

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**ADAPTACIÓN DEL GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) AL
PLOMO APLICADO A DISTINTAS DOSIS**

POR

SELENE BERENICE GONZÁLEZ MORALES

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2009

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

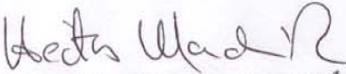
**ADAPTACIÓN DEL GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) AL PLOMO APLICADO
A DISTINTAS DOSIS.**

TESIS DE LA C. **SELENE BERENICE GONZÁLEZ MORALES** 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:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

COASESOR

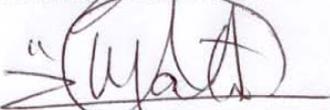


M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

COASESOR:



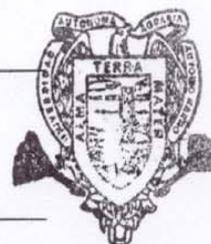
ING. JOEL LIMONES AVITIA



M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas



TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2009

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA**

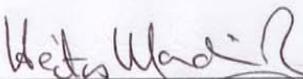
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

**ADAPTACIÓN DEL GIRASOL (*Helianthus annuus* L.) AL PLOMO APLICADO
A DISTINTAS DOSIS**

TESIS DE LA C. **SELENE BERENICE GONZÁLEZ MORALES** QUE SE SOMETE
A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

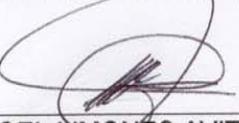
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

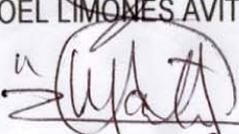
APROBADA POR:

PRESIDENTE: 
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL: 
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL: 
M.C. EDGARDO CERVANTES ÁLVAREZ

VOCAL SUPLENTE: 
ING. JOEL LIMONES AVITIA


M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

DEDICATORIA

DIOS por ser lo más hermoso en mi vida, por que nunca, nunca me ha dejado sola, por que él ha sido fuerza, esperanza, alegría, perdón, bondad, por darme la oportunidad de tener todas las virtudes y bendiciones de la vida.

A mis padres; Urso González Bravo, a ti papito por ser el mejor padre del mundo, a ti te dedico mi triunfo en esta etapa más de mi vida, por tus consejos tan sabios, por tu cariño incondicional, por darme la oportunidad de demostrarte que si puedo, a mi madre **Elia Morales Salas**, a ti mamita por ser esa madre tan bondadosa, por tus enseñanzas, por tu cariño este esfuerzo ganado no es solo mío si no también tuyo mami, los amo.

A mis hermanos; Bilmer, Mijaíl, Adín, Aníval y José Iván esto se los dedico a ustedes porque con todo su apoyo, sus consejos, sobre todo el gran ejemplo que me han demostrado he logrado lo que hoy soy, por todas las vivencias de nuestra infancia y por ser mi inspiración y motivación de seguir adelante.

Al Dr. Héctor Madinaveitía Ríos siempre será esa persona especial que habitará en mi corazón como un buen ejemplo a seguir lo quiero mucho, este trabajo es gracias a sus conocimientos, su cariño, inteligencia, y más que eso, su paciencia, es mi admiración. Este triunfo también es suyo.

AGRADECIMIENTOS

A DIOS por su amor incondicional, por estar conmigo todos los días de mi vida, por darme el regalo más preciado que es mi existencia, darme una familia hermosa, por regalarme a los amigos más lindos y por darme la oportunidad de terminar una etapa mas de la vida.

A mi “Alma Terra Mater” por darme todas las facilidades de obtener una profesión, por darme la oportunidad de estar en la residencia femenil, fue una apoyo inmenso para salir adelante....**Gracias.**

A mis padres: Elia Morales Salas y Urso González Bravo a ustedes les agradezco la oportunidad de traerme al mundo, por su confianza, su amor, su cariño, por sus sonrisas y lágrimas, por todos los ejemplos que me han enseñado a valorar el porqué de la vida. Los amo que papá Dios los bendiga siempre.

Al Dr. Héctor Madinaveitía Ríos, por transmitirme parte de sus conocimientos y experiencias, por ser un gran asesor, por brindarme su apoyo, comprensión, paciencia incondicional, nunca terminaré de agradecer todo lo que he aprendido de su capacidad moral he intelectual.... **Mil gracias.**

Dr. Mario García Carrillo por su importante enseñanza y cariño, al **MC. Edgardo Cervantes Álvarez** al igual por su grata enseñanza durante mi desarrollo profesional y al **Ing. Joel Limones Avitia** por su confianza y

conocimientos brindados, a todos ellos gracias por aceptar ser parte de este proyecto con las asesorías.

A la Biol. María Isabel Blanco Cervantes, por su sencillez, paciencia y por darme todo el apoyo brindado en la realización del proyecto. Eres admirable, con muchas capacidades demostradas en este aprendizaje gracias Chavelita.

Al Sr. Román y familia, por todo el apoyo brindado facilitando el trabajo de campo, por su tiempo, paciencia y sobre todo la confianza y amistad brindada para realizar este proyecto en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango.

A Norma, por el apoyo brindado por su tiempo, paciencia y facilidad en la realización de los análisis de suelo y agua.

Dr. Uriel Figueroa Viramontes, por su apoyo en realización de los análisis de planta en el laboratorio de suelo, agua y planta del INIFAP Matamoros, Coahuila.

A todas las personitas especiales; familia González Morales, López González, Escalante González, Roblero González y sobre todo a ti prima Olga por todo tu apoyo, confianza, cariño y sobre todo tus consejos te quiero. A Polita, Annita, Renesín, Hogla Raquel, Deysi, Mimi y Fernando por estar a mi lado en alegrías y momentos más difíciles nunca los olvidaré sobre todo a ti amor. Y a todas aquellas personas que de alguna manera estuvieron conmigo en la residencia femenil, sociedad de alumnos (Chilo) y rondalla femenil.

ÍNDICE

	Página
DEDICATORIA.....	I
AGRADECIMIENTOS.....	II
ÍNDICE.....	III
ÍNDICE DE CUADROS.....	VII
ÍNDICE DE APÉNDICE.....	VIII
RESUMEN.....	IX
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Origen de la contaminación por metales pesados.....	4
Características del metal pesado.....	4
El Pb.....	6
Normatividad del Pb en el suelo, en agua y sangre.....	7
Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994.....	7
Norma oficial mexicana NOM-004-SSA1-1999.....	8
Límites de toxicidad en seres humanos.....	8
Efectos contaminantes del Pb.....	8
Problemas de salud ocasionados por contaminación con Pb.....	10
Problemática de la contaminación de Pb en México.....	10
Problemática de la contaminación de Pb en la Comarca Lagunera.....	12
Adaptación de plantas a ambientes contaminados por metales pesados no esenciales.....	12
Evitación y tolerancia a metales pesados.....	12
Fitorremediación	14

Fitoquelatinas.....	15
Genes que codifican metales.....	16
Trabajos realizados sobre fitorremediación de metales pesados en la Comarca Lagunera.....	17
El girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) como remediadora de metales pesados	19
Taxonomía del girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.).....	21
Usos del girasol.....	22
Técnicas de regresión y correlación.....	22
MATERIALES Y METODOS.....	24
Localización geográfica del área de estudio.....	24
Desarrollo del experimento.....	24
Prepruebas.....	24
Preparación del suelo para el almácigo.....	25
Siembra en almácigo.....	26
Preparación de macetas.....	26
Trasplante de plántulas a macetas.....	26
Aporcado de macetas.....	26
Método empleado para determinar la preparación de soluciones.....	27
Peso de macetas.....	27
Preparación de las soluciones.....	28
Diseño experimental.....	28
Obtención de datos sobre el crecimiento de las plantas	28
Aplicación de los tratamientos a las macetas.....	28
Riego de macetas.....	29
Pospruebas.....	29
Obtención de datos sobre el crecimiento de las Plantas.....	29
Obtención de muestras de agua lixiviada.....	29
Obtención de muestras de planta (raíces, tallos,	

hojas, flores y semillas).....	30
Obtención de muestras de suelo.....	30
Análisis de laboratorio de suelos, agua y planta.....	31
Análisis estadístico de los datos.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	33
Análisis en suelo y agua en prepruebas y pospruebas.....	33
Suelo	33
Agua	34
Análisis de planta del girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.).....	36
Análisis del girasol en las prepruebas y pospruebas.....	36
Análisis de Pb en el girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.)	38
Modelo de predicción	44
Correlación simple.....	45
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES.....	50
LITERATURA CITADA.....	52
APÉNDICE.....	60

INDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Parámetros evaluados en el suelo y agua en las prepruebas y pospruebas, vivero la Perla municipio de Nazas Durango. Abril- Dic. De 2009.....	35
2.	Parámetros evaluados en el girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) En las prepruebas y pospruebas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.....	37
3.	Concentración de Pb encontrado en las diferentes partes del girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.). en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.....	42
4.	Concentración total de Pb encontrado en suelos, agua y planta de girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.....	43
5.	Valores estadísticos básicos de las variables evaluadas en el girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.....	44
6.	Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción de la raíz del girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.....	46
7.	Correlación simple entre las variables evaluadas en el girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.....	47

ÍNDICE DE APÉNDICE

Cuadro		Página
8.	Parámetros analizados en el suelo antes del experimento realizado en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.....	61
9.	Parámetros analizados en el agua antes del experimento realizado en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.....	61
10.	Datos tomados en el girasol en prepruebas, realizadas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.....	62
11.	Datos tomados en el girasol en pospruebas, realizadas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.....	63
12.	Cantidad de Pb aplicado por tratamiento en las plantas por maceta de girasol en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango, abril-dic. De 2009.....	64
13.	Medición de parámetros del girasol en las prepruebas y pospruebas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango, Abril- Dic. De 2009.....	65
14.	Datos empleados para el modelo de regresión y correlación simple en el girasol (<i>Helianthus annuus</i> L.) vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. 2009.....	66

RESUMEN

Este trabajo de investigación se llevó a cabo en un vivero del ejido la Perla Municipio de Nazas Durango, México. El objetivo fue determinar la capacidad que tiene el girasol (*Helianthus annuus* L.) para adaptarse en sitios contaminados con Pb. La metodología fue la siguiente; se hicieron prepruebas y pospruebas, en las prepruebas se analizaron variables del suelo y agua entre ellas el Pb, se encontraron concentraciones elevadas de 1795 mg kg^{-1} de Pb en suelo y 1.01 mg kg^{-1} de Pb en agua, sobre ese suelo se preparó la siembra del almácigo de las semillas de girasol. Se hizo el diseño experimental “bloques al azar” con cuatro tratamientos y tres repeticiones donde la planta es la unidad experimental. Los tratamientos fueron de 500 mg kg^{-1} , 600 mg kg^{-1} , 700 mg kg^{-1} y el control. Antes de aplicar los tratamientos se tomaron datos sobre el crecimiento de la planta (altura y número de hojas), se aplicaron los tratamientos al suelo de las macetas a los 36 días después del trasplante cuando las plantas alcanzaron 25 cm de altura, la aplicación de riego con Pb fue una sola vez. Las pospruebas, se iniciaron a los 56 días después de la aplicación del metal, se efectuó la medición de las siguientes variables en plantas, altura, número de hojas y sobrevivencia. Cuando la planta dio su primer botón floral se iniciaron los muestreos; primeramente del agua lixiviada, enseguida las plantas (raíces, tallos, hojas, flores y semillas) y por último de suelo, se etiquetaron y fueron llevadas al laboratorio. El análisis de suelos, agua y planta se realizó únicamente para determinar concentración de Pb. Para ello se empleó el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 2380). Los resultados mostraron medias en suelo de 3495 mg k^{-1} , en agua 0.88 mg k^{-1} y planta de 910 mg k^{-1} ; en la raíz fue donde se acumuló mayor cantidad de Pb (428 mg k^{-1}). El análisis de regresión múltiple y varianza mostró que el mejor modelo de predicción fue el que considero la raíz como variable dependiente ya

que fue altamente significativo con un coeficiente de determinación de 0.99. El coeficiente de correlación mostró que los tallos en relación con las semillas obtuvieron el mayor coeficiente de correlación (0.91), seguida por el tallo con relación a la raíz con un valor de coeficiente de correlación de 0.89, lo que corrobora lo obtenido en el modelo de predicción. Al final se concluyó que aunque existieron altas concentraciones de Pb antes y después de la aplicación de este metal, el girasol pudo desarrollarse en forma adecuada, lo cual indica la buena capacidad de adaptarse en ambientes contaminados. Es posible que esta especie lleve a cabo las dos estrategias para adaptarse a estos sitios: a través de la evitación y la tolerancia. Se recomienda usar al girasol como fitorremediadora para descontaminar suelos contaminados con Pb.

