

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Contaminantes del suelo en basurero a cielo abierto y
recomendaciones para disposición de residuos peligrosos

Por:

ANA BERENICE PAREDES CISNEROS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México

Mayo 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS

**Contaminantes del suelo en basurero a cielo abierto y recomendaciones para
disposición de residuos peligrosos**

Por:

ANA BERENICE PAREDES CISNEROS

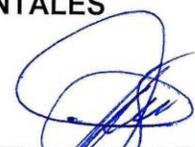
TESIS

**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por:


DR. EDUARDO ARÓN FLORES HERNÁNDEZ
Presidente


M.A.G.A. JOEL LIMONES AVITIA
Vocal


M.A.C.H. RUBI MUÑOZ SOTO
Vocal


DR. LUCIO LEOS ESCOBEDO
Vocal Suplente


DR. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas


COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México
MAYO 2022

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Contaminantes del suelo en basurero a cielo abierto y recomendaciones para
disposición de residuos peligrosos

Por:

ANA BERENICE PAREDES CISNEROS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:


DR. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ
Asesor Principal


M.A.G.A. JOEL LIMONES AVITIA
Coasesor


M.A.C.H. RUBI MUÑOZ SOTO
Coasesor


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO
Coasesor


DR. J. ISABEL MARQUEZ MENDOZA
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas


COORDINACIÓN DE LA DIVISIÓN
DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Torreón, Coahuila, México
MAYO 2022

I. AGRADECIMIENTOS

Gracias a los Dioses, por permitirme concluir una parte esencial de mi vida profesional, guiarme por el camino correcto y dirigiendo mis pasos y mis pensamientos hacia la gratitud y sensibilidad del esfuerzo de mis padres.

Un trabajo de investigación es también fruto del reconocimiento y del apoyo vital que nos ofrecen las personas que nos estiman, sin el cual no tendríamos la fuerza y energía que nos anima a crecer como personas y como profesionales. En primer lugar gracias a mi familia, a mi mamá Ana Cecilia Cisneros Hernández y a mi papá Luis Alfonso Paredes Rocha que me han apoyado siempre en las decisiones que tomo y me han ayudado a sacar adelante la carrera a toda costa y a mis hermanas Nancy y Vanessa a mis abuelitos, Luis Cisneros , Lucina Hernández y Aurora Rocha, a mis tías y tíos, José Luis Cisneros, Marisol Cisneros, Carmen Cisneros, Ángeles Cisneros, Alejandra Rocha y Miguel Navarro quienes me alentaron a seguir creciendo y quienes han sido un gran apoyo y siempre están y estuvieron para mí.

Además, un sincero agradecimiento a mi asesor principal de tesis, Dr. Aron Flores Hernández, por la dedicación y apoyo que me ha brindado durante la carrera y al final de ella a realizar este trabajo, por el respeto a mi persona, a mis sugerencias e ideas y por la dirección y el rigor que ha facilitado a las mismas, gracias por la confianza y la ayuda ofrecida desde que lo conocí como mi profesor.

Una amistad es como una familia por elección, de antemano agradezco a mis amigos por su apoyo personal y humano, quienes me alentaron a no darme por vencida, Alondra Rocha, Pilar Cerda, Sandra Granados, Juan Ayala, Carlos Cadenas, René Hortelano, Iliana Pérez, Fernando Montiel, María Violante, quienes han compartido proyectos e ilusiones conmigo durante todos estos años. También quiero agradecer a mis profesores en general por su orientación y atención a mis consultas sobre metodología, experimento, y demás aprendizajes, un agradecimiento especial a mis amigos de laboratorio, quienes estuvieron

brindándome su apoyo a lo largo de mi carrera y durante la realización del presente proyecto Juan Carlos Mejía, quien estuvo durante todo el proceso experimental, guiándome y ayudándome, Silverio Álvarez, Norma Rodríguez y además agradecer a los licenciados de la Asesoría Ambiental JFR, quienes me brindaron su apoyo y conocimientos, y a la familia Jijón Moreno que me brindo calor de hogar y ayuda durante mi estadía en Acapulco Guerrero en la realización de mis prácticas profesionales.

Así mismo gracias a mi bonita institución, a mi alma mater que me acogió durante estos 4 años y medio, preparándome para ser ingeniera en Procesos Ambientales y donde conocí a muchas personas importantes.

Sin su apoyo este trabajo nunca se habría concretado y por eso, este trabajo también es suyo. A todos, muchas gracias.

II. DEDICATORIA

Dedicado muy especial para mis padres Ana Cecilia Cisneros Hernández y Luis Alfonso Paredes Rocha, a mis abuelitos Lucina Hernández Rojas y José Luis Cisneros Hernández, Aurora Rocha por creer en mí y ser quienes hicieron todo esto posible, ya que fueron mis pilares en todo momento, me incitaron a creer en mí y a no rendirme, para seguir con mi camino, impulsándome y guiándome para concluir este momento, y apoyándome tanto económicamente, como moralmente y emocionalmente, por todo el amor y cariño que me han entregado, los amo.

No obstante, también es dedicado al Dr. Eduardo Aron Flores Hernández, quien fue un gran mentor y amigo a lo largo de mi carrera, es por eso que esta tesis es tanto de él, como mía, gracias al empeño y la dedicación que puso, para que esta tesis que también es fruto de su trabajo se concretara

INDICE

I.	AGRADECIMIENTOS	I
II.	DEDICATORIA	III
III.	RESUMEN	VI
IV.	ABSTRACT.....	VII
V.	INTRODUCCIÓN:.....	1
VI.	OBJETIVO GENERAL.....	3
VII.	HIPÓTESIS.....	4
VIII.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
	1. Antecedentes	5
	2. Generación de residuos	6
	3. Disposición de residuos.....	9
	4. Contaminación por lixiviados.....	10
	5. Metales pesados	11
	6. Residuos peligrosos.....	12
IX.	MATERIALES Y MÉTODOS	14
	1.- Ubicación del sitio experimental	14
	1. Muestreo.....	15
	2. Manejo de la muestra	16
	3. Materiales, equipos y reactivos	17
	4. Preparación de reactivos	18
	5. Procedimiento para extracción de metales pesados con DTPA:	21
	6. Procedimiento para materia orgánica por el Método AS-07 de la NOM-021-RECNAT- 2000 Walker y Black:.....	22
	7. Análisis estadístico de los datos.....	23
X.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
XI.	CONCLUSIONES.....	31
XII.	RECOMENDACIONES.....	32
XIII.	Referencias.....	33

Figura 1. Ubicación geográfica específica del terreno afectado	14
Figura 2.- Ubicación geográfica del sitio	15
Figura 3.- Representación a escala de los puntos de muestreo	16
Figura 4. Punto de muestreo	17
Figura 5. Recolección de muestras	17
Figura 6. Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380, utilizado para la determinación de elementos como Cd, Pb y Zn, entre otros.....	19
Figura 7. Secado de muestras, previo a realizar los procesos de laboratorio se deben de dejar las muestras en reposo durante un día para que la humedad desaparezca y sus resultados sean más exactos.....	20
Figura 8.- Manejo del baño María, el aparato trabaja con agua destilada, la cual se agregará a la cámara con un volumen que sobrepase la parrilla en unos 4 cm. Las muestras se colocarán dentro del baño maría, el cual se enciende girando el control hacia la derecha y simultáneamente colocando a la temperatura que se desee trabajar, esperamos a que llegue a dicha temperatura, la cual se toma con un termómetro de alcohol o mercurio, una vez llegando a la temperatura requerida se apagara el indicador rojo y se comienza a tomar el tiempo necesario para efectuar el análisis.....	20
Figura 10.- Tamizado de muestra	21
Figura 9.- Campana extractora de gases tóxicos	21
Figura 12.- Agitación de las muestras	22
Figura 11.- Recolección de filtrado	22
Figura 14.- Proceso de titulación	23
Figura 13.- Color final de la muestra para %MO.....	23
Cuadro 1.- Puntos de muestreo.....	16
Cuadro 2.- Resultados del análisis de laboratorio de las muestras de suelo.....	24
Cuadro 3.- Análisis estadístico para el sitio de estudio.....	25
Cuadro 4.- Resultado estadístico de los metales pesados	26
Cuadro 5.- Resultado estadístico de la combinación de factores	26
Cuadro 6.- Comparación de resultados de laboratorio contra límite máximo permisible de la NOM-052-SEMARNAT-2005.....	28
Cuadro 7.- Interpretación de resultados de materia orgánica.....	29

III. RESUMEN

Se prevé que en el curso de los próximos 30 años la generación de desechos a nivel mundial se incrementará un 70 %, impulsada por la rápida urbanización. El objetivo de este trabajo fue analizar un tiradero a cielo abierto cercano a un sector poblacional, para determinar si el sitio cumple con los límites máximos permisibles (LMP) de metales pesados de acuerdo a la NOM-052-SEMARNAT-2005 y los lineamientos que marca la NOM-083-SEMARNAT-2003 sobre las condiciones de operación de tiraderos a cielo abierto.

