

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“Contaminación por Metales Pesados en Suelos de la
Comarca Lagunera”**

POR

NORMA EDITH RODRIGUEZ GARRIDO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL

TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Contaminación por Metales Pesados en Suelos de la Comarca Lagunera”

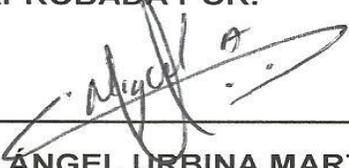
TESIS ELABORADA POR LA C. NORMA EDITH RODRIGUEZ GARRIDO BAJO
SUPERVISIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORIA Y APROBADA COMO

REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

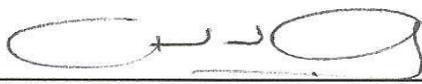
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

Asesor Principal: _____


MC. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

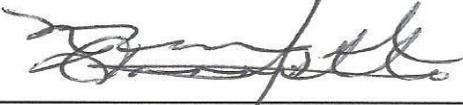
Asesor: _____


MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA

Asesor: _____


ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO

Asesor: _____


Q.F.B. NORMA LYDIA RANGÉL CARRILLO


Dr. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

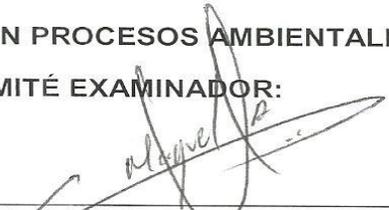
“Contaminación por Metales Pesados en Suelos de la Comarca Lagunera”

TESIS DE LA C. NORMA EDITH RODRIGUEZ GARRIDO QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

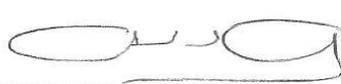
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

COMITÉ EXAMINADOR:

PRESIDENTE _____


MC. MIGUEL ÁNGEL URBINA MARTÍNEZ

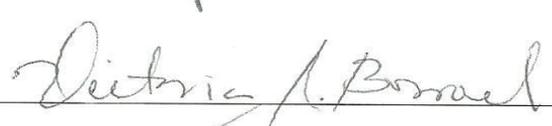
VOCAL _____


MC. CYNTHIA DINORAH RUEDAS ALBA

VOCAL _____

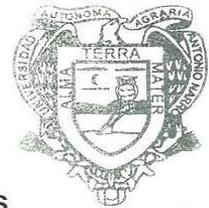

ING. RUBÍ MUÑOZ SOTO

VOCAL SUPLENTE _____


MC. VICTORIA JARED BORROEL GARCÍA


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

DICIEMBRE DE 2012

AGRADECIMIENTOS

A Dios y la morenita por terminar este proyecto, gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por estar conmigo en cada momento de mi vida.

A mi "Alma Terra Mater", por mi carrera, por la estancia que me brindo por ser la segunda casa donde aprendí cosas nuevas.

Al Dr. Miguel Ángel Urbina Martínez, por haberme brindado incondicionalmente su valioso apoyo y tiempo, como también por haber permitido realizar mí proyecto de investigación, por su asesoría, por compartir sus conocimientos y por su gran calidad de ser humano.

M.C. Cynthia Dinora Ruedas por su amistad y por ser una excelente persona.

DR. Agustín Cabral Martell por su sabios consejos y ser un gran amigo.

ING. Rubí Muñoz Soto por su gran ayuda y por ser una excelente persona.

A la Q.F.B. Norma Lydia Rangel carrillo por su amistad, confianza y sus consejos y su apoya en la realización de mis resultados de este proyecto.

DEDICATORIAS

A mi madre Fabiana Elena Garrido Vázquez por ser mi mejor amiga, mi aliada, mi ejemplo gracias por el apoyo y la confianza y por existir en mi vida por apoyarme siempre en las locuras de mi vida por estar a pie de cañón por sus consejos por que es mi motor para seguir acumulando éxitos.

A mi padre Miguel Rodríguez Villa por ser mi ejemplo a seguir por ser mi amigo por apoyarme en todas mis decisiones por la confianza por su gran sacrificio por lo cual hoy en día es recompensado.

A mí querida hermana Guadalupe Rodríguez Garrido por que no solo eres mi hermana sino mi amiga, mi mejor consejera gracias por su gran apoyo por que en cada decisión estuviste a mi lado, por compartir toda mi vida a tu lado.

A mama Elvira que siempre confió en mi que aunque no esta sé que esta orgullosa y que tengo un angelito que me cuida.

A mi abuelita angelitahabermé inculcado una buena educación, enseñarme los valores de la vida, por cuidarme en mi niñez por ser tan amorosa.

A mi Novio Florisel Pérez Constantino por estar a mi lado en las buenas y en las malas por compartir los mejores momentos y por ser parte de mi vida.

A mis tías Carolina, luz María, Alejandra, Marina, Aurelia, Irma, Julia gracias por sus oraciones y por apoyarme en los momentos más difíciles por no dejarme sola.

A mis primas María José, María Luisa, Betty, Alejandro, Toña, luz María... por su apoyo y por darme ánimos cuando todo lo veía gris por creer en mi y por sus consejos.