Palabras clave: Metales pesado, plomo, adaptación, girasol, contaminación, regresión múltiple, correlación simple, fitorremediación.

INTRODUCCIÓN

La problemática actual de contaminación en el ambiente es muy dramática, la contaminación es cualquier sustancia o forma de energía que puede provocar algún daño o desequilibrio, irreversible o no, en un ecosistema, medio físico o un ser vivo. Es siempre una alteración negativa del estado natural del medio ambiente, y por tanto, se genera como consecuencia de la actividad humana. En el planeta existen procesos y actividades tanto naturales como antropogénicos, cada uno de estos factores de alguna u otra manera afectan el ambiente en la cual vivimos, uno de los casos muy relevantes es la contaminación por metales pesados, esta contaminación se da en dos aspectos muy importantes, natural y causado por el hombre en su gran mayoría. En los últimos años se ha producido un rápido aumento del nivel de plomo (Pb) en el ambiente, como consecuencia de diversas actividades antrópicas tales como; la fundición, la minería, la fabricación de pinturas, la combustión de gasolina y el reciclaje de baterías ácidas. El Pb que llega al suelo procede principalmente de vertidos industriales, así como vertidos urbanos. La contaminación depende también de otras fuentes como gasolina y fertilizantes inorgánicos. Los metales pesados son un grupo de elementos químicos que presentan una densidad relativamente alta y cierta toxicidad para el ser humano. En este siglo XXI la contaminación por estos metales sigue siendo cada día una cifra más alta.

Es importante identificar plantas que tengan la capacidad de ser fitoextractoras de metales pesados, ya que de esa manera los metales quedan confinados, con lo que se evita que entre en contacto con otros seres vivos que pudieran ser dañados. Entre estos metales pesados destaca el Pb, y la planta que se propone que funcione como fitorremediadora es el girasol (*Helianthus annuus* L.).

OBJETIVO

OBJETIVO GENERAL

Determinar la capacidad de adaptación del girasol (*Helianthus annuus* L.) como remediadora de Pb aplicado en agua a distintas concentraciones.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Determinar la capacidad que tiene el girasol (*Helianthus annuus* L.) para extracción de Pb en diferentes concentraciones: 0, 500 mg/kg⁻¹, 600 mg/kg⁻¹ y 700 mg/kg⁻¹.

Evaluar la concentración de Pb en planta: tallos, hojas, raíces, flores y semillas.

Evaluar la concentración de Pb en suelo.

Evaluar la concentración de Pb en agua lixiviada.

HIPÓTESIS

El girasol tiene la capacidad de adaptarse en sitios altamente contaminados con Pb.

REVISIÓN DE LITERATURA

Origen de la contaminación por metales pesados.

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 y la extracción de metales puede causar daños ambientales y, en casos extremos, destruir el ecosistema; por ejemplo, se pueden dañar tierras de cultivo, favorecer la erosión y contaminar cuerpos de agua con sales solubles de elementos potencialmente tóxicos (EPT), como arsénico (As), selenio (Se), Pb, cadmio (Cd) y óxidos de azufre (S), entre otros. Asimismo, el material subterráneo puede generar volúmenes de residuos hasta ocho veces superiores al original (Volke *et al.*, 2005).

Características del metal pesado

Los metales pesados son contaminantes que entran al sedimento desde los cuerpos de aguas produciéndose un aumento progresivo de sus concentraciones en el tiempo y posterior bioacumulación de organismos que forman parte de esos ecosistemas. Estos elementos, en comparación con otros contaminantes, no son biodegradables y sufren un ciclo ecológico global en el

cual las aguas naturales son las principales vías, siendo críticos los efectos negativos que ellos ejercen, debido a que pueden causar graves daños a nivel celular dada su capacidad para desnaturalizar proteínas, ser asimilados por el fitoplancton y organismos filtradores e incorporados a la cadena alimenticia provocando graves alteraciones ecológicas y biológicas, no solo al ecosistema, sino a los humanos (Márquez *et al.*, 2008).

La tabla periódica de los elementos químicos resume sus características químicas. Los metales considerados como contaminantes en muestras ambientales se localizan en la tabla periódica principalmente en los bloques *d* y *p* los elementos del bloque *d* son elementos de transición (que en su estructura atómica ocupan orbitales *d*). En este grupo quedan incluidos los metales nobles. Los elementos del bloque *p* son elementos que ocupan orbitales *p* y por lo mismo tienen características metálicas, que incluyen a los metales pesados considerados tóxicos. Los metales pesados considerados tóxicos cumplen los siguientes criterios; son relativamente abundantes en la corteza continental, son extraídos y usados en procesos industriales, son tóxicos al ser humano y causan perturbaciones a los ciclos biogeoquímicos (Morton, 2006).

El 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 metálico, aproximadamente 11 veces más denso que el agua y se obtiene del sulfuro de plomo, que es la forma más abundante de este elemento en la naturaleza (Valdés y Cabrera, 1999).

Elemento químico, Pb, tiene número atómico 82 y peso atómico 207.19, es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 s 16 °C (61 °F)), es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4°C (621.3 °F) y hierve a 1725 °C (3164 °F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico (Lenntech, 2009).

El Pb es un metal de color azulado, que adquiere un color grisáceo cuando se empaña (moja). Es muy flexible, elástico y se funde con gran facilidad. Es resistente a la presencia de ácidos y a la corrosión atmosférica (ATSDR; 2008).

Normatividad del plomo en el suelo, en agua y sangre

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 mg k^{-1} , mientras que para uso industrial la concentración máxima permisible es de 750 mg k^{-1} ; el Orden jurídico (2009) establece un máximo de 700 mg k^{-1} .

El nivel máximo en los Estados Unidos según la Agencia de protección al Ambiente es de 500 mg k^{-1} (Al Benin 1999).

El valor límite del plomo en suelo, según la normatividad española es de $50\text{-}300 \text{ mg k}^{-1}$. El valor de 50 se emplea en suelos con pH menor a 7, por lo tanto el de 300 se emplea para suelos con pH mayor a 7 (La Caxia, 1995).

Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994, para medir los límites máximos permisibles de metales en agua. Se refieren a su concentración total en el agua, el límite máximo permisible del Pb en agua es de 0.025 ml/L , As (arsénico) es de 0.05 ml/L , y de Cadmio es de 0.005 ml/L (NOM-127-SSA1-1994, 2009).

NOM - 004 - SSA1 – 1999, para sangre en los humanos. Esta norma establece los límites máximos permisibles para plomo en la sangre que es de 10 µg/dL (0.1 mg k⁻¹) (López *et al.*, 2000).

Límites de Toxicidad en seres humanos

El contenido de plomo natural del suelo normalmente oscila entre 10 a 30 mg/g. Sin embargo, los niveles de plomo en las capas superiores del suelo varían ampliamente debido a la deposición y acumulación de partículas de la atmósfera a partir de fuentes antropogénicas (ATSDR, 2007).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA) de los Estados Unidos ha determinado una serie de límites para las concentraciones de metales pesados. El límite para la ingesta en los humanos de Pb es de 50.0 µg/l criterio para el agua en adultos (Higuera y Oyarzun, 2009).

Efectos contaminantes del Pb

Pb es un elemento natural que plantea riesgos ambientales cuando están presentes en una concentración elevada. Se trata de ser liberado en el medio ambiente debido a los usos industriales y de la combustión de

combustibles fósiles. Por lo tanto, Pb es omnipresente en todos los ecosistemas mundiales. La existencia de concentraciones potencialmente dañinas de Pb en el ambiente debe ser objeto de una atención completa. Emisiones de los vehículos son la principal fuente de contaminación ambiental por Pb (Ona *et al.*, 2006).

Investigadores documentan que la prevalencia de Pb en la sangre elevada (definida como \geq a 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$), ha disminuido de 14.5 % a 1.3 %. En contraste, los datos presentados para Uruguay y Venezuela sugieren que la fuente más importante en estos países es la gasolina con Pb. Los promedios de Pb en sangre para la población uruguaya son altos, la media reportada es alrededor de 13 $\mu\text{g}/\text{dl}$ lo cual se encuentra por arriba del valor recomendado de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$. Igualmente, los valores reportados para las mujeres en estado de gravidez son también elevados, con una proporción importante de mujeres con valores por arriba de 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$. En un estudio efectuado en Venezuela se presentaron datos de población adulta (192 hombres y 59 mujeres) que fueron reclutados de diferentes bancos de sangre en la ciudad de Caracas. Se encontró que el promedio del metal en sangre documentado en la población estudiada fue de 12.5 $\mu\text{g}/\text{dl}$, lo cual también está por arriba del recomendado por la Organización Mundial de la Salud. Estos dos últimos estudios indican el potencial benéfico que podría tener en estos países eliminar el Pb de la gasolina, sin duda, es una de las acciones de salud pública pendientes de llevar a cabo (Romieu y Palazuelos, 2003).

Problemas de salud ocasionados por contaminación con Pb

Apostoli *et al.*, (2002) explicó que en muchos países, entre ellos México, se enfrentan a una epidemia de intoxicación por Pb. Según el Instituto Nacional de Ecología, en 1998 nuestro país ocupó el sexto lugar mundial en producción de Pb con 166 060 toneladas. El Pb es el metal pesado más estudiado y éste ha representado una de las principales preocupaciones de salud pública, puesto que, afecta muchos órganos y sistemas en el ser humano.

Suping (2009), aseguró que en Pekín unos 15 mil chinos que viven en las cercanías a plantas de fundición de Pb se reubicarán, después de que a más de mil niños se les encontraron cantidades excesivas de este metal en la sangre. El Pb, al contaminar el aire y el agua, es capaz de causar daños al sistema nervioso y, en casos extremos, la muerte. Los niños que más riesgo corren son los menores de seis años.

