

ANÁLISIS DE LA TOXICIDAD POR METALES PESADOS SOBRE LA *Eisenia Foetida* COMO BIOINDICADOR EN SUELOS ALEDAÑOS AL RELLENO SANITARIO LOS CORAZONES DE VALLEDUPAR



AUTORES

DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRÍGUEZ

SAHARAY MARGARITA DÍAZ HERRERA

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR**

2021

**ANÁLISIS DE LA TOXICIDAD POR METALES PESADOS SOBRE LA *Eisenia Foetida* COMO BIOINDICADOR EN SUELOS ALEDAÑOS AL RELLENO
SANITARIO LOS CORAZONES DE VALLEDUPAR**



AUTORES

DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRÍGUEZ

SAHARAY MARGARITA DÍAZ HERRERA

DIRECTOR:

José Mauricio Pérez Royero

**UNIVERSIDAD POPULAR DEL CESAR
FACULTAD DE INGENIERÍA Y TECNOLÓGICAS
INGENIERÍA AMBIENTAL Y SANITARIA
VALLEDUPAR, CESAR**

2021

Tabla de Contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN	1
1. TÍTULO	2
2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	3
3. JUSTIFICACIÓN	5
4. OBJETIVOS	7
4.1. OBJETIVO GENERAL	7
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	7
5. MARCO REFERENCIAL.....	8
5.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS	8
5.2. MARCO TEÓRICO	12
5.2.1. Metales pesados.....	12
5.2.2. Movilizaciones de metales pesados en el suelo	13
5.2.3. Lombriz Eisenia andrei	15
5.2.5. Vermicompostaje	16
5.2.6. Vermicompost	17
5.2.7. Parámetros para tener en cuenta y monitorear en Vermicompostaje	18
5.3. MARCO CONCEPTUAL	19
5.4. MARCO CONTEXTUAL.....	20
5.4.1. ÁREA DE ESTUDIO.....	20
5.5. MARCO LEGAL	22
6. METODOLOGÍA	25
6.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN	25
6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN	25
6.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	25
6.4. POBLACIÓN	25

6.5.	MUESTREO POBLACIONAL	25
6.6.	DESARROLLO METODOLÓGICO.....	26
6.6.1.	Fase 1. Concentraciones de los metales Pb, Cd y As presentes en los suelos aledaños al relleno sanitario Los Corazones	26
6.6.2.	Fase 2. Determinación de la toxicidad aguda y crónica de los suelos contaminados sobre la <i>E. foetida</i>	28
6.6.3.	Fase 3. Correlación entre el estrés oxidativo en la <i>Eisenia foetida</i> y las concentraciones de los metales pesados determinados.....	29
7.	ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
7.1.	Recolección de las muestras de suelo.....	31
7.2.	Parámetros físicos de las muestras de suelo	31
7.3.	Parámetros químicos de las muestras de suelo.....	34
7.4.	Determinación de toxicidad aguda	36
7.5.	Determinación de toxicidad crónica	38
7.6.	Análisis estadístico	43
8.	CONCLUSIONES	49
9.	RECOMENDACIONES	51
	BIBLIOGRAFÍA	52

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Principales propiedades del vermicompost.....	17
Tabla 2. Marco legal nacional.....	23
Tabla 3. Métodos para la cuantificación de los parámetros.....	28
Tabla 4. Puntos de muestreo.	¡Error! Marcador no definido.
Tabla 5. Resultado del pH de las muestras de estudio.....	31
Tabla 6. Carbono orgánico del suelo de estudio.....	32
Tabla 7. Textura del suelo de estudio.	33
Tabla 8. Humedad de campo del suelo de estudio.....	33
Tabla 9. Temperatura de las muestras de suelo.	34
Tabla 10. Concentración del plomo en las muestras de suelo.	34
Tabla 11. Concentración de cadmio en las muestras de suelo.....	35
Tabla 12. Concentración de arsénico total en las muestras de suelo.	36
Tabla 13. Supervivencia de las lombrices a la toxicidad aguda.	37

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Área de estudio, Relleno Sanitario Los Colores, Valledupar, Cesar, Colombia.	20
Figura 2. Metodología de muestreo tipo espina de pescado	27
Figura 3. Recolección de las muestras de suelo.....	31
Figura 4. Montaje de los bioensayos.....	37
Figura 5. Bioensayos para determinar la toxicidad aguda.	37

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de las actividades antrópicas ha contribuido cada vez más a la generación de residuos con elementos potencialmente tóxicos que en concentraciones altas pueden tener efectos nocivos a la salud de la población y sus afectaciones al equilibrio ecológico y el ambiente, en este contexto los residuos sólidos dispuestos en los rellenos sanitarios pueden contaminar los suelos mediante los metales pesados producto de la descomposición de los residuos, estos metales puede permanecer durante largos períodos de tiempo en los suelos, transfiriéndose a la flora y microorganismos que en este habitan, lo que ocasiona un riesgo potencial de salud, ya que pueden entrar en la cadena alimenticia y al ambiente afectando así animales y al hombre.

En este sentido, una aproximación en la evaluación de los efectos de los metales pesados en suelos se realiza mediante bioensayos de toxicidad, para ello se han desarrollado metodologías estandarizadas (Organisation for Economic Cooperation and Development, 1984, 2000), las cuales se llevan a cabo para determinar los efectos agudos y crónicos en lombrices de tierra. Estas pruebas evalúan la contaminación del suelo, a través de indicadores como mortalidad, reproducción u otra respuesta subletal en los organismos de prueba.

Lo anterior es lo que se plantea realizar en este estudio, de esta manera el objetivo de este estudio es evaluar la toxicidad sobre la *Eisenia foetida* por metales pesados en suelos aledaños al relleno sanitario los corazones de Valledupar, para tal fin se determinarán las concentraciones de los metales Pb, Cd y As presentes en los suelos aledaños al relleno sanitario; luego se estimará la toxicidad aguda y crónica de los elementos traza presente en suelos sobre la *Eisenia foetida*, y, por último se establecerá la correlación entre el estrés oxidativo en los organismos y las concentraciones de los metales pesados determinados.

Los resultados obtenidos constituirán la línea base de los niveles de concentración de estos metales, los cuales debido a que no hay investigaciones previas en la zona de estudio, podrán ser utilizados en futuros proyectos para fundamentar propuestas de planteamiento de medidas de mitigación, adaptación y monitoreo para poder inferir acerca del funcionamiento del relleno sanitario y su impacto en la zona de influencia.

1. TÍTULO

ANÁLISIS DE LA TOXICIDAD POR METALES PESADOS SOBRE LA *Eisenia Foetida* COMO BIOINDICADOR EN SUELOS ALEDAÑOS AL RELLENO SANITARIO
LOS CORAZONES DE VALLEDUPAR

2. PLANTEAMIENTO Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Los metales pesados como Cadmio (Cd), Níquel (Ni), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) se encuentran en los desechos sólidos urbanos debido a los residuos de baterías de automotores y pilas secas de uso común en los hogares (Quinteros, Ramírez y Ramos, 2013). Los rellenos sanitarios al recibir este tipo de desecho representan una probable fuente de contaminación, la cual, es concentrada en los lixiviados producidos por los residuos sólidos urbanos, estos al tener contacto con el suelo pueden contaminarlo.

Los metales pesados guardan una relación directa con los riesgos por contaminación de los suelos, toxicidad en las plantas y los efectos negativos sobre la calidad de los recursos naturales y el ambiente, peligros dependientes de diversos aspectos como son la toxicidad específica del metal, bioacumulación, persistencia y no biodegradabilidad (Oyarzun et al. 2011; Wang et al. 2015).

En el suelo el mayor peligro reside en su acumulación por las plantas y la transferencia a los animales incluido el hombre (Liu et al. 2013). En general, la distribución de metales pesados en los suelos es un fenómeno complejo que se ve influenciada por factores como el potencial redox, el pH, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico, el nivel de las aguas subterráneas y sus fluctuaciones, entre otros (Jordanova et al. 2013). En las plantas la fitotoxicidad genera especialmente reducción del crecimiento radicular, de la biomasa y la transpiración, clorosis y necrosis en hojas, así como síntomas de senescencia y abscisión (Martínez, Gonzáles, Paternina y Cantero, 2017).

Una vez en el suelo, los metales pesados pueden quedar retenidos en el mismo, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli et al., 2004).

Debido a la alta cantidad de recepción de desechos sólidos que tiene el relleno sanitario los corazones, se hace necesario realizar esta investigación que permita conocer los niveles de concentración de estos contaminantes en las zonas de influencia; entendiéndose como zona de influencia el territorio donde potencialmente se manifiestan los impactos de la obra sobre la totalidad del medio ambiente o sobre alguno de sus componentes naturales, sociales o económicos.

El relleno sanitario los corazones presenta problema en el manejo de sus lixiviados debido a que de acuerdo con visitas técnicas realizadas se encuentran infiltraciones de este

líquido en la laguna N.2 lo cual evidentemente puede llegar hasta llegar al suelo o aguas bien sea superficiales o subterráneas. El mismo reporte menciona que la celda para la disposición final de residuos sólidos es deficiente y la geomembrana se encuentra instalada de manera incorrecta. Debido a lo cual esta situación vulnera los derechos colectivos a la salubridad pública, al goce a un medio ambiente sano y a la prestación eficiente de los servicios públicos estipulado en el artículo 4 de la ley 472 de 1998 de los habitantes de la región de los corazones corregimiento de Valledupar y demás población asentada alrededor del relleno sanitario.¹

Debido a esta situación surge la urgente necesidad de poder plantear esta investigación en aras de poder determinar si efectivamente hay presencia de metales pesados en los suelos aledaños al relleno sanitario los corazones.

Teniendo en cuenta lo anterior, surge la siguiente pregunta de investigación:

¿Cuál es la toxicidad por metales pesados sobre la *Eisenia Foetida* como bioindicador en suelos aledaños al relleno sanitario los corazones de Valledupar?

¹ Tribunal Administrativo del Cesar (2019). Recuperado de: <https://www.ramajudicial.gov.co/documents/2214826/27208429/SENTENCIA+RAD+N%C2%B0%202018-00210-01.pdf/d5c5b2ba-5c4d-4d10-95a1-a1bb2aab1681>

3. JUSTIFICACIÓN

Este estudio es relevante y tiene un impacto social debido a que dentro de los contaminantes presentes en los rellenos sanitarios se encuentran los metales pesados, ampliamente reconocidos por sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud de la población, estos contaminan las fuentes de agua y los suelos entre otros componentes del ambiente, además, se transfieren a las plantas y animales y por consiguiente entran y se acumulan en la red alimenticia. La transferencia de metales pesados a la flora y la fauna y por tanto el grado de contaminación de un sitio, puede medirse a través de la determinación de esos metales en especies bioindicadores.

En este sentido, los bioindicadores permiten tener información fiable y relevante sobre las condiciones del suelo, en este caso, además, se pueden aplicar durante la monitorización de la eficacia de los procesos fitorremediadores de suelos contaminados.

En este estudio, se utilizarán las lombrices *E. fétida* las cuales han sido consideradas como indicadores del impacto en el uso del suelo y su fertilidad, debido a que son organismos mucho más sensibles a la contaminación que otros invertebrados se han usado en modelos de toxicidad para determinar la contaminación ambiental, siendo esta lombriz la más usada. Han sido usados en estudios con metales, en los cuales se ha verificado su alta sensibilidad y su tendencia a acumular altas concentraciones. Han demostrado ser indicadores biológicos que permiten determinar adecuadamente la toxicidad y los posibles riesgos de contaminantes del suelo (Piola, 2011).

Este estudio es importante realizarlo porque el mismo permite poder determinar la tolerancia de las lombrices *E. fétida* a los metales pesados presentes en el suelo de alrededor del relleno sanitario los corazones de Valledupar, siendo así un indicador biológico altamente fiable que le permitirá a InterAseo como operador del relleno tomar decisiones a tiempo con base en el estrés oxidativo que presentan las lombrices. Además, los resultados obtenidos constituirán la línea base de los niveles de concentración de estos metales en la zona de estudio ya mencionada, esto debido a que no hay investigaciones previas en la zona de estudio, podrán ser utilizados en futuros proyectos para fundamentar propuestas de planteamiento de medidas de mitigación, adaptación y monitoreo para poder inferir acerca del funcionamiento del relleno sanitario y su impacto en la zona de influencia.