Se desarrollo un muestreo con un diseño experimental factorial completamente al azar (FCA) (14x4x3), donde se seleccionaron 14 sitios (Factor A) para analizar 4 determinaciones (Factor B), Pb, Cd, Zn y Materia Orgánica. La materia orgánica se analizó con el método AS-07 de la NOM-021-RECNAT-2000, los metales pesados mediante la extracción con DTPA. Los resultados de los análisis mostraron que todos los puntos de muestreo se encuentran fuera del límite máximo permisible (LMP) para Cd y Pb indicados por la NOM-052-SEMARNAT-2005, sin embargo el punto con mayor presencia de contaminantes fue el sitio 10 (clave C8-1), (Cd = 4.70 mg L⁻¹ y Pb = 78.40 mg L⁻¹), esto representa un 470 % por encima del límite para Cd y 1568 % por encima del límite para Pb.

Se recomienda acudir a las autoridades competentes para exponer el caso y seguir los lineamientos que indica la NOM-083-SEMARNAT-2003, con el fin de atender esta problemática y evitar las repercusiones que se pueden derivar del inadecuado manejo de este sitio.

Palabras claves: Metales pesados, Medioambiente, lixiviados, NOM's, tiraderos a cielo abierto

IV. ABSTRACT

Over the next 30 years, global waste generation, driven by rapid urbanization and population growth, is expected to increase from 2010 million tons recorded in 2016 to 3400 million tons, therefore, if no urgent action is taken, The objective of this work was to analyze an open dump near a population sector, in order to prevent future risks of such population, a sampling was carried out in the affected area to determine organic matter, heavy metals such as cadmium, lead.

The results of the analysis showed that all sampling points were outside the maximum permissible limit (MPL) for Cd and Pb indicated by NOM-052-SEMARNAT-2005. The critical point was found to be: C8-1, (Cd = 4.70 mg L⁻¹ and Pb = 78.40 mg L⁻¹), this represents 470 % above the limit for Cd and 1568 % above the limit for Pb.

We recommend contacting the municipal authorities to report the case and follow the guidelines indicated in NOM-083-SEMARNAT-2003, in order to address this problem and avoid the repercussions that could result from inadequate management of this site.

Keywords: Heavy metals, Environment, leachate, NOM's, open dumps

V. INTRODUCCIÓN:

La era industrial ha generado impactos negativos a nivel mundial, como subproducto se encuentra la basura, que ha sido una problemática difícil de tratar ambientalmente. (Sotelo y Benítez, 2013). Aunado a esto, el aumento constante de la población conduce a una mayor cantidad de desechos, por lo cual es necesario implementar estrategias de reutilización, eliminación o modificación de dichos residuos para cambiar sus propiedades químicas y físicas a fin de reducir los peligros e impacto sobre el medio ambiente. (Abaikyzy *et al.*, 2020).

En los próximos 30 años la generación de desechos a nivel mundial se incrementará de 2010 millones de toneladas registradas en 2016 a 3400 millones, y se estima que para 2050 los desechos a nivel mundial crecerán un 70 % con respecto a los niveles actuales (Kaza *et al.*, 2018).

La búsqueda por sitios de disposición de residuos industriales, peligrosos y urbanos se ha convertido en una de las decisiones más importantes y complejas en la gestión urbana ya que los espacios para su disposición están cada vez más cercanos a centros urbanos (Danesh *et al.*, 2019). Otro problema es la falta de lugares legales para disposición de residuos, por lo que la sociedad ha creado lugares clandestinos nombrados como “tiraderos a cielo abierto”, (Concari *et al.*, 2020).

Algunas ciudades han implementado el programa de gestión y manejo integral de residuos denominado “3 R” (Reusar, Reciclar y Reducir), sin mucho éxito, debido a que depende de la voluntad de personas y gobierno (Leal *et al.*, 2019).

Según la SEMARNAT en México, se generaron 44.6 millones de toneladas de Residuos Sólidos Urbanos (RSU) durante 2017, esto representó un aumento del 35.6% con respecto a 2003 (11.73 millones de toneladas más generadas en ese período). Esto significa que cada persona generó 0.98 kg día⁻¹ en ese mismo año (SEMARNAT, 2015).

De acuerdo con el Sistema de Información Ambiental de Torreón el servicio de recolección de basura es prestado al 99% de la población, sin embargo, falta establecer un Programa Municipal para la Gestión Integral de Residuos. Se destaca que en promedio se colectan 530 toneladas por día (Estens-de-la-Garza, 2017).

Las Normas Oficiales Mexicanas, que nos ayudaron a realizar el presente trabajo:

NOM-052-SEMARNAT-2005 que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente (DOF, 2005) y la NOM-083-SEMARNAT-2003 la cual especifica las características que debe tener un sitio para utilizarlo como tiradero a cielo abierto (DOF, 2004).

De acuerdo con lo antes descrito, se plantea el análisis de un área utilizada como tiradero de desechos urbanos, a fin de determinar la contaminación de metales pesados presente en base a la normativa ambiental vigente y establecer estrategias de remediación o disposición, según sea el caso.

VI. OBJETIVO GENERAL

- Determinar las condiciones presentes de contaminantes de acuerdo a la norma NOM-052-SEMARNAT-2005.

VII. HIPÓTESIS

El contenido de metales pesados como Pb, Zn y Cd en suelos de tiraderos urbanos presentará una mayor concentración, debido a las afectaciones del tiempo, lixiviados y los cambios en la composición de estos suelos.

VIII. REVISIÓN DE LITERATURA

1. Antecedentes

Los EE. UU y otras naciones tienen enormes restos de desperdicios heredados de la Segunda Guerra Mundial y la Guerra Fría, de sitios industriales abandonados, y del desmantelamiento de las centrales nucleares. Las armas nucleares de la Guerra Fría llegan y plantea el mayor desafío de limpieza en términos de peligros, alcance espacial y costos. Las responsabilidades últimas a menudo recaen en los gobiernos (Burger, 2019), por ende la contaminación por sustancias peligrosas es causada por la legislación de uno de los países líderes de la política mundial: de los Estados Unidos de América. Este interés por resolver el problema de la legalidad y la protección de la tierra contra la contaminación por sustancias peligrosas en los Estados Unidos no es accidental, porque en la actualidad los Estados Unidos ha ganado una considerable experiencia legal en esta área. Así, en la legislación estadounidense, ha surgido recientemente una nueva comunidad jurídica, a la que se hace referencia en la literatura legal estadounidense como "control de uso de la tierra" o "ley de uso de la tierra", en otras palabras, legal regulación del uso y protección de la tierra (Abaikyzy *et al.*, 2020), además debido a la gravedad de los riesgos para la salud humana, la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos estableció límites máximos para estos contaminantes presentes en el suelo y en agua para consumo humano (Forti *et al.*, 2019).

Los incidentes químicos relacionados con la liberación de sustancias peligrosas para la salud humana pueden conllevar el riesgo de graves efectos adversos para la salud y económicos debido a su naturaleza. y consecuencias frecuentemente impredecibles (Pałaszewska-Tkacz *et al.*, 2017), por ello la gestión eficaz de los residuos depende del nivel de participación de la comunidad (Ramamoorthy *et al.*, 2019).

Los residuos sólidos urbanos son materiales indeseables que consisten principalmente en residuos domésticos, por lo que se denominan basura

doméstica (Mouhoun-Chouaki *et al.*, 2019), los factores clave que contribuyen a una estrategia eficiente de gestión de residuos sólidos son la conciencia, el respeto al medio ambiente, rentabilidad y nivel de satisfacción de la comunidad. Estos factores están en conjunto con varios otros factores, como política ambiental, económica y gubernamental. La principal limitación para la gestión eficiente de los RSU es la falta de información y recursos actualizados para la planificación de la infraestructura de tratamiento de residuos y el liderazgo para hacer proyecciones y estimaciones para la generación futura (Rupani *et al.*, 2019), se ha demostrado que generalmente, los vertederos contienen cantidades sustanciales de orgánicos disueltos [(demanda bioquímica de oxígeno (DBO5) y demanda química de oxígeno (DQO)], sales inorgánicas, amoníaco, metales pesados y compuestos orgánicos xenobióticos (XOC) que se originan a partir de productos para el cuidado personal, productos farmacéuticos, químicos industriales y domésticos (Samadder *et al.*, 2017).

