

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**CONTAMINACIÓN POR PLOMO EN SUELOS DE DESECHOS  
MINEROS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO**

**POR**

**MARÍA FLORINDA HERNÁNDEZ ALTUNAR**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO DE 2014**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

CONTAMINACIÓN POR PLOMO EN SUELOS DE DESECHOS  
MINEROS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO

TESIS DEL C. MARÍA FLORINDA HERNÁNDEZ ALTUNAR QUE SE  
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE  
ASESORÍA Y APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA  
OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

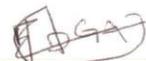
ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR:

  
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

COASESOR:

  
MC. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

COASESOR:

  
BIOL. MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

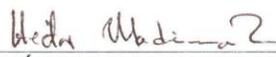
MAYO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS  
CONTAMINACIÓN POR PLOMO EN SUELOS DE DESECHOS  
MINEROS EN LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO

TESIS DEL C. **MARÍA FLORINDA HERNÁNDEZ ALTUNAR** QUE SE  
SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y  
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:

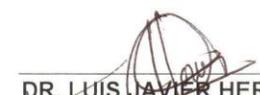
**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

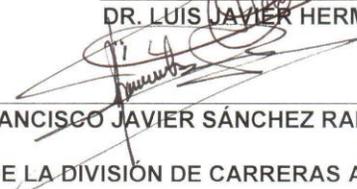
APROBADA POR:

PRESIDENTE:   
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:   
MC. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

VOCAL:   
DR. JOSÉ LUIS REYES CARRILLO

VOCAL SUPLENTE:   
DR. LUIS JAVIER HERMOSILLO SALAZAR

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

MAYO DE 2014

## DEDICATORIA

*A Dios. Por darme la vida y por permitir que pueda compartir con mi familia y amigos momentos bonitos que quedarán en el recuerdo por siempre y por darme las fuerzas para salir adelante con éxito.*

*A mis padres Juan Hernández y América Altunar. Y a mis abuelitos Mercedes Altunar y Emília López, a quienes agradezco todo el apoyo que me han brindado en este logro más en mi vida. A quienes les debo lo que soy, porque todo ello me lo han dado. Deseo expresarles mi más sincero agradecimiento por su apoyo, orientación, paciencia, cariño y comprensión al igual que por sus grandes consejos y el amor tan grande que me tienen.*

*A mis hermanos: Elena, Obdulía, Rodrigo, Narciso, Romelía y Jesús A. Por compartir grandes momentos y todas aquellas experiencias compartidas, Por su cariño, apoyo y por la confianza brindada y por brindarme los recursos necesarios para poder concluir*

*una etapa más de mi vida. Muchas gracias y que Dios los bendiga hoy y siempre.*

*A mis tías: Leonor y Teresa porque siempre estuvieron a mi lado apoyándome en los momentos más difíciles de mi vida, por sus palabras de aliento que ayudaron a levantar el ánimo para seguir adelante y concluir con los estudios y por la confianza que tuvieron en mí.*

*A mis amigos: Gustavo, Luisa, Fredy. Y A la Bióloga María Isabel (chabelita). Por compartir y vivir a mi lado aquellos momentos tanto agradable como difíciles a lo largo de la carrera y sobre todo por sus amistades. A la señora Ruth Elizabeth Reyes Gracias por sus consejos, su cariño, y su apoyo brindado y por estar conmigo en los momentos más difíciles a quien ahora le agradezco con todo mi corazón el haberme permitido formar parte de su familia.*

*Mi amigo del alma Rolando (Rolix), gracias por todo lo que has echo por mí y sobre todo por que nunca me has dejado caer tu apoyo*

*me ha dado fuerzas para seguir adelante y echarle muchas mas ganas, tambien por estar conmigo en las buenas y en las malas, por compartir momento agradables gracias por ser mi confidente en todas las locuras que hicimos.*

*A mi amiga Alejandra, te agradezco mucho por el apoyo que me brindaste cuando más lo necesitaba a pesar de que éramos dos personas extrañas. El poco tiempo que te conocí me demostraste que eres una muy buena persona, me siento muy agradecido con la vida por haberte conocido. Tu amistad es muy importante para mí.*

*Al MVZ Obed Adonái, gracias por estar conmigo en este tiempo tan importante para mí y por todos los apoyos, brindados y sobre todo por tenerme paciencia, por aguarar mis locuras.*

*Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, siempre será esa persona especial que habitara en mi corazón como un buen ejemplo a seguir. Este trabajo es gracias a sus conocimientos, su cariño, inteligencia, y*

*más que eso, su paciencia, es mi admiración. Este triunfo también es suyo.*

*A todos mis profesores que me enseñaron más que números y letras en especial a Jose Luis Rios, Cinthia Dinorañ a Miguel Angel Urbina Martinez, Jose Luis Reyes Carrillo, Edgardo Cervantes, Al Ing. Rolando Loza Rodriguez al profesor Oscar Ojeda Contreras a todos gracias por enseñarme y guiarme en mi formación tanto académica como la de ser humano pues las personas no sólo se forman con estudio si no también con ejemplos de las personas que te brindan consejos.*

*Les agradezco a todos ustedes con toda mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes, pero esos momentos son las que nos hace crecer y valoraa las personas que nos rodean.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Díosíto por su amor incondicional, por estar conmigo todos los días de mi vida, por darme el regalo más preciado, que es mi existencia, por darme una familia hermosa, por regalarme a los amigos más lindos yPor encontrarse guiando mis pasos a cada momento de mi existencia, darme paciencia y fuerzas para cumplir mis ideales.*

*A mí Alma Terra Mater (UAAAN-UL), por la oportunidad brindada para poder concluir con una etapa más de mi formación académica.*

*Al Dr. Héctor Madinaveitia Ríos, por transmitirme parte de sus conocimientos y experiencias, por ser un gran asesor, por brindarme su apoyo, comprensión, paciencia incondicional, nunca terminare de agradecer todo lo quehe aprendido de su capacidad moral e intelectual **gracias***

*A la Bióloga. María Isabel Blanco Cervantes, por su sencillez, paciencia y por darme todo el apoyo brindado en la realización del*

*proyecto. Por ser una persona admirable, con muchas capacidades demostradas en este aprendizaje.*

*El TQI. Juan Carlos Mejía Cruz, a quien le agradezco su tiempo, apoyo y comprensión en el análisis de las muestras por sus comentarios y sugerencias brindadas.*

*La QFB. Norma Lydía Rangel Carrillo, por su apoyo, tiempo y paciencia brindada por la realización de los análisis de suelo.*

*A mis asesores Dr. José Luis Reyes Carrillo, por su importante enseñanza y cariño, Al M.C. Edgardo Cervantes Álvarez y Dr. Luis Javier Hermosillo Salazar, por sus confianzas y conocimientos brindados, deseo expresar un profundo y sincero agradecimiento por todas sus aportaciones y su gran apoyo.*

*Al Ing. José Luis Ríos Gonzales quien le agradezco sinceramente por su tiempo, dedicación en las tutorías y por sus conocimientos brindados durante los semestres cursados.*

*A los maestros de la Universidad Autónoma Agraria Antonio  
Narro que les debo gran parte de mis conocimientos y que fueron  
parte de mi formación académica.*

## ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	V
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE DE CUADROS .....	X
RESUMEN.....	XI
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos.....	2
Hipótesis alternante.....	2
REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
Origen de la Contaminación del Plomo.....	3
Característica Física y química del Plomo (Pb).....	4
Metales Pesados.....	5
Pb en el ecosistema.....	8
Normas de Medición del Plomo.....	9
En seres humanos.....	9
En suelo.....	10
En agua.....	11