Problemática de la contaminación de Pb en México

México ocupa uno de los primeros veinte lugares dentro de los países productores de Pb en el mundo. En nuestro país las fuentes de contaminación por dicho metal son: tipos de cerámica usada como la cerámica vidriada y cocida a baja temperatura es usada comúnmente en México para cocinar,

pinturas con Pb, soldadura con Pb y Pb en el agua. Debido a la intoxicación que existe en la exposición infantil con este metal causando daños neurológicos, ya que esto ya es un problema de salud pública (Rivera, 2009).

Se determinó la concentración de plomo en la sangre de niños y mujeres, en periodo de lactancia o embarazadas, de la comunidad de San Ignacio, Fresnillo, en Zacatecas, así como en matrices de suelo, plantas, ceniza y barro vidriado, para determinar la exposición que genera una empresa recicladora de metales. El Pb en sangre se midió por voltamperometría de redisolución anódica. Los resultados con base en los criterios de la NOM-199-SSA1-2000 (NOM, 2009) se encontró que 90 % de los menores está en la categoría I, 5 % se encuentra en la categoría II y el otro 5 % se ubica en la categoría III. El suelo de los terrenos aledaños a la recicladora tiene en promedio $4\,940\ \mu\text{g/g}^{-1}$, en un intervalo de 73 a $84\,238\ \mu\text{g/g}^{-1}$. Las mayores concentraciones se localizan en los puntos más cercanos a la empresa. El suelo de San Ignacio tiene en promedio $109\ \mu\text{g/g}^{-1}$. Se encontraron valores altos en el barro vidriado y la concentración del Pb en las plantas es superior a los $300\ \mu\text{g/g}^{-1}$. A pesar de que la mayoría de los niños analizados presenta niveles de plomo en sangre que la Norma Mexicana señala como aceptables, varios estudios indican que existen efectos nocivos aun a concentraciones bajas. Los terrenos aledaños a la empresa están contaminados, y en esa medida los alimentos que ahí se producen, al ser consumidos, son una fuente de contaminación (Manzanares *et al.*, 2006).

Problemática de la contaminación de Pb en la Comarca Lagunera

La Comarca Lagunera es una de las regiones más contaminadas del mundo, los altos niveles de contaminación se deben a factores como el inadecuado manejo de los desechos industriales, a los plaguicidas que por décadas fueron utilizados en la agricultura, así como al hidroarsenicismo que es consecuencia de sobreexplotación de los mantos acuíferos principalmente,, se destaca que la alta generación de contaminantes se debe en parte al crecimiento de la zona industrial. La contaminación también esta dada por el mal manejo de sus residuos que se presenta en las grandes industrias y en los microgeneradores como talleres mecánicos, cuyos aceites van a parar a los drenajes, terrenos baldíos y al lecho seco del río Nazas. La contaminación de los suelos, tiene origen desde hace cerca de 60 años, cuando las tierras eran fumigadas para favorecer el desarrollo del algodón (Del Refugio, 2009).

Adaptación de plantas a ambientes contaminados por metales pesados no esenciales

Evitación y tolerancia a metales pesados. La manera como las especies vegetales se adaptan a vivir en ambientes con elevadas concentraciones de metales no esenciales como el Pb y el Cd, es por evitación o por tolerancia. Por evitación es cuando algunas especies absorben solo en

cierto grado. En otros casos los elementos se acumulan en las raíces, con transporte escaso hacia las partes aéreas. En otras más, tanto raíces como partes aéreas contienen cantidades mayores de estos elementos que las especies o variedades no tolerantes pueden soportar. Se ha descubierto un mecanismo de tolerancia importante y muy extendido en la filogenia (Taylor, 1987). En particular los metales no nutrientes altamente tóxicos son: mercurio (Hg), Pb, Cd, plata (Ag) y cromo (Cr) (Taiz and Zeiger, 1998).

El total de la toxicidad de los metales pesados contaminantes adicionados al ambiente cada año actualmente excede la toxicidad de todos los desperdicios combinados orgánicos y radiactivos (Nriagu and Pacyna 1988).

En respuesta a esta situación, los fisiólogos vegetales han aumentado sus esfuerzos para entender la naturaleza sobre la homeostasis de metales pesados y su toxicidad en las plantas. La meta principal de sus investigaciones son desarrollar plantas tolerantes a los metales, que pueden crecer en suelos contaminados, y así desarrollar nuevas variedades de plantas que puedan absorber los metales de los suelos que pueden ser utilizados para la agricultura, una práctica llamada fitorremediación. La toxicidad de muchos metales pesados es debido a sus habilidades para causar oxidación dañina a los tejidos (Sthos and Bagchi, 1995).

Fitorremediación. Lasat (2002) menciona que la fitorremediación se define como el uso de plantas para remover contaminantes del ambiente o transformarlos en compuestos menos tóxicos.

La fitorremediación es una técnica reciente para la limpieza de sitios contaminados, es rentable, y tiene ventajas estéticas, la aplicabilidad es a largo plazo (Chhotu and Fulekar, 2009).

La fitorremediación se basa en la hiperacumulación que es la capacidad que tienen algunas plantas para concentrar metales en sus tejidos a niveles muy por encima de los normales sin presentar síntomas de toxicidad. Estas plantas hiperacumuladoras han desarrollado mecanismos internos de tolerancia a la toxicidad por metales. Esta peculiaridad las hace útiles para el hombre como herramienta en las nuevas tecnologías de fitorremediación (Llugany *et al.*, 2007).

Las plantas tolerantes a metales que tienen la habilidad para acumular altas concentraciones de metales en sus vacuolas son llamadas hiperacumuladoras (Baker and Brooks, 1989). Las plantas hiperacumuladoras son estudiadas por su potencial en la fitorremediación.

Fitoquelatinas. Los metales pierden su toxicidad al ser quelados con fitoquelatinas, pequeños péptidos ricos en el aminoácido azufrado cisteína. Estos péptidos por lo general tienen de dos a ocho unidades de cisteína en el centro de la molécula, así como un ácido glutámico y una glicina en extremos opuestos. Es casi seguro que los átomos de azufre de la cisteína son esenciales para unir metales, aunque es probable que también participen otros átomos como nitrógeno y oxígeno. Son numerosas las especies que producen fitoquelatinas, pero hasta ahora solo se les ha encontrado cuando se presenta un metal en cantidades tóxicas (Salisbury y Ross, 1994).

Plantas con exceso de iones de metales pesados cuentan con dos mecanismos principales para destoxificar metales tomados dentro de la célula: complejación con compuestos orgánicos y compartimentación dentro de la vacuola. Las plantas producen una variedad de compuestos que son capaces de formar complejos con los iones metálicos. Por ejemplo, se ha demostrado que el citrato y el malato se enlazan con Cd y Zn respectivamente. Las vacuolas tratadas con metales a menudo contienen altas concentraciones de metales que forman complejos con ácidos orgánicos. Los aminoácidos pueden también formar complejos con iones metálicos.

Se encontró que la histidina forma complejos con níquel en la planta hiperacumuladora de níquel *Alyssum lesbiacum*, y han propuesto que la

síntesis de histidina es un importante mecanismo para la hiperacumulación de níquel (Kramer *et al.*, 1996).

Las fitoquelatinas son un grupo de polipéptidos que enlazan metales, que tiene como fórmula general $(\text{Glyu}(-\text{Cys}))_n\text{-Gly}$, donde n es un número de 2 a 11, las fitoquelatinas son sintetizadas a partir de tripéptido de glutatión (Glu-Cys-Gly). La enzima fitoquelatina sintasa está constituida y expresada en las plantas y está fuertemente activada por iones de metal. Las fitoquelatinas se acumulan en la vacuola de las plantas expuestas a excesos de metales pesados, y son considerados para ser indicadores de estrés de metal. Los complejos de fitoquelatinas con metal son activamente transportados dentro de la vacuola de la planta por un grupo de solutos orgánicos transportadores que están directamente energizados por Mg-ATP. Estos transportadores reconocen y transportan una variedad de solutos que están conjugados a glutatión, incluyendo antocianinas y herbicidas.

Genes que codifican metales. Las plantas tienen genes que codifican metalotioneinas, pequeñas proteínas que enlazan metales originalmente identificadas en animales. En *Arabidopsis*, tres tipos principales de genes metalotioneinas han sido identificados en los tejidos vegetales MT1, MT2 y MT3, y la expresión de uno de estos genes (MT2) fue relacionado con la tolerancia al cobre en plantas de semillero. Asimismo, las metalotioneinas aparecen para proteger los constituyentes celulares de daños oxidativos

debido a los metales, aunque, su papel preciso en la homeostasis y tolerancia a metales aún no está aclarado (Taiz and Zeiger, 1998).

Trabajos realizados sobre fitorremediación de metales pesados en la Comarca Lagunera

Muestreos realizados en suelos alrededor de Peñoles se encontraron concentraciones de plomo elevadas, Madinaveitia *et al.* (2007), en un trabajo efectuado en noviembre de 2005 encontraron concentraciones de hasta 9225 mg kg⁻¹, López (2006), en marzo de 2006 reportó concentraciones de plomo en suelos aledaños a Peñoles hasta de 2789 mg kg⁻¹.

Según Valdés y Cabrera (1999), investigadores de la Escuela de Medicina de Dartmouth encontraron en el polvo de los alrededores de Peñoles niveles de cadmio entre 11 y 1,497 mg kg⁻¹ (mediana 112 mg kg⁻¹), cuando el nivel máximo en los Estados Unidos para considerar que un sitio contaminado ya no lo está es de 20 mg kg⁻¹

Triana (2008), en un trabajo de investigación efectuado en zonas aledañas a Peñoles, en las 16 muestras de suelo colectadas encontró que la concentración de cadmio fue superior al límite máximo permisible establecido por Estados Unidos de América, la concentración máxima hallada fue de 179.2

mg kg⁻¹, la mínima fue de 73.1 mg kg⁻¹, el promedio de cadmio fue de 114 mg kg⁻¹.

Ortega (2008), realizó un trabajo para determinar la capacidad de la especie vegetal *Nicotiana glauca* G como planta fitorremediadora en suelos contaminados con metales pesados, tales como Pb, Cadmio (Cd) y Arsénico (As), para el estudio se utilizó un suelo altamente contaminado con los metales pesados antes mencionados, este suelo fue proporcionado por la empresa metalúrgica Met-Mex Peñoles de Torreón Coahuila, según los resultados, *Nicotiana glauca* G logró absorber metales pesados en su biomasa, en las siguientes cantidades; 358.46 mg kg⁻¹ de Pb, 155.26 mg kg⁻¹ de arsénico y 298.9 mg kg⁻¹ de Cd, por lo que concluyó que a pesar que absorbió mas plomo, la planta tiene mayor afinidad porcentual por absorber Cd en su biomasa, absorbiendo un 89.2% del que estaba disponible en el suelo, mientras que de Pb absorbió un 18.06% y de arsénico un 83.7% en 120 días de evaluación. Además que esta especie demostró ser altamente resistente y adaptativa pese a fenómenos climáticos y adversidades que surgieron en el lapso de evaluación de la planta.

Pérez (2008), realizó un trabajo para determinar la capacidad de *Nicotiana glauca* G para extraer metales pesados (Pb, Zn) en suelos contaminados de Met- Mex Peñoles, en Torreón Coahuila concluyó que *Nicotiana glauca* G logró absorber Pb en cantidades considerables siendo 283.3 mg kg⁻¹ en su biomasa, además esta especie también demostró que

logró absorber Zn en considerables siendo 605.1 mg kg^{-1} también en la biomasa con un lapso de evolución de 120 días.

