necesario conocer el comportamiento de estos lodos para construir estrategias que permitan minimizar los impactos provocados tanto a el medio ambiente como a la salud humana, producto del beneficio de oro en el municipio de Suárez - Cauca.

CAPÍTULO 1. PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En Colombia la minería de oro genera muchos residuos ricos en contaminantes tóxicos que no cuentan con gestión adecuada como lo son los lodos del proceso de cianuración y amalgamación. El mercurio y el cianuro son sustancias empleadas para el beneficio del oro que producen daños no solo a la salud de las personas que practican estas actividades si no también un daño al medio ambiente. Por tal razón la minería es considerada una de las actividades económicas que más produce impactos debido a la generación y disposición descontrolada de residuos potencialmente tóxicos [4].

La minería de oro en el municipio de Suárez - Cauca se ha caracterizado por ser la base fundamental del desarrollo económico en la región, actividad que es ejercida principalmente en los yacimientos de oro filón. La comunidad minera del municipio ha ejercido la minería artesanal por más de 400 años [5]. Con el desarrollo de la industria minera y posteriormente con la llegada de población flotante, especialmente de Antioquia y Caldas, se ha generado una influencia minero cultural orientada a ejercer el oficio minero desde otra visión, reemplazando las prácticas tradicionales para el aprovechamiento y recuperación del oro por prácticas químicas donde se manipulan sustancias altamente tóxicas como el mercurio y el cianuro mediante procesos llamados amalgamación y cianuración, respectivamente, procesos en los cuales se pierde gran cantidad de estas sustancias[6].

La mayoría de los entables de minería artesanal en el municipio de Suárez generan grandes cantidades de desechos peligrosos como lo son lodos mineros. Para un entable minero de 22 tambores se producen 18,36 m³ de lodos en 24 horas [7], los cuales no son dispuestos de manera correcta. Posteriormente se producen lixiviados que no reciben ningún tipo de tratamiento dado a que el minero desconoce tanto el impacto que causan en el ambiente y en la salud humana como el uso potencial que tienen estos residuos al ser reutilizados.

La comunidad minera del municipio de Suárez se encuentra expuesta de manera directa a sustancias altamente tóxicas como es el cianuro y el mercurio ya que diariamente están en contacto con lodos contaminados por estas. Por tal fin este trabajo de investigación evaluó la toxicidad de estos lodos producidos en el beneficio de oro en el municipio de Suárez - Cauca mediante procesos biológicos en pro de establecer las posibles vías de reutilización o disposición final del material.

1.2 JUSTIFICACIÓN

La progresiva contribución del sector minero en la economía de Colombia ha sido el punto central del desarrollo económico por ser fuente productora y generadora de ingresos con respecto a las exportaciones que son favorables en el contexto financiero[8]. En el departamento del Cauca, la minería tradicional es una actividad económica que han desarrollado por siglos las comunidades negras e indígenas de la región. Esta actividad ha aportado recursos para impulsar el crecimiento económico y el desarrollo de las comunidades ubicadas en la zona de influencia de los yacimientos mineros [9].

La minería es una de las actividades principales y más importante de la economía del municipio de Suárez, en los últimos años esta actividad ha presentado un crecimiento acelerado; por ende, se convierte en una variable importante a analizar en la economía. No obstante, es necesario mencionar que los efectos de la minería artesanal asociados al uso de elementos altamente tóxicos como el mercurio y el cianuro para el beneficio del oro se ven reflejados en el deterioro del medio ambiente y la salud. De esta manera los procesos que se desarrollan en las etapas productivas para la obtención del metal conllevan a la generación y disposición inadecuada de residuos peligrosos como lo son los lodos mineros, que son acumulados en plazas improvisadas por los mineros en un periodo de dos a tres años hasta ser vendidos a plantas cianuradoras.

Como consecuencia surge la necesidad de motivar a la comunidad minera a la inclusión de nuevos procesos metodológicos y tecnológicos que conlleven a una minería sostenible, y de esta manera contribuir a la minimización de efectos nocivos a la salud e impactos al medio ambiente. De este modo se han adelantado estudios en el aprovechamiento de lodos industriales en diferentes aplicaciones, por ejemplo se pueden fabricar materiales para la construcción de ciclo vías [10] ,reutilizarse como estabilizadores para suelos contaminados como fertilizantes en agricultura/ horticultura, y en las industrias de cemento y pigmentos [11]. Es así como se involucra el aprovechamiento y reutilización de los recursos propios de la región como materia prima con la posibilidad de formar una unidad productiva de negocio, dentro de lo que se conoce como economía circular.

Basado en lo anterior este proyecto plantea a partir de estudios ecotoxicológicos evaluar la ecotoxicidad en lodos contaminados con mercurio y/o cianuro producidos en el beneficio de oro en Suárez - Cauca, buscando así obtener un material seguro, libre de contaminantes tóxicos tanto para el ambiente como para la salud humana.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo General

Evaluar la ecotoxicidad en lodos contaminados con mercurio y/o cianuro producidos en el beneficio de oro en Suárez - Cauca por medio de procesos biológicos.

1.3.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar la ecotoxicidad en lodos mineros mediante bioensayos utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*).

- ✓ Establecer la ecotoxicidad y las dinámicas del mercurio en lodos mineros en lechos de suelo con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

- ✓ Analizar los impactos en los resultados de ecotoxicidad en lixiviados de lodos mineros obtenidos en las pruebas de *Daphnia magna*.

CAPÍTULO 2. REFERENTES CONCEPTUALES

2.1 MINERÍA

La minería es una actividad económica del sector primario representada por la explotación o extracción de los minerales que se han acumulado en el suelo y subsuelo en forma de yacimientos, es una de las actividades más antiguas de la humanidad. En las épocas prehistóricas ya el hombre utilizaba los minerales para la fabricación de sus herramientas. La minería surge en el momento en que el proceso de prospección y exploración ha finalizado y los resultados indican que el terreno es susceptible para instalar todo el equipo y comenzar con el proceso de desarrollo y explotación de la mina para la obtención de minerales [12].

En Colombia, la minería ha sido una actividad económica que, históricamente, ha marcado las relaciones comerciales del país a nivel mundial. Desde el siglo XVIII, las indirectas y débiles relaciones del país con la economía global se basaron principalmente en las ventas de las regiones mineras del Cauca, Chocó y Antioquia, bajo un incipiente modelo minero exportador, durante más de tres siglos la minería neogranadina se ejecutó de manera simple y primitiva, especialmente mediante la sujeción de esclavos negros traídos desde África [13].

El oro es, por lo tanto, una de las principales riquezas minerales de Colombia. La mayor parte de la producción en el sector aurífero proviene de la minería artesanal y a pequeña escala. Se calcula que se produjeron 66 toneladas de oro en el año 2013, y que al menos 17.000 personas trabajan de forma artesanal, mientras otras 51.000 lo hacen sin contar con un título minero o licencia [14]. Para la obtención del metal, la mayoría de las minas utilizan procesos que incorporan mercurio, cianuro y otros elementos altamente tóxicos, que al ser manipulados de manera inadecuada producen graves daños a la salud y al medio ambiente. Existe, por tanto, una gran preocupación mundial sobre el tratamiento de los residuos de origen minero. Los estudios actuales están enfocados en la evaluación del impacto ambiental por mercurio y cianuro [15], resaltando que los principales tipos de

explotación minera empleados en el país son minería a cielo abierto y minería subterránea [16].

2.1.1 Tipos y etapas de la minería

- ✓ **Minería a cielo abierto:** Comprende todas las actividades y operaciones mineras que se realizan al aire libre, para sacar o extraer los minerales que se encuentran a poca profundidad o en la superficie. En Colombia, normalmente los minerales que se extraen a cielo abierto son materiales de construcción, oro, plata, cobre y asociados [16].

- ✓ **Minería subterránea:** La minería subterránea es aquella se dedica a la explotación de recursos debajo de la superficie de la tierra. En la mayoría de las ocasiones, se llevan a cabo estas explotaciones subterráneas cuando la extracción de los minerales a cielo abierto no es posible, sea por motivos ambientales o económicos. En la mayoría de las minas de roca dura la extracción se realiza mediante perforación y voladura. Primero se realizan agujeros con perforadoras de aire comprimido o hidráulicas. A continuación, se insertan barrenos en los agujeros y se hacen explotar, con lo que la roca se fractura y puede ser extraída [17].

- ✓ **Minería Artesanal y a Pequeña Escala (MAPE):** Tradicionalmente, se ha señalado una diferencia entre la minería artesanal y la de pequeña escala, indicando que la primera involucra sólo a personas o familias y se realiza de forma manual; mientras la segunda es más extensa e incipientemente mecanizada. La MAPE participa de manera importante en países industrializados y en desarrollo; sin embargo, no existe sobre ella una definición unificada, razón por la cual se utilizan criterios como costos de inversión, mano de obra empleada, producción anual, ventas, área concesionada, tipo de yacimiento, o combinaciones de los anteriores [18]

Etapas de la minería aurífera

- a. Prospección y exploración:** Las actividades de exploración permiten planear adecuadamente la explotación con el fin de obtener una mayor eficiencia productiva y evitar el alto desperdicio del mineral por falta de conocimiento de las características del yacimiento. Prospección geológica tiene como objetivo la localización de anomalías debidas a depósitos minerales [19].
- b. Explotación:** En lo concerniente a la explotación, la diversidad de los ambientes geológicos donde se encuentran las reservas auríferas del país, hace que existan distintos sistemas de aprovechamiento del mineral y que los tipos de minería varían de acuerdo a factores tales como la profundidad, forma e inclinación de los depósitos, la distribución de leyes del mineral, las características geo mecánicas de las rocas encajantes y del propio mineral , las condiciones físicas y culturales de la zona, la magnitud de la operación, y la maquinara utilizada [20].
- c. Clasificación y transformación del mineral:** La separación de granos en fracciones por tamaños se realiza de forma visual y manual por la pequeña minería utilizando zarandas, mallas o angeos o mediante cribas, hidroclasificador o ciclones en la mediana minería.
- d. Trituración:** Selección de pequeñas partículas de mineral adheridas a la peña para adecuarlo a la molienda, se utilizan trituradoras de mandíbula y de quijada o manualmente con porra. [21]
- e. Molienda:** Pretende que el mineral alcance un grado de liberación para ser recuperado gravimétricamente o por amalgamación. El proceso se realiza en molinos californianos o de pistones, de bolas, antioqueños, de barras o de arrastre [21]
- f. Amalgamación:** La amalgamación es un proceso de concentración basado en la adherencia preferencial del oro por el mercurio, en presencia de agua y aire. Si el proceso de amalgamación es aplicado a todo el mineral, se generan pérdidas de mercurio en los relaves hasta 70%, siendo la recuperación de oro

de 50%. Los relaves de la amalgamación, con un contenido cercano al 70% de oro del mineral, son dejados en la planta donde se flota y recupera alrededor del 90% del oro residual de los relaves [21].

La figura 1 muestra las diferentes etapas de la minería subterránea llevada a cabo en los entables mineros del municipio de Suárez - Cauca.

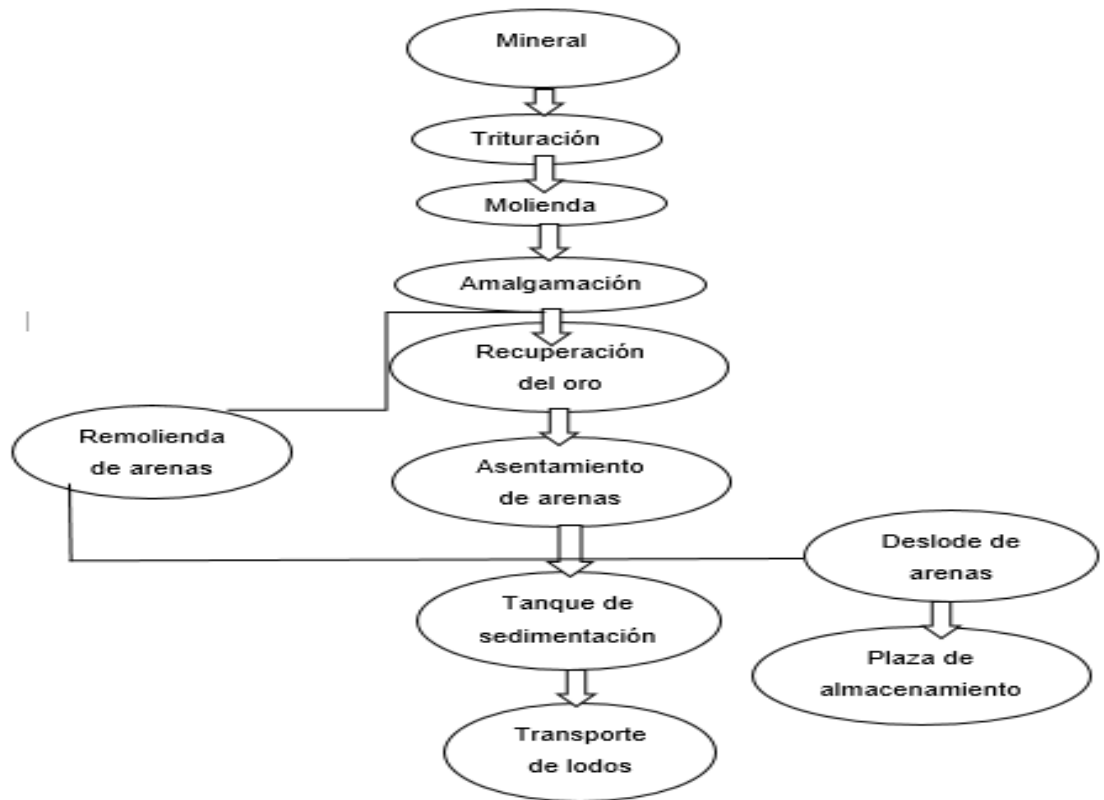


Figura 1.Diagrama del proceso de beneficio de oro en los entables mineros de Suárez – Cauca

Fuente: Elaboración propia

2.1.2 Minería en Suárez - Cauca

En el municipio de Suárez se ha ejercido el oficio de la minería artesanal por más de 400 años, sin embargo, se destaca que en los últimos años se han implementado prácticas químicas para el aprovechamiento del oro, por el cual se determina que el tipo de minería ejercida en el municipio es la minería artesanal y a pequeña escala (MAPE). Existe una Cooperativa de Mineros de Pequeña Escala en el municipio de Suárez, con 200 mineros asociados y operando en un área de reserva Minera Especial (ARE). Algunas pequeñas minas se encuentran en solicitud de legalización minera tradicional y existe un gran número de seleccionadores de minerales, en su mayoría son mujeres (conocidas como chatarreras). Suárez se ha caracterizado históricamente por ser un municipio minero, ya que entre finales del siglo XVI y comienzos del XVII se registró la primera llegada de negros esclavos traídos desde África como mano de obra para las minas de Gelima y las riberas del río Ovejas [22].