Finalmente, los resultados de este estudio le permitirán al relleno sanitario los corazones, y autoridades ambientales diseñar e implementar estrategias que en primer lugar prevengan la contaminación de los suelos por las actividades propias del relleno sanitario; y si no es posible lo anterior que busquen la mitigación por medio de medidas enfocadas en la gestión ambiental como tratamiento de fitorremediación, biorremediación, técnicas fisicoquímicas etc., en donde se puede recuperar la calidad del suelo favoreciendo así la flora y fauna en todos sus componentes y la vida humana.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Analizar la toxicidad por metales pesados sobre la *Eisenia Foetida* en suelos aledaños al relleno sanitario los Corazones De Valledupar.

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar las concentraciones de los metales Pb, Cd y As presentes en los suelos aledaños al relleno sanitario los corazones
- Estimar la toxicidad aguda y crónica de los elementos traza presente en suelos sobre la *Eisenia foetida*.
- Establecer la correlación entre el estrés oxidativo en la *Eisenia foetida* y las concentraciones de los metales pesados determinados.

5. MARCO REFERENCIAL

5.1. ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

Ojeda, Hernández y Quiroz (2019) realizaron una investigación titulada “Absorción de metales pesados por la lombriz *eisenia foetida* de los Jales De Mina de Oro En Mocorito, Sinaloa, México” se realizaron cuatro tratamientos diferentes de 500g de sustrato cada una de una mezcla homogénea de desecho de mina de oro y estiércol con cinco repeticiones 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. A cada tratamiento se le agregó 40 lombrices con un peso de $\sim 0.5086 \pm 0.0182$ g. Se analizaron la sobrevivencia, ganancia de peso y acumulación de metales pesados en las lombrices. El tratamiento con mejor sobrevivencia fue el tratamiento testigo (T0) en la que no hubo un cambio en el número de organismos hasta el final del experimento. De igual manera, registraron el mayor aumento de peso con promedio de 0.8106 ± 0.1264 g. Las lombrices acumularon una gran cantidad de metales pesados en sus tejidos, y algunos de estos compuestos pasan los estándares internacionales que establecen la Environment Protection Agency de los Estados Unidos de América y la Unión Europea. Los tratamientos T0, T1, T2, T3 son más altos en Fe, Pb y Zn que los estándares internacionales. Las lombrices de la especie *E. foetida* desarrollan resistencia a los múltiples metales contenidos en los sustratos. Definitivamente estas lombrices son útiles para biorremediar suelos siempre y cuando estos suelos contengan la materia orgánica y humedad suficiente para su sobrevivencia.

Serpa (2017) realizó una investigación titulada “remoción de metales pesados cd y hg en lodos residuales de la laguna de estabilización secundaria el espinar, puno, utilizando vermicomposteo” para optar por el título de ingeniero químico de la Universidad Nacional Del Altiplano. En este trabajo de investigación se propone el empleo de la técnica de vermicomposteo, utilizando la lombriz de la especie *Eisenia fétida* para la remoción de lodos residuales de origen urbano de la Laguna de Estabilización Secundaria El Espinar-Puno. Para cumplir con el objetivo planteado se elaboró un sistema de vermicomposteo con 4 muestras, cada muestra con 1 Kg de 100% lodo residual, a cada muestra se introdujo 5 lombrices adultas, en las cuales se determinó las concentraciones de Cadmio y Mercurio, mediante la técnica ICP-AES (Espectrometría de Emisión Atómica), inicialmente el lodo residual

contenía Cadmio un promedio de 1.021 mg/kg y la reducción fue a un promedio de 0.148 mg/kg, en el caso del Mercurio inicialmente contenía un promedio de 0.512 mg/kg y la reducción fue un promedio de 0.109 mg/kg, a la vez se controló la temperatura, donde inicialmente en promedio la temperatura fue 16.5°C y se mantuvo en ese promedio hasta el día 90 con 16.7°C, se controló el pH donde inicialmente el lodo era ácido con un promedio de pH de 5.6 y en el día 90 el pH era básico se controló un promedio de pH 7.5, seguidamente se determinó la humedad, en donde el día 1 tenemos un porcentaje de humedad de 40.2% y el día 90 un porcentaje de humedad 40.5% y para obtener nuestros resultados estadísticos con más precisión utilizamos la técnica ANOVA. Finalmente los resultados obtenidos indican una remoción en ambos metales Cadmio y Mercurio en las 4 muestras realizadas, se tiene un promedio inicial de 1.762 mg/kg de Cadmio y después del vermicomposteo tenemos un promedio de remoción de 0.09 mg/kg, para el Mercurio inicialmente se tuvo un promedio de 0.513 mg/kg y tuvo una remoción final de 0.037 mg/kg, el resultado final del vermicomposteo fue analizados después de los 90 días, se puede concluir que el tratamiento con mayor perspectiva para una mayor remoción de metales pesados, sin afectar la dinámica poblacional de la *Eisenia Fétida* se debe tener prioridad a la humedad, pH y temperatura para lograr más reproducción de las lombrices.

Ferrari (2017) realizó una investigación titulada “Evaluación de Vermicompostaje como tratamiento de lodos provenientes de industria de celulosa” se prepararon 12 lechos en los cuales se aplicaron los lodos, 6 de estos iban a ser utilizados para la obtención de muestras. El primer tratamiento (T1) corresponde a los 3 primeros lechos y el segundo tratamiento (T2) a los 3 lechos que le siguen. Se analizó: el crecimiento poblacional, análisis físico y químico, se elaboró una comparación con la normativa, un análisis de proceso. Las lombrices aceptaron el sustrato, aumentaron su población de 10.000 a más de 1.500.000 individuos en el Lecho 3, llegando a haber cerca de 30 mil lombrices por m². A los 16 meses se generó humus, lo que demuestra que es un proceso es plausible. El vermicompostaje generó cambios físicos, disminuyó el tamaño de partícula, vario la plasticidad de no plástico a ligeramente plástico, la adhesividad de no adhesivo a ligeramente adhesivo, la consistencia seca no varió y consistencia húmedo cambio de muy friable a suelto. En el análisis químico mostro que existen diferencias significativas en Carbono (C), relación carbono-nitrógeno (C/N), materia orgánica, lo que demuestra mineralización de materia orgánica. En los metales pesados el plomo y el cadmio presentaron disminución en sus concentraciones. Las pruebas que mostraron diferencias significativas fueron; pH, nitrógeno (N), Conductividad eléctrica

(C.E.) y cadmio (Cd) en T1, C.E. y plomo (Pb) en T2. En los nutrientes se observa variación del humus respecto del lodo, a pesar de que N, P, K totales no muestran aumento o disminución, las formas solubles de estos N-NO₃, P₂O₅, K₂O, aumentan en el humus, demostrando transformaciones químicas en estos nutrientes. El humus generado por este proceso tiene un bajo valor nutricional, pero cuenta con nutrientes disponibles y con propiedades físicas que le permiten una buena retención de agua. Su bajo nivel nutricional se debe a la carencia de nutrientes en los lodos generados en la producción de celulosa. Los resultados demuestran que se puede generar humus utilizable a partir del lodo de esta industria.

Mosquera (2016) realizaron una investigación titulada “Eficiencia del lombricompostaje en la biorremediación de suelos degradados por la minería a cielo abierto en el municipio de unión panamericana, departamento del Chocó” para optar por el título de Magister en Desarrollo Sostenible y Medio Ambiente de la Universidad de Manizales. Para llevar a cabo el proceso se estableció un diseño experimental en bloques completos al azar con tres repeticiones. Los tratamientos empleados fueron: T1 (suelo contaminado con Hg (100%) + lombrices (*Eisenia foetida*)), T2 (suelo contaminados Hg (50%) + compost no contaminado (50%) + lombrices (*Eisenia foetida*)), T3 (Compost contaminado con Hg (100%) + lombrices (*Eisenia foetida*)), y T4 (Compost no contaminado + lombrices (*Eisenia foetida*)). Este proceso se llevó a cabo durante un periodo de 133 días para observar la evolución de la remoción de mercurio, en el tratamiento uno (1) dos (2) y tres (3) a través de análisis de laboratorio. Los resultados a nivel de laboratorio permitieron determinar que en el tratamiento tres (3) se presentó la mayor remoción de Hg (65%), seguido del tratamiento dos (2) con el 43% y el tratamiento uno (1) con el 28%. Referente a las variables secundarias estudiadas, de pH, MOS (materia orgánica), CIC (Capacidad de intercambio catiónico) textura, densidad aparente y humedad de los suelos, los resultados expresaron que hay variabilidad significativa en los parámetros fisicoquímicos evaluados. En referencia de la población final y el tamaño de las lombrices *Eisenia Foetida*, solo se afectaron en el T1, donde aumentaron en 20% y 5% respectivamente y los demás tratamientos hasta un 50% más. Los resultados demuestran que el uso combinado de lombriz roja californiana y compostaje son una alternativa eficiente para la biorremediación de suelos contaminados.

Campos (2013) realizaron una investigación titulada “Evaluación de toxicidad de metales en suelos del Valle de Toluca empleando como indicador *Eisenia andrei*” para optar por el título de químico farmacéutico Biólogo de la Universidad Autónoma del Estado de

México. Se llevó a cabo la toma de muestra de 13 puntos de la zona de estudio durante dos etapas del año, la primera: época de lluvia al finalizar agosto de 2011 y la siguiente en época de sequía en noviembre de 2010, con los cuales se realizaron ensayos de toxicidad empleando la lombriz *Eisenia andrei*. Los resultados mostraron que no existe una relación directa entre las enzimas antioxidantes, la lipoperoxidación y los metales evaluados (Ti, Pb, Mn, Zn) a excepción del hierro obtenido durante la segunda etapa del estudio, el cual presentó una correlación significativa con la catalasa, concluyendo finalmente que el estrés oxidativo no es inducido directamente por la presencia de los metales en suelos.

5.2. MARCO TEÓRICO

5.2.1. Metales pesados

Por lo general se define a los metales como elementos sólidos que comparten ciertas propiedades físicas, químicas y mecánicas que los distinguen. Además del brillo, la maleabilidad, ductilidad, dureza, tenacidad y elasticidad, son buenos conductores de calor y electricidad y tienen una elevada capacidad de reflexión de la luz.

Estas características se deben a que poseen una estructura interna cristalina con átomos dispuestos y enlazados de manera ordenada y específica, distribuidos en planos que permiten el deslizamiento de los átomos cuando se produce algún tipo de fuerza sobre ellos. La posibilidad de deslizamiento es la que permite la maleabilidad. Adicionalmente, su conductividad eléctrica se debe también a su estructura atómica: tienen un núcleo con carga positiva y electrones con carga negativa en movimiento alrededor, lo que permite la transmisión de calor y electricidad (Banco de la Republica, 2010)

Plomo (Pb)

Los efectos biológicos del plomo son los mismos independientemente de que entre en el organismo por inhalación o ingestión. El plomo interfiere con la función celular normal y con varios procesos fisiológicos. Causa efectos negativos en las neuronas, efectos hematológicos, efectos endocrinos, efectos renales, efectos sobre la reproducción y el desarrollo, efectos cancerígenos.

Arsénico (As)

La contaminación de fuentes hídricas subterráneas por arsénico es una grave amenaza para la humanidad, ya que el arsénico puede incorporarse con gran facilidad en la cadena alimenticia y favorecer su distribución de amplia difusión en todo el reino animal y vegetal (Mandal & Susuki, 2002; Rakib & Bhuiyan, 2014). Dependiendo de las condiciones físicas y químicas del ambiente, algunos compuestos de arsénico se pueden solubilizar fácilmente en el agua y, para posteriormente ser tomados por los microorganismos, dando lugar a altos niveles de biodisponibilidad (Tsai et al., 2009).

Debido a su toxicidad, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera perjudicial para el ser humano el consumo de agua con una concentración de arsénico superior a 10 mg L^{-1} . La arsenicosis o hidroarsenicismo crónico es una enfermedad que se

presenta por elevadas concentraciones de (As) inorgánico y presenta diferentes afectaciones en la salud humana tales como problemas respiratorios, enfermedades cardiovasculares, gastrointestinales y efectos cancerígenos (pulmón, vejiga y piel) entre otras (Marruecos et al., 1993).

Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal pesado que puede ingresar por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón. El cadmio tiene la capacidad de bioacumularse en estos órganos vitales, lo que produce daños irreversibles incluso en bajas concentraciones. Además de esto, el tiempo de permanencia en estos órganos puede ser muy elevado, por lo que el tiempo de vida media del cadmio en el riñón puede alcanzar los 30 años (Reyes et al., 2016). Al cadmio es reconocido como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. Esta causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas (Singh & Tewari, 2006).

5.2.2. Movilizaciones de metales pesados en el suelo

Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo. La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica (Burt et al., 2003; Davis et al., 1995).