Efectos del Pb en el ecosistema.....	12
En plantas.....	12
En animales.....	13
Seres humanos.....	14
Metodología de eliminación de plomo en el ecosistema.....	15
Fitorremediación.....	16
La biorremediación.....	16
La fitoestabilización.....	16
La Rizofiltración.....	17
La Fitoextracción o fitoacumulación.....	17
La Fitovolatilización.....	18
La Fitodegradación.....	18
MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
Ubicación del área de estudio.....	20
Trabajo de campo.....	20
Trabajo de gabinete.....	20
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
CONCLUSIONES.....	25
RECOMENDACIONES.....	26
LITERATURA CITADA.....	27

## ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
Cuadro 1	Límites máximos permisibles de metales pesados para uso agrícola/residencial/comercial y para uso industrial. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.....	11
Cuadro 2	Muestra la concentración de Pb en los estratos 1 (meseta), 2 (ladera) y 3 (valle), la suma de los estratos y la media estadística, de la mina abandonada La Preciosa del ejido La perla Municipio de Nazas Durango. 2011.....	23
Cuadro 3	Análisis de varianza de la variable Pb con tres estratos: 1 (meseta), 2 (ladera), 3 (valle), la suma de los estratos y la media estadística, de la mina abandonada la Preciosa, del Ejido la Perla Nazas Durango 2011.....	24

## RESUMEN

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en la mina de uranio llamada La Preciosa del ejido la Perla Municipio de Nazas Durango, México. El objetivo fue determinar la concentración de plomo en suelos aledaños a una mina abandonada. La hipótesis fue: La concentración de Pb rebasa los límites máximos permisibles en suelos según la **NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004**. La metodología a seguir fue obtener 3 submuestras de tres estratos (valle, ladera y meseta). Para Analizar las muestras en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 2380) del laboratorio de Suelos de la UAAAN-UL, se siguió la técnica de Etchevers (2005). Con los datos obtenidos se hizo un análisis estadístico que consistió en: obtener las medias de Pb y un análisis de varianza. Los resultados mostraron que la concentración de Pb en los diferentes suelos muestreados estuvieron dentro de los límites máximos permisibles, según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, por lo tanto fue rechazada la hipótesis. Los resultados del análisis de varianza no mostraron significancia estadística entre los tres estratos.

**Palabras claves:** Metal Pesado, Pb, mina, contaminación, suelos.

## INTRODUCCIÓN

El plomo es un elemento químico considerado como metal pesado y contaminante debido a que no es un nutrimento o sea no se identifica con la composición esencial de los seres vivos, por lo cual puede ocasionar intoxicaciones y enfermedades no solo en los componentes bióticos de los ecosistemas, sino también en los seres humanos.

En los seres humanos puede ocasionar enfermedades, respiratorias cardiovascular, neurológico, gastrointestinales además de poder afectar la piel y los riñones tales enfermedades e incluso la muerte por exceso de plomo.

Las fuentes contaminantes de plomo son principalmente las minas en las que se explotan metales apreciados por el ser humano y entre los componentes colaterales de esa explotación esta el plomo.

En este trabajo se determina la concentración de plomo en suelos aledaños a una mina abandonada; que era explotada con fines de obtención de uranio años antes.

Es importante conocer cuáles son las concentraciones que hay de este metal en los suelos con el objetivo de determinar acciones de rehabilitación en las que se extraiga el exceso de plomo y de esa manera reducir o anular su transferencia en las cadenas tróficas y en los escurrimientos que puede haber como consecuencia de las lluvias y que son arrastrados hacia las parcelas agrícolas cercanas a la mina.

## **OBJETIVOS E HIPÓTESIS**

### **Objetivo general**

Determinar la concentración de plomo en suelos aledaños a una mina abandonada de la región de Nazas Durango.

### **Objetivos específicos**

Realizar muestreos y colecta de suelo en el área de estudio.

Determinar en laboratorio la concentración de Pb en las muestras colectadas.

Comparar las concentraciones de Pb calculadas con los límites máximos permisibles de Pb en suelos de acuerdo a Normas Ecológicas.

### **Hipótesis alternante**

La concentración de Pb rebasa los límites máximos permisibles en suelos según la **NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004**.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Origen de la contaminación del plomo

La industria minera, es una fuente importante de contaminación, en México ha generado por décadas una gran cantidad de desechos y sitios contaminados a lo largo de todo el país. La excavación de minas, la remoción de minerales y el proceso de extracción de metales pueden causar daños ambientales y, en casos extremos, destruir el ecosistema; La contaminación por plomo en Torreón comenzó a ser detectada desde finales de los 70's. Desde mediados del siglo XIX, las disposiciones legales establecían que una mina estaba abandonada si su propietario no la trabajaba durante un año. El 1 de marzo de 1887 se forma la compañía minera de Peñoles que toma posesión de las minas el 27 de mayo del mismo año. En 1917 la Compañía de Minerales y Metales, entonces subsidiaria de la American Metal Company adquirió la Compañía Metalúrgica de Torreón, S.A. que había iniciado sus operaciones desde el año de 1901. En el año de 1920 la Compañía de Minerales y Metales se fusionó con la Compañía Minera de Peñoles. Con la reestructuración llevada a cabo entre 1961 y 1969 en que se nacionalizó la empresa, esta cambió de nombre a Industrias Peñoles y las operaciones metalúrgicas quedaron a cargo de una nueva empresa denominada Met-Mex Peñoles, S.A.de.C.V. (MMP), ubicada en la Comarca Lagunera.(García, *et al.*, 2001).

## Característica física y química del Plomo (Pb)

El Pb existe naturalmente en la corteza terrestre de donde es extraído y procesado para usos diversos. Cuando el plomo es ingerido, inhalado o absorbido por la piel resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos. (Rosen, 1992)

El Pb es un metal distribuido en el medio ambiente, cuyo valor guía para la Organización Mundial de la Salud (OMS) es de  $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . La contaminación ambiental procede principalmente del tetra etilo de plomo de la gasolina, el cual es parte de su composición, y de las diversas emisiones de procesos industriales donde intervienen compuestos de plomo como por ejemplo la combustión de carburantes fósiles, como el carbón. (Bataller, 2004).

El Pb se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante. Fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre, a partir de la galena (PlomoS), la cerusita (PlomoCO<sub>3</sub>) y la anglesita (PlomoSO<sub>4</sub>). El metal se produce primariamente por fundición del mineral. Los principales yacimientos de éste están en Australia, Canadá, Estados Unidos, y Unión Soviética. La producción mundial minera es de aproximadamente 3.300.000 ton/año; en América Latina se produce el 14% de este total, siendo los más importantes productores Perú (212.600 ton/año) y México (184.261 ton/año) (Sindicato Médico del Uruguay, 2014).

En este sentido, la abundancia relativa de plomo depende de factores tales como la concentración relativa de Pb, y U presente en la mezcla inicial, la vida media de los procesos de descomposición y el periodo de tiempo sobre el cual el deterioro avanza. La composición del plomo es por lo tanto representante de su origen y ha sido utilizada en diferentes estudios principalmente para identificar fuentes de contaminación por plomo en diferentes matrices incluyendo sedimentos, suelos, agua de río y árboles (Marguí *et al.* 2007).