2.2 LOCALIZACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El municipio de Suárez se encuentra ubicado al noroccidente del departamento del Cauca como se muestra en la figura 2, limita al norte y oriente con el municipio de Buenos Aires, al suroriente y al sur con el municipio de Morales y al occidente con López de Micay (figura 3). Su altura sobre el nivel del mar es de 1,050 m, temperatura media 27 °C y está separado de Popayán por 107 km. Su extensión total es de 389,87 km², de los cuales 3,57 km² corresponde a la parte urbana.

Sus zonas más representativas de explotación de oro de filón (oro que se encuentra dentro de las rocas) son: La Toma, El Carmen, El Peñón, Gelima, La Montaña, El Desquite, Maravelez, Guayabillas, Tamboral, El Calvario, El Danubio, La Carolina y La Turbina. La extensión de la región minera inicialmente se podría calcular en menos de 120 km².

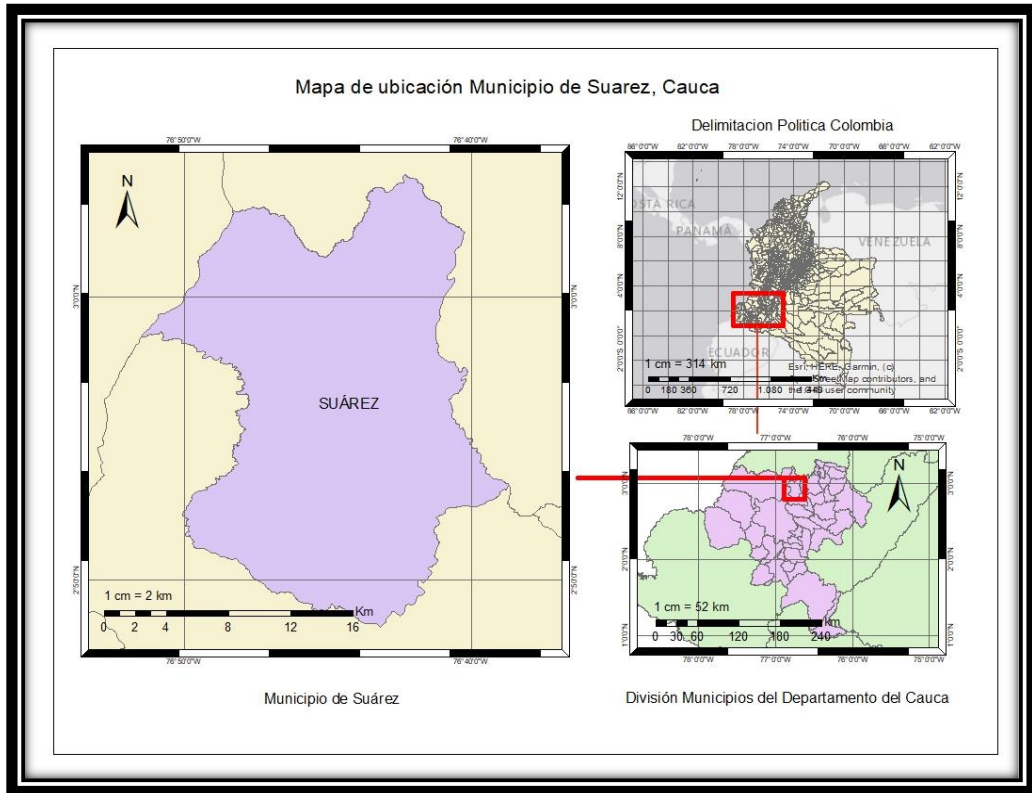


Figura 2. Localización del municipio de Suárez en el departamento del Cauca

Fuente: Propia



Figura 3. Mapa político de Suárez - Cauca, corregimientos y veredas

Fuente: [23]

- ✓ **Hidrografía:** Entre su hidrología Suárez cuenta con ríos importantes como el Cauca, Ovejas, Inguitó, Asnazú, Marilópez, Damián, Marilopito y así mismo el embalse artificial Salvajina [23].
- ✓ **Economía:** El municipio se basa fundamentalmente en el sector primario: la agricultura y la minería de oro. Según información de la Agencia Nacional de Minería (ANM) del año 2017, en Suárez existe un registro de propiedad privada, dos licencias de explotación, doce contratos de concesión con ley 685 de 2001, doce títulos de oro y metales preciosos, dos títulos de carbón, un título de arenas y gravas y un Área de Reserva Minera Especial (ARE) entre Suárez y Buenos Aires [24].
- ✓ **Población:** El municipio de Suárez cuenta con un total de 18.754 habitantes, de los cuales 3.465 se asientan en la cabecera municipal y 15.289 en la zona rural, como se determinó en el censo Dane 2005 [25]. En los corregimientos de la zona minera habitan alrededor de 5.500 personas. Suárez se caracteriza por su diversidad étnica, 58 % de la población se reconoce como afrodescendiente y 22% indígena. La gran presencia de la comunidad afro descendiente en Suárez está asociada a las labores que realizaron como esclavos en las minas de la zona para los colonizadores españoles desde el año 1.600. Los pobladores indígenas se concentran en el cabildo indígena de Cerro Tijeras, en donde se agrupan aproximadamente 4.000 personas en alrededor de 37 veredas [26].

2.2.1 Descripción del sitio de muestreo

La Planta de Cianuración “Inversiones Ambuila” se encuentra ubicada en la zona rural del municipio de Suárez - Cauca, en la vereda Tamboral y dentro de los polígonos del área de reserva minera como se observa en la figura 4, esta unidad productora cuenta con un espacio de aproximadamente 80 metros en su totalidad, su topografía proporciona un sitio inclinado, un área adecuada de eliminación de relave. La planta se sitúa en distancias lejanas de los espacios de uso residencial, a una distancia de 20 metros de la quebrada Tamboral y 100 metros de la represa Salvajina.



Figura 4.Localización geográfica de la planta de cianuración “Inversiones Ambuila”

Fuente: [27]

La figura 5 muestra las etapas principales del funcionamiento de la planta de cianuración “Inversiones Ambuila”. La planta se creó en el año 2015 y ha venido operando 6 años consecutivos. Actualmente se encuentran 5 personas trabajando de martes a sábado. La planta cuenta con un tanque de almacenamiento de 7.000 litros con una capacidad para procesar 2,5 toneladas de arenas o lodos, su producción depende del porcentaje de contenido del material, es decir para 2,5 toneladas pueden variar entre 25 a 40 g de oro y en ocasiones hasta 1 lb de oro. Inicialmente cuenta con los lodos de rechazo minero que provienen de los entables más pequeños donde se trabaja con el sistema de amalgamación (mercurio). Una vez estos lodos llegan a la planta, se continúa con el proceso que permite la recuperación del oro mediante el uso de cianuro y de esta manera se almacena gran cantidad de lodos contaminados de estas sustancias altamente peligrosas para el ambiente y la salud humana.

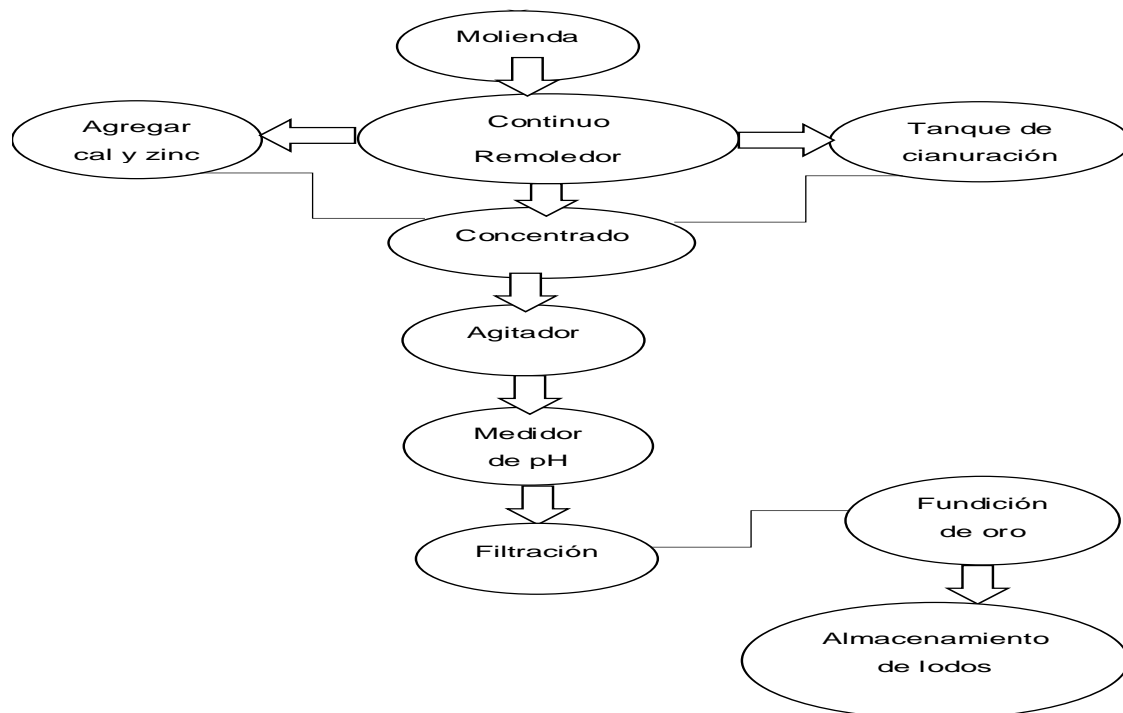


Figura 5. Diagrama del proceso de cianuración en la planta “Inversiones Ambuila”

Fuente: Elaboración propia

2.2.2 Manejo de lodos en la minería artesanal y a pequeña escala

Generalmente los entables mineros del municipio de Suárez manejan una serie de tanques o diques de sedimentación donde se van depositando las arenas, producto de la molienda del mineral hasta llegar a un tanque de sedimentación final. Una vez los tanques se encuentran totalmente llenos se vacían con palas y posteriormente se acumulan en plazas improvisadas en lugares cercanos a los entables como se exhibe en la figura 6, y de esta manera permanecen por mucho tiempo a la intemperie, hasta un sucesivo proceso (remolienda). La remolienda de estas se hace con el propósito de recuperar partículas de oro que durante el proceso de producción no fueron recuperadas en su totalidad y se someten al proceso de cianuración en los entables donde se cuenta con estas instalaciones.



Figura 6. Plaza de almacenamiento de lodos en la planta de cianuración
“Inversiones Ambuila”

Fuente: Elaboración propia

2.2.3 Uso de sustancias peligrosas para el manejo de lodos

En todas las operaciones mineras se usan como insumos metales pesados que sin un manejo adecuado ocasionan graves daños ambientales y a la salud humana, entre las sustancias de mayor uso se encuentran el cianuro y el mercurio [28].

- ✓ **Mercurio:** Se usa para separar y extraer el oro de las rocas o piedras en las que se encuentra. El mercurio se adhiere al oro, formando una amalgama que facilita su separación de la roca, arena u otro material. Luego se calienta la amalgama para que se evapore el mercurio y quede el oro. Aunque existen varias técnicas para la liberación del mercurio, este es el uso que genera más contaminación.

En muchos casos sólo el 10 % del mercurio agregado a un barril o a una batea (en el caso de la amalgamación manual) se combina con el oro para producir la amalgama. El 90 % sobrante debe retirarse y reciclarse, o se libera en el medio ambiente [29].

La presencia de mercurio en el cuerpo humano resulta tóxica a partir de ciertos niveles críticos que dependen fundamentalmente de un conocimiento de las relaciones dosis-efecto y dosis-respuesta. Toxicológicamente hablando, el mercurio orgánico y fundamentalmente el metilmercurio poseen una toxicidad muchísimo más elevada que el mercurio elemental y los compuestos inorgánicos [30].