Según Rauret, Rigol y Sauquillo (2003), los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son:

- Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otros. II. Naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición. III. Condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad, entre otros. La movilización es relativa a todos estos factores, pero especialmente a aquellos que afectan a la transferencia desde fases sólidas a líquidas. Según Alloway (1995) los mecanismos

por los cuales los elementos traza de los suelos contaminados pueden ser movilizados son:

- Acidificación: resultado de la oxidación de sulfuros minerales precipitados y de fertilizantes de NH_4^+ , por la fijación biológica de nitrógeno, por precipitación atmosférica ácida (SO_x y NO_x) sobre los suelos, por descomposición de materia orgánica, por agotamiento de bases por lixiviación y por vertidos de contaminantes ácidos.
- Cambios en las condiciones redox: condiciones oxidantes pueden causar la oxidación y disolución de sulfuros insolubles. A la inversa, condiciones reductoras pueden conducir a la disolución de óxidos y a la liberación de sus elementos traza coprecipitados en la solución. Fortísimas condiciones reductoras también darán lugar a la precipitación de sulfuros insolubles de elementos traza.
- Complejación de especies metálicas con ligandos orgánicos: los ligandos son constituyentes químicos que se combinan con los metales en un complejo químico.
- Cambios en la composición iónica de la solución del suelo, que pueden tener un marcado efecto en la adsorción de elementos traza y su incorporación en complejos inorgánicos solubles e insolubles. Hay cuatro tipos de efectos: competición por los sitios de adsorción (por ejemplo, Ca^{2+} y Zn^{2+} inhibiendo la adsorción de Cd^{2+}); formación de complejos solubles (con aniones como Cl^- y SO_4^{2-}); formación de compuestos insolubles como $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$; efectos de fuerza iónica, de manera que incrementos en la fuerza iónica de la solución del suelo como resultado de la contaminación, aplicación de fertilizantes o salinidad puede conducir a una adsorción reducida y a la desorción de metales de lugares de la superficie.
- Metilación: metales como Arsénico (As), Mercurio (Hg), Antimonio (Sb), Selenio (Se) y Estaño (Sn) pueden ser transformados en metilespecies, como CH_3Hg^+ . La metilación puede afectar al movimiento y pérdida de ciertos elementos traza y también su toxicidad para organismos vivos; así las especies metil-As son menos tóxicas que las formas inorgánicas, mientras que las especies metil-Hg son más tóxicas. Las metilespecies pueden volatilizarse y perderse a la atmósfera y pueden también acumularse en la materia orgánica del suelo o en tejidos ricos en lípidos de raíces de plantas y fauna del suelo.

5.2.3. Lombriz *Eisenia andrei*

Las lombrices se emplean con frecuencia como organismos de prueba para evaluar la toxicidad de los suelos (Cuevas-Díaz et al., 2008). La especie de lombriz más utilizada en las pruebas estandarizadas es *Eisenia andrei* (Bouché, 1972). Esta especie se distribuye naturalmente en casi todo el hemisferio norte; es considerada un bioindicador de la calidad de los suelos, ya que solo es capaz de desarrollarse y reproducirse en condiciones adecuadas de humedad (85 %), temperatura (25 a 30 °C), pH del suelo (6.5 a 7.5) y alimentación (material orgánico agropecuario, industrial y doméstico). Además, *E. andrei* es un organismo de fácil manejo en el laboratorio (Kaplan et al., 1980), casi no contrae enfermedades, tiene un ciclo reproductivo corto (alcanza su madurez sexual en aproximadamente 2 meses) y es extremadamente prolífica (deposita cada 7 a 10 días una cápsula o huevo con un contenido que fluctúa de 2 a 20 embriones) (Domínguez et al., 2005; Santamaría y Ferrera, 2002). Cuando está sexualmente madura, desarrolla una estructura sobre la epidermis que se denomina “clitelo”, donde crecen los cocones o cápsulas en los cuales uno o varios huevos son depositados. Posteriormente esta cápsula pasa hacia los segmentos anteriores de la lombriz y es colocada en el suelo. Los juveniles se desarrollan dentro de la cápsula y después emergen de ella. (Palafox, Hernández, López y Cuevas, S.f).

5.2.4. Compostaje

El compostaje es el proceso biológico más frecuentemente utilizado para la conversión de la fracción orgánica de los residuos generados a un material húmico estable conocido como compost. Mendoza & Izquierdo establecen que el proceso se efectúa mediante la fermentación controlada (control de temperatura, humedad y aireación) de la fracción orgánica de los residuos por poblaciones de microorganismos aerobios (Bacterias, hongos y actinomicetos). En términos generales el compostaje se puede definir como una Biotécnica donde es posible ejercer un control sobre los procesos de biodegradación de la materia orgánica.

La biodegradación es el principio de la técnica de compostaje y es consecuencia de la actividad de los microorganismos que crecen y se reproducen en los materiales orgánicos en descomposición, los productos finales de esta degradación dependerán de los tiempos determinados metabolismos y en consecuencia a determinados grupos fisiológicos.

En un sistema de compostaje, lo deseable es que prevalezcan los metabolismos de tipo aerobio, tratando de minimizar los procesos de fermentación y de respiración anaerobia, ya

que los productos finales de este tipo de metabolismo no son adecuados para su aplicación agronómica y conducen a la pérdida de nutrientes.

Es importante comprender que lo importante del proceso no es biodegradar, si no conducir este proceso por rutas metabólicas que permitan la obtención de un producto final lo más apropiado posible, en el menor tiempo posible. (Mendoza, Mendoza Colomer, & Izquierdo Gallardo, 2010)

Los principales objetivos de realizar una práctica de compostaje se definen como (secretaría Distital de Habitat, 2016)

- Aprovechar los residuos orgánicos para que no sean llevados al relleno sanitario.
- Destruir microorganismos que causan enfermedades a plantas, animales y humanos.
- Estabilizar residuos orgánicos en materia orgánica para los suelos.
- Desactivar la capacidad germinativa de las semillas de plantas indeseables.
- Aumentar el contenido de nutrientes para ser aprovechados por las plantas.
- Transformar los residuos orgánicos en un producto estable y maduro utilizable en agricultura.

5.2.5. Vermicompostaje

Es un proceso similar al compostaje donde en adición a las bacterias y otros microorganismos, el sistema digestivo de la lombriz juega un papel importante, transformando los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad debido a los microorganismos benéficos que le aporta al suelo.

Las lombrices son de gran importancia económica, porque con su actividad cavadora de tierra, en su estado natural, participan en la fertilización, aireación y formación del suelo, por su efecto marcado sobre la distribución, aireación y formación del suelo, debido a la mezcla permanente y el reciclaje de bases totales, como el calcio, el cual sustraen de las capas más profundas del suelo hacia la superficie (Mendoza, Mendoza Colomer, & Izquierdo Gallardo, 2010). Además, se les atribuye el 20% de la degradación y mineralización de la materia orgánica del suelo reciclando las hojas muertas y otros materiales orgánicos para convertirlos en nutrientes que pueden utilizar las plantas y árboles

5.2.6. Vermicompost

Es un abono orgánico prácticamente insuperable, que puede incrementar hasta en un 300% la producción de hortalizas y otros productos vegetales, tiene un aspecto similar a la tierra, suave, ligero e inodoro, tiene altos contenidos nitrógeno, fosforo, potasio, calcio, magnesio y microelementos en cantidades al menos cinco veces superiores a las de un buen terreno fértil. Como abono orgánico tiene un alto valor nutritivo, pero lo más importante es la alta disponibilidad de los nutrientes para las plantas. El humus indica una carga bacteriana que le confiere una elevada actividad biológica, especialmente compuesta por grupos de microorganismos ya presentes en el suelo, por lo que además es un excelente inoculador de vida. (Mendoza, Mendoza Colomer, & Izquierdo Gallardo, 2010)

En el humus se encuentran enzimas, ácidos húmicos, ácidos fúlvicos, huminas y ulminas, que permiten mejorar la estructura del suelo, debido a que actúan como cementantes de unión entre las partículas del suelo, dando origen a estructuras granulares uniformes que permiten un óptimo desarrollo radicular, mejora el intercambio gaseoso, aumenta la oxidación de la materia orgánica y por ello la disponibilidad de nutrientes en formas asimilables, estimulando así el crecimiento vegetal. (secretaria Distital de Habitat, 2016)

Las principales propiedades del vermicompost son:

Tabla 1. Principales propiedades del vermicompost

Materia orgánica	65-70%	pH	6,8-7,2
Humedad	40-45%	Carbono orgánico	14-30%
Nitrógeno	1,5-2%	Calcio	2-8%
Fósforo	2-2,5%	Potasio	1-1,5%
Relación C/N	10-11	Ácidos húmicos	3,4-4%
Flora bacteriana	2*10 ⁶ colonias/gr	Magnesio	1-2.5
Sodio	0,02	Cobre	0,05%

Fuente: Mendoza et al., 2010

5.2.7. Parámetros para tener en cuenta y monitorear en Vermicompostaje

Los parámetros para monitorear en lombricultura son los siguientes (Mendoza et al., 2010):

- pH: La lombriz acepta sustratos con pH de 5 a 8,4 el cual se puede controlar mediante un pHmetro o un papel indicador, fuera de esta escala la lombriz entra en una etapa de latencia. Con pH ácido en el sustrato puede desarrollarse una plaga conocida en el mundo de la lombricultura como planaria.
- Temperatura: La temperatura es un factor que influye en la reproducción, producción y fecundidad de las cápsulas, una temperatura entre 18 y 25° es considerada óptima, ya que conlleva al máximo rendimiento de las lombrices. Para su monitoreo se utilizan mecanismos como termómetros o sistemas de alarma temprana que indican que la temperatura está descendiendo, si la temperatura es menor a 15°C entran en un estado de latencia, disminuyendo su actividad y dejando de reproducirse.
- Humedad: La humedad influye directamente en la reproducción y debe estar entre el 70 y 80%, una humedad superior al 85% hace que las lombrices entren en un periodo de latencia y se afecte la producción de vermicompost y la reproducción, debajo de 70% es desfavorable e inferior al 55% son mortales para las lombrices. La técnica para medir el porcentaje de humedad en el sustrato se conoce como prueba del puño o un medidor de humedad.
- Luminosidad: Las lombrices son fotosensibles, por lo tanto, se debe mantener el lombricultivo protegido de los rayos directos del sol, ya que en condiciones de exposición directa pueden matar a la lombriz.
- Relación C/N: La relación C/N debe ser de 30:1
- Salinidad: Debe estar por debajo de 0,5% es importante conocer el origen del alimento del lombricultivo debido a que los residuos pueden contener altos contenidos de sal.
- Contenido de amonio: Se recomienda que el contenido de amonio se mantenga por debajo de 0.5 mg/g.

Antes de poner en contacto a las lombrices con el alimento (medio) se debe asegurar que se realice un proceso de pre-compostaje, en donde se asegura que la fermentación del material cumpla con los parámetros anteriormente identificados.

5.3. MARCO CONCEPTUAL

Contaminante: Cualquier sustancia química que no pertenece a la naturaleza del suelo y cuya concentración excede la del nivel de fondo, susceptible de causar efectos nocivos para la salud de las personas o el ambiente. MINAM (2012).

Contaminación de suelos: Consiste en la acumulación de sustancias a niveles elevados que dañan a los suelos. Estas sustancias se vuelven tóxicas para los organismos que viven en él. Se trata de una degradación química que provoca la pérdida parcial o total de su productividad. MEDIO AMBIENTE (2011).

Lombriz de tierra: Son organismos importantes en los ecosistemas terrestres, mantienen la estructura de los suelos, ayudan en la aireación y también hacen parte de los procesos que allí se desarrollan como la degradación de materia orgánica y el ciclo de los nutrientes.

Suelo: Cuerpo natural de capas de suelo que están compuestas de materiales de minerales meteorizados, materia orgánica, agua y aire. Componente esencial de la tierra y ecosistemas. FAO (2017).

Impacto Ambiental: Obando (2009), se refiere al impacto ambiental como la alteración del medio ambiente, provocada directa o indirectamente por acciones humanas (labores mineras) o actividad en un área determinada. Este autor, opina que los impactos ambientales pueden ser positivos o negativos, es decir, beneficiosos o no deseados.

Indicador: Cualquier entidad biológica o proceso, o comunidad cuyas características muestren la presencia de las condiciones ambientales específicas o contaminación.

Índices de toxicidad: Son los parámetros toxicológicos que se utilizan en la evaluación de riesgos y se obtienen de los estudios de dosis-respuesta. Se estiman en forma diferente los índices para cancerígenos y los índices para no cancerígenos.

Punto de muestreo: Sitio específico destinado para tomar una muestra representativa del cuerpo de agua (Rodríguez et al., 2011).