La tabla periódica de los elementos químicos resume las características químicas del (Pb): es un metal pesado de color blanco azulado, con tendencia al gris plateado, de alta densidad (11.35 g/cm<sup>3</sup>). En estado puro es blando y maleable, poco dúctil y mal conductor de la electricidad. Como muchos metales, en ambientes húmedos se recubre de una capa de óxido. Su número atómico es 82, su punto de fusión es 327.4 °C y el de ebullición es 1 740 °C. Es insoluble en agua, resistente a la acción del ácido sulfúrico. Se disuelve lentamente en soluciones de agua acidificada con ácidos débiles. Es soluble en agua acidificada con ácido nítrico. Soluble en ácido nítrico y en soluciones del mismo ácido, dando lugar a sales solubles. Produce humos (vapores) metálicos a partir de 500 °C, estos humos son tóxicos y penetran a los alvéolos. (ATSDR, 2005).

## **Metales pesados**

Los metales pesados son aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g/cm<sup>3</sup> cuando están en forma elemental o cuyo número atómico es superior a 20. Muestran una elevada tendencia a bioacumularse y a biomagnificarse a través de su paso por los distintos eslabones de las cadenas tróficas. En concentraciones elevadas, ocasionan graves problemas en el desarrollo, crecimiento y reproducción de los seres vivos (Vardanyan y Ingole, 2006).

Los metales pesados son aquellos metales con gravedad específica > 5 g/cm<sup>3</sup>, sin embargo esta definición no es útil respecto al estudio de los efectos toxicológicos que algunos metales tienen sobre el ambiente y los seres vivos, así que otra definición de metales pesados que se ha adoptado es un grupo de metales o metaloides asociados con contaminación y toxicidad potencial.

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad

térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión. (Cornelis y Nordberg, 2007).

Los metales pesados son un conjunto de elementos que presentan como característica esencial su elevada densidad y que no son biodegradables ni termodegradables. La concentración de metales pesados en los suelos están en función del pH, la materia orgánica del suelo, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades físicas; su movimiento no supera los 40 cm del perfil del suelo y toman mucho tiempo en alcanzar hasta la mitad de su actual concentración (Acosta y Montilla, 2011).

La contaminación con metales pesados del suelo de la minería y fundición, crean un amplio espectro de riesgos bajo una igualmente amplia gama de contextos. Los Impactos ambientales adversos de los yacimientos mineros contaminados incluyen el riesgo para la salud humana, fitotoxicidad, contaminación del agua y del suelo y ecotoxicidad (Anju y Banerjee, 2011).

Los metales pesados están presentes en suelo como componentes naturales o como el resultado de la actividad humana. Las fuentes primarias de metales son, el quemado de combustibles fósiles, fundidoras y mineral metalífero, basureros municipales, fertilizantes, pesticidas y las alcantarillas. En contraste a muchos contaminantes antropogénicos orgánicos que son factibles de ser degradados en suelo, la de los metales ocurre naturalmente y es persistente, los metales pesados son un grupo de contaminantes que se agrava por su persistencia indefinida en el medio ambiente (Manzanares *et al.*, 2005).

Los metales son quizás, las sustancias tóxicas, más antiguas que haya conocido el ser humano, la toxicidad de algunos de ellos, tales como plomo y arsénico ha sido conocida desde hace muchos años, a diferencia de otros metales como al cadmio y talio cuya toxicidad ha sido recién reconocida. La acción

negativa de estos metales sobre la salud es ocasionada al menos por dos vías, transporte medio-ambiente en el aire, agua, polvo y comida, la segunda por alterar la forma bioquímica de los elementos. La habilidad de la vida silvestre para acumular y concentrar metales pesados tales; como, el cadmio, incrementan el riesgo de toxicidad sobre la cadena alimenticia, siendo la dieta una de las principales vías de exposición a metales (Nava y Méndez, 2011).

Los metales pesados a diferencia de los contaminantes orgánicos, no son degradados por los microorganismos, las plantas y animales, ni mediante tratamientos químicos, por lo que se acumulan en los tejidos de todos los seres vivos y en consecuencia pueden ser transportados a grandes distancias del sitio originalmente contaminado (Acquavita *et al.*, 2010).

Los metales pesados son aquellos con pesos atómicos mayores que el del hierro (55.85 g/mol). Con esta precisión se excluirían metales con pesos atómicos menores que el del Fe y que con frecuencia pueden ser metales contaminantes, como el V (50.95), Mn (54.44), Cr (52.01) y otros que realmente no son metales como As, F y P. por ello, resulta mejor hablar de contaminación por elementos traza, si bien hay que reconocer que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son metales pesados. A veces, la contaminación del suelo se puede producir también por altas concentraciones de elementos mayoritarios (Na, Fe, Al) (Plant *et al.*, 2001).

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente bajas concentraciones (<mg·Kg<sup>-1</sup>) en la corteza terrestre, los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas (anómalas) en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (RSU) (Galán y Romero, 2008).

La eliminación de metales tóxicos de las aguas residuales es un asunto de gran interés en el campo de la contaminación del agua, que es una causa grave de degradación de conducciones de agua corriente. Numerosos metales tales como cromo, mercurio, plomo, cobre, cadmio, manganeso, etc son conocidos por ser significativamente tóxicos. (Zheng *et al.*, 2008).

### **Pb en el ecosistema**

El plomo es uno de los metales más abundantes en la naturaleza, obteniéndose principalmente del mineral denominado galena (sulfuro de plomo). Históricamente ha sido muy utilizado debido a las condiciones de ductilidad y maleabilidad del metal, de color azul-grisáceo que funde a 327 °C; cuando se calienta por encima de 500 °C la emisión de vapores es importante y consiguiente también su toxicidad (Castilla y León, 2014).

Los minerales de plomo y zinc se distribuyen irregularmente en el distrito minero. La minería en el distrito minero del norte del Condado de Ottawa en Oklahoma cesó durante la década de 1970, pero los metales peligrosos, incluyendo el plomo, zinc y cadmio, todavía están presentes en altas concentraciones en los desechos de mina y sedimentos fluviales (Van de Merwe, *et al.*, 2011).

Metales como el Plomo, mercurio, cadmio, níquel, vanadio, cromo, cobre, aluminio, arsénico, plata, etc., son sustancias tóxicas si se encuentran en altas concentraciones, siendo especialmente tóxicos sus iones y compuestos. Una gran cantidad de estos elementos son micronutrientes necesarios para la vida de los seres vivos y deben ser absorbidos por las raíces de las plantas o bien formar parte de la dieta de los animales. Sin embargo, cuando por motivos naturales o bien por la acción del hombre se acumulan en los suelos, las aguas o en los seres

vivos en altas concentraciones, se convierten en tóxicos peligrosos. (Esquenazi y Lam, 2014)

Debido a su alta toxicidad, cuando se encuentran presentes afectan gravemente la biodegradación natural de los desechos orgánicos, por lo que la contaminación de los suelos y sedimentos a causa de estos elementos representan altos riesgos para la salud no solo de los seres humanos, sino que afecta en general toda la cadena trófica y la productividad primaria de todo el ecosistema (De La Cruz-Landero *et al.*, 2013).

El uso de los metales en la industria también ha conllevado a una sobre explotación de los recursos naturales que ha traído como consecuencia alteraciones en los ecosistemas. La concentración de metales pesados en el suelo depende básicamente de la forma en que estos elementos se muevan dentro del sistema natural. Los mecanismos de movilidad, transporte y distribución están íntimamente ligados con la forma química y con las interacciones fisicoquímicas que estos metales sostengan con las demás especies del medio. (Paradelo, et al, 2011).