- ✓ **Cianuro:** El cianuro se utiliza en minería para extraer oro y plata del mineral, en particular mineral de baja ley y mineral que no puede tratarse fácilmente mediante procesos físicos simples como la trituración y la separación por gravedad. El cianuro es potencialmente tóxico para los humanos y vida silvestre. Otro problema con el cianuro es que moviliza el mercurio en la forma de complejos de cianuro de mercurio (al igual que otros metales que pueden formar complejos con mercurio), y estas concentraciones pueden ser muy altas en los fluidos de proceso y en lagunas [31].

El cianuro es fuertemente tóxico para los humanos, cuando el cianuro entra en contacto con las células vivas produce una reacción química que inhibe las funciones respiratorias, con lo cual la célula deja de respirar y muere, basta una ingesta equivalente a dos granos de arroz para ocasionar la muerte. Por otro lado, y aun tomando todas las precauciones exigidas en su manipulación, se ha demostrado que la exposición por largos períodos a bajas concentraciones de esta sustancia, genera dificultades respiratorias, desequilibrios tiroideos, vómitos, dolores de cabeza, entre otros trastornos [32].

2.3 EVALUACIÓN DE TOXICIDAD

2.3.1 Ensayos ecotoxicológicos

Las pruebas o ensayos ecotoxicológicos son herramientas que permiten un diagnóstico adecuado en cuanto a la determinación de efectos químicos sobre organismos vivos bajo condiciones experimentales específicas y controladas. Estos efectos pueden ser tanto de inhibición como de germinación, evaluados por la reacción de los organismos, tales como muerte, crecimiento, proliferación, multiplicación, cambios morfológicos y fisiológicos. Los efectos pueden manifestarse a diferentes niveles, desde estructuras subcelulares o sistemas de enzimas, hasta organismos completos, poblaciones o comunidades [33]. Los ensayos ecotoxicológicos consisten en determinar el efecto agudo de contaminantes (compuestos químicos y efluentes industriales) por medio de la CL_{50} (concentración letal que elimina al 50 % de la población) y CE_{50} (concentración efectiva que inhibe el crecimiento al 50 % de la población) sobre un organismo, también conocidos como bioindicadores [34].

2.3.2 Bioindicadores de origen animal

Un bioindicador es un indicador formado por una especie o por un grupo de especies (animal o vegetal) que aporta información sobre ciertas características ecológicas del medio ambiente como físico-químicas, micro-climáticas, biológicas y funcionales, o sobre el impacto de ciertas prácticas en el medio. Entre los de origen animal y más utilizados se encuentran la pulga de agua (*Daphnia magna*) y la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), ya que son organismos bioindicadores de contaminación ambiental [35].

- ✓ ***Daphnia magna***: Es el crustáceo cladócero más comúnmente utilizado en ensayos ecotoxicológicos, por ser de fácil establecimiento en el laboratorio y corto ciclo vital [36]. Es un pequeño crustáceo del orden de los cladóceros y es conocido vulgarmente como pulga de agua, daphnias o lías de agua. La tabla 1 presenta la clasificación de la *Daphnia magna*.

Tabla 1. Clasificación científica de la *Daphnia magna*

Nombre científico	<i>Daphnia magna</i>
Otros nombres	Pulga de agua, Dafnias, lías de agua
Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Branchipoda
Orden	Cladocera
Familia	Daphniidae
Género	Daphnia

Fuente: [37]

Este pequeño organismo es capaz de medir niveles de toxicidad muy bajos debido a que es muy sensible a sustancias de tipo orgánico e inorgánico. principalmente se utiliza para medir los metales que se encuentran disueltos en el agua, como mercurio y plomo, entre otros [38]. Tal como se evidencia en investigación presentada en la revista de la Sociedad Química del Perú, donde se estudió el efecto tóxico y ecotoxicológico de arenas negras (ANM) provenientes de la extracción artesanal de oro, en el departamento Madre de Dios. La determinación del efecto ecotoxicológico en los lixiviados de las muestras se realizó utilizando los lineamientos del protocolo de la EPA 600/3-88/029 para test agudos. También se utilizó como organismos de prueba neonatos de *Daphnia magna* con 24 horas de nacidos, evaluando la concentración que ocasiona un efecto tóxico al 50 % de la población (CE muerte) durante 24 horas. Las ANM podrían ser consideradas como muy tóxicas a extremadamente tóxicas en los organismos como las daphnias [39].

- ✓ ***Eisenia foetida***: Es por naturaleza un agente útil para descomponer los desechos orgánicos de la finca para producción de lombrihumus, ya que permite la transformación de estos residuos en abono que puede ser aplicado al suelo. Se considera que las lombrices son organismos de prueba útiles para monitorear la toxicidad que provocan varios compuestos o xenobióticos, incluyendo metales pesados, plaguicidas, contaminantes orgánicos, mezclas complejas y desconocidas de contaminantes en suelos [40]. En la tabla 2 se presenta la clasificación de la *Eisenia foetida*.

Tabla 2. Clasificación científica de la *Eisenia foetida*

Nombre científico	<i>Eisenia foetida</i>
Otros nombres	<i>Eisenia fétida</i>
Reino	Animalia
Filo	Annelida
Clase	Oligoquetos
Orden	Haplotáxidos
Familia	Lumbricidae

Fuente: [41]

En estudio realizado por Mosquera se evaluó el desempeño de la técnica de lombricompostaje para descontaminar suelos con mercurio procedentes de minería a cielo abierto en el municipio de Unión Panamericana, Chocó, Colombia. En esta investigación se plantearon cuatro procesos diferentes para descontaminar suelos contaminados con mercurio. Se estableció un diseño experimental en bloques completos al azar con tres tratamientos: T1 suelo contaminado con Hg 100 %, T2 suelo contaminados Hg 50 % + compost no contaminado 50 %, T3 compost contaminado con Hg 100 % y T4 compost no contaminado. Posteriormente se introdujeron las lombrices de tierra *Eisenia foetida* en las mezclas durante un periodo de 133 días para observar la evolución de la remoción de mercurio y se logró determinar a través de análisis de laboratorio que el tratamiento 3 (T3) presentó la mayor remoción de Hg (65 %) [42].

2.3.3 Bioindicadores de origen vegetal

Son plantas utilizadas como indicadores de contaminación por investigadores, ya que se basa en técnicas simples y relativamente económicas. Las plantas vasculares son las más recomendadas debido a su mayor sensibilidad, en comparación con otras especies, estas son utilizadas para medir la concentración de la contaminación por medio de la germinación o la elongación en la radícula [43].

✓ **Lechuga (*Lactuca sativa* L.):** Es una planta con raíz pivotante y ramificada de unos 25 cm. El crecimiento se desarrolla en la roseta; las hojas se disponen alrededor de un tronco central, corto y cilíndrico que gradualmente se va alargando para producir las inflorescencias, formadas por capítulos de color amarillo (parecidos al diente de león) reunidos en corimbos. Según las variedades los bordes de las hojas pueden ser lisos, ondulados o aserrados. Las semillas están provistas de un vilano plumoso [44].

La tabla 3 presenta la clasificación de la *Lactuca sativa* L.

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la *Lactuca sativa* L.

Reino	<i>Vegetal</i>
Clase	Espermatofita
Subclase	Angiosperma
Familia	Dicotiledónea
Tribu	Cichorieae
Genero	<i>Lactuca</i>
Especie	<i>Sativa</i>
Variedad botánica	Capitata, Longifolia, Inyabaceae, Roana o cos

Fuente:[45]

La investigación llevada a cabo por Puicon y Hurtado tuvo como objetivo principal evaluar la capacidad de reducción de mercurio en suelo, de tres cepas de *Pseudomonas sp* aisladas de suelos donde se realiza la minería informal. Las tres cepas fueron capaces de crecer a 100 ppm de mercurio. El suelo utilizado tenía bacterias que crecían a 80 ppm y las bacterias del aire en el ambiente utilizado para las pruebas crecieron a 40 ppm. La biorremediación de suelos permitió la eliminación del 100, 92 y 90 % de mercurio de los suelos con 10, 50 y 100 ppm de mercurio. Las pruebas ecotoxicológicas con *Lactuca sativa* L. demostraron que en los suelos biorremediados con 50 ppm de mercurio inicial se produjo un 75 % de germinación de semillas y en los suelos biorremediados con 100 ppm de mercurio inicial se produjo una germinación del 38 %. En los suelos contaminados con 50 y 100 ppm de mercurio, no se produjo germinación [46].

2.4 LOMBRICULTURA

La lombricultura es una biotecnología que utiliza, a una especie domesticada de lombriz, como una herramienta de trabajo, recicla todo tipo de materia orgánica obteniendo como fruto de este trabajo humus, carne y harina de lombriz. Se trata de una interesante actividad zootécnica, que permite perfeccionar todos los sistemas de producción agrícola. La lombricultura es un negocio en expansión, y en un futuro será el medio más rápido y eficiente para la recuperación de suelos de las zonas rurales.

Lombricultura es una técnica que consiste en la cría de lombrices de tierra principalmente de la especie *Eisenia foetida* con el fin de transformar residuos orgánicos (desechos de origen vegetal o animal) en abono que genera beneficios múltiples en la agricultura, ayudando a mejorar la textura y estructura del suelo, aumentando su capacidad de fertilidad y nutrientes necesarios para el desarrollo normal en las plantas.

Briceño *et. al* realizaron un estudio con el propósito de conocer la importancia de utilizar el humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en una finca de cultivo de café, ya que constituye una alternativa viable, generando soluciones para la mejora de suelo y problemas que los fertilizantes químicos originan. El empleo del humus en los cafetales de la finca benefició la preservación del medio ambiente, e incrementó la producción y calidad del producto en un 100 % y mejoró la calidad de vida de los agricultores [47]

2.5 ANTECEDENTES

Jung *et. al* determinaron que, a través de la mezcla de lodos de minas de oro, barro rojo y piedra caliza a 1150 °C, se pueden fabricar materiales para la construcción ciclo vías. Sin embargo, los estudios de lixiviación mostraron efectos tóxicos al realizar los ensayos con *Daphnia magna*. Por lo tanto, su uso debe ser controlado para proteger los ecosistemas acuáticos[48].

La reutilización y usos potenciales de lodos de minas, han evidenciado que se pueden recuperar productos valiosos como oxihidróxidos de hierro, metales, azufre elemental y carbonato de calcio. Para su reutilización es necesario la eliminación de contaminantes, como arsénico, fósforo, tinte y elementos de tierras raras, también pueden reutilizarse como estabilizadores para suelos contaminados, como fertilizantes en agricultura / horticultura, como material sustitutivo en la construcción, como cobertura sobre releves para la prevención y el control del drenaje de minas ácidas, como material para atrapar dióxido de carbono, y en las industrias de cemento y pigmentos [11].

Por otro lado, se han investigado métodos de estabilización de lodos contaminados por mercurio en otros sectores productivos. El mercurio altamente lixiviable en los lodos generados en la producción de cloro pueden estabilizarse en el procedimiento de tratamiento empleando derivados de lignina férrica (FLD) y cemento Portland (PC). La efectividad de la estabilización se ha examinado por pruebas de procedimiento de lixiviación característico de toxicidad múltiple (TCLP). En un período de 50 días, las pruebas múltiples de TCLP mostraron una variación de menos de $90 \mu\text{g L}^{-1}$ para el nivel de mercurio lixiviable. En base a este estudio, la estabilización de aproximadamente 2000 toneladas de lodo de purificación de salmuera se ha procesado con éxito con el tratamiento con derivados de lignina férrica. La tecnología para el tratamiento de derivados de lignina férrica (FLD) ha proporcionado una solución alternativa para el tratamiento de contaminantes de mercurio altamente lixiviables de lodos de purificación de salmuera.(BPS), que es beneficiosa para la protección del medio ambiente [49].

En el municipio de Segovia Antioquia en 2017 se realizó una evaluación del efecto de la lombriz roja californiana sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio. Estos suelos representan una problemática importante debido a la acumulación de mercurio en exceso que ocasiona la pérdida de la calidad del suelo. Para este estudio se tomaron cuatro tratamientos en diferentes concentraciones de mercurio y un tratamiento más como blanco con

lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*). Para esto, se evaluó el crecimiento de microorganismos a través de diferentes cultivos en el laboratorio, encontrando un crecimiento satisfactorio de los mismos luego de 25 y 90 días de tratamiento. De acuerdo al comportamiento observado, se evidencia una inmovilización del mercurio y una adaptación de los microorganismos al suelo contaminado, mostrando un aumento significativo de estos con el transcurso del tiempo [50].

Por su parte el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional de México D.F. en 2015 llevó a cabo una investigación sobre el efecto de los desechos de minas abandonados con pruebas de toxicidad para metales pesados. Cuatro especies de plántulas fueron cultivadas en extractos de seis jales mineros, con diferente capacidad para producir drenes ácidos de minas (DAM) y concentraciones de metales pesados (Pb, Zn, Cd y Cu). Los jales fueron modificados con o sin composta. La estimación de la toxicidad fue evaluada a través de la elongación radicular y el porcentaje de germinación sobre cuatro especies: *Lactuca sativa L*, *Cucumis sativus*, *Brassica júncea* y *Nasturtium*. Los valores de elongación radicular en los testigos, mostraron coeficientes de variación entre el 15 y el 23 % y entre el 16 y el 35 % en los diferentes ensayos con extractos de jales y sus tratamientos. En términos de la reducción o estimulación de la longitud radicular, todas las especies evidenciaron ser sensibles y mostraron un mismo patrón de comportamiento para cada jal estudiado. En todos los casos se pudo apreciar que no existió diferencia significativa entre jales [51].