5.4. MARCO CONTEXTUAL

El municipio de Valledupar es la capital del departamento del Cesar y es uno de los principales centros administrativos, políticos, culturales y comerciales de la región Caribe. Está ubicado al nororiente de la Costa Caribe de Colombia, en las zonas de estribación de la Sierra Nevada de Santa Marta, quedando en el valle creado por esta Sierra y la Serranía del Perijá a los $10^{\circ}27'37''N$ y $73^{\circ}15'35''O$. Valledupar se encuentra sobre la ribera del río Guatapurí, se encuentra ubicada a 168 metros sobre el nivel del mar. Es la quinta ciudad más grande de la Región Caribe. La población total del municipio (urbana y rural) en la actualidad es de 453,205 habitantes (Findeter, 2017).

5.4.1. ÁREA DE ESTUDIO

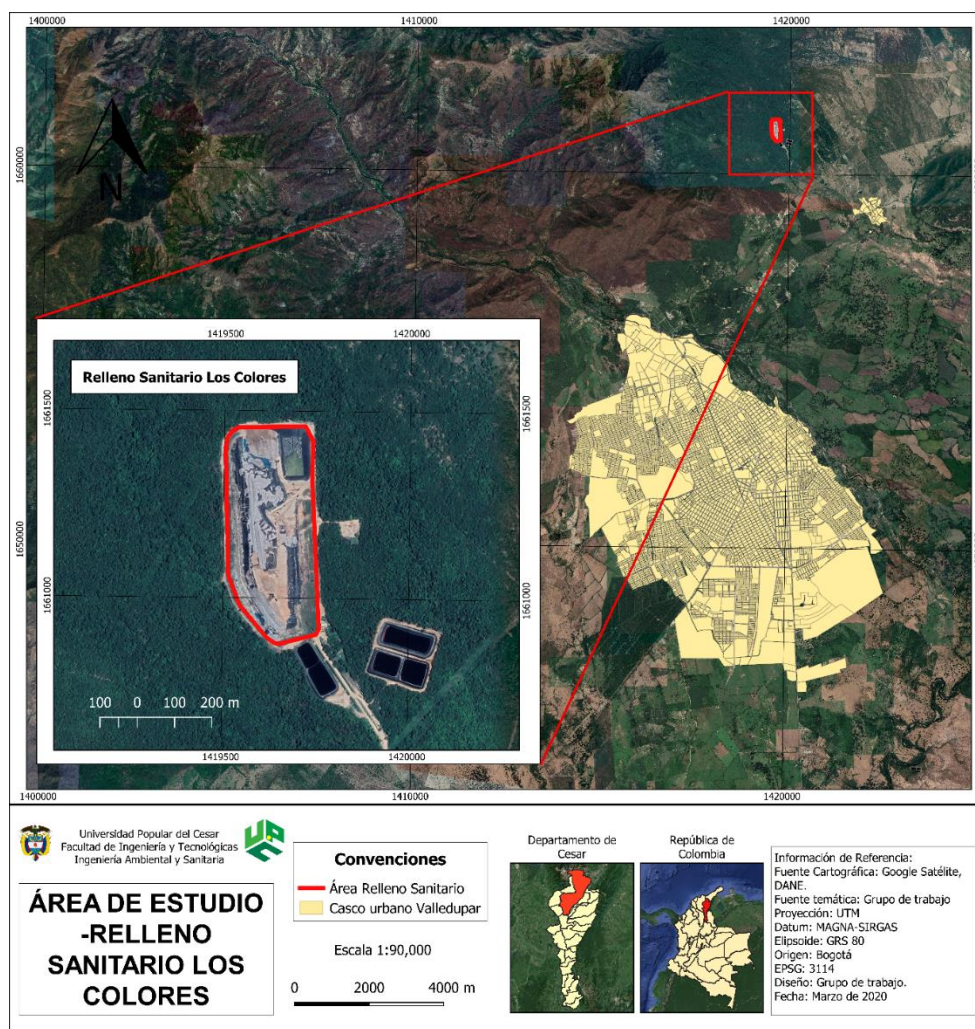


Figura 1. Área de estudio, Relleno Sanitario Los Colores, Valledupar, Cesar, Colombia.
Fuente: Autores, 2020

El relleno sanitario Los Corazones se encuentra ubicado en el municipio de Valledupar, departamento de Cesar a los $10^{\circ}32'57.1''N$ y $73^{\circ}14'45.1''W$ (ver figura 1), a seis

kilómetros del casco urbano de la capital departamental, sobre la vía que conduce a Patillal y posee un área de ciento (120) hectáreas; limita en la parte sur con el río Guatapurí, al occidente la carretera que de Valledupar conduce a Patillal, al norte con el arroyo El Pájaro y hacia el oriente con La Vega (Trujillo-Romero et al, 2019). Este relleno sanitario es combinado (tipo trinchera y área) y en él se disponen los residuos sólidos de municipios como Agustín Codazzi, La Paz, La Jagua de Ibirico, Manaure, San Diego, Valledupar, entre otros.

Límites del municipio:

De acuerdo con la Alcaldía de Valledupar (2020), Valledupar está ubicada en los 10o 29' de latitud Norte y 73o 15' de longitud Oeste y limita de la siguiente manera:

Por el Norte limita con los departamentos de Magdalena y la Guajira.

Por el Sur con los municipios de San Diego, La Paz y el Paso.

Por el Este con la Guajira y los municipios de San Diego y la Paz

Por el Oeste con el Magdalena y los municipios de Bosconia y el Copey.

Clima

Valledupar, dada su latitud, se encuentra en la zona de dominios tropicales, posee un clima tropical donde las características generales del clima son elevadas temperaturas y escasa oscilación térmica anual. La temperatura Media Anual es de 28,4 °C, con máximas y mínimas de 22°C y 34°C respectivamente, la temperatura máxima histórica registrada es de 41.5°C y la mínima de 16°C. El mes más caluroso es abril con un promedio de 30°C el más fresco es noviembre con 26 °C (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Vegetación: El valle del río Cesar pertenece a la clasificación climática Bosque Seco Tropical, estando cubierto por un bosque claro muy intervenido donde se alternan árboles dispersos y pastos artificiales para el sostenimiento de la importante cabaña bovina existente en sus campos. Las especies más representativas de la región, que corresponde a bosque seco tropical, están representadas por los géneros Cassia, Tabebuia, Crescentia e Inga entre otras con nombres comunes como acacias, cañaguates, guanábanos, cedros, ceibas y una importante variedad de especies foráneas muy adaptadas ya al medio local como los mangos, eucaliptos y cítricos (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Fauna: La fauna silvestre en la actualidad se encuentra muy afectada, los felinos y mamíferos como el tigrillo y los venados son actualmente una rareza sobresaliendo casi exclusivamente los reptiles representados por las iguanas, lagartijas y algunas serpientes como boas, falsas corales, y mapaná. En cuanto a las aves sobresalen algunas rapaces como la lechuza y los gavilanes y otras como palomas, tierrelitas, pericos y colibríes (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Vías de comunicación: Aéreas: La ciudad cuenta con el aeropuerto nacional Alfonso López Pumarejo, en el cual operan las aerolíneas Avianca con tres frecuencias diarias a Bogotá y conexiones nacionales, e internacionales a Europa, América latina y Norte América, Aires con dos frecuencias diarias a la ciudad de Barranquilla y conexiones con Montería, Cartagena, Panamá y San Andrés; la Aerolínea de Antioquia ADA cubre la ruta Valledupar-Medellín con escala en Caucasia. También funciona la aerolínea tipo charter Aviocesar que presta sus servicios a particulares con vuelos no regulares (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Transporte intermunicipal: Valledupar está servida por empresas que cubren rutas permanentes especialmente a La Guajira y al resto del departamento (Alcaldía de Valledupar, 2020).

Transporte terrestre interdepartamental: Operan en Valledupar las empresas de largo alcance con salidas diarias y regulares a Bogotá, Medellín, Bucaramanga, Neiva, Cali, Barranquilla, Santa Marta, Cartagena, Riohacha, Sincelejo, Montería y las poblaciones aledañas (Alcaldía de Valledupar, 2020).

5.5. MARCO LEGAL

En el desarrollo de una investigación se deben tener en cuenta los lineamientos legales para enfocar los resultados al cumplimiento de lo convenido y ratificado tanto en la normativa:

Tabla 2. Marco legal nacional

MARCO NACIONAL	
CONSTITUCION POLITICA DE COLOMBIA	<p>Artículo 79. Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano. La ley garantizará la participación de la comunidad en las decisiones que puedan afectarlo. Es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.</p> <hr/> <p>Artículo 80. El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados. Así mismo, cooperará con otras naciones en la protección de los ecosistemas situados en las zonas fronterizas.</p>
Ley 99 de 1993	<p>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 y el SINA. Mediante esta ley se logra concretar en un solo documento las normas y principios que influyen en el control y formulación de políticas ambientales a escala nacional (Congreso de la República, 1993)</p>
DECRETO 2011 DE 1974: CODIGO DE RECURSOS NATURALES	<p>En el decreto 2811 de 1974, se hace especial énfasis en materia de suelos en Colombia los siguientes artículos:</p> <p>Artículo 8: Se consideran factores que deterioran el ambiente entre otros:</p> <ul style="list-style-type: none"> - La contaminación del aire, de las aguas, del suelo y de los demás recursos naturales renovables. - La degradación, la erosión y el revenimiento de suelos y tierras. - Las alteraciones nocivas de la topografía. <p>Artículos 178 al 180: se relacionan los principios para el uso y el aprovechamiento del suelo.</p>

Artículos 182 al 186: Relacionado con el uso y conservación de los
suelos.

Artículos 324 al 326: Referencia los distritos de conservación del suelo.

Fuente: Autores, 2020

6. METODOLOGÍA

6.1. LÍNEA Y SUBLÍNEA DE INVESTIGACIÓN

La línea de investigación a la cual pertenece el presente proyecto se denomina: sostenibilidad y gestión ambiental, del programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. La sublínea corresponde a Suelos.

6.2. TIPO DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Hernández (2014) los estudios descriptivos buscan “especificar las propiedades, las características, y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a análisis (p. 92)

Esta investigación fue descriptiva porque busco especificar las concentraciones de los metales pesados en suelos de la zona de influencia del relleno sanitario los corazones, así como también busco conocer y caracterizar la toxicidad aguda y crónica de los suelos contaminados sobre la *E. foetida*.

6.3. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

De acuerdo con Sampieri & Otros (2014), los niveles de investigación son correlacionales-descriptivos, puesto que en primera instancia se analizó una información (concentración de metales en el suelo y en las lombrices) y luego se emitieron conclusiones de ciertos atributos, propiedades y/o características de la zona objeto de estudio.

6.4. POBLACIÓN

La población corresponde a los suelos aledaños o zona de influencia del relleno sanitario los corazones de Valledupar, Cesar.

6.5. MUESTREO POBLACIONAL

Corresponde a la concentración de Pb, Cd y As presente en suelos sobre la *Eisenia foetida*.

6.6. DESARROLLO METODOLÓGICO

6.6.1. Fase 1. Concentraciones de los metales Pb, Cd y As presentes en los suelos aledaños al relleno sanitario Los Corazones

En esta zona se recolectaron las respectivas muestras de suelo para la determinación de la presencia de metales pesados y la evaluación de la toxicidad aguda y crónica de la *Eisenia foetida*, como se describe a continuación:

Actividad 1.1. Actividades de campo

Descripción: los suelos se muestrearon teniendo en cuenta la guía establecida por el IGAC y el laboratorio chemilab ubicados en Bogotá en los cuales también se analizaron las muestras tomadas. Es importante resaltar que se realizó un muestreo de identificación (MI) el cual tuvo como objetivo investigar la existencia de contaminación del suelo a través de la obtención de muestras representativas con el fin de establecer si el suelo supera o no los Estándares de Calidad Ambiental (Mouhoun, 2019).

En este sentido, como el muestreo se realizó en suelos aledaños al relleno sanitario, se consideró una franja de área de influencia de 350 metros desde el relleno, como se muestra en el figura 2, de este modo se tuvo un área de 899,429 m², teniendo en cuenta que el área estudiada es irregular, pero no se encuentra dentro del rango de área establecido por la guía para muestreo (de 10,000 m² a 150,000 m², que se aplica para áreas regulares), se realizó la simplificación y adaptación a la disponibilidad económica considerando la toma de una muestra por cada 800 m lineales en el extremo o pared del área de influencia considerada además de que no se tomaron muestras en “el fondo” (debido a que en el “fondo” se encuentra la infraestructura del relleno sanitario).