## **Normas de medición de Pb**

**En seres humanos.** Establece que debe ser tan bajo como 10 µg/dL en niños; generalmente el plomo es absorbido por el cuerpo humano por vía respiratoria y digestiva y son los niños menores de 7 años los más propensos a intoxicarse y a adquirir lesiones irreversibles generalmente a nivel del Sistema Nervioso Central (OMS, 2012).

EL límite de exposición permisible (LEP): para el plomo metálico, de todos los compuestos inorgánicos de plomo tales como (óxidos y sales) es de 0.05 mg/m<sup>3</sup> como promedio durante un turno laboral de 8 horas. El (LEP) para

fundidoras de no ferrosos es de  $0.075 \text{ mg/m}^3$  con menos de 20 empleados y un turno laboral de 8 horas tiempo promedio. (OSHA, 2013).

El Límite de Exposición Recomendado (LER): Los límites de exposición recomendados para el Pb (10 horas tiempo promedio) es  $0.100 \text{ mg/m}^3$ , las concentraciones en el aire deben mantenerse de tal forma que el nivel de plomo en la sangre de los trabajadores permanezca menor a  $0.60 \text{ mg Pb/100 g}$  de sangre. (NIOSH, 2013).

El Valor Límite Umbral (VLT) del Pb es de  $0.05 \text{ mg/m}^3$  como promedio durante un turno laboral de 8 horas (ACGIH, 2014).

**En suelo.** En México, las concentraciones de referencias totales por tipo de usos de suelos para el plomo según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; establece que para uso agrícola/residencial las concentraciones límites permisibles es de  $400 \text{ mg kg}^{-1}$ , mientras que para uso industrial la concentración máxima permisible es de  $800 \text{ mg kg}^{-1}$ . Como se muestra en el (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Límites máximos permisibles de metales pesados para uso agrícola/residencial/comercial y para uso industrial. (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.**

Contaminante	Límite máximo permisible uso agrícola/residencial/comercial	Límite máximo permisible
	(mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5400	67000
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plata	390	5100
Plomo	400	800
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	78	1000

**Nota:**

- a. En caso de que se presentes diversos usos del suelo en el sitio, debe considerarse el uso que predomine.
- b. Cuando en los programas de ordenamiento ecológico y de desarrollo urbano no estén establecidos los usos del suelo se usaran el valor residencial.

**En agua.** Los estándares impuestos por el gobierno federal limitaba inicialmente la cantidad de plomo en el agua a 50 ppb. Como resultado de la nueva información sobre la salud y el contacto con el plomo, la Agencia de

Protección Ambiental (EPA) ha establecido el nivel de 15 ppb para tomar acción. Si las pruebas demuestran que el nivel de plomo en el agua corriente de la casa es de 15 ppb o más, se aconseja (especialmente si hay niños en la vivienda) reducir cuanto más posible el nivel del plomo en el agua. (La EPA calcula que más de 40 millones de personas en los EE.UU. usan agua que puede contener plomo en exceso de 15 ppb). Nota: Un ppb es igual a 1 microgramo por litro (g/1) ó 0.001 miligramos por litro (mg/1) (EPA, 2014).

**La Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994** menciona que los límites máximos permisibles de metales en agua son : para el Pb 0.025 ml/L, para As (arsénico) 0.05 ml/L, y para Cadmio 0.005 ml/L (NOM-127-SSA1-1994, 2009).

Anteriormente el agua en el año 2013 era de 25.1  $\mu\text{g/l}$  y fue calificada como no apta para su consumo. A partir de este nivel se adoptaron de manera inmediata medidas cautelares urgentes como la prohibición del consumo del agua del grifo y la sustitución de las tuberías o accesorios de plomo por otras de material autorizado. Los límites máximos permisibles se modificaron este año 2014 que fue de 10  $\mu\text{g/l}$  (SINAC, 2014).

### **Efectos del Pb en el ecosistema**

**En plantas.** Las altas concentraciones de metales pesados en el suelo pueden afectar negativamente el crecimiento del cultivo, ya que estos metales interferirán con las funciones metabólicas en plantas, incluyendo procesos fisiológicos y bioquímicos, inhibición de la fotosíntesis y la respiración y la degeneración de organelos de la célula principal, llevando incluso a la muerte de las plantas.(Marguá, *et al.* 2007).

Las concentraciones totales de Pb por encima de 100 ppm ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) en los suelos se consideran como tóxicas para las plantas. La investigación ha indicado

que, como resultado de su alta afinidad por los suelos, el tiempo de retención de Pb en estos suelos podría ser de hasta 5.000 años (Zheljazkov, 2011).

Cada fuente de contaminación tiene sus propios efectos perjudiciales a las plantas, los animales y en última instancia a la salud humana, pero las que añaden metales pesados de suelos y aguas son de gran preocupación debido a su persistencia en el medio ambiente y carcinogenicidad para los seres humanos. Ellos no pueden ser destruidos biológicamente pero sólo se transformaron de un estado de oxidación o complejo orgánico a otro la contaminación representa una amenaza potencial para el medio ambiente y la salud humana. (Iqbal, *et al.*2008).

**En animales.** Los contenidos de plomo en los suelos son relativamente bajos y la absorción por las plantas es relativamente baja, salvo que los suelos estén contaminados. Una de las principales fuentes de contaminación del medio ambiente son las gasolinas con plomo, lo que puede representar una vía importante de entrada en la cadena alimenticia al consumir los animales cultivos de áreas contaminadas. Otra posible fuente de entrada son las pinturas de las instalaciones ganaderas, que puedan ser lamidas por los animales. La absorción de plomo por los animales es baja, inferior al 1%) y parece existir un cierto mecanismo de regulación de forma que al aumentar la exposición a fuentes de plomo, no aumenta linealmente la retención en el organismo de los Seres humanos (Méndez, 2001).

La presencia de Pb en animales afecta sobre todo el hígado, riñón, sistema nervioso central y la médula ósea causa la mayoría de los signos de esta intoxicación. En los animales jóvenes, el plomo atraviesa con mucha más facilidad y rapidez la barrera hemato-encefálica y por este motivo es más usual que presenten signos neurológicos graves (Tusell *et al.*, 2001).

La intoxicación por plomo en especies animales se denomina plumbismo. La exposición a este metal se debe a las emisiones de desperdicios de minas de plomo, contaminación industrial, plomos de pesca, pinturas y tintes que se vierten

a las aguas y al procedente de las emisiones de los automóviles (Ministerio de Medio Ambiente, 2006)

**Seres humanos.** Cuando el Pb es ingerido, inhalado o absorbido por la piel, resulta ser altamente tóxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es tóxico para los sistemas endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico, y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones. El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire, en el agua y en los hogares. Nunca desaparece sino que se acumula en los sitios en los que se deposita y puede llegar a envenenar a generaciones de niños y adultos a menos que sea retirado. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos. En casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte. La exposición a cantidades sumamente pequeñas de plomo puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aún cuando éstos no muestren síntomas particulares. Se ha encontrado que una concentración de 7 microgramos de plomo por decilitro de sangre ( $\mu\text{g}/\text{dL}$ ) causa daños irreversibles en el sistema neurológico de los infantes. El plomo en la sangre de los niños puede provocar que un genio en potencia solo llegue a un nivel de aprovechamiento promedio o que un niño que hubiera tenido habilidades promedio quede discapacitado de por vida. (Valdés, y Cabrera 1999).