Argota *et. al* determinaron la toxicidad letal media por exposición a cianuro libre en efluentes y relaves mineros. El estudio se realizó durante el período poca lluvia, donde fueron seleccionadas cuatro muestras representativas de efluentes, así como relaves mineros, estableciéndose tres réplicas por cada muestra ambiental para el análisis. Para la determinación de la toxicidad letal media, fueron ensayos de cuatro tratamientos de dilución más un tratamiento control, se utilizaron *Brachydanio rerio* (pez cebra) y *Eisenia foetida* (lombriz roja californiana) como biomodelos. Se observó, una mortalidad del 100% de los individuos de *Brachydanio rerio* a las 24

horas de duración del ensayo, cuya concentración letal media correspondió a 0,078mg/L , mientras que en *Eisenia foetida* la concentración letal media ocurrió a las 48 horas de duración del ensayo y correspondió a 0,016 g de relave, concluyendo que los bioensayos indicaron efectos de toxicidad inmediata en efluentes y relaves mineros expuestos a cianuro libre [52].

2.6 BASES LEGALES

En la tabla 4 se presentan las principales normas colombianas que regulan la política minera artesanal y protección al medio ambiente.

Tabla 4. Marco normativo colombiano

Norma	Descripción
Constitución política de Colombia 1991 capítulo 3	De los derechos colectivos y del ambiente, (artículos del 78 al 82), establece como deber del estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de importancia ecológica y fomentar la educación ambiental [53]
Ley 23 de 1973	Por la cual se conceden facultades extraordinarias al Presidente de la República para expedir el Código de Recursos Naturales y protección al medio ambiente y se dictan otras disposiciones [54].
Ley 99 de 1993	Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones [55].
Ley 388 de 1997, Art. 33	Ordenamiento territorial reglamenta los usos del suelo [56].
Ley 685 de 2001	En los artículos 85, 205, 206 y 208, entre otros, se establece la realización del estudio de impacto ambiental y la expedición de la licencia ambiental, como requisito para la iniciación de los trabajos y obras de la explotación minera [57]
Decreto Ley 2811 de 1974 Parte XII	Respecto a los recursos del paisaje y su protección [58]
Ley 1658 2013	Reglamentese en todo el territorio nacional el uso, importación, producción, comercialización, manejo, transporte, almacenamiento, disposición final y liberación al ambiente del mercurio en las actividades industriales, cualquiera que ellas sean [59].

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos planteados en el trabajo de investigación realizado se tuvo en cuenta una metodología cualitativa y cuantitativa, para tal fin se ejecutaron tres fases como lo muestra la figura 7.

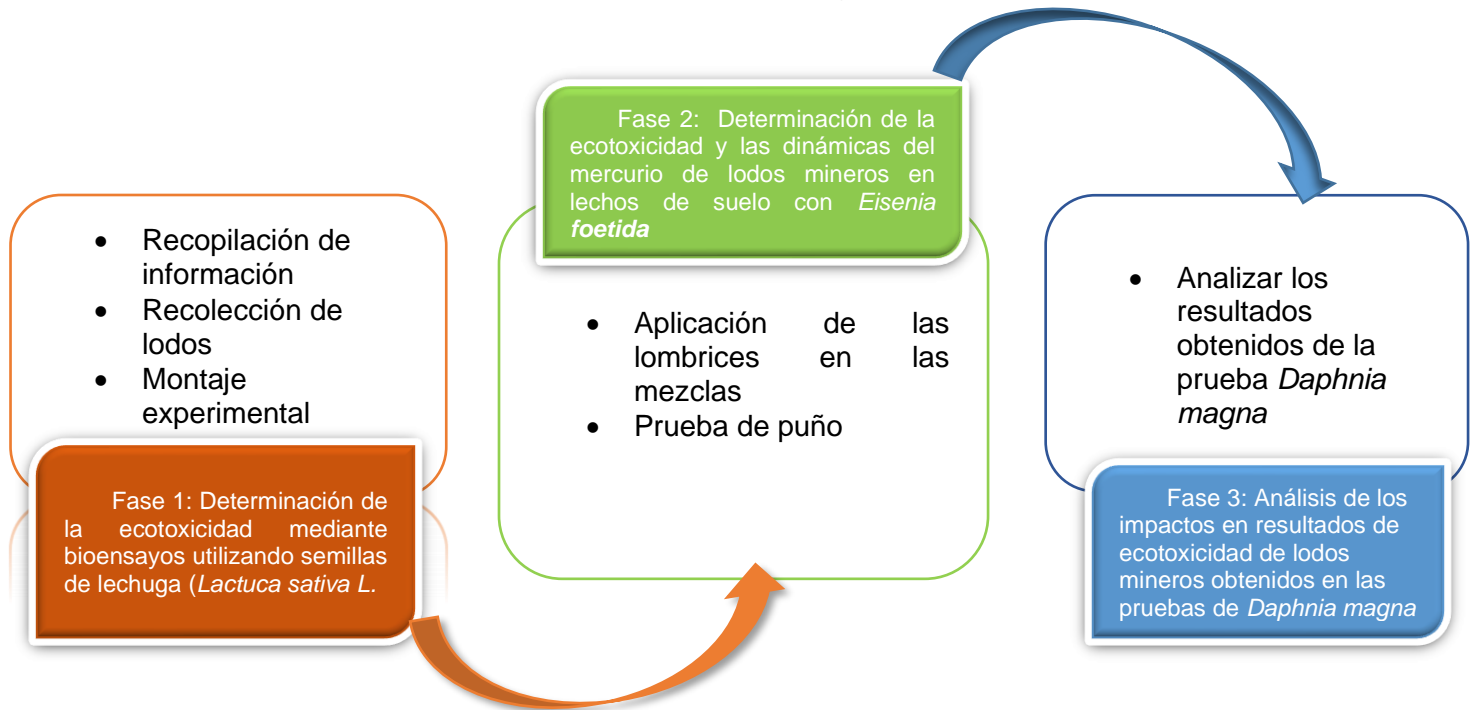


Figura 7. Planteamiento de la metodología

Fuente: Elaboración propia

3.1. Fase 1. Determinación de la ecotoxicidad mediante bioensayos utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*)

Recopilación de información: Como actividad preliminar se realizaron consultas en diferentes fuentes o bases de datos como EBSCO, SciELO, proyectos que han sido realizados referente a la temática, artículos científicos y libros, entre otros, que sirvieron como soporte para el desarrollo del proyecto.

Recolección de lodos: Se realizaron dos visitas a la planta de cianuración “Inversiones Ambuila” y se tomaron los lodos directamente del entable minero a

través de un muestreo simple en un recipiente plástico con capacidad de 20 L usando pala, luego se empacaron en bolsas herméticas de 20 x 30 cm, con capacidad de 1 kg, esto con el fin de evitar contaminación externa y posteriormente se trasladaron al laboratorio de Ciencias Ambientales de la Corporación Universitaria Autónoma del Cauca para su respectivo secado. El material se dispuso en bandejas plásticas y se dejó a temperatura ambiente aproximadamente a 22 °C durante dos semanas y luego se procedió a realizar un tamizaje utilizando un tamiz de 1,66 mm con el fin de homogenizar la muestra como lo muestra la figura 8.



Figura 8. Tamizado de lodos para los distintos experimentos después de secados

Fuente: Propia

Montaje experimental de la prueba con semillas de *Lactuca sativa* L.:

Para el montaje experimental se utilizaron semillas de variedad Simpson producidas por semillas Arroyave, las cuales son certificadas y con un porcentaje de germinación del 85 %. El diseño experimental consistió en realizar un proceso de germinación con 4 montajes que se diferencian en el porcentaje de mezclas de lodo y tierra abonada con cáscara de arroz como se presentan en la tabla 5.

Tabla 5. Porcentaje de mezclas del montaje con *Lactuca sativa* L.

Montaje	Composición	Porcentaje (%)	Peso (g)	Peso total (g)
1	Tierra abonada(blanco)	100	1200	1200
2	Lodo + tierra abonada	50-50	600-600	1200
3	Lodo + tierra abonada	80-20	960-240	1200
4	Lodo +Tierra abonada	20-80	240-960	1200

Fuente: Elaboración propia

Una vez preparadas las diferentes mezclas se procedió a realizar la siembra de las semillas en bandejas de semilleros de 53 cm de largo x 26 cm de ancho (figura 10), sembrando 40 semillas para cada uno de los montajes. Con el fin de obtener una reproductibilidad del montaje experimental se hizo una siembra cada 8 días para cada montaje lo que permitiría tener al final del proceso 160 semillas sembradas como réplicas. Este proceso de germinación se regó cada 48 horas con el fin de mantener las condiciones óptimas de humedad.

La figura 9 muestra la siembra de 40 semillas de lechuga por cada bandeja en el día 0.



Figura 9. Siembra de semillas de lechuga día 0

Fuente: Propia

Durante la ejecución del desarrollo de la prueba experimental se hizo seguimiento y observación a diario con el fin de registrar el número de semillas que germinaban normalmente en cada uno de los montajes realizados. El criterio de germinación que se tuvo en cuenta fue la aparición visible de la radícula para cada uno de los sustratos. Una vez finalizado el montaje total que fue aproximadamente de un mes los datos recolectados fueron analizados bajo una estadística descriptiva.

3.2 Fase 2. Determinación de la ecotoxicidad y las dinámicas del mercurio de lodos mineros en lechos de suelo con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Con el fin de determinar el impacto que las trazas de mercurio presentes en el lodo pudiesen afectar a las lombrices, se realizó una prueba experimental con las lombrices de especie *Eisenia foetida*. Previo a la aplicación del lodo a las lombrices se realizó un análisis en un laboratorio certificado para determinar la concentración de mercurio y cianuro presentes en los lodos extraídos de la planta de cianuración

“Inversiones Ambuila” y que fueron utilizados en este proceso. Posterior a esta fase se realizó el montaje experimental con las lombrices.

Aplicación de las lombrices *Eisenia foetida* en las mezclas:

Para esta prueba experimental se trabajó con los mismos porcentajes de mezclas utilizados en la fase 1, incluyendo en esta ocasión un montaje adicional correspondiente al 100 % de lodo (ver tabla 5). Estas mezclas se dispusieron en materas plásticas de dimensiones 24,5 cm de ancho x 21,5 de largo, las cuales estaban adaptadas con agujeros en la parte inferior para facilitar la circulación y recolección de lixiviados y evitar efectos en las lombrices. Teniendo preparado el medio se procedió a aplicar y distribuir en las materas 2 kg de lombrices, incluidas lombricillas adquiridas en la granja integral Mamá Lombriz del municipio de Popayán.

A estos montajes se le realizó un seguimiento y observación continua en un periodo aproximado de 5 meses. La recolección de los lixiviados se efectuó constantemente en recipientes plásticos para asegurar la supervivencia de las lombrices. Para obtener un mejor compost se le agregó materia orgánica proveniente de cocina entre 10 a 15 días de acuerdo a lo observado en el desarrollo del experimento.

La figura 10 presenta el montaje con las diferentes composiciones de lodo y tierra.



Figura 10. Montaje con lombrices en las diferentes composiciones en el día 0

Fuente: Propia

De acuerdo a la literatura [60] las condiciones óptimas para la lombricultura está entre 19 y 30 °C, en el municipio de Suárez la temperatura ambiente oscila entre 24 y 27 °C, por lo tanto se cumplió con las condiciones óptimas del desarrollo de la lombriz. Como se muestra en la figura 10 el sitio es adecuado para tener una buena ventilación y evitar el contacto directo con el sol y así evitar alteraciones o cambios drásticos en el proceso de compostaje.

Otra de las variables que se tuvo en cuenta fue la humedad debido a que la lombriz necesita de mucha humedad, ésta es requerida para que pueda moverse dentro de los desechos y facilitar la fragmentación de los mismos, así como para su respiración. La humedad recomendada es del orden de 75 a 80 %. La lombriz roja vive normalmente en humedades del 82 %. De esta manera se hizo un riego manual con el fin de mantener la humedad del lodo lo más constante posible y este mantuviera el rango tolerado por la lombriz.

Para determinar la humedad inicial y final de cada tratamiento y conocer si el riego manual se estaba realizando correctamente, se efectuó la prueba de puño y las consideraciones para esta prueba se especifican en la tabla 6.

Tabla 6. Consideraciones para la prueba de puño

Indicador	Humedad	Acción
La masa apretada no toma la forma del puño y no gotea.	<70%	Es necesario regar
La masa apretada toma la forma del puño y no gotea.	(70-80)%	No regar
La masa apretada toma la forma del puño y gotea menos de 10 gotas en un minuto.	(85-90) %	No regar, peligro para las lombrices
La masa apretada toma la forma de puño y gotea más de 10 gotas en un minuto.	>90%	No regar peligro para las lombrices

Fuente: [61]

En la figura 11 se exhibe el ajuste de humedad en la muestra de lodo con el fin de mantener el rango tolerado por la lombriz.



Figura 11. Ajuste de humedad en el lodo mediante la prueba de puño

Fuente: Propia

Conteo de lombrices: Los datos de cantidad de lombrices se obtienen a través de un muestreo simple. El procedimiento se basó en tomar una muestra de lodo con un recipiente de 10 cm³ de altura en cada prueba y así contar la cantidad de lombrices; se realizaron 3 repeticiones para sacar un promedio de cada montaje. Esto permitió a su vez observar el aumento de las lombrices y determinar si la lombriz efectivamente se estaba reproduciendo.

Al término de la fase experimental, se hizo la observación de las mezclas de lodo y tierra, con el objetivo de analizar y definir si cualitativamente se obtuvieron cambios entre el montaje inicial y el final y poder establecer si los sustratos mostraron diferencias entre sí.