A mis primos: Miguel Ángel, pablo, Elías, Alejandro, Víctor, David, Felipe, Alberto, miguel... por su apoyo incondicional.

A mis amigas Claudia, Patricia, Mara, lupita, Lidia, Viri, Mari, Adriana, Anita, Arely... gracias por su gran amistad por que son parte una etapa de mi vida y por estar en los momentos precisos.

A mis amigos Manuel, Héctor, Jairo, Cesar, Edson, Héctor, José Luis, por su amistad incondicional por lo años de convivencia.

A la Madre Irene por sus sabios consejos y por sus oraciones por estar en el momento preciso por el cariño que le tenemos.

INDICE GENERAL

GRADECIMIENTOS.....	I
DEDICATORIAS	II
ÍNDICE DE CUADRO.....	VI
ÍNDICE DE GRAFICAS.....	VI
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivos	3
1.1.1. Objetivo general	3
1.1.2. Objetivos específicos:.....	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El suelo	4
2.2. Metales pesados	4
2.1.1. Importancia de los metales pesados	5
2.1.2. Origen de la contaminación por metales pesados	5
2.1.3. Características de los metales pesados	6
2.1.4. Efecto de los metales pesados en el suelo.....	6
2.1.5. Dinámica de los metales pesados en las interacciones planta-suelo.....	8
2.1.6. Contaminación de agua por metales pesados	8
2.1.7. Importancia Ambiental y Económica de los metales pesados.....	9
2.1.8. Contaminación causada por la industria minera	10
2.2. Arsénico(As).....	11
2.2.1. Propiedades	12
2.2.2. Efectos en la salud	13
2.2.3. Arsénico en plantas	13
2.2.4. Arsénico en el ambiente	13
2.2.5. Arsénico en suelos	14
2.2.6. Concentración de arsénico en suelos.....	14
2.3. Cadmio (Cd).....	15
2.3.1. Propiedades	15
2.3.2. Usos del Cd.....	15

2.3.3. Efectos del cd en la salud.....	16
2.3.4. Cd en plantas	16
2.3.5. Cadmio en el ambiente.....	17
2.3.6. Cadmio en el suelo.....	18
2.4. Plomo (Pd).....	18
2.4.1. Propiedades	19
2.4.2. Efectos en la salud	19
2.4.3. Plomo en planta- suelo.....	20
2.4.4. Plomo en el ambiente.....	20
2.5. Zinc (Zn).....	21
2.5.1. Propiedades	21
2.5.2. Efectos en la salud	21
2.5.3. Efectos del Zn en el medio ambiente.....	22
2.6. Metales pesados en la comarca lagunera	23
2.7. Calidad de suelos contaminados relacionado con la biodisponibilidad	23
2.8. Norma oficial mexicana del Pb, Cd y Zn.....	24
2.8.1. Norma oficial mexicana (NOM-001-ECOL-1996).....	25
2.8.2. Límites máximos permisibles de metales pesados en el suelo según normas extranjeras.	25
III. MATERIALES Y METODOS	26
3.1. Localización geográfica de los puntos de muestreo	26
3.2. Clima.....	26
3.3. Determinación de los sitios de muestreo	27
3.4. Toma de muestras	27
3.5. Preparación de la Muestra	28
3.6. Análisis Físicos y Químicos.....	28
3.7. Análisis de metales pesados y arsénico	28
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	29
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	30
V. CONCLUSIONES	32
VI. RECOMENDACIONES	33
VII. BIBLIOGRAFIA	34

ÍNDICE DE CUADRO

Cuadro 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo del suelo.....	26
Cuadro 2. Basado de acuerdo a la Normatividad.	31

ÍNDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1.- Ubicación geográfica del área de estudio_	27
Grafica 2. Determinación de la concentración de metales pesados se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380.	32

RESUMEN

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos. El presente trabajo tiene como objetivo analizar la concentración de metales pesados arsénico (As), plomo (Pb), Zinc (Zn) y Cadmio (Cd) en suelos agrícolas de la comarca lagunera. Se hicieron muestreos de suelo el 12 de octubre del 2011, dentro de un área de siembra de hortalizas bajo agricultura orgánica, en el ejido Venecia Durango. Municipio de Gómez Palacio y La segunda localidad esta se encuentra en un área de cultivo hortícola convencional donde se emplean prácticas agrícolas de fertilización química. Ubicada en Cd. Juárez Municipio de Cd. Lerdo Durango, al azar se tomaron 15 muestras de 15 cm a 30 cm de profundidad, tomando una distancia variable entre cada muestra, los análisis de las muestras se realizaron en las instalaciones de la UAAAN UL. Para determinar la concentración de metales pesados se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380, el cual es un aparato muy utilizado para el estudio cuantitativo de casi todos los metales de la tabla periódica. Con base en los resultados obtenidos, se observo la presencia de plomo (Pb), cobre (Cu), zinc (Zn), cadmio (Cd), nitratos (NO₃) y materia orgánica. Se determino que los metales de este estudio se encuentran fuera de los límites máximos permisibles establecidos por las normas internacionales con la que se compararon (EPA y Holanda). La presencia de metales encontrados en el presente trabajo es posible que se deba a las fertilizaciones excesivas que se aplican a los cultivos que se desarrollan en las comunidades aledañas al predio.