El Pb es un metal pesado que puede encontrarse en diversas fuentes distribuidas ampliamente en la tierra. Los daños que puede causar este metal se deben a sus propiedades químicas, por lo que compite con este por los sitios de fijación en las células alterando múltiples funciones, dentro de las cuales se encuentran, las actividades de las neuronas. Esto puede ocasionar daño a concentraciones bajas en sangre y que los niños son más sensibles que los adultos. (Rivera, 2014).

Los metales no se metabolizan en el sentido en que son productos químicos orgánicos. No se acumulan preferentemente en grasa pero pueden acumularse en otros tejidos, más comúnmente en el hígado o el riñón, a veces en asociación con proteínas de unión con metales específicos ellos pueden ser secuestrados en el glóbulos rojos de tal manera que el plasma se convierte en la fuerza impulsora para su entrada en los tejidos. (O'Flaherty, 1995).

El plomo afecta principalmente al sistema nervioso, tanto en niños como en adultos. La exposición ocupacional prolongada de adultos al plomo ha causado alteraciones en algunas funciones del sistema nervioso. La exposición al plomo también puede producir debilidad en los dedos, las muñecas o los tobillos. Los niveles de exposición altos pueden dañar seriamente el cerebro y los riñones en adultos o en niños y pueden causar la muerte. En mujeres embarazadas, los niveles de exposición altos pueden producir abortos. En hombres, la exposición a altos niveles de plomo puede alterar la producción de espermatozoides. (ATSDR, 2007).

### **Metodologías de eliminación de plomo en el ecosistema**

La limpieza de suelos contaminados por metales pesados es la tarea más difícil, particularmente en gran escala. El suelo se constituye de compuestos sólidos orgánicos e inorgánicos, agua y mezcla de diferentes gases presentes en diferentes proporciones. Por lo tanto, los suelos varían enormemente en sus propiedades físicas, químicas y biológicas. (Marguí *et al.* 2007).

El suelo es una parte fundamental de los ecosistemas terrestres debido a que contiene agua y elementos nutritivos que los seres vivos utilizan, y en él se apoyan y nutren las plantas y otros organismos. Razón por la cual el suelo es considerado un recurso natural vital para el sustento de las actividades del ser humano. (Silva y Correa 2009).

**Fitorremediación:** es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas para absorber, acumular, remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, metabolizar volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo (Cho, *et al.*, 2008), (Delgadillo *et al.*, 2011).

**La biorremediación:** puede ser definida como el uso de organismos vivos, componentes celulares y enzimas libres, con el fin de realizar una mineralización (compuesto orgánico blanco --> CO<sub>2</sub> + H<sub>2</sub>O), una transformación parcial, la humificación de los residuos o de agentes contaminantes y una alteración del estado redox de metales (Wong, 2014).

**La fitoestabilización:** permite inmovilizar contaminantes en el suelo a través de su absorción y acumulación en las raíces o bien, por precipitación en la zona de la rizosfera. Este proceso reduce la movilidad de los contaminantes y evita su migración a las aguas subterráneas o al aire. La fitoestabilización es efectiva en suelos de textura fina con alto contenido de materia orgánica. Se aplica principalmente en terrenos extensos en donde existe contaminación superficial. Esta tecnología tiene como ventajas, sobre otros métodos de remediación de suelos, que es de menor costo, fácil de aplicar y estéticamente agradable. Algunas plantas empleadas con fines de fitoestabilización son: *Hyparrhenia hirta* (Elcerrillo) (Pb); *Zygophyllum fabago* (La alcaparra loca, morsana omata acostada) (Zn); *Lupinus albus* (El altramuz blanco, chocho, entremozo, olupino blanco) (Cd, As); *Anthyllis vulneraria* (La Vulneraria) (Zn, Pb, Cd); *Deschampsia cespitosa* (Hierba del Mechón) (Pb, Cd, Zn); *Lolium italicum* (raigrás anual, raigrás italiano, margallo) y *Festuca arundinacea* (zacate alto fescua, cañuela alta) (Pb, Zn); y *Brassica juncea*

(mostaza castaña, mostaza de la India, mostaza china) (Cd, Zn, Cu, Mn, Fe, Pb) (Méndez y Maier, 2008), (Carpena y Bernal, 2007).

**La rizofiltración:** utiliza las plantas para eliminar del medio hídrico contaminantes a través de la raíz. En la rizofiltración estas plantas se cultivan de manera hidropónica. Cuando el sistema radicular está bien desarrollado, las plantas se introducen en el agua contaminada con metales, en donde las raíces los absorben y acumulan. A medida que las raíces se van saturando, las plantas se cosechan y se disponen para su uso final existe una gran cantidad de estudios relacionados con la capacidad de acumulación de contaminantes de diversas plantas acuáticas, algunos ejemplos de ellas son: *Scirpus lacustris* (Cd, Cu, Pb, Mg, Fe, Se, Cr), *Lemna gibba* (Pb, As, Cu, Cd, Ni, Cr, Al, Fe, Zn, Mn), *Azolla caroliniana* (Hg, Cr, Sr, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb, Au, Pt), *Elatine Manda* (As), *Wolffia papulifera* (Cd), *Polygonum punctatum* (Cu, Cd, Pb, Se, As, Hg, Cr, Mn) y *Myriophyllum aquaticum*, *Ludwigia palustris* y *Mentha aquatic* (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni) (Dilek, 2007).

**La fitoextracción o fitoacumulación:** consiste en la absorción de metales contaminantes mediante las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas. El primer paso para la aplicación de esta técnica es la selección de las especies de planta más adecuada para los metales presentes y las características del emplazamiento. Una vez completado el desarrollo vegetativo de la planta el siguiente paso es cortarlas y proceder a su incineración y traslado de las cenizas a un vertedero de seguridad. La fitoacumulación se puede repetir ilimitadamente hasta que la concentración remanente de metales en el suelo esté dentro de los límites considerados como aceptables. Algunas plantas empleadas para esta técnica fitocorrectiva son: *Thlaspi caerulescens* (Cd); *Sedum alfredii*, *Viola baoshanensis* y *Vertiveria zizanioides* (Zn, Cd, Pb); *Alyssum múrale*, *Trifolium nigriscens*, *Psychotria douarrei*, *Geissois pruinosa*, *Homalium guillainii*, *Hybanthus floribundus*, *Sebertia acuminata*, *Stackhousia tryonii*, *Pimelea leptospermoides*, *Aeollanthus biformifolius* y *Haumaniastrum robertii* (Ni); *Brassica júncea*,

*Helianthus annuus*, *Sesbania drummondii* (Pb); *Brassica napus* (Cu, Pb, Zn); y *Pistia stratiotes* (Ag, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn) (Bani *et al*, 2007).

Cultivos prometedores relacionados para fitoextracción parecen ser mostaza india, Salvia, jardín salvia, lavanda, girasol, geranio perfumado y las micorrizas juegan un papel en la acumulación de metales pesados en los brotes de las plantas. (Zheljzakov Valtcho, 2011).

**La fitovolatilización:** se produce a medida que los árboles y otras plantas en crecimiento absorben agua junto con contaminantes orgánicos e inorgánicos. Algunos de estos pueden llegar hasta las hojas y evaporarse o volatilizarse en la atmósfera. Mediante este proceso se han eliminado contaminantes como: compuestos orgánicos volátiles (benceno, nitrobenceno, tolueno, etilbenceno y *m*-xileno), As, Se y Hg. Las plantas *Salicornia bigelovii*, *Brassica júncea*, *Astragalus bisulcatus* y *Chara canescensse* han empleado para la remediación de sitios contaminados con Se y la *Arabidopsis thaliana* para el Hg (Shrestha *et al*, 2006).