Una vez terminado el proceso de compostaje las muestras de lombrices por cada sustrato fueron enviadas al laboratorio de análisis de aguas y alimentos de la

Universidad Tecnológica de Pereira (UTP) para determinar el contenido de mercurio total en las lombrices, bajo el método de absorción atómica vapor frío.

3.3 Fase 3. Análisis de los impactos en resultados de ecotoxicidad de lodos mineros obtenidos en las pruebas de *Daphnia magna*

El análisis de toxicidad aguda realizado en *Daphnias* tuvo como objetivo determinar el porcentaje de mortalidad o inmovilización de estos organismos luego de ser expuestos a los residuos mineros (lodos) contaminados de mercurio y/o cianuro del punto de muestreo seleccionado. Para realizar esta prueba fue necesario recolectar 500 g de lodos cianurados obtenidos de la planta de cianuración “Inversiones Ambuila”, los cuales se enviaron en bolsas herméticas, selladas y debidamente rotuladas al laboratorio ASOCLINIC servicios ambientales certificado por el IDEAM de la ciudad de Cali Valle que se encargó de hacer el análisis bajo el método toxicidad aguda para *Daphnia*, parte C2 Acute Toxicity for *Daphnia* sp., de la Comunidad Europea – Resolución 0062 de 2007 del IDEAM por un periodo de 48 horas bajo condiciones ambientales controladas tales como pH, oxígeno disuelto (OD), temperatura, iluminación y régimen de luz. Este ensayo consistió en determinar el efecto del mercurio y/o cianuro que se encontraban presentes en los lodos mineros tras 48 horas de exposición.

CAPÍTULO IV. RESULTADO Y ANÁLISIS

De acuerdo a los resultados en el desarrollo de la metodología los resultados obtenidos para cada fase fueron los siguientes:

4.1 DETERMINACIÓN DE LA ECOTOXICIDAD MEDIANTE BIOENSAYOS utilizando semillas de lechuga (*Lactuca sativa L.*)

La tabla 7 muestra los resultados obtenidos de la prueba experimental con *Lactuca sativa L.*, teniendo en cuenta que para cada montaje se sembraron 40 semillas.

Tabla 7. Total y porcentaje de semillas germinadas

Montaje	Días	Semillas germinadas (unidades)	porcentaje de germinación %
	0	40	100
Blanco	8	37	92.5
	16	30	75
	24	28	70
	0	39	97.5
20% lodo y 80% tierra abonada	8	23	57.5
	16	28	70
	24	23	57.5
	0	38	95
50% lodo y 50% tierra	8	34	85
	16	27	62.5
	24	12	30
	0	37	92.5
80% lodo y 20% tierra abonada	8	30	75
	16	23	57.5
	24	17	42.5

Fuente: Elaboración propia

Para el caso del montaje blanco el cual contenía tierra abonada se pudo observar que en los diferentes ensayos realizados hubo una variación en el porcentaje de germinación presentando los valores más altos de germinación y

mejor contenido vegetal, teniendo en cuenta que para este sustrato la humedad se conservaba por más tiempo que en los demás, permitiendo mantener las condiciones óptimas para el crecimiento de las semillas.

El sustrato 20 % lodo y 80 % tierra presentó condiciones similares al sustrato blanco con respecto a la humedad, las plantas alcanzaban el mismo tamaño y tiempo de germinación que las de la prueba testigo y fue el sustrato con contenido de lodo con mayor germinación de semillas.

En los resultados obtenidos del sustrato de composición 50 % lodo y 50 % tierra el tiempo de germinación de las semillas fue igual a las dos anteriores, pero sus plantas presentaron menor tamaño respecto a los resultados obtenidos en la prueba testigo.

Para el sustrato 80 % lodo y 20 % tierra se obtuvieron los resultados de germinación es poca la diferencia en relación a los demás sustratos, pero el tiempo para las semillas lograr la germinación fue mucho más tarde que para las demás, por lo anterior son estas plantas las de menor crecimiento.

Las tazas y tiempo de germinación para todos los montajes se asocian con el porcentaje de lodo-tierra, la retención de humedad necesaria para la germinación de las semillas y el lugar donde se llevó a cabo el proyecto el cual en los últimos días del montaje experimental los niveles de temperatura aumentaron y el lodo se secaba con mayor frecuencia, por ende, los sustratos con mayor contenido de lodo minimizaron la germinación.

La tabla 8 presenta los resultados de germinación total de semillas de *Lactuca sativa L.* para cada montaje.

Tabla 8. Porcentaje total de semillas germinadas para cada sustrato

Total de semillas sembradas por montaje (Unidades)	Montajes	Total de semillas germinadas(Unidades)	Porcentaje de germinación total %
160	Blanco	135	84.4
	20 % lodo y 80 % tierra abonada	113	70.6
	50 % lodo y 50 % tierra abonada	111	69.4
	80 % lodo y 20 % tierra abonada	107	66.9

Fuente: Elaboración propia

Tabla 9. Análisis estadístico

MEZCLA	DÍA 0-24	MEDIA	MEZCLA	DÍA 0-24	DESVIACIÓN ESTÁNDAR
BLANCO		33,8	BLANCO		5,7
20/80		28,3	80/20		7,5
50/50		27,8	50/50		11,4
80/20		26,8	20/80		8,7

Fuente: Elaboración propia

Según los resultados expresados en la tabla de análisis estadístico, se puede decir que la germinación para cada una de las muestras presenta una variabilidad con respecto a la media de cada sustrato. Por lo tanto y de acuerdo a los resultados es posible que los residuos mineros no resulten ser tóxicos para la germinación de semillas de lechuga, ya que esta no mostro mayor alteración, hubo buena germinación, (figura 12) la apariencia de las plantas y el crecimiento fue muy similar con respecto al blanco y siendo la mejor opción para aprovechamiento de los lodos la mezcla 20% lodo y 80 % tierra.

La figura 12 muestra la germinación de las semillas de lechuga en el día 30.



Figura 12. Germinación de las semillas de *Lactuca Sativa L.* día 30

Fuente: Propia

4.2 DETERMINACIÓN DE LA ECOTOXICIDAD Y LAS DINÁMICAS DEL MERCURIO DE LODOS MINEROS EN LECHOS DE SUELO CON lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

Durante el proceso de compostaje las características del lodo cambiaron considerablemente en términos generales para todos los montajes. Lo observado durante el desarrollo experimental en cada uno de los montajes fue que los montajes blancos, 20 % lodo y 80 % tierra y 50 % lodo y 50 % tierra mostraron mejoría en sus características de olor, color y textura en un menor tiempo respecto a los otros. En todos los montajes el proceso de descomposición de la materia orgánica fue paulatina, los lixiviados en la prueba testigo tenían un olor más fétido y un color más oscuro que los demás, en este sustrato se observaba una mayor fluidez de las lombrices.

Respecto a la reproducción de lombrices, se evidenció un aumento de estas, ya que al inicio y final de la prueba se hizo un conteo por cada 10 cm³ de tierra en tres 3 repeticiones y se promedió.

Los resultados del promedio de conteo de lombrices se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Promedios del conteo de lombrices

Composición	promedios del conteo inicial de lombrices por 10 Cm3 (Individuos)	promedios del conteo final de lombrices por 10 Cm3 (Individuos)	Diferencias en la reproducción
Blanco	69 lombrices	84 lombrices	15
20 % lodo y 80 % tierra	30 lombrices	48 lombrices	18
50 % lodo y 50 % tierra	45 lombrices	60 lombrices	15
80 % lodo y 20 % tierra	58 lombrices	72 lombrices	14
100 % lodo	20 lombrices	26 lombrices	6

Fuente: Elaboración propia

El aumento de lombrices se puede explicar en términos de la materia orgánica ya que la materia orgánica representa uno de los aportes benéficos para un buen desarrollo y crecimiento del anélido [62]. Ya que su presencia contrarresta los efectos nocivos de la salinidad, además de incrementar la actividad de los microorganismos para el desarrollo del vermicompost dando como resultado una correcta mineralización de los nutrientes del sustrato. Así mismo, tal contenido controla la toxicidad de los metales pesados, formando quelatos, compuestos muy estables y capaces de encapsular a los metales para su eventual eliminación. Por esta razón, las variaciones de densidad poblacional son directamente atribuidas al contenido de materia orgánica que se encuentra presente en el sustrato, de aquí que cuando se comparan los demás tratamientos con la muestra de referencia, los valores de la dinámica poblacional son siempre inferiores.

La figura 13 muestra el conteo de lombrices por cada 10 cm³ de tierra.



Figura 13. Conteo de lombrices

Fuente: Propia

En cuanto a el color y tamaño de las lombrices se pudo observar que estas características durante el proceso de estabilización, en las primeras semanas disminuyeron respecto a la calidad. Esto debido a que las lombrices fueron incorporadas directamente al lecho con el lodo y la tierra sin compostar, por lo tanto, durante estas semanas se produjo su adaptación al medio y a medida que se estabilizo el lodo sus características nuevamente mejoraron. Aunque la lombriz obtuvo un comportamiento igual con respecto al color y el tamaño durante la prueba.

Todos los sustratos presentaron condiciones óptimas para la adaptación y reproducción de la lombriz según los resultados obtenidos al termino del montaje experimental. Los resultados aquí obtenidos coinciden con los reportados en un estudio realizado donde se propuso el uso de la lombriz *Eisenia foetida* como agente para absorber metales y observar su respuesta como remediador de suelos contaminados por jales de mina. La prueba de toxicidad se realizó con la lombriz

Eisenia foetida en cuatro tratamientos diferentes de 500 g de sustrato cada una de una mezcla homogénea de desecho de mina de oro con estiércol con cinco repeticiones en condiciones ambientales no controladas de temperatura y humedad con una duración de 126 días. Los tratamientos fueron los siguientes: (T0) 100 % de estiércol de caballo, (T1) 95 % desecho de mina y 5 % de estiércol, (T2) 90% desecho de mina y 10% estiércol, (T3) 85 % desecho de mina y 15 % de estiércol, (T4) 80 % desecho de mina y 20 % de estiércol en base a materia seca. Las lombrices lograron sobrevivir a pesar de estar un tiempo prolongado en un medio contaminado como son los desechos de minas de oro, esto puede haber sido a que las lombrices de la especie *E. foetida* desarrollan resistencia a los múltiples metales contenidos en los sustratos [63].

La tabla 11 presenta resultados de la determinación de mercurio total en las lombrices.

Tabla 11. Resultados de análisis de mercurio en lombrices

Ensayo	Método	Muestras	Resultados mg Hg/Kg
Mercurio total	Absorción atómica Vapor frío	Blanco	0,52
		20%lodo 80%tierra	5,67
		50%lodo 50%tierra	6,38
		80%lodo 20%tierra	9,38
		100%	13,88

Fuente: Elaboración propia

El resultado muestra que para el montaje con la prueba testigo hay presencia de mercurio y esto se debe posiblemente a errores experimentales como la no asepsia del recipiente a la hora del conteo de las lombrices. Se evidenció que entre mayor porcentaje de lodo la concentración de mercurio es mayor en las lombrices y por ende el sustrato de contenido 100% lodo juega un papel importante para realizar comparaciones con respecto al comportamiento de la lombriz, ya que a pesar de que este sustrato contenía solo lodo y la concentración de mercurio en este fue mayor, no impidió que las lombrices lograran su desarrollo y supervivencia.

4.3 ANÁLISIS DE LOS IMPACTOS EN RESULTADOS DE ECOTOXICIDAD DE LODOS MINEROS OBTENIDOS EN LAS PRUEBAS DE *Daphnia magna*

La tabla 12 presenta los resultados obtenidos en la prueba de toxicidad aguda en *Daphnia magna*.

Tabla 12. Resultados de ensayo de toxicidad aguda en *Daphnia magna*

Condiciones del ensayo				
Parámetro	Inicial	Final	Validez	Equipos
pH	8,40	8,39	$pH_f \neq pH_o \pm 1$ und	pH-metro T.Sci. Orion A111
Oxígeno disuelto (mg/L O ₂)	8,36	8,03	$\geq 2,00$ mg/L O ₂	Medidor de OD YSI 5000
	Mínimo	Máximo		
Temperatura (°C)	19,6	21,2	$20,0^{\circ}\text{C} \pm 2,0^{\circ}\text{C}$	Termómetro BRIXCO
Iluminación (lux)	913	920	600 - 1000 lux	Luxómetro digital EXTECH
Régimen de luz	16 h luz/8 h oscuridad			
Resultados				
Inmovilización/mortalidad para control negativo (%)		CL _{50 cal} Tóxico de referencia	Inmovilización/mortalidad para la muestra (%)	Incertidumbre para la muestra (%)
M1	0	1,235	0	1,0657
M2	0	1,235	0	1,0657

Conforme a los valores de referencia establecidos en la Resolución No. 0062 de 2007, “Por la cual se adoptan los protocolos de muestreo y análisis de laboratorio para la caracterización fisicoquímica de los residuos o desechos peligrosos en el país”, en las muestras analizadas el porcentaje de inmovilización/mortalidad es 0%, lo que significa que los lodos mineros no presentan ecotoxicidad, teniendo en cuenta la concentración de mercurio total en los lodos utilizados presentes en las muestras a las que fueron sometidas las daphnias (67.8057 mg Hg/kg) y cianuro total (Menor de 7.952 mg CN/kg) y comparado con la investigación Valoración de las

alteraciones provocadas por diferentes agentes tóxicos sobre *Daphnia magna* publicada en revista de toxicología de asociación Española de Toxicología España [38] donde los resultados fueron para exposición a mercurio durante un periodo de 7horas y la concentración de mercurio es inferior a la utilizada en esta investigación, obteniendo un resultado de 0 individuos muertos, para el caso del cianuro la concentración también es inferior pero después de un periodo de exposición de 5 horas y 7minutos se presenta la muerte de un individuo, lo cual indica que los lodos de los entables mineros no presentan toxicidad alguna ya que siendo superior la concentración de estas sustancias se mantiene la supervivencia de las daphnias.