El girasol (*Helianthus annuus* L.) como remediadora de metales pesados

Lee *et al.* (2007), en un trabajo de fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados y TNT, usaron cuatro especies vegetales, entre ellas el girasol, encontraron que el girasol cuando crece aislado de otras plantas, acumula altas concentraciones de Pb en las raíces, luego en hojas y menos en los tallos.

Nehnevajova *et al.* (2005), emplearon 15 cultivares de girasol y encontraron que esta especie puede ser usada para la remediación de suelos contaminados con metales y concluyeron que una de las razones por las cuales puede retener altas concentraciones de metales es su elevada producción de biomasa.

Rodríguez *et al.* (2006), trabajaron con especies de *Cenchrus ciliaris*, *Ricinus communis*, *Nicotiana tabacum*, *Sorghum sudanense*, *Brassica campestris* y la planta de interés principal *Helianthus annuus*, todas fueron cultivadas en macetas con suelo de textura franco arenosa que se contaminó artificialmente con 0, 500 y 1000 mg de Pb Kg^{-1} y finalmente explicaron el

orden de tales capacidades en el tratamiento que fue extraída en la materia seca y en la parte aérea respectivamente.

Khoshgoftarmanesh and Chaney (2007), hicieron un experimento donde demostraron que el girasol es capaz de extraer metales pesados, en este caso en el metal Cd haciendo una comparación con el algodón y concluyeron que el girasol tiene mayor capacidad de extracción de Cd por la captación que tuvieron las raíces.

Chhotu and Madhusudan (2008), realizaron un experimento en invernadero, sobre el crecimiento del girasol (*Helianthus annuus*), en la germinación de semillas, para medir la captación de metales en suelos-con vermicomposta. Los resultados obtenidos se encontró que los metales (Cu, Zn, Pb, Hg, Cd y Ni) afectaron en concentraciones altas de 40 y 50 mg kg⁻¹, sin embargo, la mas baja concentración de metales pesados encontrados se obtuvo en un rango de 5 a 20 mg kg⁻¹, y estimularon el crecimiento de la raíz aumentando la biomasa y la longitud de la planta del girasol, lo que significó que pudo germinar y crecer eficazmente, a pesar de los metales absorbidos, se concluyó que el girasol puede ser usado para la fitorremediación de metales tóxicos (Cu, Zn, Pb, Hg, Cd y Ni) en suelos altamente contaminados.

Taxonomía del girasol (*Helianthus annuus* L.)

El girasol es una angiosperma dicotiledónea que pertenece a la familia de las Asteraceae, es una planta herbácea de 2 a 3 m de altura; hojas simples opuestas y alternas de 10 a 20 cm, ovadas, aserradas; flores en cabezuelas amarillas, terminales, de 20 a 35 cm de diámetro; semillas de unos 10 mm, oleaginosas, comestibles (Martínez, 1994).

Helianthus annuus L. es una planta anual, hasta de 3 m de alto; tallo erecto, simple o ramificado por lo general toscamente hispido; hojas en su mayoría alternas, con peciolo hasta 20 cm de largo, lámina ovada a triangular ovada o anchamente lanceolada, hasta de 45 cm de largo y 35 cm de ancho (aunque en plantas silvestres por lo común de menos de la mitad de este tamaño), cabezuela solitarias o agrupadas por varias en el extremo de los tallos; receptáculo plano, páleas lanceoladas, flores liguladas, sus láminas oblongas, amarillas a anaranjadas, hasta de 5 cm de largo; flores de disco en general más de 200, sus corolas a menudo oscuras en la parte apical, de más o menos 7 mm de largo; aquenio oblongo ovoide, grisáceo, a menudo moteado, vilano de dos escamas lanceoladas, caducas. Planta arvense, muy escasa. Ampliamente distribuida desde Canadá hasta el norte de nuestro país. Las formas cultivadas de cabezuelas hasta 40 cm de diámetro (“girasol”, “maíz de Texas”), en el valle de México son de presencia esporádica, más bien se siembran como ornamentales (Calderon y Rzedowski, 2001).

Usos del girasol. Además de ser empleada como fuente de aceite comestible, con fines curativos se emplean en dolores de cabeza, pleuresía, llagas, heridas y trastornos nerviosos, utilizándose el tallo principalmente (anónimo, 1999).

Técnicas de regresión y correlación

El análisis de regresión y correlación son técnicas estadísticas que pueden ser usadas para analizar la relación entre una variable dependiente y algunas variables independientes. El objetivo del análisis de regresión múltiple es usar, de las variables independientes, aquellos valores que son conocidos para predecir el valor de la dependiente simple que el investigador desea conocer. El resultado es una variable, es decir una combinación lineal de las variables independientes que mejor predicen la variable dependiente. Las variables son sopesadas en el proceso, su peso denota su contribución relativa para la predicción en su totalidad. De este modo, el análisis de regresión asegura que el análisis está provisto de la máxima predicción en un formato que también facilita la interpretación de la influencia que cada factor ejerce en la predicción (Hair *et al.*, 1992).

La aplicación del análisis de regresión es valioso para tratar de comprender las interacciones de los factores en la naturaleza, en donde se

toman los datos como llegan a través de observaciones de campo (Salisbury y Ross 1994).

Con la ayuda de computadoras de alta velocidad es posible incorporar un gran número de variables en una función de regresión y así incrementar nuestra capacidad de predicción del valor de una variable como función de otras variables relacionadas (Hoel, 1988).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente trabajo se realizó en el periodo marzo 2009 a diciembre de 2009, el trabajo de campo se llevó acabo en un vivero del ejido la Perla Municipio de Nazas Durango, México. Los análisis de las muestras colectadas se procesaron en el laboratorio de biología, laboratorio de bromatología, y laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- UL y en el laboratorio del INIFAP de Matamoros, Coahuila.

Localización geográfica del área de estudio

El ejido la Perla se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 25° 16´ 31´´ de latitud norte y 104° 7´ 44´´ de longitud oeste (StreetPilotGPS, 1998). Con una altura de 1120 msnm (CNA, 2002).

Desarrollo del experimento

Prepruebas

La recolección de muestras para el análisis del suelo y agua fue en el mes de marzo, se sacaron 6 muestras; 3 muestras dentro del vivero y 3 fuera del mismo, y se sacaron 2 muestras de agua de un pozo cercano al vivero, los

análisis se hicieron con el objetivo de saber en que condiciones estaba el suelo y agua en la cual se realizaría el experimento, las variables en el suelo y agua analizados fueron; pH y conductividad eléctrica (CE) (mS/cm) analizados con el método en extracto de suelo a saturación y en el agua directamente, densidad aparente (D_a)(gr/cm^3) (únicamente en el suelo) mediante el método de parafina, materia orgánica (MO) (%) (únicamente en el suelo) por el método de Walkey-Black y en metales pesados se analizó en suelo y agua; Pb (mg kg^{-1}), Zn (mg kg^{-1}), Cd (mg kg^{-1}) por el método de extracción con ácido nítrico y el agua directo leídos en absorción atómica, As (mg kg^{-1}) en suelo y agua se leyó por el método colorímetro con tiras de ensayo en el kit de Merckoquant, cloruros (Cl) (meq/lit) en suelo y agua se realizó por métodos volumétricos, nitratos (NO_3) (mg kg^{-1}) método de extracción con hidróxido de calcio y sulfatos (SO_4) (mg kg^{-1}) con el método de turbimetría, los dos leídos por el espectrofotómetro Merck SQ 118 según el Procedimiento de Análisis de Suelos y Certificación de Laboratorios, Departamento de Suelos de la Universidad Autónoma Chapingo (1998). Los análisis se realizaron en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro-UL.

Preparación del suelo para el almácigo. Se preparó una mezcla de arena, arcilla y materia orgánica, en proporción de 33 % cada una, se utilizó suelo previamente esterilizado colocando en dos charolas en la que después se colocarían las semillas del girasol.

Siembra almácigo. El 14 de Abril del 2009 se llevó a cabo la siembra del girasol (*Helianthus annuus* L.), en el suelo ya preparado y esterilizado anteriormente en las dos charolas, se hicieron pequeños orificios para depositar una semilla por cavidad, seguido de la colocación de una capa ligera del mismo suelo ya preparado para dicha semilla, finalmente se humedeció la charola con agua y se colocó en el área de vivero.

Preparación de macetas. El 15 de abril de 2009 se prepararon 36 bolsas negras de polietileno con el mismo suelo utilizado en la siembra del almácigo, la medida de la bolsa fue de 10x8x20 cm para mayor espacio de desarrollo de raíz. Antes de colocar las macetas en el vivero se cubrió el suelo con plástico negro, para evitar que se produjeran infiltraciones de Pb hacia el suelo asegurando que el Pb aplicado quedara por encima del plástico.

Trasplante de plántulas a macetas. El 12 de mayo de 2009 se procedió a trasplantar, se realizó cuando la planta alcanzó una altura de 15 cm, lo que ocurrió a los 28 días de haber introducido la semilla. Las plántulas se sacaron de la charola con cuidado utilizando cucharas y haciéndolo rápidamente para que la planta no se dañe. Se plantaron 36 bolsas negras con suelo ya preparado, quedando una plántula por maceta.

Aporcado de macetas. El 22 de mayo del 2009 se realizó el aporcado (cubrir con suelo a las macetas) de las 36 macetas utilizando una carretilla y unas palitas, esto con el objetivo de que la raíz de las plántulas se cubrieran y

para que los tallos de las plantas, aprovechen al máximo el agua de riego para su crecimiento.

Método empleado para determinar la preparación de las soluciones.

Para la preparación de las soluciones se realizaron cálculos para saber la cantidad de Pb a aplicar por maceta, ya que la fuente original tomada fue de acetato de Pb ($\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_4$), los cálculos realizados fueron a través de reglas de tres que se explican; el peso molecular (P.M.) del $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_4$ es de 379.34 y el P.M del Pb puro es de 207, entonces; se necesitan 4 concentraciones de Pb puro 500 mg/kg^{-1} , 600 mg/kg^{-1} , 700 mg/kg^{-1} y el control, se realizó la siguiente conversión 207 g de Pb a mg dando un resultado de 207 000 mg, entonces si 379.34 g de $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_4$ es a 207 000 mg de Pb, entonces 500 mg de Pb multiplicado por los gramos del $\text{Pb}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)_4$ entre los mg de Pb nos da un resultado de 0.9162 mg, así se realizó con las siguientes concentraciones. Después en el laboratorio de biología se pesó cada una de las concentraciones de acuerdo al peso de las macetas, para después guardarlas en bolsas ya etiquetadas, listas para ser transportadas al vivero.

Peso de macetas. El 18 de junio de 2009, se pesaron las macetas utilizando una balanza romana de 50 kg, en la cual se colgaron bolsas, colocándose las macetas que fueron pesadas, esto con la finalidad de saber la cantidad de plomo que se utilizaría en la aplicación de los tratamientos, de esa manera la cantidad de Pb en mg ya calculada anteriormente corresponde a cada kg de suelo de la maceta.