Las catástrofes industriales son acontecimientos imprevistos y de proporciones dañinas para el entorno que se rodea, que van más allá de la capacidad de respuesta de emergencia de la planta, las personas y el sistema; con potencial para causar víctimas en masa, pérdidas materiales y daños al medio ambiente; que pueden iniciarse debido a deficiencias en el proceso y en las prácticas de gestión defectos o mal funcionamiento de la planta y el equipo, errores humanos o fallos de supervisión y no adoptar a tiempo las medidas correctoras adecuadas y, a veces, por el efecto en cascada de las catástrofes naturales, como inundaciones y ciclones, etc (Behera, 2017).

2. Generación de residuos

En la actualidad el medioambiente se ha convertido en uno de los temas principales y obligatorios en ámbitos mundiales, nacionales y locales debido a la preocupación del bienestar de las futuras generaciones, teniendo como objetivo principal el agua, suelo y aire, por lo que el tema de los residuos ha adquirido

relevancia, debido al impacto negativo que genera (Sánchez-Muñoz *et al.*, 2019), el crecimiento social ha sido parte de los problemas ecológicos que se han desarrollado, esto se debe a los materiales y/o energías provenientes del mundo natural, que terminan tomándose como desechos o excretas materiales (Jantz y Ruggerio, 2021).

El hombre necesita vivir en armonía con su entorno para aumentar la esperanza de vida y por lo tanto debe promover un desarrollo sostenible (Bedi, 2017), ya que en la actualidad, los desechos y las amenazas relacionadas con estos constituyen un grave problema en el ámbito de la protección del medio ambiente. Las principales fuentes de residuos municipales son los hogares y las instalaciones de infraestructura, como el comercio, la industria, los servicios y la educación (Przydatek *et al.*, 2017), para lo cual es fundamental construir modelos complejos que incluyan factores situacionales, características sociodemográficas, variables psicológicas, influencias económicas, impacto tecnológico y organizacional, marco legal, etc., a diferentes niveles (Concari *et al.*, 2020).

La producción de residuos sólidos urbanos (RSU) está directamente relacionada con el desarrollo de la actividad humana. A nivel mundial, los acentuados avances tecnológicos y la urbanización han propiciado un aumento en el consumo de productos por parte de la población y, en consecuencia, contribuido al excesivo volumen de residuos que se desecha anualmente (Costa *et al.*, 2019). Además, los indicadores de la acumulación de residuos per cápita se ha ampliado incluyen equipos voluminosos, de vidrio, plástico, metal, orgánicos, de papel, eléctricos y electrónicos y otros desechos clasificados, que no suelen diferenciarse como indicadores de acumulación de residuos y rara vez se utilizan (Przydatek y Ciągło, 2020). En general, un porcentaje significativo de RSU pueden ser tratados de diversas formas, reciclándolos o reutilizándolos antes de ser eliminados en un vertedero, minimizando así los impactos ambientales de las cantidades de desechos en constante expansión producidas (Banias *et al.*, 2020), además los residuos municipales eliminados pueden alterar la composición de

especies de vegetación. Estas especies pueden luego propagarse desde el vertedero y afectar la composición de especies de la naturaleza y ecosistemas agrícolas (Vaverková *et al.*, 2019).

El alcance de la contaminación inorgánica en suelos de los países industrializados es motivo de grave preocupación. Fuentes de metales en suelos incluyen cenizas y escorias de residuos sólidos urbanos (RSU) (Mouedhen *et al.*, 2019), este problema es más grave en los países subdesarrollados y en vías de desarrollo, donde los vertederos no disponen de revestimientos de base ni de sistemas de recogida y tratamiento de lixiviados. El movimiento de los lixiviados de los vertederos en los suelos no sólo está sujeto a la alteración de sus diversos procesos físicos, químicos y biológicos, sino también la condición geológica que finalmente afecta a la concentración de contaminantes en los suelos y en las aguas subterráneas. El grado de contaminación en las aguas subterráneas y superficiales se rige por el transporte de metales tóxicos, los contaminantes orgánicos y las condiciones de depósito en el lugar a medida que los contaminantes penetran en el medio del suelo (Samadder *et al.*, 2017), este hecho conduce a una reflexión sobre la reutilización, eliminación o modificación de sus propiedades químicas y físicas con el fin de reducir los peligros y el impacto sobre el medio ambiente. El lugar de eliminación no representa un medio ambiente o método de eliminación de residuos debido a la posible contaminación del medio ambiente. Por lo tanto, se requiere un manejo apropiado para reducir su impacto adverso sobre la población humana y los ecosistemas (Cook y Batchelor, 1996). Teniendo en cuenta la migración de la población de las zonas rurales hacia las zonas urbanas ha contribuido a incrementar la generación de residuos en estas áreas, creando graves desafíos de gestión para las empresas operativas y municipios (Veselaj *et al.*, 2019).

Con respecto a los RSU, el artículo 18 de la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos (LGPGIR) establece que los RSU podrán subclasificarse en orgánicos e inorgánicos con objeto de facilitar su separación primaria y secundaria.

Orgánicos: Todo desecho de origen biológico que alguna vez estuvo vivo o fue parte de un ser vivo.

Inorgánicos: Todo desecho que no es de origen biológico. (SEMARNAT, 2017)

3. Disposición de residuos

La gestión de los residuos sólidos es un gran reto en la mayoría de los países en desarrollo, debido a la naturaleza de los materiales de desecho depositados en los vertederos (Sackey *et al.*, 2020), el relleno sanitario es en esencia una excavación en el suelo recubierta con un revestimiento impermeable con plástico o arcilla, que reduce infiltraciones al subsuelo, sobre la cual se colocan y se distribuyen los residuos urbanos y son regulados por la NOM-083-Semarnat-2003, que establece las condiciones para su ubicación, diseño, construcción, operación y monitoreo (Aguilar FernÁNdez *et al.*, 2020). Los desechos se separan en diferentes fracciones según su peligro potencial y la ruta de eliminación, y debe haber contenedores para cada fracción de desechos separados (Behera, 2017). Cada vertedero tiene una capacidad máxima y deben cerrarse según su planificación, una vez que se haya alcanzado el límite de su capacidad (Zhao y Huang, 2019).

Hay muchas regulaciones relativas a la influencia de los vertederos de residuos en el medio ambiente, estas regulaciones a menudo han cambiado drásticamente y recientemente (Breza-Boruta, 2016), las emisiones de un relleno sanitario de RSU son biogás y lixiviados. El biogás a menudo se recolecta y utiliza adecuadamente para producir energía, mientras que las pérdidas por lixiviados son frecuentes y los contaminantes contenidos en los lixiviados puede persistir durante un largo período de tiempo (Paladino y Massabò, 2017).

Aunque el mejor procedimiento para la disposición final de los residuos sólidos urbanos es su depósito en los rellenos sanitarios, no siempre puede accederse a confinamientos de este tipo por ser insuficientes los que hay en el país frente al

volumen de residuos que produce una población calculada en 118 millones de habitantes. En México el 87% de los tiraderos de basura son a cielo abierto y sólo 13% son rellenos sanitarios (SEMARNAT, 2022), a nivel Nacional el 8 % de los municipios en el país no cuentan con un servicio de recolección de basura. En estos municipios, la principal práctica que realiza la población para desechar los residuos es depositarlos en un tiradero a cielo abierto (INEGI, 2019).

4. Contaminación por lixiviados

El lixiviado es el resultado de la percolación del agua, es definido como el líquido que se filtra a través de los residuos sólidos, en los rellenos sanitarios éste se forma por el líquido que entra al vertedero desde fuentes externas, especialmente en los viejos rellenos sanitarios, el lixiviado no se recoge correctamente del fondo su durante operación (Paladino y Massabò, 2017), otros factores por los que se generan los lixiviados son el grado de compactación de los desechos, la humedad inicial de la basura, el tipo de material de cobertura, la precipitación pluvial, la humedad atmosférica, temperatura, evaporación, evapotranspiración, escurrimiento, infiltración y la capacidad de campo del relleno (Cárdenas-Ferrer *et al.*, 2020), por lo general en los lixiviados se encuentran productos farmacéuticos, industriales químicos, productos fitosanitarios, edulcorantes, estimulantes ilícitos al igual que drogas (Nika *et al.*, 2020),

El movimiento de los lixiviados de los rellenos sanitarios en los suelos no solo está sujeto a alteraciones en sus diversos procesos físicos, químicos y biológicos, sino también la condición geológica que eventualmente afecta la concentración de contaminantes en suelos y aguas subterráneas (Samadder *et al.*, 2017), por lo tanto, como las capas de suelo se saturaron debido al flujo de lixiviados, podría atribuirse a la disolución de los minerales del suelo en fase acuosa debido a desorción, cambio de pH valores, y la disolución de minerales puede tener un impacto devastador en calidad del agua (Hussein *et al.*, 2021).