**La fitodegradación:** consiste en que las plantas y los microorganismos asociados a ellas degradan los contaminantes orgánicos en productos inofensivos, o bien, mineralizándolos hasta CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O. En este proceso los contaminantes son metabolizados dentro de los tejidos vegetales y las plantas producen enzimas como la de halogenasa y la oxigenasa, que ayudan a catalizar la degradación. La fitodegradación se ha empleado para la remoción de explosivos como el TNT, hidrocarburos halogenados, Bisfenol A, PAHs y pesticidas órgano clorados y órgano fosforados (Zhang *et al*, 2007).

Los mecanismos de tolerancia varían entre las distintas especies de plantas y están determinados por el tipo de metal, eficiencia de absorción, traslocación y secuestro (Navarro-Aviñó, 2007)

Las fases del proceso por el cual las plantas incorporan y acumulan metales pesados son las siguientes:

Fase I. Implica el transporte de los metales pesados al interior de la planta y, después, al interior de la célula. La raíz constituye el tejido de entrada principal de los metales, los cuales llegan por difusión en el medio, mediante flujo masivo o por intercambio catiónico. La raíz posee cargas negativas en sus células, debido a la presencia de grupos carboxilo, que interaccionan con las positivas de los metales pesados, creando un equilibrio dinámico que facilita la entrada hacia el interior celular, ya sea por vía apoplástica o simplástica.

Fase II. Una vez dentro de la planta, las especies metálicas son secuestradas o acomplejadas mediante la unión a ligandos específicos. Entre los quelantes producidos por las plantas se encuentran los ácidos orgánicos (ácidos cítrico, oxálico y málico), algunos aminoácidos (histidina y cisteína) y dos clases de péptidos: fitoquelatinas y metalotioneinas.

Las fitoquelatinas son ligandos de alta afinidad que tienen como sustrato al glutatión. Están constituidas básicamente por 3 aminoácidos: ácido glutámico, cisteína y glicina, unidos por enlaces peptídicos.

Las metalotioneinas son poli péptidas de unos 70-75 aminoácidos con un alto contenido en cisteína, aminoácido capaz de formar complejos con cationes mediante el grupo sulfidrilo. Tienen una marcada afinidad por las formas iónicas de Zn, Cd, Hg y Cu.

Fase III. Involucra la compartimentalización y detoxificación, proceso por el cual, el complejo ligando-metal queda retenido en la vacuola.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Ubicación del área de estudio

El área de estudio fue la mina de uranio llamada La Preciosa que se encuentra inactiva o abandonada. Se localiza en las coordenadas 25°20'.703" de latitud norte y a 104°04'.085" de longitud oeste, al suroeste del Municipio de Nazas, Durango. El poblado más próximo es el ejido la Perla Municipio de Nazas, Durango que se localiza entre las coordenadas geográficas 25°13' 34" de latitud norte y 104° 06'39" longitud oeste a una altura de 1250 msnm la superficie territorial es de 2,412.80 km<sup>2</sup> y cuenta con 33 poblados.

**Trabajo de campo.** Se hicieron recorridos en el área de estudio y se definieron sitios de muestreo de suelos en bloques completamente al azar. El área a muestrear se dividió en tres estratos: bajo (valle) que se muestreó el 16 de abril de 2011, medio (ladera) muestrada el 14 de Mayo de 2011, alto (meseta) muestrada el 22 de junio de 2011. En el estrato bajo se tomaron 9 muestras. En el estrato medio 7 muestras y en el estrato alto 9 muestras. A una profundidad de 0 a 15 cm y con un diámetro aproximado de 10 cm. En total se obtuvieron 25 muestras, cada una de aproximadamente ½ kg de suelo, que fueron colectadas en bolsas de plástico y etiquetadas; posteriormente fueron almacenadas en el laboratorio 2 del Departamento de Biología de la UAAAN UL y después fueron procesadas en el laboratorio de suelos de la misma Universidad.

**Trabajo de gabinete.** Las muestras de suelo fueron procesadas en el laboratorio de suelos. Los análisis de laboratorio se hicieron de la siguiente manera, de acuerdo a la metodología de Etchevers (2005) que consistió en:

Para cada estrato, se mezclaron cada una de las muestras.

Aun así se hizo la mezcla de las muestras de suelo, una vez mezclado se extendió sobre el piso y se dividió en cuatro partes, de cada una de las partes se tomó una porción y se colocó en una bolsa de plástico, se repitió dos veces más y así se obtuvieron 3 submuestras de cada estrato. Dando resultados de 9 muestras en total.

1. Posteriormente se tamizó el suelo de cada submuestras con tamiz de malla de 2mm.
2. Se pesó 5 gr de suelo los cuales se colocaron en botes de plástico con tapón.
3. Se les adicionó 50 ml ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) 4 molar (260 ml/litro) y marcar el nivel de líquido para digerir.
4. Enseguida se colocaron en baño María a una temperatura de 70 °C permaneciendo durante 12 horas.
5. Se sacaron del Baño María y se dejaron a temperatura ambiente.
6. Pasado ese tiempo las submuestras se colocaron en un agitador durante 1 hora.
7. Cada una de las submuestras se filtró en vaso de precipitados de 50 ml con papel filtro de 12.5 de diámetro, de poro medio el líquido obtenido se almacenó en refrigerador a una temperatura de 7 °C.
8. Las muestras fueron analizadas en el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 2380) del laboratorio de Suelos de la UAAAN-UL.

Cálculos:

$$\text{Ppm Pb} = (\text{CAA}) (\text{DM}) (\text{DV})$$

Donde:

Ppm = partes por millón

Pb = plomo

CAA=concentración de plomo leída en el aparato de absorción atómica.

DM = Dilución en masa 50/5

DV = En caso de ser necesario

Con los datos obtenidos se hizo un análisis estadístico que consistió en: obtener la media de Pb y un análisis de varianza de acuerdo al paquete estadístico de la Universidad Autónoma de Nuevo León, versión 1.1 2012 de Olivares (2012).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como se muestra en el Cuadro 2, se puede ver que las concentraciones de Pb, en los tres estratos y en las tres submuestras de suelo, es semejante, es decir muestran muy poca diferencia entre si. Además las concentraciones de este metal se ubican dentro de los límites máximos permisibles tanto para suelos de uso agrícola, residencial y comercial, cuyo límite máximo es de  $400 \text{ mgkg}^{-1}$ , como para suelos de uso industrial siendo de  $800 \text{ mgkg}^{-1}$ . Según la norma NOM-147-SEMA/SSAI-2004.

Cuadro 2. Concentración de Pb en los estratos 1 (meseta), 2 (ladera) y 3 (valle), la suma de los estratos y la media estadística, de la mina abandonada La Preciosa del ejido La Perla Municipio de Nazas Durango. 2011.