Palabras claves: Metales pesados, suelo, sustrato, contaminación, medio ambiente.

ABSTRACT

Heavy metals have become a hot topic in the field both in environmental and public health. The damage they cause is sometimes so severe and so absent of symptoms, the environmental and health authorities around the world devote much attention to minimize exposure of the population, particularly among children, these toxic elements. This paper aims to analyze the concentration of heavy metals arsenic (As), lead (Pb), Zinc (Zn) and cadmium (Cd) in agricultural soils of the Laguna Region. Soil samples were made on October 12, 2011, within an area of growing vegetables under organic farming in Ejido Durango Venice. Municipality of Gomez Palacio and The second location is located in an area where conventional horticultural crop farming practices used chemical fertilizer. Located in Cd CdLerdo Durango Township, 15 random samples were taken from 15 cm to 30 cm deep, having a variable distance between each sample, analyzes of the samples were performed in the facilities of the UL UAAAN. To determine the concentration of heavy metals are used the atomic absorption spectrophotometer of Perkin Elmer model 2380, which is a widely used device for the quantitative study of almost all metals of the periodic table. Based on the results, we observed the presence of lead (Pb), copper (Cu), zinc (Zn), cadmium (Cd), nitrate (NO₃) and organic matter. It was determined that the metals in this study is outside the limits set by international standards with which we compared (EPA and Holland). The presence of metals found in the present study may be due to excessive fertilizer applied to crops grown in the communities surrounding the campus

I.INTRODUCCIÓN

La salud del suelo es un término que es ampliamente utilizado dentro de discusiones sobre agricultura sostenible describir el estado general o la calidad del recurso del suelo. Esta degradación ocurre a veces rápidamente y obviamente, cuando la gerencia del suelo pobre lleva a la erosión en cárcavas. La degradación es a menudo más lenta y más sutil, y puede afectar solamente la producción agrícola y el ambiente durante años. Por esta razón, la investigación se ha dirigido a idear las medidas de la salud del suelo, que se podría utilizar para supervisar su condición y para informar a su gerencia para evitar la degradación (Kibblewhite et al., 2008).

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de la salud pública. Los daños que causan son tan severos y en ocasiones tan ausentes de síntomas, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de la población, en particular de la población infantil, a estos elementos tóxicos (Valdés-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 2010).

La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, éstos pueden quedar retenidos en el mismo pero también pueden ser movilizados en la fase acuosa o solución del suelo mediante diferentes mecanismos físicos, químicos y biológicos (Pagnanelli et al., 2004).

Un conocimiento exacto de las concentraciones de los metales pesados, las formas en las cuales se encuentran, su dependencia de características fisicoquímicas del suelo proporciona una base para la gerencia cuidadosa del suelo que limitará, lo más lejos posible, el impacto negativo de metales pesados en el ecosistema (Aydinalp y Marinova, 2003).

La biodisponibilidad de los metales pesados depende de un número de factores físicos y químicos en el suelo. Éstos incluyen las características del pH del suelo, el contenido de la materia orgánica, el sulfato, el carbonato, el hidróxido, la textura del suelo y el contenido de la arcilla (Mwegoha y Kihampa, 2010).

La amenaza de los metales pesados en el medio ambiente puede ser reducida por la fijación en el suelo mismo, por lo que la reducción de la biodisponibilidad y en el riesgo de movilidad adicional. Hasta ahora una cantidad considerable de investigación se ha realizado sobre la adición de compuesto o ciertos tipos de minerales para inmovilizar los metales pesados (Herwijnen et al., 2006).

La explotación y beneficio de los recursos minerales, históricamente no controlados (desde un punto de vista ambiental), en el distrito minero de Sta María de la Paz, ha provocado que se presente una extensa contaminación de suelos y sedimentos por arsénico y metales pesados (Pb, Zn, Cu) en el área de Villa de la Paz -Matehuala, S.L.P. 84 % de las muestras de suelo tanto en áreas urbanas como rurales presentaron una concentración de arsénico mayor de 100 mg/Kg, la cual es considerada por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA) como el nivel máximo permisible a partir del cual se recomienda la remediación de un sitio (Monroy et al., 2010).

Una vía de exposición importante de traza de metal a los seres humanos es través del consumo de las plantas, la traza de metal por la planta depende de varios factores de los cuales son el parámetro del suelo, característica de la planta y también las propiedades de un elemento biogeoquímico (Kabata et al., 1992).

En suelos ácidos, los niveles elevados de metales solubles (particularmente Aluminio o manganeso) pueden ocurrir, mientras que las altas concentraciones de otros metales (tales como Cu o Pb) pueden estar presentes en los sitios contaminados por la agricultura, la explotación minera, la industria, o el transporte. Muchos metales tales como Cu, Mn, y Zn son esenciales para el crecimiento de plantas y de animales, pero son tóxicos a concentraciones elevadas (Kopittke et al., 2010).