Preparación de las soluciones. La preparación de las soluciones se llevó a cabo el 17 de junio en el vivero, se utilizó agua destilada, en un vaso de precipitados de 250 ml se colocó la cantidad ya pesada de Pb por concentración y en una probeta graduada de 10 ml se midió 10 ml de agua destilada para posteriormente agregar al vaso de precipitados que contenía el soluto. Se agitó bien hasta diluir completamente el soluto en el solvente.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño experimental “bloques al azar” con cuatro tratamientos y tres repeticiones donde la planta es la unidad experimental. Los tratamientos fueron de 500 mg kg^{-1} , 600 mg kg^{-1} , 700 mg kg^{-1} y el control.

Obtención de datos sobre el crecimiento de las plantas. El 16 de junio de 2009, un día antes de la aplicación de plomo, se llevó a cabo la toma de datos acerca del crecimiento de las plantas evaluando; la altura haciendo la medición desde el suelo de la maceta hasta la parte apical de la planta y el número de hojas.

Aplicación de los tratamientos a las macetas. La aplicación de los tratamientos fue el 17 de junio de 2009. Cuando las plantas tuvieron una altura mínima de 25 cm aproximadamente, las soluciones ya preparadas en vasos de precipitado, agitando frecuentemente con un agitador, se aplicaron directamente al suelo de las macetas.

Riego de macetas. El riego de las macetas para su mantenimiento se realizó con una manguera desde un tanque conectado a una bomba hidráulica usada para extraer agua de un pozo cerca del vivero, el agua se aplicó con baja presión para no causar ningún accidente que pudiera afectar a alguna planta de girasol, se regó a saturación. Este procedimiento se siguió realizando hasta que los girasoles terminaron su ciclo de vida.

Pospruebas

Obtención de datos sobre el crecimiento de las plantas. El 14 de agosto de 2009, (56 días después de la aplicación del metal) se efectuó la medición de los siguientes parámetros en plantas, altura, (la medición se hizo desde el suelo de la maceta hasta la parte floral de la planta), número de hojas (se determinó contando únicamente de las plantas vivas, no hojas secas) y sobrevivencia (se contaron las plantas que sobrevivieron después de la aplicación de los tratamientos).

Obtención de muestras de agua lixiviada. El 02 de julio de 2009 se inició con la obtención de muestras, cuando la planta dio su primer botón floral, se llevó a cabo la obtención de muestras de agua lixiviada, se recolectaron 9 muestras de agua por cada tratamiento, la obtención de estas muestras se hizo con la ayuda de un embudo en la boca de cada una de las botellas (estas fueron obtenidas de botes de basura, antes de usarlas se lavaron y desinfectaron en el laboratorio de suelos) el embudo se usó para no

desperdiciar la muestra y también para no causar una contaminación por el derrame, todas las botellas fueron etiquetadas con el nombre del metal, tratamiento y fecha de recolección, previamente recolectadas se trasladaron hasta el laboratorio de suelos para posteriormente analizarlas.

Obtención de muestras de plantas (raíces, tallos, hojas, flores y semillas). El 14 de agosto de 2009 se sacaron 36 muestras de raíces, 36 de tallos, 36 de hojas, 36 de flores y 36 de semillas. Fueron 36 muestras de cada parte de las plantas debido a los distintos tratamientos que se aplicaron. En total fueron 180 muestras colectadas de las plantas, cada muestra se guardaron en bolsas de papel, previamente etiquetadas con el nombre del metal, tratamiento y fecha de recolección.

Obtención de muestras de suelo. El 26 de septiembre de 2009, se recolectaron las muestras de suelo 36 muestras con una misma profundidad que constó de 0-10 cm, primeramente se hizo una mezcla homogénea por maceta para obtener una muestra representativa, luego se midió la profundidad y se fue recolectando maceta por maceta metiendo la muestra de una maceta en una bolsa transparente previamente etiquetadas. Después de la recolección se trasladó al laboratorio de suelos.

Análisis de laboratorio de suelos, agua y planta

Los análisis de suelo, agua y planta se realizaron únicamente para determinar concentración de Pb. Para ello se empleó el espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer Modelo 2380)

La metodología para la preparación de la muestra de suelo fue tomado de acuerdo a la NOM-021-RECNAT-2000, para facilitar la lectura de la concentración del metal, se hicieron digestiones de las muestras de suelo en baño maría con una temperatura de 70 °C.

La metodología para la preparación de la muestra de agua fue realizada de acuerdo a la NMX-AA-051-SCFI-2001.

Para facilitar la lectura de la concentración del metal, se hicieron digestiones de las muestras de plantas en vasos de digestión de planta con una temperatura de 125 °C en el laboratorio del INIFAP de Matamoros, Coahuila, de acuerdo al Manual de Laboratorio del manejo de nutrientes y minerales del Programa de Nutrición (USDA-ARS, 2006).

Análisis estadístico de los datos

Se analizaron estadísticamente los datos obtenidos durante todo el procedimiento realizado en el ejido la Perla municipio de Nazas Durango en el periodo Abril-Diciembre 2009, se sacaron medias, desviación estándar, valores mínimos y valores máximos, y al final los datos se procesaron para obtener el mejor modelo de regresión, con la regresión múltiple y correlación simple para el girasol (*Helianthus annuus* L.) de acuerdo a los tratamientos aplicados, empleando el Microsoft SAS (2001). Para efectuar este análisis de los 36 datos obtenidos se seleccionaron 16, que fueron los que proporcionaron el mejor modelo de predicción.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis en suelo y agua en prepruebas y pospruebas

En el Cuadro1 se presentan los datos obtenidos del análisis de suelo y de agua tanto en las prepruebas como en las pospruebas.

Suelos. Los valores de pH, CE, Da, MO Cl, NO₃ y SO₄, se encuentran dentro de las concentraciones requeridas para el buen desarrollo de las plantas (Salisbury y Ross, 1994).

La concentración de Zn y As cumplieron con los límites máximos permisibles que determina la norma NOM-021-RECNAT-2000 (2002).

Es importante observar que los metales Pb y Cd, tanto en las prepruebas como en las pospruebas se encontraron por encima de los límites máximos permisibles de acuerdo a lo que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004; dice que para uso agrícola/residencial las concentraciones límites permisibles es de 400 mg k⁻¹, mientras que para uso industrial la concentración máxima permisible es de 750 mg k⁻¹.

Agua. Los valores de pH, CE, Da, MO Cl, se encuentran dentro de los límites que caracterizan a los cuerpos de agua de las zonas áridas con excepción de NO₃ y SO₄ cuyo rango optimo es de 1.5 a 2.0 mg kg⁻¹ (Saavedra, 2006).

La concentración de Zn y As cumplieron con los límites máximos permisibles que determina la norma NOM-127-SSA1-1994 el establecido es de 5 mg kg⁻¹ para Zn y de 0.05 mg kg⁻¹ para As.

En relación a los metales pesados los valores de Pb y Cd rebasan los límites máximos permisibles ya que según la Norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994 el aceptable es de 0.025 mg kg⁻¹ para el caso del Pb.

La razón por lo cual posiblemente se presentaron estos resultados, se deben a que históricamente en esta región se han aplicado agroquímicos como fertilizantes y pesticidas, que no están en estado puro y dentro de las impurezas se presentan este tipo de metales, además cercano al ejido la Perla se encuentra una mina de explotación de uranio que probablemente contamina a los ecosistemas aledaños. Adicionalmente, en las pospruebas como consecuencia de la aplicación del Pb, se incrementó aun más el Pb en el suelo, sin embargo en el agua hubo una ligera disminución en la posprueba. La explicación a esta situación posiblemente se deba a que la mayor parte del Pb quedó en el suelo y otra parte en el girasol. La diferencia entre el Pb

encontrado en el suelo durante las prepruebas y las pospruebas fue de 1700 mg/kg⁻¹ pero todavía está por encima de los límites aceptables.

Suping (2009), menciona que el Pb, al contaminar el aire y el agua, es capaz de causar daños al sistema nervioso y, en casos extremos, la muerte.

Los niños que más riesgo corren son los menores de seis años.

Cuadro 1. Parámetros evaluados en el suelo y agua en las prepruebas y pospruebas, en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.

Parámetros	Prepruebas		Pospruebas			
	Suelo	Agua	Suelo	Límites máximos permisibles (NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004)	Agua	Límites máximos permisibles (NOM-127-SSA1-1994)
PH	7.8	7.77				
C.E μ S/cm	699.78	339				
D.A mel/L	1.24					
M.O. %	1.59					
Cl (mel/lt)	4.16	0.26				
SO ₄ (mel/lt)	0.18	0.37				
NO ₃ (mg/kg ⁻¹)	107.21	7.40				
*Pb (mg/kg⁻¹)	1795	1.01	3495	400	0.88	0.025
Cd (mg/kg ⁻¹)	102	1.37	453		1.29	0.005
Zn (mg/kg ⁻¹)	72.33	0.62				
As (mg/kg ⁻¹)	0.025	0				

Análisis de planta del girasol (*Helianthus annuus* L.)

Análisis del girasol en las prepruebas y pospruebas. En las prepruebas la sobrevivencia del girasol fue de 100 %, mientras que en las pospruebas disminuyó hasta en un 10 % en el control, lo cual no es explicable, ya que a este tratamiento, no se le aplicó Pb, más que el que tenía originalmente. En los demás tratamientos en la dosis en la que mayor mortalidad hubo fue en la de 700 mg kg⁻¹(78%). En donde hubo más adaptación, es decir menos mortalidad fue en el tratamiento de 600 mg kg⁻¹ (36%) (Cuadro2).

En el parámetro altura, en las prepruebas, fue de 55.32 cm mientras que en la mayor parte de las pospruebas disminuyó hasta 27.33 cm y en el control se tuvo una altura bastante mayor (77.22 cm) esto se dio ya que en la medición se tomó la altura de la planta aunque ya estuviera seca (Cuadro 2). En este caso se logra ver el posible efecto de la aplicación de Pb, al disminuir la altura evidentemente en el tratamiento de 700 mg k-1.

El número de hojas en la preprueba se obtuvo una media de 13 hojas, al comparar este dato en las pospruebas disminuyó notablemente, teniendo en el control un total de 0 hojas esto pudo haber ocurrido debido a que cumplió su ciclo de vida el girasol, por lo que la mayor parte de las plantas murieron (Cuadro 2).

Se observó un aumento del número de hojas y de flores en los tratamientos de 600 y 500 mg kg⁻¹, posiblemente se haya debido a alguna adaptación que haya tenido la planta con respecto al metal o bien es una respuesta de sobrevivencia ante la fuerte contaminación del Pb (Cuadro 2).

Cuadro 2. Parámetros evaluados en el girasol (*Helianthus annuus* L.) En las prepruebas y pospruebas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.

Parámetros	Prepruebas			Pospruebas					
		500 mg/kg ⁻¹ Pb	600 mg/kg ⁻¹ Pb	700 mg/kg ⁻¹ Pb	Control	Media	Desv. Est.	Valor mín.	Valor máx.
	Sobrevivencia (%)	100	44	66	22	10	36	24	10
Altura (cm)	55	42	53	27	77	50	21	27	77
No. de hojas vivas	13	2	3	1	0	1	1	0	3
No. de Flores	0	1	1	1	1	1	0	1	1

Análisis de Pb en el girasol (*Helianthus annuus* L.)