Numero de submuestras	E1 Pb(mgkg <sup>-1</sup> )	E2 Pb(mgkg <sup>-1</sup> )	E3 Pb(mgkg <sup>-1</sup> )	Media total Pb (mgkg <sup>-1</sup> )	NOM-147-SEMARNAT/SSAI-2004	
					Uso agrícola/residencial/ Comercial Pb (mgkg <sup>-1</sup> )	Uso industrial Pb (mgkg <sup>-1</sup> )
1	79.8	75.4	80.4	78.53		
2	76.8	78.2	77.2	77.4		
3	81.6	78.2	75.3	78.36	400	800
Media	79.4	77.26	77.63	78.09		

Marguí *et al.* 2007. mencionan que las altas concentraciones de metales pesados en el suelo pueden afectar negativamente el crecimiento de las plantas, ya que estos metales interfieren con las funciones metabólicas, incluyendo procesos fisiológicos y bioquímicos, inhibición de la fotosíntesis y la respiración, y la degeneración de organelos de la célula principal, llevando incluso a la muerte de plantas. Cabe mencionar que estos resultados obtenidos, por el hecho de ubicarse dentro de las normas mencionadas aparentemente no son afectados por las concentraciones encontradas en estos suelos. Si las concentraciones totales de Pb hubieran estado por encima de 100 ppm ( $\text{mg/Kg}^{-1}$ ) en los suelos, se considerarían como tóxicos para las plantas. Asimismo las investigaciones han indicado que, como resultado de su alta afinidad por los suelos, el tiempo de retención de Pb en estas podría ser de hasta 5.000 años (Zheljazkov, 2011).

Como se muestra en el cuadro 3 el análisis de varianza indicó que no existe diferencia significativa entre las concentraciones de Pb calculadas en los tres estratos o sea las concentraciones en estos estratos es muy semejante.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la variable Pb con tres estratos: 1 (meseta), 2 (ladera), 3 (valle), de la mina abandonada la Preciosa, de Ejido la Perla Nazas Durango 2011.

Estratos	Medias	Sig=0.05
1	79.4	a
2	77.63	a
3	77.26	a

## CONCLUSIONES

De acuerdo a la concentración del plomo en el suelo, no existen elevadas concentraciones por lo tanto están dentro de los límites máximos permisibles según la norma **NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004**. Sin embargo esto no significa que no exista contaminación por este elemento en el suelo, ya que de cualquier forma está presente.

Por las bajas concentraciones de plomo, es posible que esto favorezca el crecimiento de las plantas cercanas a la mina.

Es probable que la baja concentración de Pb, se deba a que las plantas las acumulen los metales pesados de la mina abandonada.

El análisis de varianza indicó que no existe diferencia significativa entre las distintas concentraciones calculadas en los tres estratos muestreados.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar mas a profundidad el sitio de la mina abandonada, ya que fue un lugar donde se extraía el uranio por lo que es un metal pesado donde su principal característica es radioactiva.

Sería importante determinar la concentración de otros metales presentes en los suelos (como uranio).

Aunque no se hayan encontrado altas concentraciones de Pb se recomienda un seguimiento de nuevos muestreos con diferentes determinaciones de metales pesados, en suelo, plantas y agua.

Se sugiere también realizar un monitoreo en el aire para tener una investigación más a profundidad.

## LITERATURA CITADA

- ACGIH, 2014. American Conference of Industrial Hygienists. Defining the Science of Occupational and Environmental Health. (Consultado el día 3 de Marzo 2014.)
- Acosta, A. M. M. y Montilla, P. J. X. 2011. Evaluación de la Contaminación por Cadmio y Plomo en Agua, Suelo, y Sedimento y Análisis de Impactos Ambientales en la Subcuenca del Río Balsillas Afluente del Río Bogotá. Universidad de la Salle Facultad de Ingeniería. Programa de Ingeniería Ambiental y Sanitaria. Bogotá D. C.
- Acquavita, A, Predonzani, S, Mattassi, G, Rossin, P, Tamberlich, F, Falomo, j. and Valic, I. 2010. Heavy Metal Contents and Distribution in Coastal Sediments of the Gulf of Trieste (Northern Adriatic Sea, Italy). *Water Air Soil Pollut.* Vol. 211, Pags. 95-111.
- Agency for Toxic Substances and Disease Registry 2005. Division of Toxicology. ATSDR Information Center: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxfaq.htm1#bookmark05>.
- Anju, M. and Banerjee D. K. 2011. Associations of Cadmium, Zinc, and Lead and Zinc Mining area as Studied by Single and Sequential Extractions. *Environ Monit Assess.* Vol. 176, Pags. 67-85.
- ATSDR. 2007. División de Toxicología y Medicina Ambiental. Agencias de Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. Págs. 1-15.
- Bani, A., Echevarría, G., Sulce, S., Morel. J. L. and Mullaj, A. 2007. In-situ phytoextraction—of Ni by a native population of *Alyssum murale* on an ultramaWc site (Albania). *Plant and Soil.* Vol. 293 Págs. 79-89.

- Carpena, R.O. y Bernal, M.P. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. Ecosistemas. Vol. 16, Pags. 1-3.
- Castilla y León, U.G.T.2014. Servicio Técnico de Asistencia Preventiva. <http://www.saludlaboral.Ugtycl.es/archivos/medicina/plomo.pdf>. Consultado el día 1 de Marzo 2014.
- Chon, C., Yavuz; C.M; Park, S. and Sung, K. 2008. Effects of Grasses on the Fate of VOVs in Contaminated Soil and Air. Water Air, & Soil Pollution. Vol. 187. Pags. 243-250.
- Cornelis, R. and Nordberg. 2007. General Chemistry Sampling, Analytical Methods, and Speciation. Handbook on the Toxicology of Metals. Pags. 29-35.
- De la Cruz-Landero, N., Hernández, E. V., Guevara-Carrio, E., López, M.A., Santos, T.A., Ojeda-Trejo, E. and Alderete-Chávez, A. 2013. Lupinus Versicolor Response in Soil Contaminated With Heavy Metals from a Petroleum extraction Field. Journal of Applied Sciences. Vol. 10, Págs. 6994-698.
- Delgadillo, L.A.E., González, R.C.A., Prieto, G.F., Villagomez, I.J.R. and Acevedo, S.O. 2011. Fitorremediación: una Alternativa para Eliminar la Contaminación. Tropical and Subtropical Agroecosystems. Vol. 14. Pags. 597-612.
- Dilek, D. 2007. Effects of salinity on growth and nickel accumulation capacity of *Lemna gibba* (Lemnaceae). Journal of Hazardous Materials. Vol. 147, Págs. 74-77.
- E.P.A. 2014. Reducción de Plomo en el Agua Potable. Agencia de Protección Ambiental en Estados Unidos. <http://www.epa.gov/español/salud.hispana/plomo-en-el-agua.html>. (Consultado el día 7 de Marzo).

- Esquenazi, T.E. y Lam, E.E. 2014. VII-030-Salud y Ambiente: Plomo en la II Región-Chile. XXVII Congreso Interamericano de Engenharia Sanitaria e Ambiental ABES. Associacao Brasileira de Engenharia Santaria e Ambiental.
- Etchevers B.J.D; Goijberg de E.G; Lopez R.R.MA; Padilla C.J; Alvarado L.J; Hidalgo M.C; Cruz H.MA.L; Guerrero P.A; Gutierrez B; y Miranda C.E. Programa de Calidad e Intercalibración de Análisis de Suelo y Plantas. Manual de Procedimiento Analíticos para Análisis de Suelo y Slanta del Laboratorio de Fertilidad de Suelo IRENAT-Colegio de Posgraduados. Sociedad Mexicana de Ciencia del Suelo.A.C.
- Galán Huertos, E. y Romero Baena, A. 2008. Contaminación por Metales Pesados. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Universidad de Sevilla. Sevilla.
- García Vargas, GG.; Rubio Andrade, M.; Del Razo, LM, Borjan Aburto, V.; Vera Aguilar, E. y Cebrian, ME. (2001). Lead Exposure in Children Living in a Smelter Community in Region Lagunera, Mexico. Journal of Toxicology and Environmental Health, Pags. 417-429.
- Iqbal L.M; He Zhen-li; STOFFELIA P.J; Yang X.2008. Phytoremediation of heavy metal polluted soil and water: progresses and Perspectives. Journal of Zhejlang University. ISSN. 1862-1783.
- Manzanares, A.E; Vega C.H.R.; Escobar L.M.C., Letechipia de L.C., Guzmán E.L.J., Hernández D.V. y Salas L.M.A. 2005. Evaluación de Riesgos Ambientales por plomo en la Población de Veta grande, Zacatecas. Universidad Autónoma de Zacatecas. Unidad Académica de Estudios Nucleares. Págs..1-41.
- Marguí. E. Iglesias. M. Queralt; I, Hidalgo M. 2007. Precise and accurate determination of lead isotope in mining wastes by ICP-QMS as a tool to identify their source. Elsevier.B.V. All rights reserved. Págs 23-84.