La importancia de la hiperacumulación se da por que los metales pesados están presentes de forma natural en los suelos, pero en los últimos años las actividades industriales y la deposición de residuos tóxicos de todo tipo han contribuido a la acumulación de estos elementos en los suelos. A menudo la contaminación por metales pesados está directamente causada por la actividad

industrial y minera, pero los casos más graves se han dado de forma accidental. Metales como el Pb, Hg, Cd, As, Se y Cr son muy dañinos para la salud humana y para la de la mayoría de organismos vivos (Llugany et al., 2007).

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

El objetivo General de este proyecto es determinar la concentración de metales pesados Pb, Zn, As y Cd en suelos de la comarca lagunera provocados por las industrias.

1.1.2. Objetivos específicos:

- Analizar las propiedades y características edáficas de estos suelos agrícolas.
- Determinar el contenido total y extraíble de cuatro metales pesados (As, Cd, Pb, Zn,) en diferentes muestras de suelos seleccionadas aleatoriamente.
- Determinar el contenido de los metales pesados anteriormente mencionados en algunos cultivos hortícolas, evaluando las diferencias respecto a las prácticas agrícolas principalmente el riego.

1.2. Hipótesis

Los suelos de los alrededores de la Comarca Lagunera presentan una concentración de metales pesados como (As, Cd, Pb, Zn, Mg, Cu, Hg), que rebasan los límites máximos permisibles, ya que desde el suelo los metales pueden ser transferidos a otras partes del ecosistema entrando en la cadena trófica.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El suelo

El suelo se forma por la interacción de los sistemas atmósfera, hidrosfera y biosfera sobre la superficie de la geosfera. La meteorización química y mecánica de las rocas y la influencia de ciertos procesos microbiológicos producen el suelo. La interacción con el Hombre, un componente singular de la biosfera, puede romper también el equilibrio, debido a su uso de la agricultura, industria, minería y ganadería (Galán-Huertos y Romero-Baena, 2008).

El suelo es el componente del medio ambiente que ha sufrido mayor deterioro respecto a los factores agua y aire. Constituye la parte superficial de la tierra y tiene marcada importancia en la vida del hombre, animales y plantas porque proporciona los alimentos y sustento para la supervivencia. Su contaminación ocurre por los aportes de materia orgánica e inorgánica que rompen el equilibrio normal entre el medio físico, químico y biológico, compatible con la vida (Nápoles *et al.*, 2005).

En los últimos años, y en las condiciones actuales en las que se han desarrollado las actividades agrícolas en México, pueden apreciarse diversas fuentes de contaminación que, con el paso del tiempo, tienden a provocar la alteración del suelo y a repercutir en la producción de los cultivos (Balderas-Plata *et al.*, 2003).

2.2. Metales pesados

Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales (Spain., 2003).

Los metales pesados son parte fundamental de las fuentes antropogénicas provenientes de desechos domésticos, agrícolas e industriales, los cuales son peligrosos para la biota marina, el hombre y el deterioro ambiental en general (Acosta et al., 2002; Amat-Infante et al., 2002; González-Lozano et al., 2006).

Los metales pueden ser oxidados, reducidos o complejados, dependiendo del dinamismo del entorno químico en el que se localicen (García-Céspedes *et al.*, 2004).

Los metales pesados son especialmente interesantes desde el punto de vista ambiental y toxicológico por su alta toxicidad y su bioacumulación (Villalobos-Jáuregui *et al.*, 2006).

2.1.1.Importancia delos metales pesados

2.1.2.Origen de la contaminación por metales pesados

La contaminación de metales pesados de paisajes es una ocurrencia común debido a la explotación minera y a la contaminación industrial. Esto tiene implicaciones significativas para la salud humana y la capacidad de ecosistemas de funcionar correctamente. Los estudios de las respuestas microbianas de la comunidad a la contaminación de metales pesados y de la remediación de los sitios del mundo real del multi-metal se han hecho raramente. Es importante entender cómo los microorganismos son afectados por esta contaminación porque controlan la mayoría de los procesos y de la productividad biogeoquímicos del ecosistema. Además, los métodos rápidos y de confianza para supervisar comunidades microbianas del suelo son necesarios conjuntamente con pruebas fisicoquímicas dirigir la remediación y proporcionar medios de determinar el grado y el nivel de restauración de suelos contaminados (Hinojosa et al., 2005).

La planta terrestre típica tiene una capacidad limitada para hacer frente a exceso de metales, el enfoque principal que la mayoría de las plantas utilizan para

hacer frente a los metales pesados es el almacenamiento en la pared celular de la raíz y la vacuola, lo que mantiene el metal pesado se encuentra en el citoplasma de la raíz y, lo más importante, desde el rodaje que minimiza metales pesados asociado a los daños en el aparato fotosintético (Matthew et al., 2008).

Las áreas extensas de suelos agrícolas son contaminadas por los metales pesados que se originan principalmente por actividades de la explotación minera, de emisiones industriales, o del uso del lodo de aguas residuales (Ulrich Schmidt., 2003).