Además, de los 4 puntos de muestreo localizados en la periferia de la zona considerada como área de influencia (a 350 metros del relleno). También se tomó un punto de muestreo adicional considerado como “blanco” y localizado a 2.5 km del relleno con el fin de tener un indicativo de cómo se encuentran naturalmente las concentraciones de los metales y de esta manera poder comparar con los que se encuentran mucho más cerca al relleno. Para la localización de este punto se tuvo en cuenta el mapa de generalización de suelos del departamento de Cesar con el fin de que la zona correspondiera a un mismo tipo de suelo que el encontrado aledaño al relleno sanitario, sobre todo en cuanto a condiciones geológicas y geomorfológicas. Asimismo, se consideró que el punto se encontró en una zona lo menos

intervenida por el hombre posible, es decir, que no hubiese cultivos ni ganadería, sino zona de matorrales o bosque natural.

Respecto a la toma de muestras, como solo se tomaron muestras lineales entonces se consideró la metodología de muestreo lineal espina de pescado en donde a cada punto de muestreo se le realizó una réplica a lado y lado tomadas a una distancia de 2 m, para así completar la muestra, como se aprecia en la figura 2. Por su parte, para el punto 5 se tomaron también cuatro submuestras separadas una distancia de 10 m cada una con el fin de obtener una muestra compuesta; cabe resaltar que esta muestra se tomó en los primeros 15 cm del suelo y luego del centímetro 15 al 20 de profundidad para tener más información acerca de la distribución en el perfil de los metales pesados y las características del suelo.

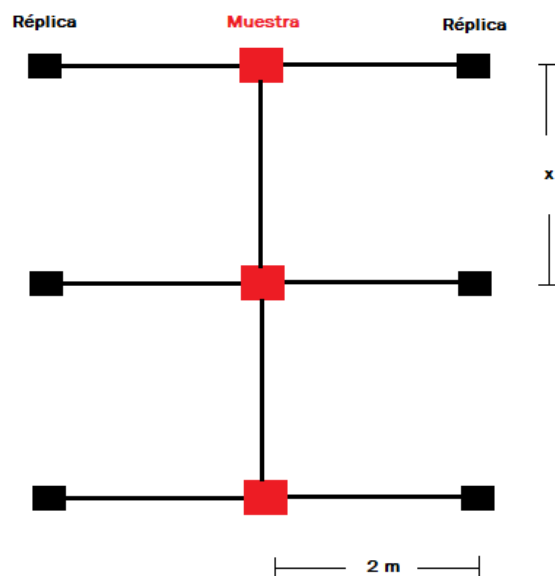


Figura 2. Metodología de muestreo tipo espina de pescado
Autores, 2020

Las muestras aledañas al relleno se recolectaron por cada punto entre 0 y 20 cm de profundidad y las réplicas se hicieron con el fin de obtener un mínimo de 5 kg de muestra por punto, almacenándolas en la misma bolsa Ziploc que la muestra principal; las muestras fueron almacenadas y refrigeradas temporalmente en una nevera portátil hasta llegar al laboratorio en donde, teniendo en cuenta los estudios de Yadav (2019) se analizaron metales como Pb (Plomo), As (Arsénico) y Cd (Cadmio), algunas propiedades del suelo y adicional a esto se incubaron lombrices de la especie *Eisenia foetida* con el fin de evaluar la toxicidad de estos suelos.

Actividad 1.4. Actividades de laboratorio

Para la determinación de las concentraciones de los metales traza anteriormente mencionados se llevó 1 kg de muestra al Laboratorio del IGAC en donde se realizaron los análisis de Pb, Cd, pH, contenido de materia orgánica, humedad, temperatura y textura, mientras que en el laboratorio chemilab se llevaron a cabo el análisis para As, también ubicado en Bogotá. Los métodos de laboratorio que se utilizaron para la cuantificación de cada uno de los parámetros se muestran a continuación:

Tabla 3. Métodos para la cuantificación de los parámetros.

Parámetro	Método
Arsénico	EAA (espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica)
Cadmio	EAA (espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica)
Plomo	EAA (espectrofotometría de absorción atómica electrotrémica)
Materia orgánica	Combustión húmeda
Textura	Método de Bouyoucos
pH	Método potenciométrico (SAMPLA,2004)
Temperatura	Termómetro del suelo
Humedad	Método gravimétrico

Fuente: Autores, 2020

6.6.2. Fase 2. Determinación de la toxicidad aguda y crónica de los suelos contaminados sobre la *E. foetida*

Para determinar la toxicidad aguda y crónica, se llevaron a cabo bioensayos con *E. foetida* en condiciones controladas según métodos estandarizados por la Organization for Economic Cooperation and Development (OECD) y los ejecutados por Ávila et al (2007). Para ello, de cada punto de muestreo se tomaron 500 g de suelo y se ajustaron a una humedad del 40 %, en cada contenedor experimental de vidrio de 750 mL.

Actividad 2.1. Determinación de toxicidad aguda

Descripción: En el bioensayo de toxicidad aguda, se incubaron treinta lombrices jóvenes de la especie *E. foetida* (sin desarrollo de clitelium), en cada una de las muestras de suelo, realizando dos réplicas por cada ensayo. Los organismos no se alimentaron durante el experimento. La sobrevivencia de las lombrices se midió al término de dos semanas de exposición.

Actividad 2.2. Determinación de toxicidad crónica

Descripción: Para determinar la toxicidad crónica, se incubaron 5 lombrices adultas de *E. foetida* (con clitelium visible), anteriormente lavadas con agua destilada, secadas en papel filtro y pesadas individualmente. Como alimento se aplicaron 5 g de estiércol de vaca humedecido con 5 mL de agua destilada. Para acostumbrar las lombrices, se las alimentó con dicho alimento una semana antes de la realización del bioensayo. Se realizaron también dos replicas por cada muestra y el tiempo de exposición será de ocho semanas. Al término de las primeras cuatro semanas, se determinaron los promedios de peso, el número de lombrices sobrevivientes y el número de capullos producidos. Al finalizar las ocho semanas, se determinaron la cantidad promedio de juveniles desarrollados, el porcentaje de sobrevivencia, porcentaje de cambio de peso y la producción de capullos. Durante el periodo de los bioensayos, la temperatura ambiental se mantuvo en un rango de 22 – 24 °C, con una iluminación de 400 lux y un fotoperíodo de 12 horas de luz y 12 horas de oscuridad. La humedad se mantuvo por medio de la aplicación de 40 mL de agua destilada una vez a la semana.

6.6.3. Fase 3. Correlación entre el estrés oxidativo en la *Eisenia foetida* y las concentraciones de los metales pesados determinados.

Actividad 3.1. Análisis estadístico

Descripción: Para comparar la respuesta de *E. foetida*, obtenida en los bioensayos entre cada punto de muestreo, se realizó una prueba de comparaciones múltiples de Tukey, al 5% de probabilidad. Asimismo, se realizaron correlaciones de Pearson entre las respuestas biológicas (estrés oxidativo de los organismos) y las concentraciones de Pb, As y Cd previamente determinadas, de esta manera se estableció el posible efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida*.

Actividad 3.2. Comparación con la normatividad

Descripción: Al igual que lo realizado por Martínez, et al (2016) los resultados arrojados por el laboratorio se analizaron mediante estadística descriptiva, para la determinación de la variabilidad y fuentes de los datos. Para establecer si las muestras de suelo recolectados en la zona cuentan o no con un grado de contaminación se realizó una comparación de los resultados del laboratorio con los límites máximos permisibles por diferentes naciones como Estados Unidos, Canadá, España, Países Bajos y la Unión Europea, puesto que en Colombia no se cuenta con una normatividad establecida.

7. ANÁLISIS DE RESULTADOS

7.1. Recolección de las muestras de suelo

El día 23 de marzo del 2021 con el fin de darle cumplimiento a la metodología propuesta y por ende a los objetivos se procedió con la recolección de la muestra en los cuatro puntos establecidos a 350 metros y .5 km del relleno sanitario.

A continuación, se presentan el registro fotográfico de la toma de muestra de suelos.



Figura 3. Recolección de las muestras de suelo.
Fuente: autores, 2021.

7.2. Parámetros físicos de las muestras de suelo

Para la mayoría de los metales pesados, el pH, el potencial de óxido-reducción, el contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y la textura del sustrato son los factores dominantes que determinan su movilidad y biodisponibilidad.

- **Ph**

En la tabla 5 se presentan los resultados del parámetro Ph para cada una de las muestras de estudio.

Tabla 4. Resultado del pH de las muestras de estudio.

Muestra	Resultado
1	7.340
2	7.200
3	6.580
4	7.380
5	6.560

Fuente: autores, 2021.

De acuerdo con la tabla 5 se encontró que el Ph del suelo es neutro para todos los puntos de muestreo, incluyendo el punto de control, por encontrarse dentro del rango de 6.6 – 7.3.

Con la mayoría de los metales pesados se puede observar una mayor movilidad y por tanto mayor biodisponibilidad en suelos de bajo pH. En suelos de pH ácido, la disponibilidad de cationes incrementa, debido al reemplazo de los cationes en el suelo por los H⁺, liberando los metales del suelo. Asimismo, la retención de los metales pesados en la materia orgánica del suelo es muy débil a pH bajos, lo que resulta en la mayor disponibilidad del metal la solución del suelo. Los metales que se encuentran en mayor disponibilidad a pH por debajo de 5.5 son Cd, Cu, Hg, Ni, Pb y Zn. (Sánchez, 2010).

El pH ácido de los suelos favorece en gran medida a la concentración de metales pesados y su biodisponibilidad en los suelos, esto ocurre debido a la competencia de iones H⁺ con los cationes metálicos, lo cual genera desorción de los metales pesados (Acosta y Montilla, 2011).

La mayoría de los metales tienden a estar más disponibles a pH ácido porque son menos fuertemente adsorbidos, excepto As, Mo, Se y Cr, que son más móviles a pH alcalino. (Galán y Romero, 2008).

- **Carbono orgánico**

Tabla 5. Carbono orgánico del suelo de estudio.

Muestra	Resultado (%)
1	7.340
2	7.200
3	6.580
4	7.380
5	6.560

Fuente: autores, 2021.

El rango normal de MO en los suelos se presenta entre 5 a 10% (Cuesta, 2005). La materia orgánica reacciona con los metales dando lugar a complejos llamados quelatos, de esta forma los metales migran con mayor facilidad a lo largo del perfil. La materia orgánica puede adsorber tan fuertemente a algunos metales que pueden quedar como no disponibles

para las plantas. Por este motivo, algunas plantas de suelos con contenidos elevados en materia orgánica presentan carencias de elementos como el cobre. El plomo y el cinc forman quelatos solubles muy estables. (Sánchez, 2010).

La formación de complejos por la materia orgánica del suelo es uno de los procesos que intervienen en la capacidad de solubilidad y asimilabilidad de metales pesados por las plantas; la toxicidad de los metales pesados aumenta en gran medida por su fuerte tendencia formar complejos organometalicos facilitando con ellos su solubilidad disponibilidad y dispersión (Schmitt y Sticher, 1991).

- **Textura**

Tabla 6. Textura del suelo de estudio.

Muestra	Gra va (%)	Are na (%)	Lim o (%)	Arci lla (%)	Clas e textural
1	0.0	85.8	8.1	6.1	AF
2	0.0	89.8	4.1	6.1	A
3	0.0	83.7	6.1	10.2	AF
4	0.0	91.9	2.0	6.1	A
5	0.0	67.3	20.4	12.3	FA

Fuente: autores, 2021.

Los suelos con partículas pequeñas tales como las arcillas retienen mayor cantidad de agua y por tanto tienen mayor cantidad de sitios para conjugarse con iones, especialmente con los cationes. La arcilla tiene un papel fundamental a la hora de caracterizar la contaminación de metales pesados en suelos ya que influye sobre su movilidad, al adsorber los metales pesados, que quedan retenidos en sus posiciones de cambio. Por el contrario, los suelos arenosos carecen de esta capacidad de fijación, por lo que los metales pesados pasan rápidamente al subsuelo y pueden contaminar los niveles freáticos. (Sánchez, 2010).

La textura predominante es franco arenosa con bajo contenido de arcillas y alto en arena, lo que favorece la infiltración de metales pesados, como Cd. (Bravo et al., 2013).

- **Humedad de campo**

Tabla 7. Humedad de campo del suelo de estudio.

Muestra	Resultado (%)
----------------	----------------------

1	1.30
2	0.82
3	1.41
4	0.95
5	2.64

Fuente: autores, 2021.