- Méndez; B.J. 2001. Metales Pesados en Alimentación animal. XVII Curso de Especialización. FENDA. CORREN S.C.L. 32003 Orense Págs 234-260
- Mendez M.O. and Maier, R.M. 2008. Phytostabilization of Mine Tilings in Arid and Semiarid Environments-An. Emerging Remediation Technology. Environ Health Perspect. Vol. 116. Págs. 278-283.
- Ministerio de Medio Ambiente, 2006. Efectos del Plomo en las Aves. [http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies-amenazadas/cap1\\_6\\_tcm7-20814.pdf](http://www.magrama.gob.es/es/biodiversidad/temas/conservacion-de-especies-amenazadas/cap1_6_tcm7-20814.pdf) (Consultado el día 15 de Marzo del 2014.).
- Navarro-Aviñó, J.P., Aguilar- Alonso, L. y López-Moya, J.R. 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. Ecosistemas. Vol. 16, Págs. 10-25.
- Nava Ruíz, C. y Méndez Armenta, M. 2011. Efectos Neurotóxicos de Metales Pesados (cadmio, plomo y talio). Arch Neurocién (Mex). Vol. 16, Núm. 3, Págs. 140-147.
- NIOSH. 2013. The National Institute for Occupational Safety and Health. Centers for disease control and Prevention. <http://www.cdc.gov/niosh/>. (consultado el día 2 de Marzo, 2014).
- Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994. 2009. En línea. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-limites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html> (Consultado el día 20 de marzo de 2014).
- OMS, 2012. Organización Mundial de la salud. Hojas de seguridad de plomo. <http://www.who.int/es>. (Consultado el día 4 de Marzo 2014).

- OSHA, 2013. Occupational Safety & Health Administration. United States Department of Labor. <http://www.osha.gov>. (Consultado el día 2 de Marzo 2014).
- O'Flaherty, E.J. 1995. PBK modeling for metals. Examples with lead, Uranium, and chromium. Toxicology letters. Vol. 82, págs. 367-372.
- Paradelo, R., Villada A., Barral, M.T. (2011). Reduction of the short-term availability of copper, lead and zinc in a contaminated soil amended with municipal solid waste compost. Journal of Hazardous Materials Págs98–104.
- Plant, J., Smith, D., Smith, B. and Williams, L. (2001). Environmental Geochemistry at the Global Scale. Applied Geochemistry. Vol. 16, Págs. 1291-1303.
- Rivera, Abarca, L.M. 2014. Daño Neurológico Secundario a la Intoxicación por plomo en niños. [www.ejournal.unam.mx/rfm/no47-4/RFM47406.PDF](http://www.ejournal.unam.mx/rfm/no47-4/RFM47406.PDF).
- Rosen. 1992. "Effects of Low Levels of Lead Exposure" science 256 Págs. 294.
- Shrestha, B., Lipe, S., Johnson, K.A., Zhan, T.Q., Retzlaff, W. and Lin, Q. 2006. Soil hydraulic manipulation and organic amendment for the enhancement of selenium volatilization in a soil-pickleweed system. Plant and Soil. Vol. 288, Págs. 189-196.
- Silva, A.S.M y Correa, R.F.J. 2009. ANALISIS DE LA CONTAMINACION DEL SUELO: REVISION DE LA NORMATIVIDAD Y POSIBILIDADES DE REGULACION ECONOMICA. Universidad de Medellín Colombia. Red de Revistas Científicas de America Latina, el Caribe, España y Portugal. Vol. 12, Num. 23, Págs. 13-34.
- SINAC. 2014. Medidas Cautelares urgentes. Ministerio de Sanidad y las Comunidades Autónomas. Sistemas de Información Nacional de Aguas de Consumo.

Sindicato Médico del Uruguay. 2014. Contaminación por Plomo por la Comisión de Salud Ocupacional.

[www.smu.org.uy/sindicales/resoluciones/informes/plomo.pdf](http://www.smu.org.uy/sindicales/resoluciones/informes/plomo.pdf). (Consultado el día 28 de febrero 2014).

Tusell Monsó, J.M., Prande, C.D. y Ruiz de Gopegui, R. 2001. Intoxicación por Plomo en el Perro: Caso Clínico. AVEPA. Vol. 21, Núm. 1, Págs. 37-42.

UNAM: 2014 Hoja de Seguridad XXIII. Plomo y Sales de Plomo. <http://www.química.unam.mx/IMG/PDF/23plomo.pdf> (consultado el día 26 de febrero 2014).

Valdés P. F, y Cabrera M. V. M. 1999. Texas center for Policy Studies. En Defesansa Del Ambiente, A.C. vol. 54 Págs 30-80.

Van de Merwe, D., Carperter, J.W., Nietfed, J.C., and Miesner J.F. 2011. ADVERSE HEALTH EFFECTS IN CANADA GEESE (BRANTA CANADENSIS) ASSOCIATED WITH WASTE FROM ZINC AND LEAD MINES IN THE TRI-STATE MINING DISTRICT CKANSAS, OKLAHOMA AND MISSOURI, USA. Journal of wildlife diseases. Vol. 47, Num. 3, Págs. 650-660.

Vardanyan, L.G. y Ingole, B.S. 2006. Studies on heavy metal accumulation in aquatic macrophytes from Sevan (Armenia) and Carambolim (India) lake systems. Environment International. Vol. 32, Págs. 208-218.

Wong, V.L. 2014. Biotecnología y biorremediación. <http://www.seescyt.gov.do/CyT/documentos%20de%20congresos/IIIcongreso2007/BiotecnologiaYBiorremediacion.pdf>. (Consultado el día 13 de Marzo 2014).

Zheng, W., Li, X.M., Wang, F., Yang, Q., Deng, P. and Zeng, G.M. 2008. Adsorption Removal of Cadmium and Copper from Aqueous Solution by Areca-A Food Waste. *Journal of Hazardous Material*. Science Direct. Elsevier. Vol. 157, Págs. 490-495.

Zhang, B., Wu, Z., Cheng, S., He, F., Wang, Y. and Gao, Y. 2007. Primary study on phytodegradation of Bisphenol A by *Eloclea nuttallii*. Wuhan University *Journal of Natural Sciences*. Vol. 12, Pags. 1118-1124.

Zheljazkov Valtcho, D. 2011. Effect of Plant Species and Benomylon Lead Concentration and Removal from Lead-enriched Soil. *HORTSCIENCE*. Pags. 1604–1607.