2.1.3. Características de los metales pesados

Las plantas tienen una propensión natural a tomar los metales. Algunos, tales como Cu, Co, Fe, Mn, Ni, y Zn, son alimentos minerales esenciales. Otros, sin embargo, por ejemplo el Cd y el Pb, no tienen ninguna actividad fisiológica sabida (Lasat, 2002).

Se definen como “metales pesados” aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g cm⁻³ cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01% y son “tóxicos” para la célula (Navarro-Aviñó et al., 2007). Lo que hace tóxico a los metales pesados no son en general sus características esenciales, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y casi más importante aún, el tipo de especie que forman en un determinado medio (Higuera y Oyarzun, 2008).

2.1.4. Efecto de los metales pesados en el suelo

Los metales pesados presentes en el suelo pueden tener un origen diverso, bien sea natural y heredado del material original (litológico), a través de la actividad humana (antropogénico), o puede ser distribuido a través de los horizontes o en partículas del suelo como resultado de transformaciones minerales o procesos edafológicos (Flores et al., 2009).

La problemática de los metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en el agua residual utilizada para riego, radica principalmente en que pueden ser acumulados en los suelos agrícolas (Mancilla-Villa et al.,2012).

Los metales pesados una vez depositados en el suelo tienden a permanecer, al menos inicialmente, en los horizontes superficiales, siendo subsiguientemente sometidos a procesos de retención semejantes a los que ocurren en suelos naturales, ser incorporados en mayores concentraciones y bajo formas complejas muy variables dependiendo de la fuente contaminante (Méndez-Romero et al., 2003).

Porque las correlaciones fueron encontradas entre las concentraciones de metales pesados solubles en el suelo y las concentraciones de metales pesados en plantas, varios países aprobaron la legislación que establecía las normas de calidad basadas en concentraciones de metales pesados solubles en el suelo. Estas concentraciones se deben reducir debajo de límites de alarma máximos para evitar crecimiento vegetal reducido o calidad alimenticia. Por otra parte, la lixiviación de metales en el agua subterránea debe ser reducida al mínimo (Ulrich Schmidt., 2003).

Los elementos menores o metales pesados pueden participar en una serie de procesos al incorporarse al ciclo del agua, principalmente en la fase relacionada con el suelo, llegando a acumularse en éste como resultado de reacciones químicas, vía procesos de adsorción, solubilización, precipitación y cambios en sus estados de oxidación, o pueden estar presentes en tejidos vegetales, debido a la asimilación por la planta (Balderas-Plata et al., 2003).

El conocimiento de la acumulación de metales pesados en suelo, el origen de estos metales y sus interacciones posibles con las características del suelo son objetivos de prioridad en muchos monitoreo ambiental. Recientemente, los métodos estadísticos se han aplicado extensamente para investigar la concentración, la acumulación y la distribución de metales pesados en suelos (Qushlaqi y Moore, 2007).

2.1.5. Dinámica de los metales pesados en las interacciones planta-suelo

La biodisponibilidad de los metales en el suelo es un proceso dinámico que depende de las combinaciones específicas de los parámetros químicos, biológicos, y del medio ambiente (Panuccio et al., 2009).

Los metales pesados son potencialmente tóxicos para las plantas: los resultados de fitotoxicidad en clorosis, crecimiento de la planta débiles, depresión rendimiento, e incluso puede estar acompañado por reducción de la absorción de nutrientes, trastornos en el metabolismo de la planta y, en plantas leguminosas, una disminución de la capacidad para fijar nitrógeno molecular (Dan et al., 2008).

Las plantas absorben metales pesados del suelo y se acumulan principalmente en las raíces, Por otro lado, las plantas transportan grandes porciones de los metales pesados desde la raíz al tallo, mientras que la acumulación en el tallo y la hoja es incluso mayor que en la raíz (Cheng, 2003).

2.1.6. Contaminación de agua por metales pesados

Sabemos que las actividades humanas producen desechos que en muchas ocasiones se transforman en contaminantes del agua. Esta contaminación puede ser definida como la alteración de las características físicas, químicas o biológicas del agua, de manera que ésta deja de ser adecuada para uno o más usos específicos (Abeliuk, 2007).

Los ríos, lagos y mares recogen, desde tiempos inmemoriales, las basuras producidas por la actividad humana. El ciclo natural del agua tiene una gran

capacidad de purificación. Pero esta misma facilidad de regeneración del agua, y su aparente abundancia, hace que sea el vertedero habitual en el que arrojamos los residuos producidos por nuestras actividades. Metales pesados, se encuentran, en cantidades mayores o menores, al analizar las aguas de los más remotos lugares del mundo. Muchas aguas están contaminadas hasta el punto de hacerlas peligrosas para la salud humana, y dañinas para la vida. La contaminación de las aguas puede proceder de fuentes naturales o de actividades humanas. En la actualidad la más importante, sin duda, es la provocada por el hombre. El desarrollo y la industrialización suponen un mayor uso de agua, una gran generación de residuos muchos de los cuales van a parar al agua y el uso de medios de transporte fluviales y marítimos que, en muchas ocasiones, son causa de contaminación de las aguas. Normalmente las fuentes de contaminación natural son muy dispersas y no provocan concentraciones altas de contaminación, excepto en algunos lugares muy concretos. La contaminación de origen humano, en cambio, se concentra en zonas concretas y, es mucho más peligrosa que la natural. Hay cuatro focos principales de contaminación antropogénica (Nars et al., 2006; Abeliuk, 2007).