Los microbios del suelo juegan un papel clave en los ecosistemas al mediar en los procesos biogeoquímicos. Pueden responder rápidamente a las perturbaciones ambientales, lo cual es evidente por los cambios en las actividades enzimáticas, las poblaciones microbianas, la diversidad, la estructura y la función de la comunidad (Wu *et al.*, 2021), en la literatura existen trabajos que demuestran la degradación de la tierra utilizada como vertederos. Para recuperar estas tierras degradadas se han aplicado diferentes métodos que se pueden utilizar en el futuro (Yazdani *et al.*, 2017). Las plantas ofrecen una oportunidad única para explorar los efectos biológicos de la contaminación y proporcionar información fiable sobre la calidad y las características del medio ambiente (Vaverková *et al.*, 2019)

5. Metales pesados

Los metales pesados son oligoelementos de origen natural en la tierra (Hussein *et al.*, 2021), y son indispensables para que los organismos mantengan actividades de la vida normal, sin embargo, la acumulación excesiva de metales pesados es nociva para el medio ambiente natural y la salud humana (Tang *et al.*, 2019), el uso de fertilizantes y pesticidas químicos, el riego de aguas residuales, lavado de metales, hierro y fundición de acero, la industria química y otros contaminantes industriales difundido en el suelo junto con el viento y el agua, aumentan la acumulación de metales pesados en el suelo (Wang *et al.*, 2020), lo cual es considerado como un proceso a largo plazo, la tecnología de tratamiento debe aplicarse para mejorar el estado de concentración de metales pesados en los suelos contaminados (Zhou y Wang, 2019), otros factores como las actividades microbianas en un entorno anaeróbico en los vertederos también podría influir en la movilización de metales en el ambiente (Hussein *et al.*, 2021), en general, la asociación de la contaminación del suelo por metales pesados con una serie de características funcionales y de reflectancia de las plantas proporciona un método rentable para evaluar la contaminación por metales

pesados (Yu *et al.*, 2018), desafortunadamente, la contaminación del suelo por metales pesados sigue aumentando peor a escala mundial (Tang *et al.*, 2019).

6. Residuos peligrosos

Según la LGPGIR los residuos peligrosos son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad a lo que se establece en esta Ley (LGPGIR, 2015).

El término residuos "peligrosos" se aplica de diversas formas en diferentes países, definiendo vagamente los residuos no domésticos que incluye productos químicos peligrosos (Fazzo *et al.*, 2017), son materiales que pueden dañar a personas, organismos, y medio ambiente, ya sea por sí mismo o por complejo de la interacción con otros factores (Parag, 2020), el hecho de que existan peligros asociados a estas actividades está implícito en el propio término "residuos peligrosos", la palabra "peligro" transmite claramente que hay algún peligro asociado a los residuos; sin embargo, en lo que se refiere con los requisitos normativos, el término "residuo peligroso" tiene una definición específica, normalmente asociada a posibles riesgos para el medio ambiente y la salud (Garner *et al.*, 2017), la liberación accidental de productos químicos peligrosos puede poner en peligro a los trabajadores industriales, al público en general y al medio ambiente a menos que se maneje con rapidez y de manera apropiada (Capoor y Bhowmik, 2017) .

Dicho de otra forma, en la rama de los residuos peligrosos se encuentran los desechos hospitalarios generalmente consisten en tóxicos y patógenos agentes tales como materiales infecciosos radiactivos, medicinales, químicos y biológicos, actualmente, los desechos hospitalarios conducen al agotamiento de la tierra y otros problemas ambientales graves en el país y a nivel mundial (Rupani *et al.*,

2019). De acuerdo con la NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, los residuos peligrosos biológicos infecciosos (RPBI) son aquellos materiales generados en todos los sectores de salud, laboratorios clínicos o centros de investigación durante los servicios de atención médica a humanos o a animales (Mex-Álvarez *et al.*, 2020), hoy en día hay un problema muy grande con esta situación debido a el manejo de infecciones, ya que los residuos son conducidos por personas no calificadas y de bajos recursos (Al-Khatib *et al.*, 2019), es por ello que los residuos peligrosos, si no son bien administrados, pueden causar efectos adversos para la salud de las viviendas encontradas cerca de los sitios donde son vertidos o procesados, la contaminación de diferentes matrices ambientales, incluidos los alimentos, el agua, el suelo y el aire, representa un riesgo para la salud de estas poblaciones (Fazzo *et al.*, 2017), por lo tanto, la obtención de información sobre las prácticas de clasificación y gestión de residuos por parte del personal sanitario es extremadamente importante (Adu *et al.*, 2020)

El propósito de la clasificación de áreas peligrosas es dividir una instalación en áreas según la probabilidad de presencia de mezclas inflamables, tanto en condiciones de funcionamiento normales como anormales. El equipo que se instalará en cada área debe especificarse en función de esta clasificación. Los equipos eléctricos pueden suministrar una fuente de ignición para la combustión de la mezcla; por lo tanto, dependiendo del riesgo de explosión en el área (Alves *et al.*, 2019).

IX. MATERIALES Y MÉTODOS

1.- Ubicación del sitio experimental

El tiradero a cielo abierto se ubica geográficamente a 25.555058° de latitud y -103.361725° longitud y una elevación 1123, posicionado en Torreón, Coahuila México, donde el clima es desértico y tiene muy pocas precipitaciones con un promedio de 225 al año, y su temperatura media anual es de 22.3°C . Dicho relleno se encuentra ubicado entre la carretera Santa Fe, afectando de forma directa a la colonia Valle Verde.

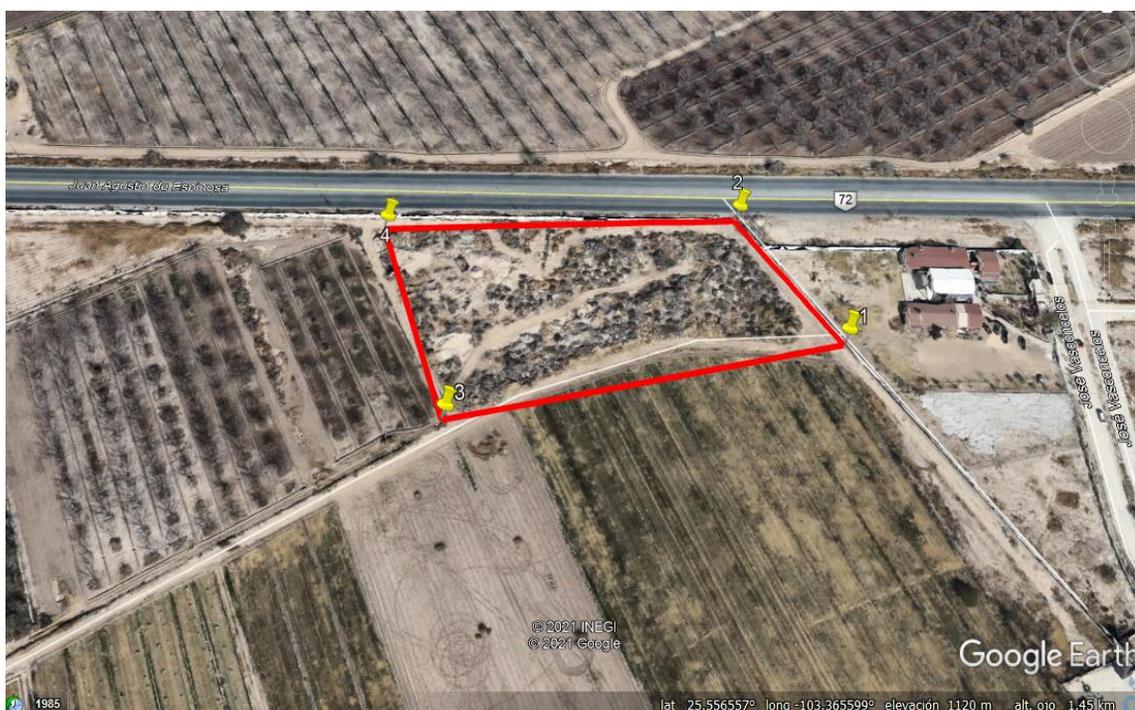


Figura 1. Ubicación geográfica específica del terreno afectado

Los análisis para la determinación de metales pesados se realizaron en el Laboratorio del Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, localizada a un costado del Periférico Raúl López Sánchez S/N, en la colonia valle verde con un código postal de 27054 en Torreón Coahuila, ubicada geográficamente a $25^\circ33'18.04''\text{N}$ $103^\circ22'27.05''\text{W}$, dentro

del laboratorio de suelos en un lapso de 15 días entre los meses de noviembre y diciembre.