Basado en estos resultados y en lo observado en los diferentes ensayos realizados existe una gran probabilidad que este tipo de lodos puedan ser reutilizados en diferentes actividades entre ellas la actividad agrícola y de esta forma minimizar el impacto que se viene generando a los suelos y al recurso hídrico del sector en donde están siendo arrojados los lodos de los diferentes entables.

Teniendo en cuenta el resultado de la prueba con daphnias y las lombrices, la mejor opción sería tener siempre una mezcla entre suelos naturales y lodos.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

El lodo minero no afectó la germinación de las semillas de *Lactuca sativa* L. (lechuga) en ninguno de los sustratos, por lo tanto, se puede inferir que no hubo ningún efecto de toxicidad en los lodos que pudiera imposibilitar el desarrollo de las semillas. Lo que permite concluir que el aprovechamiento de estos residuos mineros en el sector agrícola posiblemente podrían ser una alternativa viable para contribuir a minimizar los impactos ambientales ocasionados por la disposición inadecuada de estos.

El proceso de ecotoxicidad demostró que la lombricultura resulta ser una técnica viable de aplicación sencilla, ya que en todos los sustratos mostró resultados positivos en cuanto a la supervivencia y reproducción de lombrices, también presentando cambios en la textura y color del residuo minero.

Los diferentes tratamientos propuestos para la lombricultura variando las tasas de sustrato (lodo minero y tierra) no difieren en la estabilización del residuo; se determina que sin importar la cantidad de sustrato la estabilización es efectiva para estos.

Los lodos utilizados para el desarrollo de esta investigación resultaron no ser nocivos a la hora de realizar la prueba de toxicidad con daphnias lo que permite inferir que este tipo de sustrato puede ser susceptible a un uso de tipo agropecuario.

Por medio del aprovechamiento de los lodos resultantes de la explotación minera en el municipio de Suárez Cauca se permitirá prevenir y mitigar los efectos o impactos ambientales negativos causados por la inadecuada o parcial disposición y almacenamiento que actualmente se emplean para este tipo de residuos, promoviendo iniciativas innovadoras de aprovechamiento en los proyectos mineros de la zona, dentro de un concepto integral de desarrollo sostenible, en contribución económica y social.

5.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda a la comunidad minera del municipio de Suárez la incorporación de nuevos procesos metodológicos y tecnológicos que conlleven a una minería sostenible, basados en la mejora continua; minimizando la contaminación ambiental, optimizando las condiciones de salubridad y aumentando la capacidad de producción de oro, involucrando en el proceso la reutilización y/o disposición final de todos los residuos generados, en especial de los lodos mineros.

Se recomienda para próximas investigaciones realizar análisis del contenido vegetal para comprobar si hay existencia de mercurio en las plántulas, ya que en la presente investigación no se realizó este análisis para medir la concentración de este metal, debido a que este trabajo de investigación busco determinar la ecotoxicidad de lodos, pero midiendo el porcentaje de germinación.

Teniendo en cuenta que los ensayos de toxicidad con *Daphnia magna* permiten determinar la letalidad potencial de sustancias químicas puras, se recomienda realizar nuevas muestras de toxicidad con residuos mineros y estos individuos.

Se recomienda para el desarrollo del proceso de ecotoxicidad con lombrices controlar las variables de temperatura y humedad puesto que son variables que se comportan de manera independiente, y que son susceptibles a los cambios del medio por lo tanto es fundamental generar las condiciones necesarias para mantenerlas controladas y de esta manera obtener las condiciones óptimas para la supervivencia de la lombriz.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] K. S. Mina Hinestroza, “Diagnóstico normativo de la minería en Colombia Zaragoza como modelo prototípico de afectación ambiental producto de la minería” Pontificia Universidad Javeriana, Cali Valle, 2016.
- [2] E. R. Velásquez Mosquera, “Evaluación socio-económica y valoración de impactos ambientales derivados de la minería, desarrollada en el cabecera municipal” Paimado Universidad de Manizales, 2016.
- [3] J. Soria, “Legislación sobre los residuos urbanos y asimilables los residuos urbanos y asimilables”, 2003.
- [4] K. Durango Diaz y L. Mendoza Perez, “Tratamiento de lodos provenientes de la neutralización de cianuro en el proceso de beneficio de oro en el sur del departamento de Bolivar-Colombia,” Universidad de Cordoba, 2016.
- [5] “Acuerdo por plan de desarrollo del municipio de suárez” <http://suarez-cauca.gov.co/apc-aa-files/36373961663330363864336264363132/plan-de-desarrollo-suarez-cauca-2016-2019.pdf>
- [6] L.Valderrama, J.Chamorro, D.Olguín, J.Rivera, y J.Oyarce, “Amalgamación de concentrado de oro obtenido en concentrador Knelson.” 27 (2012) 33-38
- [7] C.A. Lucumi y A.D.Valenzuela, “Caracterización de efluentes y diques en la planta de beneficio San J. del municipio de Suárez. Cauca. como insumo de posibles alternativas de mitigación y control de los impactos generados por mercurio”, Corporación Universitaria Autónoma del Cauca ,2017.
- [8] E. Pinilla Mantilla, A. Hernández y K. J. Epinosa Morales, “La participación de la minería y sus beneficios económicos en Colombia y Perú,” vol. 10, no. 1, 2016.
- [9] CRC, “proyectos de producción más limpia en minería para los distritos del Cauca.”

[http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/mineria-suarez/mineralizacion Suarez.pdf](http://crc.gov.co/files/ConocimientoAmbiental/mineria/mineria-suarez/mineralizacion-Suarez.pdf). [Último acceso: 25 Octubre 2018]

- [10] W. Jung, D. Shin, H. Park, and K. Nam, "Environmental compatibility of lightweight aggregates from mine tailings and industrial byproducts," *Metals (Basel)*, vol. 7, no. 10, p. 390, Sep. 2017.
- [11] T. V. Rakotonimaro, C. M. Neculita, B. Bussière, M. Benzaazoua, and G. J. Zagury, "Recovery and reuse of sludge from active and passive treatment of mine drainage-impacted waters: a review," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 24, no. 1, pp. 73–91, Jan. 2017.
- [12] "México Minero  Qu  es la minería?" [Online]. Available: <https://mexicomintero.org/ciencia/que-es-la-mineria/>. [Ultimo Acceso: 26-Feb-2021].
- [13] D. Trujillo Ospina, D. Rojas Lozano, y N. López Cerquera, "Desbordamiento del extractivismo minero en Colombia el caso de Suárez, Cauca," *CS*, no. 26, pp. 171–201, 2018.
- [14] "B. D. Ramos, "Oxidación fotocatalítica como alternativa de tratamiento de aguas residuales del proceso de extracción de oro con cianuro". Tesis doctoral. Unal. 2016.
- [15] "Evaluación del grado de contaminación por mercurio y otras sustancias tóxicas, y su afectación en la salud humana en las poblaciones de la cuenca del río Atrato, como consecuencia de las actividades de minería" <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/VS/PP/SA/protocolo-sentencia-t622-vcolciencias.pdf> [ ltimo Acceso: 01-Dic-2019].
- [16] "Tipos de explotaciones mineras." [En línea]. Available: http://www.contraloriadecundinamarca.gov.co/attachment/002_informes/008_informe_anual_del_estado_de_los_recursos_naturales_y_del_ambiente_del

_departamento_de_cundinamarca/2017/tipos-de-explotaciones-mineras.html. [Accessed: 20-Feb-2021].

- [17] “La minería subterránea: ¿En qué consiste? - Ingeoexpert ®.” [Online]. Available: <https://ingeoexpert.com/2019/01/18/la-mineria-subterranea-en-que-consiste/?v=42983b05e2f2>. [Accessed: 15-Nov-2020].
- [18] “Plan nacional de desarrollo minero al sector minero de cara a la sociedad,” 2012. Bogotá D.C. <http://www.upme.gov.co/Docs/pndm/2013/PNDM2014.pdf> [Accessed:2021-02-22]
- [19] “Proyecto educación: Sumando Esfuerzos’ - La exploración minera.” [Online]. Available: <http://www.exploradores.org.pe/mineria/como-se-producen-los-minerales/exploracion.html>. [Accessed: 04-Dec-2020].
- [20] “Sinopsis nacional de la minería aurífera artesanal y de pequeña escala.” https://www.minambiente.gov.co/images/AsuntosambientalesySectorialyUrbana/pdf/mercurio/Sinopsis_Nacional_de_la_ASGM.pdf [Accessed:2020-12-04]
- [21] A. Corrales Castrillo “Análisis y evaluación de la problemática socioambiental ocasionada por el uso del mercurio en la minería aurífera artesanal en Colombia.” Universidad Libre, Bogotá D.C. 2013
- [22] D. Trujillo, D. Rojas y N. Lopez, “Desbordamiento del extrativismo minero en Colombia: El caso de Suárez Cauca.” 2018.
- [23] Información general de Suárez. Alcaldía del municipio, 2015. [En línea]. Disponible en: http://suarez-cauca.gov.co/informacion_general.shtml.
- [24] “Estudios de caso Suárez y El Tambo, Cauca.” http://srvags.sgc.gov.co/Archivos_Geoportal/Geologia/Guia-metodologica-Suarez-Buenos-Aires-El-Tambo.pdf
- [25] Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005. DANE. <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y->

poblacion/censo-general-2005-1

- [26] “Comunidad minera del municipio de Suárez.”
https://www.responsiblemines.org/wp-content/uploads/2019/03/Estudio-suarez-tambo_20-comprimido-vf.pdf
- [27] “Google Earth.” [Online]. Available:
<https://earth.google.com/web/@2.87045729,-76.699154,1354.24542836a,2362.70704918d,34.99145178y,0h,0t,0r>.
[Accessed: 13- Febrero-2021].
- [28] “Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades | ATSDR.” [Online]. Available: <https://www.atsdr.cdc.gov/es/>. [Accessed: 25-Apr-2019].
- [29] “Uso del mercurio en la minería artesanal y a pequeña escala.” [Online]. Available: https://ige.org/archivos/IGE/mercurio_en_la_Mineria_de_Au.pdf. [Accessed: 12-Dec-2019].
- [30] “Toxicología del mercurio. actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental.”
https://www.researchgate.net/publication/237820005_Toxicologia_del_mercurio_Actuaciones_preventivas_em_Sanidad_laboral_y_ambiental
- [31] “El manejo del cianuro en la extracción de oro.”
[http://www.ingenieroambiental.com/200/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20\(ICMM\).pdf](http://www.ingenieroambiental.com/200/EI%20Manejo%20del%20cianuro%20(ICMM).pdf)
- [32] “Efectos del cianuro en la salud humana.” [Online]. Available: http://center-hre.org/wp-content/uploads/2011/06/efecto_cianuro_en_la_salud_humana.pdf. [Accessed: 20-Dec-2019].
- [33] “Ensayos ecotoxicológicos | Mérieux Nutrisciences España.” [Online]. Available: <https://www.merieuxnutrisciences.com/es/agua-medio-ambiente/suelos/ensayos-ecotoxicologicos>. [Accessed: 18-Nov-2018].