La humedad del suelo es un parámetro importante en este estudio dado que el mismo permite la movilización de los metales pesados (Sauquillo et al., 2003). En este estudio se encuentra una similitud en los valores de la muestra 1 y 3 con valores por encima del 1%, aunque en el punto 2 y 4 se presentan valores por debajo del 1% y por encima del 0,5%, por último, en el punto 5, siendo esta la muestra con mayor humedad, el valor fue de 2,64% por lo cual para este punto se espera un mayor desplazamiento de los metales pesados.

- **Temperatura**

Tabla 8. Temperatura de las muestras de suelo.

Muestra	Resultado (C°)
1	38
2	38
3	38
4	38
5	38

Fuente: autores, 2021.

De acuerdo con la tabla 9, la temperatura del suelo en todos sus puntos fue de 38°C, este parámetro al igual que los ya analizados son determinantes para la movilidad de los metales pesados en el suelo, de acuerdo con Hooda y Alloway (1993) y Miller y Friedland (1994), la absorción de Cd y Pb por la planta al igual que de otros iones es función de la temperatura. Además, a bajas temperaturas, la tasa de descomposición de la materia orgánica es menor.

7.3. Parámetros químicos de las muestras de suelo

- **Plomo**

Tabla 9. Concentración del plomo en las muestras de suelo.

Mu	Res	C	E	Holan	C
-----------	------------	----------	----------	--------------	----------

estra	ultado (mg/kg)	anadá	cuador	da	E
1	7.43	35	10 0	85	1 00-600
2	7.60	35	10 0	85	1 00-600
3	6.99	35	10 0	85	1 00-600
4	15.7 0	35	10 0	85	1 00-600
5	6.87	35	10 0	85	1 00-600

Fuente: autores, 2021.

De forma general se observa en la tabla 10 que todos los puntos de muestreo para el metal plomo cumplen totalmente con las concentraciones exigidas por las normas establecidas en Canadá, Ecuador, Holanda y la Comunidad Europea, por tanto, se puede decir que no existen afectaciones en la flora y fauna. Es menester resaltar que el punto 4 es el más crítico por cuanto duplica las concentraciones de los demás puntos.

- **Cadmio**

Tabla 10. Concentración de cadmio en las muestras de suelo.

Mues tra	Resulta do (mg/kg)	Ca nadá	Ecu ador	H olanda	E
1	0.07	0,6	2	0. 8	-6
2	0.06	0,6	2	0. 8	-6
3	0.17	0,6	2	0. 8	-6
4	0.05	0,6	2	0. 8	-6
5	0.05	0,6	2	0. 8	-6

Fuente: autores, 2021.

En el caso del cadmio se encontró, de acuerdo con la tabla 11, que las concentraciones del metal se encuentran por debajo de los valores permitidos por las normatividades citadas.

- **Arsénico total**

Tabla 11. Concentración de arsénico total en las muestras de suelo.

Mues tra	Resulta do (mg/kg)	Ca nadá	Ecu ador	H olanda	E
1	2.90	5.9	12	2 9	
2	2.56	5.9	12	2 9	
3	2.19	5.9	12	2 9	
4	1.45	5.9	12	2 9	
5	3.41	5.9	12	2 9	

Fuente: autores, 2021.

Por último, en cuanto al metal arsénico total en las cinco muestras tomadas los valores no sobrepasan la normatividad por tanto no hay afectaciones en la flora y fauna.

7.4. Determinación de toxicidad aguda

Para el bioensayo de toxicidad aguda, se incubaron treinta lombrices jóvenes de la especie *E. foetida* (sin desarrollo de clitelium), en un recipiente que contenía 500 gr de cada una de las muestras de suelo, realizando dos réplicas por cada muestra. Los organismos no se alimentaron durante el experimento. La sobrevivencia de las lombrices se midió al término de dos semanas de exposición, a continuación, se muestra el proceso:



Figura 4. Montaje de los bioensayos.
Fuente: autores, 2021.

Como se observa en la figura 4, el proceso de montaje consistió en el pesaje del recipiente, luego en la introducción de 500 gr de suelo en cada frasco para lo cual fue necesario la gramera con el fin de tener el contenido exacto, posterior a esto se contaron las lombrices y se depositaron en los recipientes que ya tenían las muestras de suelo. A continuación, se presentan los 10 recipientes:



Figura 5. Bioensayos para determinar la toxicidad aguda.
Fuente: autores, 2021.

A continuación, se presentan el número de lombrices que sobrevivieron al término de dos semanas de estar incubadas:

Tabla 12. Supervivencia de las lombrices a la toxicidad aguda.

Muestra	Réplica 1	Réplica 2	Promedio
1	18	26	22
2	8	6	7

3	8	10	9
4	8	4	6
5	12	14	13
Total	54	60	

Fuente: autores, 2021.

De acuerdo con la tabla 13, de forma general se puede observar que en los bioensayos de réplica hubo mayor sobrevivencia con 6 lombrices de diferencias que en las muestras. Sin embargo, las muestras en donde hubo mayor sobrevivencia fueron en la primera (promedio de 22 lombrices), y donde hubo menor sobrevivencia fue en la muestra 4 (promedio de 6 lombrices).

7.5. Determinación de toxicidad crónica

En primer lugar, se realizó el lavado de las lombrices adultas con agua destilada, y se secaron con el papel de filtro. Seguido de esto se hizo el pesaje de cada lombriz (en total fueron 5 por cada bioensayo) y como alimento se aplicaron 5 g de estiércol de vaca humedecido con 5 mL de agua destilada durante una semana antes de la realización del bioensayo, este proceso se muestra a continuación:



Figura 6. Proceso de lavado, secado, pesaje y aplicación de estiércol a las lombrices.

Fuente: autores, 2021.

Fue necesario, de acuerdo con la metodología hacer un pesaje de cada una de las lombrices que se utilizaron, dichos registros se muestran a continuación:

Tabla 13. Peso unitario de las lombrices de la muestra 1.

Muestra 1		
Lombrices	Réplica 1 (gr)	Réplica 2 (gr)
1	0,65	0.60
2	0,65	0.65
3	0,60	0.60
4	0,63	0.60
5	0,60	0.65
Peso total	3,08	3.10

Fuente: autores, 2021.

A continuación, se presentan el peso de las lombrices en cada uno de los bioensayos para la muestra 2.

Tabla 14. Peso unitario de las lombrices de la muestra 2.

Muestra 2		
Lombrices	Réplica 1 (gr)	Réplica 2 (gr)
1	0,50	0.54
2	0,65	0.63
3	0,60	0.49
4	0,58	0.65
5	0,60	0.50
Peso total	2,93	2.81

Fuente: autores, 2021.

A continuación, se presentan el peso de las lombrices en cada uno de los bioensayos para la muestra 3.

Tabla 15. Peso unitario de las lombrices de la muestra 3.

Muestra 3		
Lombrices	Réplica 1 (gr)	Réplica 2 (gr)
1	0,50	0.60
2	0,55	0.70
3	0,60	0.55
4	0,59	0.53
5	0,60	0.60
Peso total	2.84	2.98

Fuente: autores, 2021.

A continuación, se presentan el peso de las lombrices en cada uno de los bioensayos para la muestra 4.

Tabla 16. Peso unitario de las lombrices de la muestra 4.

Muestra 4		
Lombrices	Réplica 1 (gr)	Réplica 2 (gr)
1	0,59	0.54
2	0,60	0.63
3	0,55	0.55
4	0,44	0.60
5	0,65	0.58
Peso total	2.83	2.90

Fuente: autores, 2021.

A continuación, se presentan el peso de las lombrices en cada uno de los bioensayos para la muestra 5.

Tabla 17. Peso unitario de las lombrices de la muestra 5.

Muestra 5		
Lombrices	Réplica 1 (gr)	Réplica 2 (gr)
1	0,51	0.62
2	0,62	0.60
3	0,61	0.64
4	0,54	0.53
5	0,65	0.60
Peso total	2.95	2.99

Fuente: autores, 2021.

Durante el periodo de los bioensayos, la temperatura ambiental se mantuvo en un rango de 22 – 24 °C, con una iluminación de 400 lux y un fotoperíodo de 12 horas de luz (8:00 a.m. a 8: 00 p.m.) y 12 horas de oscuridad (8: 00 p.m. a 8: 00 a.m.), para mantener esta oscuridad los recipientes se colocar dentro de una caja y se ubicaron en un lugar dentro de la casa en donde no llegaron los rayos del sol. Ver figura 7.



*Figura 7. Periodo de bioensayos.
Fuente. autores, 2021.*

La humedad se mantuvo por medio de la aplicación de 40 mL de agua destilada una vez a la semana, como se muestra a continuación:



*Figura 8. Aplicación de agua destilada semanal.
Fuente: autores, 2021.*



*Figura 9. Montaje de los bioensayos para fase crónica.
Fuente: autores, 2021.*

- **Monitoreo de las lombrices al término de cuatro semanas**

Tabla 18. Monitoreo de las lombrices al término de cuatro semanas.

Réplica 1				Réplica 2		
No	LS	P.L (gr)	No. C.	LS	P.L (gr)	No. C.
1	5	5	0	4	4	0
2	2	2	0	3	3	0
3	5	5	1	4	4	0
4	4	3	0	3	2	0
5	4	4	1	5	4	3

Fuente: autores, 2021.

L.s: Lombrices sobrevivientes.

P.L: Peso de las lombrices.

No. C. Número de capullos.

De acuerdo con la tabla 19, las lombrices de la muestra tres y 1 fueron las que tuvieron un mejor comportamiento a las condiciones a las que fueron sometidos, dado que al término de las cuatro semanas sobrevivieron las mismas cinco con las que se inició el bioensayo; en el caso de la réplica 2, las lombrices tuvieron mejor sobrevivencia cuando fueron sometido a las muestras de suelo cinco. En cuanto al peso de las lombrices se encontró un notable aumento en donde las muestras 1 y 3 de la réplica uno tuvo el mayor peso con 5 gr, situación que se repite en la réplica 2, aunque con 4 gr y en donde la muestra 5 también obtuvo uno de los mejores pesos. Por último, en el caso del número de capullos, para la réplica 1, la muestra 3 y 5 fueron las únicas en donde se desarrollaron, en el caso de la réplica 2, la muestra 5 fue la única que desarrollo capullos.

- **Monitoreo de las lombrices al término de ocho semanas**

Tabla 19. Monitoreo de las lombrices al término de ocho semanas.

Réplica 1					Réplica 2			
No	%S	J. D	%P	No. C.	%S	J. D	%P	No. C.
1	100	0	83,3	0	50	0	80	0
2	50	0	75	0	67	0	50	0
3	80	0	83,3	0	100	0	80	0
4	80	0	86%	0	0%	0	0	0
5	100	2	75	1	80	5	30	2

Fuente: autores, 2021.

En el caso de la tabla 20 se encontró que para el caso de la réplica 1 las lombrices de la muestra 5 fueron las que mejor sobrevivencia tuvieron a las condiciones expuesta al cabo de los 8 semanas. En cuanto a la réplica 2 las lombrices de la muestra 3 tuvieron mejor adaptabilidad al suelo expuesto.

7.6. Análisis estadístico

- **Correlaciones entre metales de estudio y las respuestas biológicas de los organismos al término de cuatro semanas.**

Tabla 20. Correlaciones entre metales pesados y respuestas biológicas a las cuatro semanas.

Metal pesado	Respuesta biológica	Nivel de significancia	Correlación de Pearson
Plomo	Lombrices sobrevivientes	0,618	- 0,305
	Peso de las lombrices	0,249	-0,635
	Número de capullos	0,523	-0,384
Cadmio	Lombrices sobrevivientes	0,524	0,384
	Peso de las lombrices	0,337	0,550
	Número de capullos	0,892	-0,085
Arsénico	Lombrices sobrevivientes	0,559	0,354
	Peso de las lombrices	0,385	0,506
	Número de capullos	0,237	0,648

Fuente: autores, 2021.

Por medio de la tabla 21, se estableció el posible efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida*, de manera que para el metal plomo se observa que hay una correlación baja con relación a la respuesta lombrices sobrevivientes y número de capullos, sin embargo, el peso de las lombrices (-0,635) se encontró una correlación alta. Por otro lado, en el caso del metal cadmio, el peso de las lombrices sobrevivientes (0,550) tuvo una correlación moderada, aunque en el caso de las lombrices

sobrevivientes con un valor de 0,384 se estableció una correlación baja y en cuanto al número de capullos la correlación fue muy baja (-0,085). Por último, el arsénico tuvo una correlación baja con las lombrices sobrevivientes, moderada para el caso del peso de las lombrices (0,506) y alta para el caso del número de capullos (0,648).

- **Correlaciones entre metales de estudio y las respuestas biológicas de los organismos al término de ocho semanas.**

Tabla 21. Correlaciones entre metales pesados y respuestas biológicas a las ocho semanas.