2.1.7.Importancia Ambiental y Económica de los metales pesados

Los metales se cuentan entre los materiales más útiles que se conocen. En el proceso de su aprovechamiento, el hombre los ha extraído de los depósitos subterráneos, los ha fundido, refinado y convertido en bienes de consumo que, después de usados, desecha. Durante cada una de estas operaciones se liberan metales al ambiente (Wong *et al.*, 2006). La minería expone las rocas ricas en metales a una meteorización acelerada. La fundición y el refinado provocan a menudo la liberación de pequeñas cantidades de metales como productos secundarios. En el transcurso de su empleo, los metales están sujetos a corrosión y desgaste, lo cual conduce a pérdidas hacia el ambiente. En algunos casos el uso de un metal implica una liberación directa del mismo (Giddingset *al.*, 2001).

El desarrollo tecnológico, el consumo masivo e indiscriminado y la producción de desechos principalmente urbanos, ha provocado la presencia de muchos metales en cantidades importantes en el ambiente, provocando efectos nocivos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas (Cobelo-García *et al.*, 2005). El estudio de los metales es de gran importancia en términos de contaminación ambiental debido a sus efectos tóxicos sobre los organismos vivos (Giddingset *al.*, 2001). La acumulación de éstos, sobre todo en áreas urbanas, genera la dispersión de gran diversidad de compuestos en suelos, aguas superficiales y aire, con la consecuente filtración de los mismos hacia las aguas subterráneas: Los acuíferos que constituyen la reserva de agua potable (Suarez y Reyes, 2002).

2.1.8. Contaminación causada por la industria minera

Las actividades mineras en México tienen más de 450 años y han causado un impacto muy fuerte en el suelo, tanto en las zonas de explotación como en donde se depositan los residuos; el más notable es el enterramiento de grandes áreas de suelo y vegetación. La contaminación del suelo es un problema que ha atraído la atención de los diferentes grupos de investigación en el mundo, debido al incremento de la contaminación en grandes extensiones de suelos y que ahora resultan peligrosos para el humano y la vida silvestre. Cada vez se considera que el problema de la contaminación del suelo debe atenderse de manera inmediata, desafortunadamente los costos para remover los contaminantes por métodos fisicoquímicos, han hecho que los industriales ignoren dicho problema (Universidad Autónoma de Zacatecas. 2005).

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 renovación 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 (ETP), como arsénico (As), selenio (Se), plomo (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).

El impacto ambiental de los contaminantes metálicos es estrictamente dependiente de la capacidad de reacción de éstos con componentes del medio ambiente y su respuesta a las condiciones fisicoquímicas y biológicas de su entorno (Vullo, 2003).

Además del uso directo, otras actividades humanas causan contaminación ambiental por metales. Por ejemplo, la quema de combustibles fósiles (incluida la gasolina con aditivos) parece ser la fuente más importante de emisiones de metales en la atmósfera. A diferencia de los contaminantes de origen orgánico, los metales no se pueden degradar ni biológica ni químicamente; aún cuando los compuestos que contienen metales pueden alterarse, éstos permanecen. De los 106 elementos conocidos, 84 se clasifican como metales, por tanto, las oportunidades de contaminación metálica son numerosas. No obstante, no todos representan riesgos para el ambiente; algunos no son tóxicos mientras que otros, aun cuando lo sean, son muy escasos o sus compuestos son insolubles. Como resultado, sólo algunos de ellos (Hg, Cd, Pb, entre otros) se consideran en la actualidad como contaminantes ambientales (Donahue *et al.*, 2006).

2.2. Arsénico(As).

El arsénico pertenece al grupo 15 del sistema periódico, tiene más características de no metal que de metal; de aquí que forme más fácilmente aniones que cationes. Se han descrito cuatro formas alotrópicas del arsénico: metálica, gris, parda y amarilla (Martin et al., 2002).

El arsénico (As) es un oligoelemento metaloide abundantes y ampliamente presente en prácticamente todos los ámbitos del medio ambiente y es bien conocido por ser cancerígenos, incluso a niveles bajos; La contaminación del suelo arsénico también afecta a la fisiología, el crecimiento y la calidad del grano de los cultivos (Xiong et al., 2010).

El contenido de arsénico de la corteza terrestre está entre 1.5 y 2 mg/kg, siendo el elemento número veinte en la lista de los elementos más abundantes (N.A.S, 1977).

El orden de liberación de arsénico por año en la corteza terrestre es de 1.715×10^7 kg, por exhalaciones y erupciones volcánicas y otros 4.87×10^6 kg por actividad volcánica en el lecho marino, en los ríos de 105.4×10^7 kg. Mientras que en agua profunda es difícil estimar las concentraciones de arsénico mundiales debido a la gran variabilidad de estas, pero se estima un rango de concentración de $0.01 - 800 \mu\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ (Matschullat, 2000).