- [34] R. Relyea and J. Hoverman, "Assessing the ecology in ecotoxicology: A review and synthesis in freshwater systems," *Ecol. Lett.*, vol. 9, no. 10, pp. 1157–1171, Oct. 2006.
- [35] "Verde Zona: Plantas como bioindicadores." [Online]. Available: <http://verdezona.blogspot.com/2016/06/plantas-como-bioindicadores.html>. [Accessed: 15-Feb-2021].
- [36] "Prácticas de toxicología ambiental" [Online]. Available: <http://practicastoxicologia.edu.umh.es/practica2/>. [Accessed: 04-Dec-2020].
- [37] "Clasificación científica de la *Daphnia magna*." https://www.ecured.cu/Daphnia_magna
- [38] "D. Martínez López, E. Hernández García, A. García Fernández, Valoración de las alteraciones provocadas por diferentes agentes tóxicos sobre *Daphnia magna* a través de un ensayo "on line" Revista de Toxicología, vol. 23, núm. 2-3, 2006, pp. 113-117."
- [39] "Efecto tóxico y ecotoxicológico de arenas negras de la minería artesanal en Madre de Dios." Rev. Sociedad. Química. del Perú [online]. 2017, vol.83, n.4, pp.403-411. ISSN 1810-634X.
- [40] D. Corona Vadillo, S. Cram Heydrich, E. Rojas, y D. Castillo, "Ensayo de genotoxicidad con la lombriz de tierra *Eisenia andrei*"
- [41] "Lombriz Roja Californiana - MB350 - StuDocu." [Online]. Available: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-nacional-autonoma-de-honduras/biotecnologia-i/ensayos/lombriz-roja-californiana/5525402/view>. [Accessed: 14-Feb-2021].
- [42] T. M. Córdoba, "Eficiencia del lombricompostaje en la biorremediación a cielo abierto en el municipio de Union Panamericana, departamento del Chocó," Universidad de Manizales 2016.
- [43] V. Pentreath *et al.*, "Bioensayo de toxicidad aguda con plantas nativas para

- evaluar un derrame de petróleo.” Rev. salud ambient. 2015;15(1):4-12
- [44] “Lechuga Lisa Verde.” [Online]. Available: <https://ecosiente.com/lechuja-lisa-verde>. [Accessed: 04-Dec-2020].
- [45] “Lechuga: Clasificación botánica y taxonómica - Plantas-Flores-huertos-jardines.”[Online]. Available: <https://todoplantasyflores.blogspot.com/2018/02/lechuga-clasificacion-botanica-y.html>. [Accessed: 14-Feb-2021].
- [46] Y. Puicon y J. E. Hurtado, “Bioremediación de suelos contaminados con mercurio utilizando pseudomonas sp. aisladas de zonas de minería informal.” Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima Perú
- [47] A. A. Briceño Alemán y A. C. Pérez Reyes “Utilización del humus Lombriz Roja Californiana (*Eisenia foetida*) como alternativa amigable al medio ambiente para el cultivo del café, finca Santa Dolores, Municipio el Crucero, Universidad nacional Autónoma de Nicaragua, 2016.
- [48] “Metals | Free Full-Text | Environmental Compatibility of Lightweight Aggregates from Mine Tailings and Industrial Byproducts | HTML.” [Online]. Available: <https://www.mdpi.com/2075-4701/7/10/390/htm>. [Accessed: 11-Dec-2019].
- [49] Zhuang, J. M., Lo, T., Walsh, T., & Lam, T. (2004). Stabilization of high mercury contaminated brine purification sludge. Journal of Hazardous Materials, 113(1–3), 157–164. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2004.06.003>.
- [50] I. C. Zapata, L. Martínez, E. Posada, M. E. González, and J. F. Saldarriaga, “Efectos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), sobre el crecimiento de microorganismos en suelos contaminados con mercurio de Segovia, Antioquia,” *Cienc. e Ing. Neogranadina*, vol. 27, no. 1, pp. 77–90, Jan. 2017.
- [51] D. Camarillo-Ravelo, M. Barajas-Aceves, and R. Rodríguez-Vázquez, “Evaluación de la fitotoxicidad de jales mineros en cuatro especies empleadas Como bioindicadoras de metales pesados,” *Rev. Int. Contam. Ambient.*, vol.

31, no. 2, pp. 133–143, 2015.

- [52] G. Argota Pérez, N. Espinoza Flores y J. Iannacone Oliver, “Evaluación de la toxicidad letal media por exposición a cianuro libre en efluentes y relaves mineros utilizando los biomodelos *Brachydanio erio* Y *Eisenia andrei*,” *Cátedra Villarreal*, vol. 1, no. 2, Jul. 2015.
- [53] Senado, “Leyes desde 1992 - Vigencia expresa y control de constitucionalidad [Constitucion_politica_1991],” *31 de mayo*, 2018. [Online]. Available: http://www.secretariasenado.gov.co/senado/basedoc/constitucion_politica_1991.html. [Accessed: 22-Mar-2019].
- [54] “Ley 23 de 1973” [Online]. Available: https://www.minambiente.gov.co/images/GestionIntegraldelRecursoHidrico/pdf/normativa/ley_23_de_1973.pdf. [Accessed: 23-Feb-2021].
- [55] “Ley 99 de 1993” [Online]. Available: https://www.oas.org/dsd/fida/laws/legislation/colombia/colombia_99-93.pdf. [Accessed: 23-Feb-2021].
- [56] “‘Ley 388 de 1997’ el congreso de Colombia decreta: capítulo i objetivos y principios generales.”
- [57] “Ley 685 de 2001”
- [58] “Republica de Colombia decreto 2811 del 18 de diciembre de 1974. por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente. el presidente de la republica de Colombia.”
- [59] “Ley 1658 de 2013.” [Online]. Available: <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?ruta=Leyes/1685943>. [Accessed: 23-Feb-2021].
- [60] A. Mabel, A. Pineda, E. Mauricio, and O. Valencia, “Evaluación De La Eficiencia De La Lombriz Roja Californiana *E. foetida* Para Estabilización De Lodos Residuales De La PTAR Salitre,” 2017.

- [61] C. López Calero, Y. P. Herrera González y K. López Benavides, “ Propuesta para el aprovechamiento de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales de la ciudad de Estelí, 2017. ”
- [62] M. S. SERPA , “Remoción de metales pesados cd y hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria el espinar – puno, utilizando vermicomposteo”, Puno – Perú,2017.
- [63] M. Sinaloa, J. H. Ojeda-López, M. O. Franco-Hernández, y G. Rodríguez Quiroz, “Absorción de metales pesados por la lombriz eisenia foetida de los jales de mina de oro en mocorito.”

7.ANEXOS

Anexo 1. Registro fotográfico, preparación del material para montajes



Anexo 2. Lodo seco y cernido



Anexo 3. Adecuación del lugar para evitar el ingreso directo de los rayos solares y de animales



Anexo 4. Alimentación y riego de agua para las lombrices



Anexo 5. Almacenamiento de lodos en taques



Anexo 6. Almacenamiento de lodos en plaza



Anexo 7. Germinación de semillas



Anexo 8. Análisis de toxicidad en *Daphnia magna*

TA-01-FMT- 004 V-10 Página 1/1
Versión: 01



CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Ensayo de Toxicidad Aguda en *Daphnia*

FECHA DE INFORME: 12-10-2019 CLIENTE: EDISON RIVERA FIGUEROA INSTITUCIÓN: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN DIRECCIÓN: POPAYÁN (CAUCA) TELÉFONO: 3148387987
--

CÓD. MUESTRA ASOCLINIC: TA 87 M 649 GENERADOR DEL RESIDUO: ENTABLES MINEROS MÉTODO DE MUESTREO: MUESTREO ALEATORIO CARACTERÍSTICAS: LODO COLOR CAFÉ FECHA Y HORA DE MUESTREO: 23-09-2019 10:00 FECHA DE ANÁLISIS DESDE: 07-10-2019	CÓD. MUESTRA CLIENTE: Muestra 1 MUESTREADOR: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN TIPO DE MUESTRA: SEMISÓLIDO FECHA DE RECIBO DE MUESTRA: 27-09-2019 HASTA: 11-10-2019
---	--

ORGANISMO DE ENSAYO:	<i>Daphnia magna</i>		
Proveedor:	Colonia Laboratorio de Toxicidad Ambiental – ASOCLINIC LTDA	Fuente: Universidad Nacional de Colombia	
Método de Ensayo:	Toxicidad aguda para <i>Daphnia</i> , parte C2 Acute Toxicity for <i>Daphnia</i> sp., de la Comunidad Europea – Resolución 0062 de 2007 del IDEAM		
Régimen alimenticio:	Algas <i>Selenastrum capricornutum</i> ($1,5 \times 10^6$ células/ <i>Daphnia</i> /día) - Espirulina seca (1,25 mg/L / día) - Alimento preparado: truchina, levadura, alfalfa (1,5 ml / semana).	Protocolos Internos TA-02-POE-002 TA-02-POE-001	
Madurez Sexual:	10 Días		Reproducción: partenogénesis
Tasa Reproductiva:	1,41 Neonatos / <i>Daphnia</i> / Día		

CONDICIONES DE ENSAYO				
Parámetro	Inicial	Final	Validez de los resultados	Equipos
pH (und)	8,42	8,36	pHF ≠ pHo ± 1 und	pH-metro T. Sci. Orion A111
Oxígeno Disuelto (mg/L O ₂)	8,34	8,10	≥ 2,00 mg/L O ₂	Medidor de OD YSI 5000
	Mínimo	Máximo		
Temperatura (°C)	19,6	21,2	20,0 °C ± 2,0 °C	Termómetro BRIXCO
Iluminación (lux)	913	920	600 - 1000 lux	Luxómetro digital EXTECH
Régimen de luz	16 h luz / 8 h oscuridad			

RESULTADOS			
Inmovilización / mortalidad para el control negativo (%)	CL ₅₀ 24h Tónico de referencia (K ₂ Cr ₂ O ₇ mg/L)	Inmovilización / mortalidad para la muestra (%)	Incertidumbre para la muestra (%)
0	1,235	0	1,0657

Valores de referencia: Según Resolución No. 0062 de 2007 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), si el porcentaje de inmovilización es ≥ 50% el desecho debe ser clasificado como ecotóxico.

Observaciones:

- Este resultado corresponde únicamente a la muestra analizada y no es comparable con ningún otro.
- El cliente asume la responsabilidad de la información suministrada a cerca de la muestra.
- Cuando el porcentaje de toxicidad esté cercano al límite del 50%, se recomienda realizar una verificación del análisis con un ensayo de inhibición en algas (IDEAM: Resolución 0062 de 2007, parte III, numeral 6.3., páginas 150-151).
- El presente documento no posee validez alguna sin el sello y las firmas respectivas.

Nota:

La muestra analizada permanecerá bajo custodia del laboratorio por tres meses contados a partir de la producción de este informe. Transcurrido este periodo se devolverá a su empresa de origen.

Andrea Ocampo Gil
Directora Técnica
T.P. 1144064361

Sede Administrativa: Carrera 37 2 Bis #5E-08 Edificio profesionales Bambú consutorio 201
Sede Laboratorio: Km 8 vía Cali – Puerto Tejada – Colombia
Cali – Colombia, Tel. (2) 667 48 29 - 317-6170696
www.asoclinic.com - asoclinic.laboratorio@nau.edu.co

Anexo 9. Análisis de toxicidad en *Daphnia magna*

TA-01-FMT- 004 V-10 Página 1/1
Versión: 01



CERTIFICADO DE ANÁLISIS

Ensayo de Toxicidad Aguda en *Daphnia*

FECHA DE INFORME: 12-10-2019 CLIENTE: EDISON RIVERA FIGUEROA INSTITUCIÓN: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN DIRECCIÓN: POPAYÁN (CAUCA) TELÉFONO: 3148387987
--

CÓD. MUESTRA ASOCLINIC: TA 88 M 650 GENERADOR DEL RESIDUO: ENTABLES MINEROS MÉTODO DE MUESTREO: MUESTREO ALEATORIO CARACTERÍSTICAS: LODO COLOR GRIS FECHA Y HORA DE MUESTREO: 23-09-2019 10:30 FECHA DE ANÁLISIS DESDE: 07-10-2019	CÓD. MUESTRA CLIENTE: Muestra 2 MUESTREADOR: FUNDACIÓN UNIVERSITARIA DE POPAYÁN TIPO DE MUESTRA: SEMISÓLIDO FECHA DE RECIBO DE MUESTRA: 27-09-2019 HASTA: 11-10-2019
---	--

ORGANISMO DE ENSAYO:	<i>Daphnia magna</i>		
Proveedor:	Colonia Laboratorio de Toxicidad Ambiental – ASOCLINIC LTDA	Fuente:	Universidad Nacional de Colombia
Método de Ensayo:	Toxicidad aguda para <i>Daphnia</i> , parte C2 Acute Toxicity for <i>Daphnia</i> sp., de la Comunidad Europea – Resolución 0062 de 2007 del IDEAM		
Régimen alimenticio:	Algas <i>Selenastrum capricornutum</i> ($1,5 \times 10^6$ células/ <i>Daphnia</i> /día) - Espirulina seca (1,25 mg/L / día) - Alimento preparado: truchina, levadura, alfalfa (1,5 ml / semana).		Protocolos Internos TA-02-POE-002 TA-02-POE-001
Madurez Sexual:	10 Días	Reproducción: partenogénesis	
Tasa Reproductiva:	1,41 Neonatos / <i>Daphnia</i> / Día		

CONDICIONES DE ENSAYO				
Parámetro	Inicial	Final	Validez de los resultados	Equipos
pH (und)	8,40	8,39	pHf ≠ pHo ± 1 und	pH-metro T. Sci. Orion A111
Oxígeno Disuelto (mg/L O ₂)	8,36	8,03	≥ 2,00 mg/L O ₂	Medidor de OD YSI 5000
	Mínimo	Máximo		
Temperatura (°C)	19,6	21,2	20,0 °C ± 2,0 °C	Termómetro BRIXCO
Iluminación (lux)	913	920	600 - 1000 lux	Luxómetro digital EXTECH
Régimen de luz	16 h luz / 8 h oscuridad			

RESULTADOS			
Inmovilización / mortalidad para el control negativo (%)	CL ₅₀ Tóxico de referencia (K ₂ Cr ₂ O ₇ mg/L)	Inmovilización / mortalidad para la muestra (%)	Incertidumbre para la muestra (%)
0	1,235	0	1,0657

Valores de referencia: Según Resolución No. 0062 de 2007 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), si el porcentaje de inmovilización es ≥ 50% el desecho debe ser clasificado como ecotóxico.

Observaciones:

- Este resultado corresponde únicamente a la muestra analizada y no es comparable con ningún otro.
- El cliente asume la responsabilidad de la información suministrada a cerca de la muestra.
- Cuando el porcentaje de toxicidad esté cercano al límite del 50%, se recomienda realizar una verificación del análisis con un ensayo de inhibición en algas (IDEAM: Resolución 0062 de 2007, parte III, numeral 6.5., páginas 150-151).
- El presente documento no posee validez alguna sin el sello y las firmas respectivas.


Nota:

La muestra analizada permanecerá bajo custodia del laboratorio por tres meses contados a partir de la producción de este informe. Transcurrido este periodo se devolverá a su empresa de origen.