En el cuadro 3 se presentan las concentraciones de Pb evaluadas en la planta a nivel de raíz se encontró una cantidad de 697 mg Kg⁻¹ en el tratamiento de 700 mg Kg⁻¹, es una concentración mayor que cualquiera de los demás tratamientos seguido del tratamiento 500 mg Kg⁻¹ con una cantidad en su tejido de 488 mg Kg⁻¹, después el tratamiento de 600 mg Kg⁻¹ con una acumulación de 386 mg Kg⁻¹, y el último de los tratamientos con una concentración menor en el control de 139 mg Kg⁻¹, debido a que el suelo originalmente contenía 1795 mg Kg⁻¹ del metal.

La concentración encontrada a nivel de tallo no presentó mucha diferencia ya que el valor máximo se encuentra en el tratamiento de 500 mg Kg⁻¹ con una cantidad de 263 mg Kg⁻¹, en el tratamiento de 700 mg Kg⁻¹ se encontró una concentración de 256 mg Kg⁻¹, seguido del tratamiento 600 mg Kg⁻¹ con una cantidad en su tejido de 230 mg Kg⁻¹, y el valor mínimo en el control con 170 mg Kg⁻¹.

La concentración a nivel de hojas al igual que en el tallo no hubo mucha diferencia entre los distintos tratamientos. Esta fue disminuyendo a comparación de las concentraciones de Pb encontradas en los órganos de la planta explicados anteriormente. En el tratamiento de 500 mg Kg⁻¹ se encontró una cantidad de 190 mg Kg⁻¹, que se describe como el valor mas alto en esta

parte de la planta seguido del tratamiento 700 mg Kg⁻¹, con una concentración de 180 mg Kg⁻¹, después el tratamiento 600 mg Kg⁻¹ con 169 mg Kg⁻¹, del metal y por ultimo con el valor mínimo el control con 163 mg Kg⁻¹.

En la parte floral de la planta se obtuvo concentraciones elevadas de 207 mg Kg⁻¹ en el tratamiento de 600 mg Kg⁻¹, seguido del tratamiento de 500 mg Kg⁻¹ con una cantidad absorbida de 174 mg Kg⁻¹, es siguiente tratamiento curiosamente fue en el control con una concentración de 141 mg Kg⁻¹, posiblemente también esta dado por la originalidad del suelo y agua que contenían concentraciones por encima de los límites aceptables, y por ultimo se dio en el tratamiento de 700 mg Kg⁻¹ con 73 mg Kg⁻¹ de Pb .

En la evaluación del metal en semillas, se obtuvieron concentraciones poco variables entre cada tratamiento, el mayor fue en el de 500 mg Kg⁻¹ con 168 mg Kg⁻¹, el de 600 mg Kg⁻¹ con 166 mg Kg⁻¹, el de 700 mg Kg⁻¹ con 160 mg Kg⁻¹ y por ultimo el control con una cantidad mínima de 128 mg Kg⁻¹.

Se obtuvieron datos estadísticos sobre las cantidades de Pb acumuladas en cada órgano de la planta; en la raíz se tuvo una sumatoria de todos los tratamientos de 1710 mg Kg⁻¹, una media de 428 y una desviación estándar de 232, en el tallo se tuvo una sumatoria de todos los tratamientos de 919 mg Kg⁻¹, una media de 230 y una desviación estándar de 42, en las hojas la sumatoria general de todos los tratamientos fue de 702 mg Kg⁻¹, una media de 176 y una

desviación estándar de 12, en las flores la sumatoria de todos los tratamientos fue de 595 mg Kg⁻¹, una media de 149 y una desviación estándar de 57 y finalmente en las semillas se obtuvo la sumatoria de 622 mg Kg⁻¹, una media de 56 y una desviación estándar de 19.

Por último se analizó la sumatoria, media y desviación estándar de las concentraciones de Pb por tratamiento en toda la planta, en el tratamiento de 500 mg Kg⁻¹, se encontró una sumatoria de 1283 mg Kg⁻¹, una media de 257 y una desviación estándar de 135. En el tratamiento de 600 mg Kg⁻¹, se encontró una sumatoria de 1158 mg Kg⁻¹, una media de 232 y una desviación estándar de 90. En el tratamiento de 700 mg Kg⁻¹, se encontró una sumatoria de 1366 mg Kg⁻¹, una media de 273 y una desviación estándar de 246. Y por último en el control, se encontró una sumatoria de 741 mg Kg⁻¹, una media de 148 y una desviación estándar de 18.

Se observó que el en tratamiento 700 mg Kg⁻¹ fue donde la planta absorbió una concentración mayor del metal con 1366 mg Kg⁻¹, y la que menos absorbió fue la de 600 mg Kg⁻¹ con 1158 mg Kg⁻¹ seguido del control con 741 mg Kg⁻¹ de Pb.

Esta investigación fue similar a la realizada por Rodríguez *et al.* (2006), que trabajaron con varias especies entre ellas *Helianthus annuus*, todas fueron cultivadas en macetas con suelo de textura franco arenosa que se

contaminó artificialmente con 0, 500 y 1000 mg de Pb Kg⁻¹. Los resultados que obtuvieron indicaron que esta especie tiene buena capacidad de adaptación a estos ambientes contaminados.

De acuerdo a los resultados, el girasol acumula altas concentraciones de Pb en las raíces, en menor cantidad en tallos, hojas, flores y semillas, estos resultados concuerdan con los resultados reportados por Lee *et al*, (2007).

Se observaron que a pesar de que las plantas de girasol contenían una alta concentración de Pb en sus tejidos, se adaptaron bien, se pudo observar la formación de semillas, y la terminación de su ciclo de vida, sin que aparentemente se observaran diferencias entre los tratamientos y el control. Se ha reportado que el girasol (*Helianthus annuus* L.), además de absorber Pb, puede ser usado también para la fitorremediación de más metales tóxicos como Cu, Zn, Hg, Cd y Ni en suelos altamente contaminados según Chhotu *et al*. (2008).

En el cuadro 4 se muestran los valores totales medios de Pb encontrados en suelo, agua y planta. Lo que se puede observar es que en el suelo se presentó una mayor concentración de Pb que en la planta, lo cual logró acumular hasta un 26 % del total del Pb que hay en el suelo. Esto corrobora la buena capacidad de adaptación que tiene esta especie a un ambiente contaminado sin problema alguno, lo cual se verificó en que el

tratamiento control comparado con los demás tratamientos presentó poca diferencia.

Cuadro 3 Concentración de Pb encontrado en las diferentes partes del girasol (*Helianthus annuus* L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.

Partes de la planta	Tratamientos				Σ	Media	Desv. Est.
	500 mg Kg ⁻¹	600 mg Kg ⁻¹	700 mg Kg ⁻¹	Control			
Raíz	488	386	697	139	1710	428	232
Tallo	263	230	256	170	919	230	42
Hojas	190	169	180	163	702	176	12
Flores	174	207	73	141	595	149	57
Semillas	168	166	160	128	622	156	19
Σ	1283	1158	1366	741	4548	1137	277
Media	257	232	273	148	910	379	55
Desv. Est.	135	90	246	18	465	174	91

Cuadro 4 Concentración total media de Pb encontrado en suelos, agua y planta de girasol (*Helianthus annuus* L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009

Variables	Concentración total de Pb
	Media
	Mg kg⁻¹
Suelo	3495
Agua	0.88
Planta	910

En el cuadro 5 se presentan los valores estadísticos básicos de las variables medidas en la planta del girasol, valores empleados para realizar el análisis de regresión múltiple correspondiente.

Cuadro 5 Valores estadísticos básicos de las variables evaluadas en el girasol (*Helianthus annuus* L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.

Variable	Unidades	No. de datos	Media	Desviación estándar	Valor mínimo	Valor máximo
Raíz	Mg kg ⁻¹	16	428	232	139	697
Tallo	Mg kg ⁻¹	16	230	42	170	263
Hojas	Mg kg ⁻¹	16	176	12	163	190
Flores	Mg kg ⁻¹	16	149	57	73	207
Semillas	Mg kg ⁻¹	16	156	19	128	168
Sobrevivencia	%	16	36	24	10	66
Altura	Cm	16	50	21	27	77

Modelo de predicción

El mejor modelo encontrado fue el que consideró la raíz como la variable dependiente. El cuadro 6 incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción de la raíz. Este Cuadro mostró que el modelo de predicción obtenido es altamente significativo con un coeficiente de determinación de 0.99, por lo que de acuerdo al análisis, el 99% de la variación de la raíz es explicado por las diferencias entre los valores del tallo, hojas, flores, semillas, sobrevivencia y altura, obtenidos después de los tratamientos aplicados al suelo de las macetas de girasol, el valor del coeficiente de

determinación obtenido considera al modelo bastante aceptable para este tipo de sistemas.

En relación con las variables independientes, el tallo (4.78) y semillas (4.14) y hojas (-6.51) y sobrevivencia (-0.62) presentaron valores altamente significativos ($P < 0.01$), lo que significa que posiblemente el crecimiento de la raíz está influenciado positivamente por el tallo y las semillas mientras que está negativamente influenciado por las hojas y la sobrevivencia. Las demás variables tuvieron poca significancia.

Correlación simple

En el cuadro 7 se observa que muchos pares de variables son los que destacan con valores positivos elevados, pero sobresale con mayor correlación la que obtuvieron los tallos en relación con las semillas con un valor de coeficiente de correlación de 0.91, seguida por el tallo con relación a la raíz con un valor de coeficiente de correlación de 0.89, lo que corrobora lo obtenido en el modelo de predicción. Las variables que presentaron correlaciones elevadas pero negativas fueron altura con relación a la raíz con un valor de coeficiente de correlación de -0.83, tallo con altura con un valor de correlación de -0.79. Estas correlaciones corroboran que efectivamente el tallo, semilla, raíz y altura son los que más influyen en el modelo de predicción mencionado.

Cuadro 6 Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción de la raíz del girasol (*Helianthus annuus* L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009

Fuente	GL	Suma de cuadrados	Cuadrado medio	Valor de f	probabilidad mayor de f	R²
Modelo	6	643079	107179	495.953	1x10 ⁻⁴	0.99
Error	9	1944	216			
Total	15	645024				

Variable	GL	Parámetros estimados	Error estandar	Probabilidad de T
Intercepto	1	132.43031	293.650391	0.6627
Tallo	1	4.788359	1.05902608	0.0014
Hojas	1	-6.513194	1.41566584	0.0013
Flores	1	-1.905397	0.23868926	0.0001
Semillas	1	4.140471	2.41440354	0.1205
Sob	1	-0.627813	0.58492176	0.3111
Altura	1	0.007144	0.54183326	0.9898

Cuadro 7. Correlación simple entre las variables evaluadas en el girasol (*Helianthus annuus* L.) en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. De 2009.

Pares de variables	Coficiente de correlación (R²)	Valor de P
tallo-raíz	0.89	0
tallo-hojas	0.87	0
tallo-flores	-0.09	0.73
tallo-semillas	0.91	0
tallo-sob	0.39	0.13
tallo-altura	-0.79	0
hojas-raíz	0.69	0
hojas-flores	-0.12	0.65
hojas-semillas	0.68	0.03
hojas-sob	0.09	0.7
hojas-altura	-0.7	0
flores-raíz	-0.47	0
flores-semillas	0.24	0.35
flores-sob	0.66	0
flores-altura	0.34	0.19
semillas-raíz	0.72	0
semillas-sob	0.68	0
semillas-altura	-0.67	0
sob-raíz	0.15	0.57
sob-altura	-0.006	0.98
altura-raíz	-0.83	0

CONCLUSIONES

Existen elevadas concentraciones de Pb en el suelo y agua de acuerdo a los límites establecidos en suelo según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 y en agua de acuerdo a lo aceptable en la NOM-127-SSA1-1994; esto no fue un impedimento para que el girasol pudiera tener un crecimiento aceptable, lo cual corrobora la capacidad de adaptarse en ambientes contaminados.