La producción anual de arsénico en 1993 fue de 3.0453×10^7 kg derivada de la explotación de cobre. En la atmosfera el arsénico tienen un orden de $3.34 \text{ ton} \cdot \text{Año}^{-1}$, donde el sesenta por ciento deriva de las emisiones de la explotación de cobre y la quema de carbón, otras formas de contribuir con esto es la aplicación de herbicidas, explotación de plomo y zinc, producción de vidrio y la conservación de madera; el tiempo que dura el arsénico suspendido está entre 7 a 10 días en forma de partículas de $1 \mu\text{m}$ (Martin et al., 2002).

2.2.1. Propiedades

Elemento químico, cuyo símbolo es As y su número atómico, 33. Se encuentra distribuido ampliamente en la naturaleza (ubicuo) aunque en menor proporción de manera pura, la mayor parte se encuentra formando minerales como pirita arsenical (FeAsS), rejalgar ($\text{As}_2 \text{S}_2$), oropimente (As_2S_3), arsenolita (As_2O_3) y cobaltina (SAsCo), se encuentra a veces sustituyendo al azufre en los minerales sulfurados de muchos de los metales pesados; el peso atómico es de 74.922 g/mol; tiene valencias de +3, -3, y -5; sus estados de oxidación es -3, +2, +3 y +5; con una densidad de 5780 kg/m³; su punto de ebullición es de 613 °C; su punto de fusión es de 817 °C, y su estructura forma un sistema romboédrico, en el cual ningún ángulo es recto (Fox y Doner, 2003 y EQ, 2007).

2.2.2.Efectos en la salud

El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular; está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel, de esófago, laringe, pulmón y de vejiga, provoca bronquitis, hepatotoxicidad y enfermedades vasculares. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta (Paniagua-Contreras et al., 2003).

Los síntomas de la intoxicación por arsénico incluyen fatiga, dolores musculares, pérdida del cabello, zumbido de los oídos, cicatrización difícil, depresión, laxitud, alucinaciones visuales y disminución de la producción de glóbulos rojos y blancos. La intoxicación crónica puede causar la muerte (Schmidt, 2003).

2.2.3.Arsénico en plantas

La relación entre el arsénico en suelo y las plantas dependen de la forma y la disponibilidad del arsénico. La toxicidad del arsénico varía con la forma química y la valencia, en grado de toxicidad sería: $AsH_3 > As(III) > As(V) >$ Formas orgánicas de arsénico. En general, la disponibilidad del arsénico a las plantas es más alta en suelos arenosos, suelos con poco material coloidal y baja capacidad de intercambio iónico y es más baja en suelos arcillosos, ricos en material orgánico, hierro, calcio y fósforo (Roychowdhury et al., 2005).

2.2.4.Arsénico en el ambiente

El arsénico se encuentra omnipresente en los alimentos, ya que cantidades mínimas del mismo se incorporan por contaminación. Los alimentos llegan al consumidor como producto final de una larga cadena de producción, preparación y procesado durante la cual pueden ser contaminados por elementos metálicos. Estos elementos se encuentran presentes en toda la biosfera, corteza terrestre, suelos, aguas, atmósfera, en todos los seres vivos de la naturaleza y, en consecuencia, en los elementos (Carbonell *et al*, 1995).

2.2.5. Arsénico en suelos

Las características físicas y químicas del suelo son importantes para el control de su capacidad adsorbida y así pues afectarán la disponibilidad de arsénico a las plantas. Una amplia variedad de compuestos de arsénico se pueden absorber por las plantas, pero tienen diferentes efectos tóxicos. Las transformaciones que se producen en el suelo y la disponibilidad de estos compuestos son dos factores importantes a considerar cuando se estudia la contaminación del sistema suelo-planta

El arsénico puede añadirse a los suelos en forma de diferentes compuestos, tanto de carácter inorgánico: arsenito y arseniato, como orgánico. El arsenito será oxidado en la mayoría de los suelos agrícolas a arseniato. Como herbicidas se utilizan diversos derivados de los ácidos metano arsónicos del ácido cacodílico (CA). Estas formas orgánicas pueden oxidarse lentamente a arseniatos inorgánicos y dióxido de carbono en presencia o ausencia de microorganismos, o también pueden volatilizarse y por tanto, perderse de los suelos. La persistencia del arsénico está controlada por la capacidad de adsorción del suelo y por las pérdidas que se puedan producir tanto por lavado o lixiviación como por volatilización. Probablemente, un porcentaje elevado del arsénico añadido se perderá en forma de gas (Carbonell et al, 1995).

2.2.6. Concentración de arsénico en suelos

Un suelo no contaminado en general no excede de los 20 mg*kg⁻¹ de arsénico total en formas insolubles con el aluminio, hierro y calcio. En casos muy particulares se tiene hasta un seis por ciento de fracción soluble del arsénico total (Yaron et al., 1996).