Andrea Ocampo Gil
Directora Técnica
T.P. 1144064361

Sede Administrativa: Carrera 37 2 B1c #6E-48 Edificio profesionales Bambú consultorio 201
Sede Laboratorio: Km 8 vía Cali – Puerto Tejada – Colombia
Cali - Colombia. Tel. (2) 667 48 29 - 317-617668
www.asoclinic.com - asoclinic.laboratorio@inmuno.org

Anexo 10. Resultados concentración de metales en lodos

 Universidad Pontificia Bolivariana	REPORTE DE RESULTADOS				
	CONSECUTIVO: GIA3-427-19	COPIA No. 005-19	SUPLEMENTO No. 005-19	Página 1 de 3	
VERSION: 04 II-FO-066 2019-01-22					
FECHA DEL INFORME:	Agosto 23 de 2019				
EMPRESA SOLICITANTE:	CORPORACIÓN UNIVERSITARIA AUTÓNOMA DEL CAUCA				
INTERESADO:	NATALIA EUGENIA SAMBONI RUIZ				
DIRECCIÓN:	Calle 05 No. 03 – 85				
CIUDAD:	Popayán, Cauca				
TELÉFONO:	3148014661				
E-mail:	natalia.sambonir@uni-autonoma.edu.co				
NOMBRE DE LA MUESTRA:	LODOS MINEROS				
TIPO DE MUESTRA:	LODO SECO				
FECHA DE MUESTREO:	Julio 31 de 2019				
RESPONSABLE DEL MUESTREO:	Arnol Arias				
FECHA DE RECEPCIÓN:	Agosto 06 de 2019				
ANÁLISIS	FECHA DE ANÁLISIS	MÉTODO	UNIDADES	RESULTADO	INCERTIDUMBRE
*pH - LIXIVIADO	2019-08-13	EPA-9045 D	Unidades de pH	6.598	0.032
*SÓLIDOS TOTALES	2019-08-08	EPA-160.3 SM-2540-G	%	96.59	0.68
**CIANURO TOTAL – LODO	2019-08-21	LIXIVIACIÓN SM-4500-CN-A.2. B DESTILACIÓN SM- 4500-CN, B, C, DESARROLLO COLORIMÉTRICO PROPIO II-IN-192 V3	mg CN/(kg _{SS})	Menor de 7.952	1.592
**CIANURO TOTAL LIXIVIADO	2019-08-21	EPA-1311 SM-4500 CN-B, C, E	mg CN/L	0.366	0.006
*ARSÉNICO LIXIVIADO	2019-08-17	EPA-1311 SM-3113-B	mg As/L	0.0107	0.0005
*BARIO LIXIVIADO	2019-08-16	EPA-1311 SM-3030-F SM-3111-D	mg Ba/L	Menor de 0.548	0.046
*CADMIO LIXIVIADO	2019-08-16	EPA-1311 SM-3030-F SM-3111-B	mg Cd/L	Menor de 0.015	0.006
*CROMO TOTAL LIXIVIADO	2019-08-20	EPA-1311 SM-3030-F SM-3111-D	mg Cr/L	Menor de 0.099	0.048
*MERCURIO LIXIVIADO	2019-08-14	EPA-1311 SM-3112-B	mg Hg/L	0.1196	0.0002
**PLATA LIXIVIADO	2019-08-20	EPA-1311 SM-3030-F SM-3111-B	mg Ag/L	Menor de 0.067	0.006
*PLOMO LIXIVIADO	2019-08-20	EPA-1311 SM-3030-F SM-3111-B	mg Pb/L	0.325	0.012
LABORATORIO AMBIENTAL – GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES - UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA CIRCULAR 1 No 70 – 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 118 EDIFICIO LABORATORIOS MONSEÑOR FELIX HENAO BOTERO, Lib. 305. MEDELLÍN - COLOMBIA CONMUTADOR: 4488388 EXT.14035 – 14032 CELULAR: 3114640607 E-mail: franciscoxavier.lopez@usb.edu.co - laboratorioambiental@usb.edu.co					

Anexo 11. Resultados de la concentración de metales en lodos

 Universidad Pontificia Bolivariana	REPORTE DE RESULTADOS			
	VERSIÓN: 04 B-FO-066 2019-01-22			
CONSECUTIVO: GIA3-427-19	COPIA No. 000-19	SUPLEMENTO No. 000-19	Página 2 de 3	

**SELENIO LIXIVIADO	2019-08-20	EPA-1311 SM-3113-B	mg Se/L	Menor de 0.0061	0.0006
**BARIO – LODO	2019-05-15	EPA-3050-B SM-3111-D	mg Ba/kg _(s)	68.932	4.900
**COBRE – LODO	2019-08-15	EPA-3050-B SM-3111-B	mg Cu/kg _(s)	540.418	1.880
**CROMO TOTAL – LODO	2019-08-15	EPA-3050-B SM-3111-B	mg Cr/kg _(s)	Menor de 16.943	5.422
**MANGANESO – LODO	2019-08-16	EPA-3050-B SM-3111-B	mg Mn/kg _(s)	1847.356	0.236
**MERCURIO TOTAL – LODO	2019-08-22	SM-3112-B	mg Hg/kg _(s)	67.8057	0.0020
**PLATA – LODO	2019-08-15	EPA-3050-B SM-3111-B	mg Ag/kg _(s)	29.504	0.540
**PLOMO – LODO	2019-08-15	EPA-3050-B SM-3111-B	mg Pb/kg _(s)	79.032	1.542
**VANADIO – LODO	2019-08-20	EPA-3050-B SM-3111-D	mg V/kg _(s)	Menor de 34.874	6.772
**ZINC – LODO	2019-08-15	EPA-3050-B SM-3111-B	mg Zn/kg _(s)	710.915	0.470

(BS): Base Seca

ACLARACION: Los anteriores resultados son válidos únicamente para la muestra analizada bajo las condiciones en que fue recibida; son de carácter confidencial y de propiedad del cliente. No se permite la reproducción parcial y/o total del informe sin autorización del Laboratorio Ambiental. Se aceptan reclamos sobre los resultados emitidos ocho (8) días (calendario) después de entregado el informe y a los quince (15) días (calendario) de la entrega del informe de resultados el laboratorio descartará la muestra y asumirá como satisfactorio el servicio.

OPINIONES: El personal del Laboratorio Ambiental se abstiene de hacer comentarios, interpretaciones o recomendaciones acerca de los resultados, debido, al desconocimiento de la información relacionada con el proceso en cuestión.

* Parámetro acreditado.

** Parámetro no acreditado.

NOTA: El punto en los resultados corresponde al separador de cifras decimales.

ACLARACIONES

Laboratorio acreditado según Resolución 0150 del 24 de enero de 2018, ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM. El alcance de la acreditación en la matriz Suelos es para los parámetros: Humedad, pH y Sólidos Totales. Metales: Cadmio, Cobalto, Cobre, Manganeseo, Niquel, Plomo, Zinc, Aluminio, Bario, Calcio, Cromo Total, Estaño, Molibdeno, Mercurio y Cromo Hexavalente. Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007, NTC 4113-1 y NTC 4113-2. Parámetros en la matriz Lodos: Aluminio, Cadmio, Cobalto, Mercurio, Niquel y Plomo. Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007. Parámetros en la matriz Residuos Peligrosos: Corrosividad, Inflamabilidad Sólidos, Inflamabilidad Líquidos, Toxicidad - TCLP y Cromo Hexavalente. Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007. Metales en el Lixiviado Absorción Atómica: Aluminio, Arsénico, Selenio, Bario, Cadmio, Calcio Cobalto, Cobre, Cromo Total, Estaño, Hierro, Magnesio, Manganeseo, Molibdeno, Plomo, Potasio, Mercurio y Zinc. Muestreo: Método según Resolución 0062 de 2007. Pilas (Baterías): Cadmio, Plomo y Mercurio. Matriz Sedimentos: Muestreo, método según Resolución 0062 de 2007.



LABORATORIO AMBIENTAL – GRUPO DE INVESTIGACIONES AMBIENTALES - UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA
 CIRCULAR 1 No 70 – 01 BARRIO LAURELES, BLOQUE 118 EDIFICIO LABORATORIOS MONSEÑOR FELIX HENAO BOTERO, Lab. 305.
 MEDELLÍN - COLOMBIA
 CONMUTADOR: 4488388 EXT.14035 – 14032 CELULAR: 3114640607 E-mail:
laboratorioambiental@upb.edu.co - grupoambiental@upb.edu.co

Anexo 12. Resultados de análisis concentración de mercurio en lombrices



Universidad
Tecnológica
de Pereira

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No 1582/20

Código	1234AA-F80
Revista	1
Fecha	2020-02-11
Página	2 de 4

Fecha Edición			Cotización Aprobada No.
AÑO	MES	DÍA	231/20
2020	12	04	

INFORMACIÓN DEL CLIENTE			
Razón Social:	CORPORACION UNIVERSITARIA AUTONOMA DEL CAUCA	NIT o C.C.:	891501766-6
Solicitante:	Natalia Eugenia Samboni Ruiz	Cargo:	Docente Investigador Grupo GITA
Dirección:	Cl. 5 # 3 – 85	Teléfono:	7-8213000 – 3148014661
Municipio/Departamento:	Popayán – Cauca	Correo electrónico:	natalia.samboni.r@uniautonom.edu.co

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2020-11-17					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Lombriz	80% Lodo 20% Tierra T° de recepción 1,6°C	N.R.	N.R.	N.R.	1015-1

OBSERVACIONES:

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1015-1		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2020-12-02	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / Kg	9,38	N.E	N.E

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2020-11-17					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Lombriz	100% Lodo T° de recepción 1,6°C	N.R.	N.R.	N.R.	1015-2

OBSERVACIONES:

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risarcaldá-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio B Piso 1 y 2.
Teléfonos: Telefax: (57) 951 321 5750 / 313 7457 / e-mail: lab@utp.edu.co

NE 091.480.011 - 0 / Código Postal: 660001 / Geomático(C)T148 513 1300 / Fax: 321 5306 / Dirección: Cra 27 No 10- 02 Los Álamos - Pereira - Risarcaldá - Colombia / www.utp.edu.co
Reconocida como Institución de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional 2013 - 2021.

Anexo 13. Resultados de análisis concentración de mercurio en lombrices

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES INNOVACIÓN Y EXTENSIÓN LABORATORIO DE ANÁLISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS INFORME DE ENSAYOS No 1682/20														
						<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr><td>Código</td><td>123-444-555</td></tr> <tr><td>Versión</td><td>1</td></tr> <tr><td>Fecha</td><td>2020-02-11</td></tr> <tr><td>Página</td><td>2 de 4</td></tr> </table>	Código	123-444-555	Versión	1	Fecha	2020-02-11	Página	2 de 4
Código	123-444-555													
Versión	1													
Fecha	2020-02-11													
Página	2 de 4													
RESULTADOS														
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1015-2		Rango permitido:								
				Resultado	Uexp									
2020-12-02	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / Kg	13,88	N.E	N.E								
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA														
Fecha de recepción: 2020-11-17														
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno									
Lombriz	20% Lodo-80 % Tierra T° de recepción 1,6°C	N.R	N.R	N.R	1015-3									
OBSERVACIONES:														
RESULTADOS														
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1015-3		Rango permitido:								
				Resultado	Uexp									
2020-12-02	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / Kg	5,67	N.E	N.E								
INFORMACIÓN DE LA MUESTRA														
Fecha de recepción: 2020-11-17														
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno									
Lombriz	Blanco T° de recepción 1,6°C	N.R	N.R	N.R	1015-4									
OBSERVACIONES:														
RESULTADOS														
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1015-4		Rango permitido:								
				Resultado	Uexp									
2020-12-02	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / Kg	0,06	N.E	N.E								

Dirección: Cra 27 No 10-02 Los Álamos – Pereira-Risaralda-Colombia- Laboratorio de Análisis de Aguas y Alimentos Edificio B Piso 1 y 2
Teléfono: Telefax: (57) (6) 321 5750 / 313 7437 / e-mail: lab@unpa.edu.co

Anexo 14. Resultados de análisis concentración de mercurio en lombrices



Universidad
Tecnológica
de Pereira

VICERRECTORÍA DE INVESTIGACIONES
INNOVACION Y EXTENSION
LABORATORIO DE ANALISIS DE AGUAS Y ALIMENTOS
INFORME DE ENSAYOS No 1682/20

Código	123-LAA-F40
Versión	1
Fecha	2019-02-13
Página	3 de 4

INFORMACIÓN DE LA MUESTRA					
Fecha de recepción: 2020-11-17					
Tipo de muestra	Descripción	Fecha de toma de muestra	Hora de la toma	Tomadas por	Código interno
Lombriz	50% Lodo 50 % Tierra T° de recepción 1,6°C	N.R	N.R	N.R	1015-5

OBSERVACIONES:

RESULTADOS						
Fecha del ensayo	Ensayo	Método	Unidades	Código interno: 1015-5		Rango permitido:
				Resultado	Uexp	
2020-12-02	Mercurio Total	SM: 3112 – B Absorción Atómica Vapor Frío	mg Hg / Kg	6,38	N.E	N.E

Elaboró: Betty P.

ARIEL FELIPE ARCILA Z.
 Profesional I
 Matrícula PQI-0180
 Revisó

CARLOS HUMBERTO MONTOYA N.
 Director de Laboratorio
 Matrícula PQI-0177
 Autorizó