Las altas concentraciones de Pb contenido en el girasol en cantidades mayores en raíces, seguido de los tallos, hojas, flores y semillas, confirmaron que el girasol es una planta fitorremediadora.

No existió diferencia detectada entre los daños presentados por los tratamientos con respecto al control.

Las estrategias que el girasol emplea para adaptarse a ambientes contaminados con Pb probablemente sean tanto la evitación como la tolerancia.

Los análisis estadísticos demostraron que el mejor modelo de predicción encontrado fue el que consideró la raíz como la variable dependiente ya que

fue el lugar donde hubo más Pb (428 mg k^{-1}) acumulado. El modelo de predicción obtenido es altamente significativo con un coeficiente de determinación de 0.99, por lo que de acuerdo al análisis.

La correlación simple demuestra que las variables de tallo, semilla, raíz y altura fueron los que mas influyen en el modelo de predicción.

RECOMENDACIONES

Se recomienda estudiar más a profundidad el uso del girasol, ya que tiene dos funciones importantes encontradas en esta investigación; la primera, el girasol tiene capacidad de adaptarse en sitios contaminados y la segunda es una planta que tolera y evita las concentraciones altas en sus tejidos por lo cual se puede considerar como planta fitorremediadora de suelos contaminados.

Se recomienda usar la planta del girasol como fitorremediadora para descontaminar suelos contaminados con Pb.

Establecer una estrategia conjunta entre los diversos factores de la producción para estimular y motivar programas que conduzcan a la práctica de una agricultura inocua.

Se recomienda apoyar la fitorremediación que es una de las técnicas que tiene como objetivo; asimilar y desintoxicar metales pesados en el medio ambiente, compuestos orgánicos y compuestos radioactivos por medio de la acción combinada de plantas y microorganismos con capacidad fisiológica y bioquímica para absorber, retener, degradar o transformar sustancias contaminantes a formas menos tóxicas.

Una vez finalizado la utilidad de la planta, es necesario darle un tratamiento adecuado y una disposición final para evitar más contaminación por metales pesados, de igual manera con las cantidades restantes de suelo y agua.

LITERATURA CITADA

Al Benin, J.D Sargent, M. S. Roda. 1999. "High Concentrations of Heavy Metals in Neighborhoods Near Ore Smelters in Northern Mexico", Environmental Health Perspectives.

Anónimo. 1999. Herbolaria Mexicana. Guías prácticas. México Desconocido. Num. 4. Editorial México Desconocido. México D.F.

Apostoli, P., A. Baj, P. Bavazzano, A. Ganzi, G. Neri, A. Ronchi, L. Soleo, L. D. Lorenzo, P. Spinelli, T. Valentene, and C. Minoia. 2002. Blood lead reference values: the results of an Italian polycentric study. The Science of the Total Environment. 287: 1-11.

ATSDR. 2007. En línea. Toxicological Profile for Lead Department of Health and Human Services, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Public Health Services. (consultado el día 09 de octubre de 2009)

ATSDR. 2008. En línea. What is Lead? .Case studies in environmental medicine (CSEM). Agency for Toxic Substances & Diseases Registry http://www.atsdr.cdc.gov/csem/lead/pb_lead2.html. (consultado el día 11 de octubre de 2009)

Baker A. J. M, and R. R. Brooks.1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and fitochemistry. Biorecovery 1:81-126.

Calderon G., y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. Instituto de ecología. 2da. Edición. Edit. Conabio. Pag. 878.

Chhotu D. J. and H. F. Madhusudan. 2008. Phytoremediation: the application of vermicompost to remove zinc, cadmium, copper, nickel and lead by sunflower plant. Environmental Engineering and Management Journal Vol.7, No.5, 547-558

Chhotu D. J. and M. H. Fulekar. 2009. Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. Review article . African Journal of Biotechnology Vol. 8 (6), pp. 921-928.

Del Refugio M. 2009. En línea. La Comarca Lagunera, entre las más contaminadas. Revista técnico ambiental.

Hair, Jr. J.F., R.E. Anderson, R. L. Z. Tatham and W.C. Black. 1992. Multivariate data analysis. McMillan Publ. Co. New York. 544pp.

Higuera P. y R.Oyarzun. 2009. En línea. Límites de Toxicidad. Departamento de Ingeniería Geológica y Minera. Universidad Politécnica de Almeda, España. http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema08/Minerales_salud_2.htm (consultado el día 20 de octubre de 2009)

Hoel, G.P. 1988. Estadística Elemental. Sexta impresión. Ed.CECSA.Mex. D.F. pp 313 - 315

http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/china-reubican-a-miles-por-contaminacion/ (consultado el día 27 de octubre de 2009).

http://www.teorema.com.mx/contaminacion_/la-comarca-lagunera-entre-las-mas-contaminadas/.tubre (consultado el día 11 de octubre de 2009)

Khoshgoftarmanesh A. H. and R.L. Chaney 2007. Preceding Crop Affects Grain Cadmium and Zinc of Wheat Grown in Saline Soils of Central Iran. *Journal of Environmental Quality*. Vol. 36:1132–1136

Kramer, U., J. D. Cotter-Howells, J. M. Charnok, A. J. Baker, and J. A. Smith. 1996. Free histidine as a metal chelator in plants that accumulate nickel. *Nature* 379:635-638.

La Caxia fundación. 1995. Reutilización de residuos urbanos en agricultura Editorial Aedos.

Lasat M. M. 2002. Phytoextraction of toxic metals. A Review of Biological Mechanisms. Reviews and analyses. *Journal of environmental quality* 31:109-120

Lee, J., K. Back, H. Kim, S. Kim, J. Kim, Y. Kwan, Y. Chang and B. Bae. 2007. Phytoremediation of soil co-contaminated with heavy metals and TNT using four plant species. *Journal Environ Sci Heath A tox Hazard subst Environ eng.* 42:13 pages 2039-45.

Lenntech. 2009. Online. Chemical Properties of Lead. Water Treatment Solutions. <http://www.lenntech.es/periodica/elementos/pb.htm> (Consultado el día 28 de octubre de 2009).

Llugany M., R. Tolrá , C. Poschnrieder y J. Barceló. 2007. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?. Artículo de revisión. *Revista científica y técnica de ecología y Medio ambiente* Vol. 16 (2) : 4-9

- López L., C. Martínez., H. Arizpe y G. Guzmán. 2000. Niveles de Plomo en Sangre en Recién Nacidos y su Relación con el Peso al Nacer. Revista Salud Pública y Nutrición. Vol. 1 No.2. pg. 25.
- López, M. E. 2006. Evaluación de la retención del plomo por (*Bougainvillea spectabilis*) aledaña a la industria Met-Mex Peñoles, Torreón Coahuila, México. Tesis profesional. UAAAN-UL, Torreón, Coahuila. 46 p.
- Madinaveitia, R. H., N. Bautista, E. Cervantes, L. J. Hermosillo. 2007. Contaminación de Plomo en Suelos Aledaños a la Metalúrgica Met-Mex Peñoles ubicada en Torreón Coahuila, México. Memoria de resúmenes del XVII, Congreso latinoamericano de la Ciencia del Suelo. León Guanajuato. P. 87.
- Manzanares-Acuña E., H. Vega-Carrillo, M. Salas-Luévano, V. Hernández-Dávila, C. Letechipía-de León y R. Bañuelos-Valenzuela. 2006. En línea. Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo, Zacatecas, México. Salud pública México, vol.48, n.3, pp. 212-219. ISSN 0036-3634.
- Márquez A., W. Senior, I. Fermín, G. Martínez, J. Castañeda y A. González. 2008. Cuantificación de las concentraciones de metales pesados en tejidos de peces y crustáceos de la Laguna de Unare, estado Anzoátegui, Venezuela. Revista Científica, FCV-LUZ / Vol. XVIII, Nº 1, 73 – 86.
- Martínez, M. 1994. Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de Plantas Mexicanas. Tercera reimpresión. Fondo de cultura económica S.A. de C. V. México D.F. 1247 p.

Morton O. 2006. Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México. Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, Vol. 9 (1):45-47.

Nehnevajova, R., G. Herzing, K. Federer, H. Erismann and I. P. Schwitzguebel. 2005. Screening of sunflower cultivars for metal phytoextraction in a contaminated field prior to mutagenesis. J. Phytoremediation. 7:4. p. 337-49.

Norma oficial mexicana NOM-021-RECNAT-2000. 2002. Establece las especificación de de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. <http://www.semarnat.gob.mx/leyesy normas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-021-RECNAT-2000.pdf>. (Consultado el día 22 de noviembre de 2009)

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 Octubre de 2009).

Norma oficial mexicana NOM-199-SSA1-2000. 2009. En línea. Salud ambiental. Niveles de plomo en sangre y acciones como criterios para proteger la salud de la población expuesta no ocupacionalmente. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/199ssa10.html> (consultado el día 6 de noviembre de 2009).

Nriagu, J. O. and J. M. Pacyna.1988. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils by trace metals. *Nature* 333:134-139.

Ona, L. F., A. M. Alberto, J. A. Prudente, and G. C. Sigua. 2006. Levels of lead in urban soils from selected cities in a central region of the Philippines. *Environ Sci Pollut Res Int* Vol. 13(3):177-83.

Orden jurídico. 2009. En línea. Proyecto de norma oficial mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio.

[http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Proyectos/111112005\(1\).pdf](http://www.ordenjuridico.gob.mx/Federal/PE/APF/APC/SEMARNAT/Proyectos/111112005(1).pdf) (consultado el 26 de Noviembre del 2009)

Ortega M. N. 2008. Fitorremediación de suelos contaminado por Plomo, Cadmio y Arsénico mediante la especie vegetal *Nicotiana glauca* G. Tesis profesional. UAAAN-UL. Torreón, Coahuila. 67 p.

Pérez Z.L.A. 2008. Fitorremediación de suelo contaminado por Pb y Zn mediante la especie vegetal *Nicotiana glauca* G. Tesis profesional. UAAAN-UL. Torreón, Coahuila 44 p.

Rivera L.M. 2009.En línea. Daño neurológico secundario a la intoxicación por plomo en niños, <http://www.ejournal.unam.mx/rfm/no47-4/RFM47406.pdf>. (consultado el 25 de octubre de 2009)-

- Rodríguez J.C., H. Rodríguez, G. De Lira, J. Martínez y J.L Lara. 2006. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados. Revista Fitotecnia Mexicana Vol. 29 (3):239-245.
- Romieu, I. y E. Palazuelos. 2003. En línea. Envenenamiento infantil por plomo. Salud pública México.vol.45, suppl.2, pp. 181-182. ISSN 0036-3634.
- Rosen. 1992. "Effects of Low Levels of Lead Exposure", Science 256 pg. 294.
- Saavedra, M. M. 2006. En línea. Manejo del cultivo de tilapia. Disponible en www.manejodelcultivodetilapia.pdf consultado el 25 de noviembre de 2009.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana S.A. de C. V. México D.F. 759 p.
- SAS Institute, Inc., 2001. SAS/STAT User's guide. 1200 p. Cary, N. C., U. S. A.
- Sthos, S. J. and D. Bagchi. 1995. Oxidative mechanisms in the toxicity of metal ions. Free Radic.Biol. Med.18:321-336.
- StreetPilotGPS. 1998. GARMIN International, Inc., 1200 E. 151 St. Street, Olathe, KS 66062 USA. Impreso en Taiwán R.O.C.
- Suping Z. 2009. En línea. China: reubican a miles por contaminación, Miles de niños se encuentran envenenados por vivir cerca de plantas de fundición de plomo. Revista técnico ambiental.
- Taiz, L. y E. Zeiger. 1998. Plant Physiology. Sinauer Associates, Inc. P. O. Box 407. 23 Plumtree Road, Sunderland, MA, 01375 U.S.A. 792 p.