Metal pesado	Respuesta biológica	Nivel de significancia.	Correlación de Pearson
Plomo	Lombrices sobrevivientes	0,36	-0,903
	Juveniles desarrolladas	0,623	-0,301
	Peso de las lombrices	0,143	-0,751
	Número de capullos	0,623	-0,301
Cadmio	Lombrices sobrevivientes	0,262	0,623
	Juveniles desarrolladas	0,589	-0,329
	Peso de las lombrices	0,163	0,730
	Número de capullos	0,589	-0,329
Arsénico	Lombrices sobrevivientes	0,296	0,589
	Juveniles desarrolladas	0,201	0,686
	Peso de las lombrices	0,461	0,438
	Número de capullos	0,201	0,686

Fuente: autores, 2021.

Por medio de la tabla 22, se estableció el posible efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida*, de manera que para el metal plomo

se observa que hay una correlación inversa y fuerte con las lombrices sobrevivientes, asimismo con el peso de las lombrices (-0,751); en cambio para la respuesta biológica relacionado con las juveniles desarrolladas (-0,301) y el número de capullo (-0,301) se observa una correlación moderada inversa. Por otro lado, en el caso del metal cadmio, las lombrices sobrevivientes (0,623) tuvo una correlación fuerte, igualmente con el peso de las lombrices, sin embargo, en el caso de los juveniles desarrolladas y numero de capullos los valores fueron inversos y moderados. Por último, el arsénico tuvo una correlación fuerte con los juveniles desarrollados y el número de capullos, aunque moderada para el caso de las lombrices sobrevivientes (0,589) y el peso de las lombrices (0,438).

- **Prueba de comparaciones múltiples de Tukey, al 5% de probabilidad para el término de cuatro semanas.**

En primer lugar, se realizará un análisis de varianza y con ello se establece las siguientes hipótesis que pretender ser probadas de acuerdo con dicho análisis que será el de un solo factor.

Ho: No hay un efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida* a las cuatro semanas.

H1. Si hay un efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida* a las cuatro semanas.

- **Plomo**

A continuación, se presenta el análisis de varianza para el caso del metal plomo, de acuerdo con la tabla 23 hay significancia entre el plomo y la respuesta biológica de los organismos, esto debido a que el valor de F (14,21) es mayor a Fcrítico (3,23), de manera que se rechaza la nula y se acepta la alterna, además, la probabilidad es menor a 0,05.

Tabla 22. Análisis de varianza del plomo a las cuatro semanas.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3	60,6600717	14,2189511	8,9041E-05	3,23887152
Dentro de los grupos	16	4,2661425			

Total	19
-------	----

Fuente: autores, 2021.

- **Cadmio**

A continuación, se presenta el análisis de varianza para el caso del metal plomo, de acuerdo con la tabla 23 hay significancia entre el plomo y la respuesta biológica de los organismos, esto debido a que el valor de F (31,00) es mayor a $F_{critico}$ (3,23), de manera que se rechaza la nula y se acepta la alterna, además, la probabilidad es menor a 0,05.

Tabla 23. Análisis de varianza del cadmio a las cuatro semanas.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3	20,1746667	31,0069418	6,6998E-07	3,23887152
Dentro de los grupos	16	0,65065			
Total	19				

Fuente: autores, 2021.

- **Arsénico**

A continuación, se presenta el análisis de varianza para el caso del metal plomo, de acuerdo con la tabla 23 hay significancia entre el plomo y la respuesta biológica de los organismos, esto debido a que el valor de F (31,00) es mayor a $F_{critico}$ (3,23), de manera que se rechaza la nula y se acepta la alterna, además, la probabilidad es menor a 0,05.

Tabla 24. Análisis de varianza del cadmio a las cuatro semanas.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	3	11,845005	15,05288	6,4167E-05	3,2388715
Dentro de los grupos	16	0,7868925			
Total	19				

Fuente: autores, 2021.

- **Prueba de comparaciones múltiples de Tukey, al 5% de probabilidad para el término de ocho semanas**

Ho: No hay un efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida* a las ocho semanas.

H1. Si hay un efecto tóxico de cada metal o elemento traza sobre el desarrollo normal de la *E. foetida* a las ocho semanas.

- **Plomo**

Tabla 25. Análisis de varianza del plomo a las ocho semanas.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	854,233604	11,0814037	6,6617E-05	2,8660814
Dentro de los grupos	20	77,08713			
Total	24				

Fuente: autores, 2021.

En la tabla 25 se presenta el análisis de varianza para el caso del metal plomo en donde se evidencia que hay significancia entre el plomo y la respuesta biológica de los organismos, esto debido a que el valor de F (11,08) es mayor a F crítico (2,9), de manera que se rechaza la nula y se acepta la alterna, además, la probabilidad es menor a 0,05.

- **Cadmio**

Tabla 26. Análisis de varianza del cadmio a las ocho semanas.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	930,717656	12,5442546	2,8808E-05	2,8660814
Dentro de los grupos	20	74,194736			
Total	24				

Fuente: autores, 2021.

En la tabla 26 se presenta el análisis de varianza para el caso del metal cadmio en donde se evidencia que hay significancia entre el cadmio y la respuesta biológica de los organismos, esto debido a que el valor de F (12,54) es mayor a Fcritico (2,9), de manera que se rechaza la nula y se acepta la alterna, además, la probabilidad es menor a 0,05.

- **Arsénico**

Tabla 27. Análisis de varianza del arsénico a las ocho semanas.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probabilidad	Valor crítico para F
Entre grupos	4	894,218116	12,0346329	3,8279E-05	2,8660814
Dentro de los grupos	20	74,30373			
Total	24				

Fuente: autores, 2021.

En la tabla 27 se presenta el análisis de varianza para el caso del metal arsénico en donde se evidencia que hay significancia entre el arsénico y la respuesta biológica de los organismos, esto debido a que el valor de F (12,03) es mayor a Fcritico (2,9), de manera que se rechaza la nula y se acepta la alterna, además, la probabilidad es menor a 0,05.

8. CONCLUSIONES

En cuanto a los parámetros físicos el Ph de todos los puntos de muestreo es neutro con valores entre 6,6, y 7,3 lo cual no es un factor de riesgo para la movilidad de los metales debido a que estos se desplazan mejor en suelos con Ph bajos, por otro lado, el carbono orgánico se encuentra dentro de los rangos establecidos con un promedio de 7%; la textura por su parte es arenoso en su mayoría en todas las muestras de suelo tomadas lo cual favorece la contaminación de metales pesados, los suelos de alrededor del relleno son de clase textural arenoso-franco. La temperatura de las muestra de suelo fue 38°C en todos los puntos. En cuanto a las concentraciones de los metales de estudio en todas las muestras los valores estuvieron por debajo de los límites permisibles establecidos en normas canadiense, ecuador, Holanda y la comunidad europea de manera que no hay en el medio ambiente un afectación por estos parámetros.

En cuanto a la toxicidad aguda la muestra uno fue en donde mayor sobrevivencia de lombrices hubo con un promedio de 22, y donde hubo menor sobrevivencia fue en la muestra 4 (promedio de 6 lombrices). En cuanto a la toxicidad crónica, las lombrices de la muestra uno y tres fueron las que tuvieron un mejor comportamiento a las condiciones a las que fueron sometidos, dado que al término de las cuatro semanas sobrevivieron las mismas cinco con las que se inició el bioensayo; en el caso de la réplica 2, las lombrices tuvieron mejor sobrevivencia cuando fueron sometido a las muestras de suelo cinco. Por otro lado, al término de ocho semanas, para el caso de la réplica 1 las lombrices de la muestra 5 fueron las que mejor sobrevivencia tuvieron a las condiciones expuesta al cabo de los 8 semanas. En cuanto a la réplica 2 las lombrices de la muestra 3 tuvieron mejor adaptabilidad al suelo expuesto.

Del análisis estadístico se destacan las relaciones entre los metales de estudio y las respuesta biológicas, primero al término de cuatro semanas con respecto al metal plomo se observa que hay una correlación baja con relación a la respuesta lombrices sobrevivientes y número de capullos, sin embargo, el peso de las lombrices (-0,635) se encontró una correlación alta. Por otro lado, en el caso del metal cadmio, el peso de las lombrices sobrevivientes (0,550) tuvo una correlación moderada, aunque en el caso de las lombrices sobrevivientes con un valor de 0,384 se estableció una correlación baja y en cuanto al número de capullos la correlación fue muy baja (-0,085). Por último, el arsénico tuvo una correlación baja con las lombrices sobrevivientes, moderada para el caso del peso de las lombrices (0,506) y alta para el caso del número de capullos (0,648).

En cuanto a las correlaciones para el término de ocho semanas, se encontró que hay una correlación inversa y fuerte con las lombrices sobrevivientes, asimismo con el peso de las lombrices (-0,751); en cambio para la respuesta biológica relacionado con las juveniles desarrolladas (-0,301) y el número de capullo (-0,301) se observa una correlación moderada inversa. Por otro lado, en el caso del metal cadmio, las lombrices sobrevivientes (0,623) tuvo una correlación fuerte, igualmente con el peso de las lombrices, sin embargo, en el caso de los juveniles desarrolladas y número de capullos los valores fueron inversos y moderados. Por último, el arsénico tuvo una correlación fuerte con los juveniles desarrollados y el número de capullos, aunque moderada para el caso de las lombrices sobrevivientes (0,589) y el peso de las lombrices (0,438).

9. RECOMENDACIONES

Las autoridades ambientales competentes crear una legislación que establezca los valor límites permisibles de metales en suelos.

Caracterizar periódicamente los suelos de alrededor del relleno sanitario con el fin de hacerle seguimiento a la concentración de los metales pesados.

Estudiar otros metales pesados con el fin de tener una visión más completa de la situación.

BIBLIOGRAFÍA

- Alcaldía de Valledupar. (2020). Información del municipio. Sitio web [consultado 28/03/2020]. Disponible: <http://www.valledupar-cesar.gov.co/MiMunicipio/Paginas/Informacion-del-Municipio.aspx>
- Ávila, G., Gaete, H., Morales, M. & Neaman, A. (2007) Reproducción de *Eisenia foetida* en suelos agrícolas de áreas mineras contaminadas por cobre y arsénico. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, V.42, n.3, p.435-441.
- Acosta, M., y Montilla, J., (2011). Evaluación de la contaminación por plomo en agua, suelo, y sedimento y análisis de impactos ambientales en la secuencia del río Balsillas afluente del río Bogotá. Universidad De La Salle, Bogotá D.C. Colombia.
- Bravo, I., Aboleda, I y Martín, F. (2013). Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio, en sistemas altoandinos de Colombia. Recuperado de: [Vista de Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia | Acta Agronómica \(unal.edu.co\)](#)
- Cuesta, P.A. (Ed). 2005. Producción y utilización de recursos forrajeros en sistemas de producción bovina de las Regiones Caribe y Valles interandinos. Manual Técnico. Corporación Colombiana de Investigación Agrícola CORPOICA. ISBN 958-810-79-8. Bogotá, Colombia 97 pp.
- Galán, E y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. revista de la sociedad española de mineralogía. Recuperado de: [Portada 10plata \(ehu.eus\)](#)
- Hooda, P.S. and B.J. Alloway. 1993. Effects of time and temperature on the bioavailability of Cd and Pb from sludge-amended soils. *Journal of Soil Science*, 44 : 97–110.
- IGAC (2018). Estudio general de suelos y zonificación de tierras del departamento de Cesar. Mapa de suelos.
- Jordanova, D., Rao, S., Kotsev, T. y Jordanova, N. 2013. Industrial contamination of alluvial soils near Fe–Pb mining site revealed by magnetic and geochemical studies. *Geoderma* 192:237-248