Figura 2-. Ubicación geográfica del sitio

1. Muestreo

El muestreo se realizó en base a la norma NMX-AA-132-SCFI-2016 Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra, con el siguiente procedimiento:

Se comenzó por inspeccionar el sitio de interés como se observa en la figura 4, se delimito la extensión del área que presentaba acumulación de residuos y se midió la extensión total del sitio para calcular su área. Posteriormente mediante el uso de mapas satelital del software Google maps, se identificó el área y se imprimió el mapa satelital del lugar, para usarlo de referencia en la selección de los puntos de muestreo, sobre este mapa se realizó una cuadrícula donde se señalaron los puntos de muestreos, los cuales estuvieron georreferenciados.

La selección de los puntos de muestreo se realizó con un diseño factorial completamente al azar (FCA) (14 sitios x 4 determinaciones x 3 repeticiones), donde se seleccionaron 14 cuadrantes o sitios de muestreo, de los cuales se

extrajeron medio kilo de suelo con una profundidad de 30 cm cada una para su análisis, como se muestra en la Figura 3. A los sitios de muestreo se les asigno una clave de acuerdo con la cuadrícula del mapa para un mejor control en la identificación de las muestras, dichas claves se establecen en el Cuadro 1.



Figura 3.- Representación a escala de los puntos de muestreo

Cuadro 1.- Puntos de muestreo

C1-1	D1-1	A2-1	C4-1
C1-2	D1-2	A5-1	C8-1
C2-1	D2-1	B3-1	
C2-2	D2-2	B7-1	

2. Manejo de la muestra

Una vez recolectadas las muestras como se muestra en la figura 5 se registraron, etiquetaron, envasaron sellaron y se refrigeraron garantizando su inmovilidad durante su traslado hasta su llegada al laboratorio, y realizar los análisis requeridos, los cuales permitirán identificar las concentraciones presentes de los

metales de interés y la cantidad de materia orgánica presente en el suelo muestreado.

Una vez que llegó al laboratorio se procedió a eliminar la humedad del suelo, para esto se tomaron 200 gramos de cada una de las muestras en canastas de papel etiquetadas según el punto de muestreo y se dejaron un día entero secando.

Después se procedió a tamizar el suelo con 2 mallas diferentes, ya que, para la materia orgánica, según la técnica analítica empleada, se necesita un tamaño de partícula de 0.5 mm y para la determinación de metales un tamaño de partícula de 2 mm.

Una vez realizado lo anterior, el suelo ya está listo para trabajarse de acuerdo a los procedimientos que se marca para los diferentes análisis.



Figura 4. Punto de muestreo



Figura 5. Recolección de muestras

3. Materiales, equipos y reactivos

- Tamiz con malla de 2mm y 0.5 mm
- Tubos de polipropileno de 50 ml, matraz Erlenmeyer de 125 ml y 500 ml
- Matraces volumétricos de 25 y 50 ml

- Pipetas de 2, 3 y 5 ml
- Pipeta volumétrica de 10 ml
- Tapones de hule y cuadros de film o película de plástico
- Microbureta
- Bureta para Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$)
- Bureta para Sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Papel whatman 5, 42 o similar
- Probeta de vidrio de 25 ml o dosificador automático
- Cucharas de acero inoxidable
- Bolsas de medio kilo
- Agitador mecánico de acción recíproca
- Medidor de Ph
- Espectrofotómetro de absorción atómica, el cual se muestra en la figura 6
- Lámparas de cátodo hueco de Fe, Cu, Zn y Mn
- Campana extractora de metales tóxicos
- Aparato de baño María
- Dicromato de Potasio ($K_2Cr_2O_7$) 1N
- Ácido sulfúrico concentrado (H_2SO_4)
- Ácido fosfórico (H_3PO_4)
- Indicador de difenilamina
- Disolución de sulfato ferroso ($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)
- Ácido dietilentraminopentacético (DTPA)
- Cloruro de Calcio ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$)
- Trietanolamina (TEA, $C_6H_{15}NO_3$)
- Ácido clorhídrico (HCL)

4. Preparación de reactivos

- Solución extractora: Ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005 M, cloruro de Calcio ($CaCl_2 \cdot 2H_2O$) 0.01M y trietanolamina (TEA, $C_6H_{15}NO_3$) 0.1M, ajustada a ph 7.30. Para 1 L de esta solución se disuelven 1.967 g

de DTPA, 1.47 g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ Y 14.92 g de TEA ($\rho=1.12 \text{ g/cm}^3$ se miden 13.3 mL) en aproximadamente 20 mL de agua desionizada, se diluye a 900 mL. Se ajusta el pH a 7.30 ± 0.05 con HCl 6N, se agita y se diluye a 1 L con agua de igual calidad. Esta solución se guarda en frasco de plástico.

- Ácido Clorhídrico 6 N: Se diluyen con agua 5.9 mL de HCl a 37% en un matraz aforado de 10 mL.
- Estándar de Zinc de 1000 ppm: Se disuelven 1.0000 g de Zn metálico puro con 5 ó 10 mL de HCl concentrado, se evaporará casi a sequedad y se diluye a 1 L con la solución extractora (DTPA 0.005 M), y se guarda en una botella de polietileno y en refrigeración.
- Estándar de Zinc de 100 ppm: Se diluyen por separados 10 mL de la solución de 1000 ppm de Zn y se aforan a 100 mL con solución extractora (DTPA 0.005 M).



Figura 6. Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380, utilizado para la determinación de elementos como Cd, Pb y Zn, entre otros



Figura 7. Secado de muestras, previo a realizar los procesos de laboratorio se deben de dejar las muestras en reposo durante un día para que la humedad desaparezca y sus resultados sean más exactos



Figura 8.- Manejo del baño María, el aparato trabaja con agua destilada, la cual se agregará a la cámara con un volumen que sobrepase la parrilla en unos 4 cm. Las muestras se colocarán dentro del baño maría, el cual se enciende girando el control hacia la derecha y simultáneamente colocando a la temperatura que se desee trabajar, esperamos a que llegue a dicha temperatura, la cual se toma con un termómetro de alcohol o mercurio, una vez llegando a la temperatura requerida se apagará el indicador rojo y se comienza a tomar el tiempo necesario para efectuar el análisis



Figura 10.- Campana extractora de gases tóxicos



Figura 9.- Tamizado de muestra

5. Procedimiento para extracción de metales pesados con DTPA:

Se comenzó por dejar secar las muestras como se observa en la Figura 7, para eliminar la humedad presente del suelo para proseguir tamizándolo con una malla de 2 mm como se señala en la Figura 9, posteriormente se pesaron 5 gr y se colocaron en botes de plástico con tapón para luego agregar 50 ml de ácido nítrico 4 molar (260 ml L^{-1}) marcando el nivel de líquido, enseguida se colocaron las muestras en Baño María durante 12 h a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, una vez transcurrido el tiempo las muestras se sacaron del baño María como se indica en la Figura 8 para dejarlas a temperatura ambiente y nivelar el volumen que tenía, asegurándonos de cerrarlas bien para ser agitadas por 2 h como lo designa la Figura 10, al finalizar el tiempo se filtraron y se recolectó el filtrado para finalmente ser analizadas por el Espectrofotómetro de absorción atómica marca Perkin-Elmer modelo 2380 como exhibe la Figura 11.



Figura 12.- Recolección de filtrado



Figura 11.- Agitación de las muestras

6. Procedimiento para materia orgánica por el Método AS-07 de la NOM-021-RECNAT-2000 Walker y Black:

Por otro lado para determinar la materia orgánica se tomaron 0.5 g del suelo seco de cada una de las muestras las cuales primero fueron pasadas por un tamiz de 0.5 mm para posteriormente colocarlos dentro de un matraz Erlenmeyer de 500 ml y se procesó un blanco de reactivos, enseguida se adicionaron 10 ml de $K_2Cr_2O_7$ 1 N girando el matraz de forma cuidadosa para que entrará en contacto con todo el suelo, después se agregaron 20 ml de H_2SO_4 con una bureta y nuevamente se giró el matraz y se agitó por 1 minuto, dejándolo reposar por 30 minutos la mesa, para luego seguir con el proceso de titulación que se muestra en la Figura 14, se añadieron 200 ml de agua destilada, 5 ml de H_3PO_4 concentrado y de 5 a 10 gotas del indicador de difenilamina para finalmente titular con la disolución de $FeSO_4 \cdot 7H_2O$ así gota a gota hasta que obtuvimos un color verde claro de la muestra cómo se observa en la Figura 13.



Figura 14.- Color final de la muestra para %MO



Figura 13.- Proceso de titulación

7. Análisis estadístico de los datos

Se muestrearon 14 puntos diferentes del área de estudio, con 3 repeticiones por muestra repeticiones, con un diseño experimental factorial completamente al azar (FCA) (14x4x3), realizando el análisis estadístico con el software SAS versión 9.4.

X. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados de materia orgánica arrojaron que los suelos muestreados presentan una variación de clase baja y media el cual es plasmado en el cuadro 7, siendo el punto de muestreo C8-1 donde hay mayor concentración de materia orgánica, destacando que dicho punto es el lugar donde mayor concentración de contaminación por metales pesados se encontró. En el Cuadro 2 se muestra las medias estadísticas de los análisis obtenidas del laboratorio.

Cuadro 2.- Resultados del análisis de laboratorio de las muestras de suelo

Muestra	M.O.	Cadmio	Zinc	Plomo
Identificación	%	ppm	Ppm	ppm
A2-1	0.90	3.10	30.83	56.77
A5-1	1.32	2.20	33.33	7.43
B3-1	1.23	1.50	38.83	7.17
B7-1	1.06	1.90	42.50	9.13
C1-1	1.30	1.63	94.17	9.00
C1-2	1.67	2.17	145.00	8.67
C2-1	1.43	2.27	53.33	9.60
C2-2	1.50	2.30	60.50	9.47
C4-1	1.57	2.97	132.50	7.23
C8-1	2.65	4.70	72.50	78.40
D1-1	1.80	2.53	48.33	8.60
D1-2	1.82	1.90	89.17	9.80
D2-1	1.14	1.37	59.17	10.63
D2-2	1.33	2.07	55.83	35.03

orgánica, ppm= partes por millón

El análisis estadístico del diseño del experimento Factorial Completamente al azar mostró que para el caso del Factor A (sitio de muestreo), no existe diferencia estadística significativa entre los sitios, sin embargo, numéricamente hablando, el sitio con mayor concentración de metales pesados fue el sitio 10, como se muestra en el Cuadro 3.

Cuadro 3.- Análisis estadístico para el sitio de estudio

Sitio de estudio	Media	Significancia
10	39.65	a
6	39.43	a
9	36.07	a
5	26.56	a
12	25.63	a
14	23.73	a
1	22.9	a
8	18.44	a
13	18.3	a
7	16.66	a
11	15.32	a
4	13.72	a
3	12.18	a
2	11.07	a

Letras diferentes sugieren diferencias estadísticas significativas, letras iguales significa que no existe diferencia

En el caso del Factor B (metales pesados), el análisis estadístico del diseño del experimento Factorial Completamente al azar, si encontró diferencias estadísticas significativas entre las concentraciones de metales pesados, donde el Zn resulto el metal con mayor concentración promedio en todos los sitios de muestreo, seguido del Pb y finalmente el Cd, de acuerdo a lo señalado en el Cuadro 4.

Cuadro 4.- Resultado estadístico de los metales pesados

Metales pesados	Media	Significancia
Zinc	68.286	a
Plomo	19.067	b
Cadmio	2.426	c
Materia Orgánica	1.503	c

Letras diferentes sugieren diferencias estadísticas significativas, letras iguales significa que no existe diferencia

En el Cuadro 4 se muestra los análisis estadísticos en la combinación de factores (Factor A x Factor B) en orden descendente, desde el sitio con mayor concentración de metales hasta el más bajo, se encontraron diferencias estadísticas significativas, donde la mayor concentración de metal fue el Zn en el sitio 6.

Cuadro 5.- Resultado estadístico de la combinación de factores

Tratamiento	Media	Significancia
Sitio 6 + zinc	145	a
sitio 9 + zinc	132.5	a b
sitio 5 + zinc	94.17	a b c
sitio 12+ zinc	89.17	a b c d
sitio 10 + plomo	78.4	a b c d e
sitio 10 + zinc	72.5	a b c d e
sitio 8 + zinc	60.5	a b c d e
sitio 13 + zinc	59.17	a b c d e
sitio 13	56.77	a b c d e
sitio 14 + zinc	55.83	a b c d e
sitio 7 + zinc	53.33	a b c d e
sitio 11 + zinc	48.33	a b c d e

sitio 4 + zinc	42.5	c d e
sitio 3 + zinc	38.83	c d e
sitio 14 + plomo	35.03	c d e
sitio 2 + zinc	33.33	c d e
sitio 1 + zinc	30.83	c d e
sitio 13 + plomo	10.63	c d e
sitio 12 + plomo	9.8	c d e
sitio 7 + plomo	9.6	c d e
sitio 8 + plomo	9.47	c d e
sitio 4 + plomo	9.13	c d e
sitio 5 + plomo	9	c d e
sitio 6 + plomo	8.67	c d e
sitio 11 + plomo	8.6	c d e
sitio 2 + plomo	7.43	c d e
sitio 9 + plomo	7.23	c d e
sitio 3 + plomo	7.17	c d e
sitio 10 + cadmio	4.7	d e
sitio 1 + cadmio	3.1	d e
sitio 10 + materia orgánica	3	d e
sitio 9 + cadmio	2.97	d e
sitio 11 + cadmio	2.53	d e
sitio 6 + cadmio	2.4	d e
sitio 8 + cadmio	2.3	d e
sitio 7 + cadmio	2.27	d e
sitio 13 + cadmio	2.27	d e
sitio 2 + cadmio	2.2	d e
sitio 4 + cadmio	2.17	d e
sitio 14 + cadmio	2.07	d e
sitio 12 + materia orgánica	1.82	d e
sitio 11 + materia orgánica	1.8	d e
sitio 5 + cadmio	1.77	d e

sitio 12 + cadmio	1.73	d e
sitio 6 + materia orgánica	1.67	d e
sitio 9 + materia orgánica	1.57	e
sitio 3 + cadmio	1.5	e
sitio 7 + materia orgánica	1.43	e
sitio 14 + materia orgánica	1.33	e
sitio 2 + materia orgánica	1.32	e
sitio 5 + materia orgánica	1.3	e
sitio 3 + materia orgánica	1.2	e
sitio 13 + materia orgánica	1.14	e
sitio 4 + materia orgánica	1.06	e
sitio 1 + materia orgánica	0.9	e

Las diferentes sugieren diferencias estadísticas significativas, letras iguales significa que no existe diferencia

Cuadro 6.- Comparación de resultados de laboratorio contra límite máximo permisible de la NOM-052-SEMARNAT-2005

Muestra	Cadmio			Zinc	Plomo		
	Identificación	ppm		Ppm			
	LMP	Resultado	Diferencia	Resultado	LMP	Resultado	Diferencia
A2-1	1	3.10	2.10	30.83	5.0	56.77	51.77
A5-1	1	2.20	1.20	33.33	5.0	7.43	2.43
B3-1	1	1.50	0.50	38.83	5.0	7.17	2.17
B7-1	1	1.90	0.90	42.50	5.0	9.13	4.13
C1-1	1	1.63	0.63	94.17	5.0	9.00	4.0
C1-2	1	2.17	1.17	145.00	5.0	8.67	3.67
C2-1	1	2.27	1.27	53.33	5.0	9.60	4.60
C2-2	1	2.30	1.30	60.50	5.0	9.47	4.47
C4-1	1	2.97	1.97	132.50	5.0	7.23	2.23
C8-1	1	4.70	3.70	72.50	5.0	78.40	73.40
D1-1	1	2.53	1.53	48.33	5.0	8.60	3.60
D1-2	1	1.90	0.90	89.17	5.0	9.80	4.80
D2-1	1	1.37	0.37	59.17	5.0	10.63	5.63
D2-2	1	2.07	1.07	55.83	5.0	35.03	30.03

Para fines específicos de este trabajo se hizo una comparación de los resultados de los análisis de las muestras con la NOM-052-Semarnat-2005 como es indicada en el Cuadro 6, haciendo énfasis en la diferencia que se encuentra entre los resultados del análisis y los límites que indica la norma.

Cuadro 7.-Interpretación de resultados de materia orgánica

Clase	Materia Orgánica	
	Suelos volcánicos	Suelos no volcánicos
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1 - 6.0	0.6 - 1.5
Mediano	6.1 – 10.9	1.6 – 3.5
Alto	11.0 – 16	3.6 – 6.0
Muy Alto	>16.1	>6.0

El Cd es un metal pesado altamente dañino, común en áreas mineras y en áreas industriales, cuando entra en el organismo, la mayor parte se deposita en el hígado y principalmente en los riñones en los que produce mayor daño al lesionar las células tubulares. La intoxicación aguda por cadmio puede ser detectada mediante la medición directa de este metal en sangre y orina (Erostegui *et al.*, 2020).