- Taylor, G. J. 1987. Exclusión of metal from the symplasm: A possible mechanism of metal tolerancia in higher plants. *Journal of plant nutrition* 10:1213-1222.
- Triana, Z. G. 2008. Contaminación por cadmio en suelos aledaños a Met.-Mex. Peñoles y retención de este metal por la *Bougainvillea* spp. Tesis profesional. UAAAN UL. Torreón Coahuila. 41 p.
- Universidad Autónoma Chapingo. 1998. Anteproyecto de Norma Oficial Mexicana de Procedimientos de Análisis de Suelos y Certificación de Laboratorios, Departamento de Suelos de la UACH.
- USDA-ARS. 2006 .Laboratory Manual for Nutrient Management & Mineral Nutrition Program. Agricultural Research Service, Soil Plant Nutrient Research Unit. Fort Collins, CO. USA. 45 p.
- Valdés P., F. y V.M. Cabrera 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México 1^a Ed. Texas Center for policy studies, CILADHAC, Torreón, Coahuila, México.
- Volke, S. T., J. A Velasco, T. y A. De La Rosa. 2005. Suelos Contaminados por Metales y Metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. S y G Editores, S.A. de C.V., México, D. F. ISBN: 968-817-492-0

APÉNDICE

Cuadro 8. Parámetros analizados en el suelo antes del experimento realizado en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.

Muestras	pH	C.E.	D.A.	M.O.	Cl	SO ₄	NO ₃	Pb	Cd	Zn	As
		μS/cm	(mel/lit)	%	(mel/lit)	(mel/lit)	(mgkg ⁻¹)				
M1S	7.93	833	1.13	2.13	1	0.250	124.28	1780	123	73	0.05
M2S	7.73	652	1.27	1.05	1	0.125	196.03	1800	121	72	0
M3S	7.43	1303	1.36	2.52	1	0.265	261.904	1810	128	69	0
M1V	7.86	804	1.23	1.46	1	0.221	24.21	1810	119	74	0
M2V	8.02	595	1.38	1.27	1	0.042	15.789	1800	113	74	0.1
M3V	7.85	11.7	1.08	1.11	20	0.183	21.052	1770	110	72	0
Media	7.8	699.78	1.24	1.59	4.16	0.181	107.21	1795	119	72.33	0.025

Cuadro 9. Parámetros analizados en el agua antes del experimento realizado en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.

Muestras	PH	C.E	Cl	SO ₄	NO ₃	Pb	Cd	Zn	As
		μS/cm	(mel/lit)	(mel/lit)	(mgkg ⁻¹)				
A1	7.81	307	0.20	0.52	6.3	1.05	1.15	0.6	0
A2	7.72	371	0.32	0.22	8.47	0.98	1.6	0.64	0
Media	7.77	339	0.26	0.37	7.40	1.01	1.37	0.62	0

Cuadro 10. Datos tomados en el girasol en prepruebas, realizadas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.

Tratamiento	No. Maceta	Altura (cm)	No. De Hojas
500	1	66.5	12
500	2	55	13
500	3	61	17
500	4	71	17
500	5	78.5	18
500	6	74	14
500	7	39	14
500	8	76	16
500	9	75.5	16
600	10	74	16
600	11	32	10
600	12	59	15
600	13	89	22
600	14	48.5	9
600	15	13	12
600	16	74	19
600	17	61	15
600	18	56	15
700	19	31	9
700	20	71	16
700	21	67	16
700	22	41.5	15
700	23	61	18
700	24	32	9
700	25	53	15
700	26	61.5	14
700	27	68.5	18
0	28	61	14
0	29	31.5	6
0	30	24.5	6
0	31	69	14
0	32	65	17
0	33	75	16
0	34	59	11
0	35	36	10
0	36	41.5	8

Cuadro 11. Datos tomados en el girasol en pospruebas, realizadas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango. Abril-Dic.2009.

Tratamiento	No.Maceta	Sobrevivencia	No. Hojas vivas	No. Flores	Altura (cm)
500	1	1	5	2	96
500	2	0	0	1	0
500	3	1	4	3	80
500	4	0	0	1	0
500	5	1	0	1	101
500	6	0	0	0	0
500	7	0	0	1	0
500	8	1	7	1	95
500	9	0	0	1	0
600	10	1	1	1	80
600	11	1	2	2	59
600	12	0	0	1	0
600	13	0	0	1	0
600	14	1	8	3	89
600	15	1	1	1	67
600	16	0	0	1	0
600	17	1	10	1	101
600	18	1	7	1	86
700	19	0	0	0	0
700	20	1	5	1	85
700	21	0	0	1	0
700	22	0	7	1	82
700	23	0	0	1	0
700	24	0	0	1	0
700	25	1	1	1	79
700	26	0	0	0	0
700	27	0	0	1	0
0	28	0	0	1	79
0	29	0	0	1	71
0	30	0	0	1	33
0	31	0	0	1	93
0	32	0	0	1	90
0	33	0	0	1	105
0	34	0	0	1	71
0	35	1	0	1	101
0	36	0	0	0	52
	Media.	0.36	1.61	1.05	49.86

Cuadro 12. Cantidad de Pb aplicado por tratamiento en las plantas por maceta de girasol en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango, abril-dic. De 2009.

Tratamientos	No. macetas	Peso de maceta (kg)	Tratamientos de pb calculados (mg)	Tratamiento por peso (mg)	por Pb (g)	Suma total por tratamiento (g)
I(500)	1	3	916.28	2748.86	2.75	
I(500)	2	6.5	916.28	5955.85	5.96	
I(500)	3	8.5	916.28	7788.42	7.79	
I(500)	4	5.5	916.28	5039.57	5.04	
I(500)	5	6.5	916.28	5955.85	5.96	
I(500)	6	4.5	916.28	4123.28	4.12	
I(500)	7	6	916.28	5497.71	5.50	
I(500)	8	6.5	916.28	5955.85	5.96	
I(500)	9	4.5	916.28	4123.28	4.12	47.19
II(600)	10	7	1099.53	7696.75	7.70	
II(600)	11	7.5	1099.53	8246.52	8.25	
II(600)	12	4.5	1099.53	4947.91	4.95	
II(600)	13	4.5	1099.53	4947.91	4.95	
II(600)	14	6.5	1099.53	7146.98	7.15	
II(600)	15	8	1099.53	8796.29	8.80	
II(600)	16	7.5	1099.53	8246.52	8.25	
II(600)	17	7	1099.53	7696.75	7.70	
II(600)	18	4.5	1099.53	4947.91	4.95	62.67
III(700)	19	7.5	1282.79	9620.94	9.62	
III(700)	20	7	1282.79	8979.54	8.98	
III(700)	21	4	1282.79	5131.17	5.13	
III(700)	22	6.5	1282.79	8338.15	8.34	
III(700)	23	9	1282.79	11545.13	11.55	
III(700)	24	5.5	1282.79	7055.36	7.06	
III(700)	25	6	1282.79	7696.75	7.70	
III(700)	26	5.5	1282.79	7055.36	7.06	
III(700)	27	5	1282.79	6413.96	6.41	71.84
IV(0)	28	5.5	0	0.00	0.00	
IV(0)	29	5	0	0.00	0.00	
IV(0)	30	5.5	0	0.00	0.00	
IV(0)	31	5	0	0.00	0.00	
IV(0)	32	6	0	0.00	0.00	
IV(0)	33	6.5	0	0.00	0.00	
IV(0)	34	6.5	0	0.00	0.00	
IV(0)	35	9.5	0	0.00	0.00	
IV(0)	36	9	0	0.00	0.00	
Total					181.70	181.70

Cuadro 13. Medición de parámetros del girasol en las prepruebas y pospruebas en el vivero del ejido la Perla municipio de Nazas, Durango, Abril- Dic. De 2009.

Mediciones de parámetros							
Tratamiento	No.Maceta	Altura		No. De Hojas		Sobrevivencia	No. Flores
		Prepruebas	Pospruebas	Prepruebas	Pospruebas	Pospruebas	
500	1	66.5	96	12	5	1	2
500	2	55	0	13	0	0	1
500	3	61	80	17	4	1	3
500	4	71	0	17	0	0	1
500	5	78.5	101	18	0	1	1
500	6	74	0	14	0	0	0
500	7	39	0	14	0	0	1
500	8	76	95	16	7	1	1
500	9	75.5	0	16	0	0	1
600	10	74	80	16	1	1	1
600	11	32	59	10	2	1	2
600	12	59	0	15	0	0	1
600	13	89	0	22	0	0	1
600	14	48.5	89	9	8	1	3
600	15	13	67	12	1	1	1
600	16	74	0	19	0	0	1
600	17	61	101	15	10	1	1
600	18	56	86	15	7	1	1
700	19	31	0	9	0	0	0
700	20	71	85	16	5	1	1
700	21	67	0	16	0	0	1
700	22	41.5	82	15	7	0	1
700	23	61	0	18	0	0	1
700	24	32	0	9	0	0	1
700	25	53	79	15	1	1	1
700	26	61.5	0	14	0	0	0
700	27	68.5	0	18	0	0	1
0	28	61	79	14	0	0	1
0	29	31.5	71	6	0	0	1
0	30	24.5	33	6	0	0	1
0	31	69	93	14	0	0	1
0	32	65	90	17	0	0	1
0	33	75	105	16	0	0	1
0	34	59	71	11	0	0	1
0	35	36	101	10	0	1	1
0	36	41.5	52	8	0	0	0
Media		57	49.86	13.94	1.61	0.36	1.05

Cuadro 14 Datos empleados para el modelo de regresión y correlación simple en el girasol (*Helianthus annuus* L.) vivero del ejido la Perla municipio de Nazas Durango. Abril-Dic. 2009

TRATAMIENTO	RAIZ mg kg ⁻¹	TALLO mg kg ⁻¹	HOJAS mg kg ⁻¹	FLORES mg kg ⁻¹	SEMILLAS mg kg ⁻¹	SOB (%)	ALTURA (cm)
500	488	263	190	174	168	44	42
500	490	261	187	171	165	50	70
500	485	266	192	175	169	37	35
500	489	262	191	176	170	46	21
600	386	230	169	207	166	66	53
600	388	229	168	209	167	68	57
600	387	228	165	206	168	98	68
600	383	233	174	208	163	35	34
700	697	256	180	73	160	22	27
700	695	257	182	71	157	25	35
700	696	253	177	72	162	18	20
700	700	258	181	76	161	24	26
0	139	170	163	141	128	10	77
0	139	174	164	138	129	9	69
0	138	167	165	142	130	7	76
0	140	169	160	143	125	15	86