- Martínez, Z., González, M., Paternina, J. & Cantero, M. (2017). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados, zona minera El Alacrán, Córdoba-Colombia. Recuperado de: <https://www.researchgate.net/publication/321927815> Contaminacion de suelos agricolas por metales pesados zona minera El Alacran Colombia
- Ministerio peruano del ambiente. (2014). Guía para el muestreo de suelos. Lima, Perú. Disponible: <http://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2018/07/GUIA-PARA-EL-MUESTREO-DE-SUELO.pdf>
- Miller, E.K and A.J. Friedland. 1994. Lead migration in forest soils: Response to changing atmospheric inputs. *Environmental Science and Technology*, 28, 662–669.
- Mouhoun-Chouaki, S., Derridj, A., Tazdaït, D., & Salah-Tazdaït, R. (2019). *A Study of the Impact of Municipal Solid Waste on Some Soil Physicochemical Properties: The Case of the Landfill of Ain-El-Hammam Municipality, Algeria*. *Applied and Environmental Soil Science*, 2019, 1–8.
- Sauquillo, A., Rigol, A. and Rauret, G. 2003. Overview of the use of Leaching Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22: 152-159.
- Sánchez, M. (2010). Contaminación por metales pesados en el botadero de basuras de Moravia en Medellín: transferencia a flora y fauna y evaluación del potencial fitorremediador de especies nativas e introducidas. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Javeriana.
- Liu, X., Song, Q., Tang, Y., Li, W., Xu, J., Wu, J., Wang, F. y Brookes, P. 2013. Human health risk assessment of heavy metals in soil–vegetable system: A multi-medium analysis. *Science of the Total Environment* 463–464C:530–540
- Oyarzun, R., Higuera, P. y Lillo, J. 2011. Minería ambiental: Una introducción a los impactos y su remediación. Ediciones GEMM, España, p57-61, p91-123
- Trujillo-Romero, O., Trujillo-Varilla, O., Quintero-Tovar, A, Vega-Suárez, J. (2019). Tratabilidad de los lixiviados del relleno sanitario Los Corazones de la ciudad de Valledupar mediante el uso de carbón activado. *Revista de Investigación Agraria y*

Ambiental. Bogotá - Colombia, Vol. 11 No. 1: 77-90. DOI:
<https://doi.org/10.22490/21456453.2750>

Yadav H., Kumar P., Singh V.P. (2019). *Hazards from the Municipal Solid Waste Dumpsites: A Review*. Recuperado de:
https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-030-02707-0_39#citeas

Wang, S., Wang, Y., Zhang, R., Wang, W., Xu, D., Guo, J., Li, P. and Yu, K. 2015. Historical levels of heavy metals reconstructed from sedimentary record in the Hejiang River, located in a typical mining region of Southern China. *Science of the Total Environment* 532: 645–654

Anexos

RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOS DE LABORATORIO - TEXTURA F-15							FECHA	
LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS-LNS							AAAA-MM-DD	
							2021-04-08	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA /				DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ			No. SOLICITUD:	
DEPARTAMENTO:				Cesar			4781 1	
MUNICIPIO:				Valledupar			No. DE LABORATORIO:	
LOCALIZACIÓN:							MF1-47231-MF1-47235	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS: <input type="checkbox"/>				DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE:		
				2021-04-08		CALLE 32 # 23 - 32 PRIMERA DE MAYO		
No. DE LABORATORIO	Id Campo (Perfil)	Tipo de muestra	GRAVAS (%)	ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA (%)	CLASE TEXTURAL	
MF1-47231	MUESTRA #1	SUELO	0.0	85.8	8.1	6.1	A F	
MF1-47232	MUESTRA #2	SUELO	0.0	89.8	4.1	6.1	A	
MF1-47233	MUESTRA #3	SUELO	0.0	83.7	6.1	10.2	A F	
MF1-47234	MUESTRA #4	SUELO	0.0	91.9	2.0	6.1	A	
MF1-47235	MUESTRA #5	SUELO	0.0	67.3	20.4	12.3	F A	

RESULTADO DE ANÁLISIS FÍSICOS DE HUMEDAD DE CAMPO F-14							FECHA	
LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS-LNS							AAAA-MM-DD	
							2021-04-08	
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA /				DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ			No. SOLICITUD:	
DEPARTAMENTO:				Cesar			4781 1	
MUNICIPIO:				Valledupar			No. DE LABORATORIO:	
LOCALIZACIÓN:							MF1-47231-MF1-47235	
SUPLEMENTO DE RESULTADOS: <input type="checkbox"/>				DE FECHA		DIRECCIÓN DEL CLIENTE:		
				2021-04-08		CALLE 32 # 23 - 32 PRIMERA DE MAYO		
No. DE LABORATORIO	Id Campo (Perfil)	Profundidad (cm)	HUMEDAD DE CAMPO, 8g (%)					
MF1-47231	MUESTRA #1	-	1.30					
MF1-47232	MUESTRA #2	-	0.82					
MF1-47233	MUESTRA #3	-	1.41					
MF1-47234	MUESTRA #4	-	0.95					
MF1-47235	MUESTRA #5	-	2.64					



RESULTADOS DE ANÁLISIS

R 137378



Empresa: DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ
Nit: -
Dirección: CRR 19B2-05-89
Solicitado por: Daniel Eduardo Castilla Rodriguez
Telefono: -
Celular: -
E-mail: danielcastilla1995@gmail.com
Orden de Servicio: 56100

Fecha Recepción: 2021-03-20
Fecha de Emisión de Resultados: 2021-04-07
Fecha de Muestreo: 2021-03-15
Muestreo a Cargo de: CLIENTE
Plan de muestreo: No Reporta
Procedimiento de muestreo: No Reporta
Número total de muestras: 3
Lugar de Muestreo: PERIFERIA RELLENO SANITARIO, LOS CORAZONES
Tipo de muestreo: Compuesto Suelos
Tipo de Muestra: ARI() ARD() ARnD() AN() AP() AM() S(X) AX()

Reporte de Resultados									
Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Límite de Cuantificación del método	Unidad	MUESTRA #1 ARSENICO	MUESTRA #2 ARSENICO	MUESTRA #3 ARSENICO
1	2021-04-03	Arsénico Total*	EPA 7062-SM 3114 C	Digestión-AA - Generación de hidruros	0,500	mg/kg ss	MS209833	MS209835	MS209837

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, AP: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otros

* ChemiLab tiene estos parámetros acreditados mediante Resolución 0288 de 2019-IDEAM

** Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado

*** Análisis realizados por laboratorio subcontratado no acreditado

Parámetro no acreditado

Observaciones: Métodos de Análisis aplicados según el Laboratorio de Suelos IGAC y US-EPA (aplica para suelos)
 Métodos de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (aplica para aguas)

Resultados válidos únicamente para la(s) muestra(s) analizadas.
 Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización previa de ChemiLab S.A.S

Johana Portillo G.

JOHANA PORTILLO GARCIA
 Coordinador de Reportes
 PQAmb-0020
 ** FIN DE ESTE REPORTE **



RESULTADOS DE ANÁLISIS R 137379

FOR 04 050, Versión N° 13/2019-04-03



Empresa: DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ
Nit: -
Dirección: CRR 19B2-05-89
Solicitado por: Daniel Eduardo Castilla Rodriguez
Telefono: -
Celular: --
E-mail: danielcastilla1995@gmail.com
Orden de Servicio: 56100

Fecha Recepción: 2021-03-20
Fecha de Emisión de Resultados: 2021-04-07
Fecha de Muestreo: 2021-03-15
Muestreo a Cargo de: CLIENTE
Plan de muestreo: No Reporta
Procedimiento de muestreo: No Reporta
Número total de muestras: 2
Lugar de Muestreo: PERIFERIA RELLENO SANITARIO, LOS CORAZONES
Tipo de muestreo: Compuesto Suelos
Tipo de Muestra: ARI() ARD() ARnD() AN()
 AP() AM() S(X) AX()

Reporte de Resultados								
Item	Fecha de Análisis (AAAA-MM-DD)	Parámetro	Método	Técnica	Limite de Cuantificación del método	Unidad	MUESTRA #4	MUESTRA #5
							ARSENICO	ARSENICO
1	2021-04-03	Arsénico Total*	EPA 7062-SM 3114 C	Digestión-AA - Generación de hidruros	0,500	mg/kg ss	1,45	3,41

ARI: Agua Residual Industrial, ARD: Agua Residual Doméstica, ARnD: Agua Residual no Doméstica, AN: Agua Superficial o Subterránea, AP: Agua Potable, S: Suelo, AM: Agua Marina, AX: Otros
 * Chemilab tiene estos parámetros acreditados mediante Resolución 0288 de 2019-IDEAM


** Análisis realizados por laboratorio subcontratado acreditado
 *** Análisis realizados por laboratorio subcontratado no acreditado
 Parámetro no acreditado


Observaciones: Métodos de Análisis aplicados según el Laboratorio de Suelos IGAC y US-EPA (aplica para suelos)
 Métodos de Análisis aplicados según Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (aplica para aguas)
Resultados válidos únicamente para la(s) muestras analizadas.
Prohibida la reproducción total o parcial de este informe sin autorización previa de Chemilab S.A.S

Johana Portillo Garcia
JOHANA PORTILLO GARCIA
 Coordinador de Reportes
 PQAmb-0020
 ** FIN DE ESTE REPORTE **

RESULTADOS ANALISIS QUIMICO SUELO Q69					FECHA DE EMISION	
LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS-LNS					AAAA-MM-DD	
CRA 30 N° 48-51 Bogotá D.C.					2021-04-09	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE						
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO			DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ		TIPO DE MUESTRA	SUELO
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO			Cesar - Valledupar		No. SOLICITUD	4781_1
MODIFICACIÓN	<input type="checkbox"/>	SUPLEMENTO DE RESULTADOS	<input type="checkbox"/>	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 32 # 23 - 32 PRIMERA DE MAYO	
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	CADMIO TOTAL (mg/Kg)		
MQ1-47231	SUELO	-	MUESTRA #1	0.07		
MQ1-47232	SUELO	-	MUESTRA #2	0.06		
MQ1-47233	SUELO	-	MUESTRA #3	0.17		
MQ1-47234	SUELO	-	MUESTRA #4	0.05		
MQ1-47235	SUELO	-	MUESTRA #5	0.05		

RESULTADOS ANALISIS QUIMICO SUELO Q68					FECHA DE EMISION	
LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS-LNS					AAAA-MM-DD	
CRA 30 N° 48-51 Bogotá D.C.					2021-04-09	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE						
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO			DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ		TIPO DE MUESTRA	SUELO
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO			Cesar - Valledupar		No. SOLICITUD	4781_1
MODIFICACIÓN	<input type="checkbox"/>	SUPLEMENTO DE RESULTADOS	<input type="checkbox"/>	DE FECHA	DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 32 # 23 - 32 PRIMERA DE MAYO	
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	PROFUNDIDAD (cm)	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	PLOMO TOTAL (mg/Kg)		
MQ1-47231	SUELO	-	MUESTRA #1	7.43		
MQ1-47232	SUELO	-	MUESTRA #2	7.60		
MQ1-47233	SUELO	-	MUESTRA #3	6.99		
MQ1-47234	SUELO	-	MUESTRA #4	15.70		
MQ1-47235	SUELO	-	MUESTRA #5	6.87		

	RESULTADOS ANALISIS QUIMICO SUELO Q44 LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS-LNS CRA 30 N° 48-51 Bogotá D.C.		FECHA DE EMISION	
			AAAA-MM-DD	
			2021-04-09	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE				
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ		TIPO DE MUESTRA
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO		Cesar - Valledupar		SUELO
MODIFICACIÓN		<input type="checkbox"/> SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/> DE FECHA		No. SOLICITUD
				4781_1
DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 32 # 23 - 32 PRIMERA DE MAYO				
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	CARBONO ORGANICO %	
MQ1-47231	SUELO	MUESTRA #1	1.34	
MQ1-47232	SUELO	MUESTRA #2	0.76	
MQ1-47233	SUELO	MUESTRA #3	2.33	
MQ1-47234	SUELO	MUESTRA #4	0.98	
MQ1-47235	SUELO	MUESTRA #5	2.14	

	RESULTADOS ANALISIS QUIMICO SUELO Q35 LABORATORIO NACIONAL DE SUELOS-LNS CRA 30 N° 48-51 Bogotá D.C.		FECHA DE EMISION	
			AAAA-MM-DD	
			2021-04-09	
INFORMACIÓN DEL CLIENTE				
NOMBRE Y APELLIDO / EMPRESA / PROYECTO		DANIEL EDUARDO CASTILLA RODRIGUEZ		TIPO DE MUESTRA
DEPARTAMENTO / MUNICIPIO		Cesar - Valledupar		SUELO
MODIFICACIÓN		<input type="checkbox"/> SUPLEMENTO DE RESULTADOS <input type="checkbox"/> DE FECHA		No. SOLICITUD
				4781_1
DIRECCIÓN DEL CLIENTE CALLE 32 # 23 - 32 PRIMERA DE MAYO				
No. DE LABORATORIO	TIPO DE MUESTRA	IDENTIFICACIÓN DE CAMPO	pH	
MQ1-47231	SUELO	MUESTRA #1	7.340	
MQ1-47232	SUELO	MUESTRA #2	7.200	
MQ1-47233	SUELO	MUESTRA #3	6.580	
MQ1-47234	SUELO	MUESTRA #4	7.380	
MQ1-47235	SUELO	MUESTRA #5	6.580	