El Pb es reconocido como el segundo metal más tóxico, pero debido a sus propiedades su uso no se ha retirado del mercado, siendo la exposición laboral la fuente más común de intoxicación en adultos, aunque también puede ser por la ingesta de frutas y verduras cultivadas en suelos contaminados por este metal (Hélix Iván Barajas *et al.*, 2022) , al ingresar al cuerpo es depositado en hígado, riñones, sistema cardiovascular, huesos y dientes. Sus efectos dependen de la cantidad de exposición al mismo. En cuanto al zinc es relativamente no tóxico, pero los niveles altos podrían tener consecuencias para la salud al ser inhalado en forma de óxido de zinc, puede provocar síntomas respiratorios, dolor muscular, náusea, vómito, fatiga, dolor de pecho, tos, etc., los 3 puede ingresar

al organismo a través de los pulmones, del sistema digestivo o de la piel (Moscoso *et al.*, 2021).

XI. CONCLUSIONES

Los resultados demostraron que el suelo presente en el tiradero a cielo abierto analizado en este trabajo se encuentra por encima de los límites máximos permisibles que indica la NOM-052-SEMARNAT-2005, como muestra el cuadro 6.

Una vez realizado el análisis visual del sitio se puede constatar que no se cumplen con ninguno de los lineamientos de la NOM-083, en la cual describe las características que deben de tener los tiraderos a cielo abierto.

En base a lo analizado de este trabajo, se concluyó que los metales pesados se pueden encontrar de forma natural en los suelos, sin embargo, dadas las condiciones a las que se somete el suelo con la presencia de residuos peligrosos en combinación con los residuos urbanos y de manejo especial, son un factor importante para encontrar las elevadas concentraciones de los metales pesados resultantes, pues la descomposición de los residuos antes citados provoca que se liberen los metales contenidos en su estructura.

Con respecto a la materia orgánica se encontró que los porcentajes indican que tenemos un suelo de clase media, esto está relacionado a la presencia de animales en descomposición presentes en el lugar, lo cual permite que, al descomponerse, la cantidad de materia orgánica se eleve.

XII. RECOMENDACIONES

Como principal recomendación es dar aviso a las autoridades competentes para dar cierre a este relleno sanitario, limitando con una cerca el espacio, después nivelar y compactar la superficie del lugar para enseguida recubrir con la tierra, y que de esta forma se cubran todos los desechos y queden enterrados de forma correcta, para que así pueden seguir con su curso de degradación, y una vez que la clausura finalice se recomienda que sea transformado en una zona verde con pasto y arbustos de raíces cortas.

O de otra forma, si es de interés tener un botadero, se recomienda que se sigan las especificaciones de la NOM-083-SEMARNAT-2003, la cual habla de las especificaciones de protección ambiental para la selección del sitio, diseño, construcción, operación, monitoreo, clausura y obras complementarias de un sitio de disposición final de residuos sólidos urbanos y de manejo especial,

Por otro lado, la NOM-055-SEMARNAT-2003, la cual establece los requisitos que deben reunir los sitios que se destinarán para un confinamiento controlado de residuos peligrosos previamente estabilizados, de esta forma se tendrían controlados los diferentes tipos de residuos sin causar un efecto negativo al ambiente y a la salud.

Además, se recomienda clasificar la basura que se arroja, para separar los residuos peligrosos de los urbanos, ya que el tipo de desechos que se arrojan a este sitio de disposición final deben de ser acorde a él área poblacional que se encuentra, por ello este tipo de lugares no son recomendados para los residuos peligrosos y es necesaria una previa clasificación antes de arrojar dichos residuos.

XIII. Referencias

- Abaiqzy, M., L. K. Yerkinbayeva, K. N. Aidarkhanova, G. T. Aigarinova y N. S. Baimbetov 2020. "The Formation of Land Conservation Principles as the Framework for the Implementation of the Concept of Sustainable Development of Society." *Journal of Landscape Ecology* 13: 23-38.
- Adu, R. O., S. F. Gyasi, D. K. Essumang y K. B. Otabil 2020. "Medical Waste-Sorting and Management Practices in Five Hospitals in Ghana." *Journal of Environmental & Public Health*: 1-14.
- Aguilar Fernández, M., T. Álvarez Sánchez y J. A. Álvarez Cedillo 2020. "Gestión de Residuos Sólidos Urbanos en Oaxaca, México, desde el Enfoque Sistemático." *Urban Solid Waste Management in Oaxaca, Mexico, from the Systematic Approach*. 22: 85-108.
- Al-Khatib, I. A., A.-S. Khalaf, M. I. Al-Sari y F. Anayah 2019. "Medical waste management at three hospitals in Jenin district, Palestine." *Environmental Monitoring and Assessment* 192: 10.
- Alves, J. J. N., A. T. P. Neto, A. C. B. Araújo, H. B. Silva, S. K. Silva, C. A. Nascimento y A. M. Luiz 2019. "Overview and experimental verification of models to classify hazardous areas." *Process Safety & Environmental Protection: Transactions of the Institution of Chemical Engineers Part B* 122: 102-117.
- Banias, G., M. Batsioulas, C. Achillas, S. I. Patsios, K. N. Kontogiannopoulos, D. Bochtis y N. Moussiopoulos 2020. "A Life Cycle Analysis Approach for the Evaluation of Municipal Solid Waste Management Practices: The Case Study of the Region of Central Macedonia, Greece." *Sustainability (2071-1050)* 12: 8221.
- Bedi, E. Y. 2017. "Case Study to Solid Waste Management Practices at Teiman in the La-Nkwantanang Madina Municipality in the Greater Accra Region, Ghana." *International Journal of Health & Economic Development* 3: 33-47.
- Behera, R. K. H., Mohammad Izhar 2017. "Disaster Management using Mock Drills." *Vilakshan: The XIMB Journal of Management* 14: 51-78.
- Breza-Boruta, B. 2016. "The assessment of airborne bacterial and fungal contamination emitted by a municipal landfill site in Northern Poland." *Atmospheric Pollution Research* 7: 1043-1052.
- Burger, J. 2019. "Costs and Benefits of Delaying Remediation on Ecological Resources at Contaminated Sites." *EcoHealth* 16: 454-475.
- Capoor, M. R. y K. T. Bhowmik 2017. "Current perspectives on biomedical waste management: Rules, conventions and treatment technologies." *Indian Journal of Medical Microbiology* 35: 157-164.
- Cárdenas-Ferrer, T. M., C. R. F. Santos-Herrero, C. A. M. Contreras-Moya, C. E. Rosa-Domínguez y Y. Correa -Cortés 2020. "Diseño de una planta para el tratamiento del lixiviado en Vertedero de Sagua La Grande." *Design of a plant for the treatment of leachate in Sagua la Grande Landfill*. 40: 413-427.
- Concari, A., G. Kok y P. Martens 2020. "A Systematic Literature Review of Concepts and Factors Related to Pro-Environmental Consumer Behaviour in Relation to Waste Management Through an Interdisciplinary Approach." *Sustainability (2071-1050)* 12: 4452-4452.
- Cook, E. R. y B. Batchelor (1996). Chapter 4 Stabilization/solidification of hazardous wastes in soil matrices. *Advances in Porous Media*. M. Y. Corapcioglu, Elsevier. 3: 307-359.
- Costa, A. M., R. G. De-Souza-Marotta-Alfaia y J. C. Campos 2019. "Landfill leachate treatment in Brazil – An overview." *Journal of Environmental Management* 232: 110-116.
- Danesh, G., S. M. Monavari, G. A. Omrani, A. Karbasi y F. Farsad 2019. "Compilation of a model for hazardous waste disposal site selection using GIS-based multi-purpose decision-making models." *Environmental Monitoring & Assessment* 191: 1-1.

- DOF 2004. "NOM-083-SEMARNAT-2003."
http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=658648&fecha=20/10/2004.
- DOF 2005. "NOM-052-SEMARNAT-2005."
<http://www.dof.gob.mx/normasOficiales/1055/SEMARNA/SEMARNA.htm>.
- Erostegui, C., C. Oporto, L. Zalles, R. Sevilla y A. M. Romero 2020. "Evaluación del daño renal por cadmio en población expuesta a contaminación por éste en agricultores de Quila-Quila, Potosí Evaluation of kidney damage by cadmium in a population exposed to its contamination in farmers from Quila-Quila, Potosí."
<http://www.scielo.org.bo/pdf/gmb/v43n2/v43n2a5.pdf>.
- Estens-de-la-Garza, S. 2017. "Sistema de Información Ambiental."
http://www.torreon.gob.mx/medioambiente/pdf/informacion_ambiental.pdf.
- Fazzo, L., F. Minichilli, M. Santoro, A. Ceccarini, M. Della Seta, F. Bianchi, P. Comba y M. Martuzzi 2017. "Hazardous waste and health impact: a systematic review of the scientific literature." *Environ Health* 16: 107.
- Forti, J. C., P. G. Lima, A. R. Reis, F. A. dos Santos y S. S. Braga 2019. "Analysis of heavy metals and aromatics compounds in soil layers of a sanitary landfill." *Environmental Quality Management* 28: 123-130.
- Garner, S., B. Cox, B. Bobbitt, B. Parrish y R. Ogle 2017. "Managing the chemical reactivity hazards associated with hazardous waste." *Loss Prevention Bulletin*: 15-20.
- Hélix Iván Barajas, C., H.-C. Paola, P.-S. Ariana Julissa, G. José Ángel Elí Sandoval y V. Carlos Alejandro Mora 2022. "Intoxicación por plomo y su impacto en la práctica clínica: artículo de revisión." *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar* 6.
- Hussein, M., K. Yoneda, Z. Mohd-Zaki, A. Amir y N. Othman 2021. "Heavy metals in leachate, impacted soils and natural soils of different landfills in Malaysia: An alarming threat." *Chemosphere* 267: 128874.
- INEGI 2019. "Basura."
<https://cuentame.inegi.org.mx/territorio/ambiente/basura.aspx?tema=T%7d>.
- Jantz, M. N. y C. A. Ruggerio 2021. "Tratamiento de los residuos sólidos orgánicos domésticos como estrategia para la mitigación del impacto ambiental negativo de la gestión de residuos en áreas urbanas." *Ambiente en Diálogo*: e026-e026.
- Kaza, S., L. C. Yao, P. Bhada-Tata y F. Van Woerden 2018. "What a Waste 2.0 : A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050."
<https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/30317>.
- Leal, A. W., M. d. I. Á. P. Álvarez y J. L. M. Muñiz 2019. "Actitudes de la ciudadanía hacia la separación de residuos en Coatepec, Veracruz, Mexico." *Revista de Metodología de las Ciencias Sociales*: 159-186.
- LPGGIR 2015. "LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS."
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/131748/23_LEY_GENERAL_PARA_LA_PREVENCI_N_Y_GESTI_N_INTEGRAL_DE_LOS_RESIDUOS.pdf.
- Mex-Álvarez, R. M. d. J., P. M. Garma-Quen y W. d. J. León-Reyes 2020. "Manejo de residuos peligrosos biológicos e infecciosos en una escuela de química de nivel superior " *Revista Iberoamericana para la Investigación y el Desarrollo Educativo* 10.
- Moscoso, Rojas Juan y R. Carla 2021. "METALES PESADOS." *Coloquio*.
- Mouedhen, I., L. Coudert, J.-F. Blais y G. Mercier 2019. "Prediction of physical separation of metals from soils contaminated with municipal solid waste ashes and metallurgical residues." *Waste Management* 93: 138-152.
- Mouhoun-Chouaki, S., A. Derridj, D. Tazdaït y R. Salah-Tazdaït 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: 3560456.
- Nika, M. C., K. Ntaiou, K. Elytis, V. S. Thomaidi, G. Gatidou, O. I. Kalantzi, N. S. Thomaidis y A. S. Stasinakis 2020. "Wide-scope target analysis of emerging contaminants in landfill leachates and risk assessment using Risk Quotient methodology." *Journal of Hazardous Materials* 394: 122493.
- Paladino, O. y M. Massabò 2017. "Health risk assessment as an approach to manage an old landfill and to propose integrated solid waste treatment: A case study in Italy." *Waste Manag* 68: 344-354.
- Pałaszewska-Tkacz, A., S. Czerczak, K. Konieczko, A. Pałaszewska-Tkacz y S. Czerczak 2017. "Chemical incidents resulted in hazardous substances releases in the context of human health hazards." *International Journal of Occupational Medicine & Environmental Health* 30: 95-110.
- Parag, D. 2020. "Assessment of the Regulatory Aspects of Supply Chain Management of Hazardous Materials HAZMAT with Respect to the Indian Chemical Industry." *Journal of Resources, Energy, and Development*: 1-11.
- Przydatek, G., A. Kochanek y M. Basta 2017. "ANALYSIS OF CHANGES IN MUNICIPAL WASTE MANAGEMENT AT THE COUNTY LEVEL." *Journal of Ecological Engineering* 18: 72-80.
- Przydatek, G. y K. Ciągło 2020. "Factors of variability in the accumulation of waste in a mountain region of southern Poland." *Environmental Monitoring & Assessment* 192: 1-16.
- Ramamoorthy, R., G. Poyyamoli y S. Kumar 2019. "ASSESSMENT OF SOLID WASTE GENERATION AND MANAGEMENT IN SELECTED SCHOOL CAMPUSES IN PUDUCHERRY REGION, INDIA." *Environmental Engineering & Management Journal (EEMJ)* 18: 499-512.
- Rupani, P. F., R. M. Delarestaghi, M. Abbaspour, M. M. Rupani, H. S. El-Mesery y W. Shao 2019. "Current status and future perspectives of solid waste management in Iran: a critical overview of Iranian metropolitan cities." *Environmental Science & Pollution Research* 26: 32777-32789.
- Sackey, L. N. A., V. Kočí y C. A. M. van Gestel 2020. "Ecotoxicological effects on Lemna minor and Daphnia magna of leachates from differently aged landfills of Ghana." *Science of The Total Environment* 698: 134295.
- Samadder, S. R., R. Prabhakar, D. Khan, D. Kishan y M. S. Chauhan 2017. "Analysis of the contaminants released from municipal solid waste landfill site: A case study." *Science of The Total Environment* 580: 593-601.
- Sánchez-Muñoz, M. d. P., J. G. Cruz-Cerón y P. C. J. R. F. y. P. E. Maldonado-Espinel 2019. "Gestión de residuos sólidos urbanos en América Latina: un análisis desde la perspectiva de la generación." <http://www.scielo.org.co/pdf/fype/v11n2/2248-6046-fype-11-02-321.pdf> 11: 321-336.
- SEMARNAT 2015. "Residuos." <https://apps1.semarnat.gob.mx:8443/dgeia/informe18/tema/cap7.html>.
- SEMARNAT 2017. "Clasificación, reciclaje y valoración de los RSU." <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/clasificacion-reciclaje-y-valoracion-de-los-rsu>.
- Sotelo, S. E. C. y S. O. Benítez 2013. "Gestión sostenible de los residuos sólidos urbanos." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 7-8.
- Tang, J., J. Zhang, L. Ren, Y. Zhou, J. Gao, L. Luo, Y. Yang, Q. Peng, H. Huang y A. Chen 2019. "Diagnosis of soil contamination using microbiological indices: A review on heavy metal pollution." *Journal of Environmental Management* 242: 121-130.

- Vaverková, M. D., J. Winkler, D. Adamcová, M. Radziemska, D. Uldrijan y J. Zloch 2019. "Municipal solid waste landfill – Vegetation succession in an area transformed by human impact." *Ecological Engineering* 129: 109-114.
- Veselaj, T., R. Morina, V. Gashi y F. Sallaku 2019. "ASSESSMENT OF LEACHATE AND SOIL CONTAMINATION WITH HEAVY METALS AROUND DEPOSIT SITES IN PODUJEVA AND PRIZREN." *Journal of Chemical Technology & Metallurgy* 54: 1020-1027.
- Wang, Z., J. Xiao, L. Wang, T. Liang, Q. Guo, Y. Guan y J. Rinklebe 2020. "Elucidating the differentiation of soil heavy metals under different land uses with geographically weighted regression and self-organizing map." *Environmental Pollution* 260: 114065.
- Wu, Y., Q. Song, J. Wu, J. Zhou, L. Zhou y W. Wu 2021. "Field study on the soil bacterial associations to combined contamination with heavy metals and organic contaminants." *Science of The Total Environment* 778: 146282.
- Yazdani, M., S. M. Monavari, G. A. Omrani, M. Shariat y S. M. Hosseini 2017. "A COMPARATIVE EVALUATION OF MUNICIPAL SOLID WASTE LANDFILL SITES IN NORTHERN IRAN." *Applied Ecology & Environmental Research* 15: 91-110.
- Yu, K., M. Van Geel, T. Ceulemans, W. Geerts, M. M. Ramos, C. Serafim, N. Sousa, P. M. L. Castro, P. Kastendeuch, G. Najjar, T. Ameglio, J. Ngao, M. Saudreau, O. Honnay y B. Somers 2018. "Vegetation reflectance spectroscopy for biomonitoring of heavy metal pollution in urban soils." *Environmental Pollution* 243: 1912-1922.
- Zhao, J. y L. Huang 2019. "Multi-Period Network Design Problem in Regional Hazardous Waste Management Systems." *International Journal of Environmental Research & Public Health* 16: 2042.
- Zhou, X.-Y. y X.-R. Wang 2019. "Impact of industrial activities on heavy metal contamination in soils in three major urban agglomerations of China." *Journal of Cleaner Production* 230: 1-10.