La preocupación es que los efluentes industriales y del hogar podrían descargar cantidades apreciables de los metales en ríos ya que puede ser perjudicial a las plantas del humedal, a los microorganismos, a la salud humana y al ecosistema en general (Ayeni et al., 2010).

2.3.Cadmio (Cd).

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza. Es metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C (68° F). Su punto de fusión de 320.9°C (610°F) y de ebullición de 765°C (1410°F). Hay ocho isótopos estables en la naturaleza y se han descrito once radioisótopos inestables de tipo artificial. El cadmio es miembro del grupo II b (zinc, cadmio y mercurio) en la tabla periódica, y presenta propiedades químicas intermediadas entre las del zinc metálico en soluciones ácidas del sulfato. El cadmio es divalente a todos sus compuestos estables y su ion es incoloro. El cadmio no 16 se encuentra en estado libre en la naturaleza, y la greenockita (sulfuro de cadmio), único mineral de cadmio, no es una fuente comercial de metal. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinamiento de los minerales zinc, los cuales por lo general contienen de 0.2 a 0.4 % (Velazco et al., 2004).

2.3.1.Propiedades

Elemento químico, cuyo símbolo es Cd; y su número atómico, 48; relativamente poco abundante; es un metal dúctil, de color blanco argentino con un ligero matiz azulado; peso atómico de 112.40 g/mol y densidad relativa de 8.65 g/mol a 20 °C; su punto de fusión de 320.9 °C y de ebullición de 765 °C; es divalente en todos sus compuestos estables, su ion es incoloro y su estado de oxidación es +2 (Lentech, 2007).

2.3.2.Usos del Cd.

Aproximadamente tres cuartas partes del cadmio producido se emplea en la fabricación de baterías. Especialmente en las baterías de níquel-cadmio, una parte importante se emplea en galvanoplastia (como recubrimiento), algunas sales se emplean como pigmentos. Por ejemplo el sulfuro de cadmio se emplea como pigmento amarillo, se emplea en lagunas aleaciones de bajo punto de fusión, debido a su bajo coeficiente de fricción y muy buena resistencia a la fatiga, se emplea en aleaciones para cojinetes, muchos tipos de soldaduras contienen este

metal, en barras de control en fisión nuclear, algunos compuestos fosforescentes de cadmio se emplean en televisores, se emplea en algunos semiconductores, algunos compuestos de cadmio se emplean como estabilizantes de plásticos como el PVC (Vázquez et al.,2001).

2.3.3. Efectos del cd en la salud

El cadmio (Cd) es un metal pesado que presenta toxicidad sobre el ser humano. Existe poca información sobre efectos del cadmio (Cd) en el útero. En mujeres altera la actividad miometrial, el ciclo menstrual y causa dismenorrea, abortos espontáneos, infertilidad y mortinatos. No existe información si la exposición prenatal o postnatal temprana causa efectos ginecológicos diferidos persistentes. (Tchernitchinet *al*, 2008).

El cuerpo humano no necesita cadmio en ninguna forma. El cadmio es dañino en dosis muy pequeña, el envenenamiento por cadmio produce osteoporosis, enfisema pulmonar, cáncer de pulmón, cáncer de próstata, hipertensión, diversas cardiopatías, retraso en la habilidad verbal de los niños, nefrotoxicidad, infertilidad, alteraciones neurológicas y enfermedades vasculares; el cadmio es muta génico y probablemente actúa por medio de mecanismos indirectos (Paniagua-Contreras y Schmidt et al.; 2003).

2.3.4.Cd en plantas

El cadmio es un metal pesado no esencial y poco abundante en la corteza terrestre, sin embargo en las últimas décadas ha aumentado considerablemente su acumulación, como consecuencia de la actividad industrial. La contaminación por cadmio puede causar serios problemas a todos los organismos vivos, resultando altamente tóxico para el ser humano. Una posible fuente de contaminación por cadmio en humanos es la ingesta de plantas contaminadas por el metal. Por este motivo, es importante conocer cuáles son los mecanismos de toxicidad del metal en la planta, así como los mecanismos de defensa de la misma.

Las plantas han desarrollado distintas estrategias para evitar la toxicidad de metales pesados. En general, la tolerancia a metales viene determinada por la reducción del transporte del mismo al interior de la célula y/o una mayor capacidad para secuestrar estos metales. La raíz constituye una de las principales barreras de defensa mediante la inmovilización del Cd por pectinas de la pared celular. (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008).

2.3.5. Cadmio en el ambiente

El ambiente, el cadmio es peligroso porque muchas plantas y algunos animales lo absorben y lo concentran dentro de sus tejidos. Las fuentes de contaminación de este metal son diversas, pero podemos destacar las siguientes:

Fuentes naturales: la mayor fuente natural de liberación de cadmio a la atmósfera es la actividad volcánica. El suelo se contamina por este metal a través de los desechos de la fabricación de cementos y a través de residuos sólidos y de aguas residuales municipales. La minería de metales ferrosos, especialmente el zinc, es la principal fuente de liberación de cadmio al medio acuático, se han llegado a encontrar relaciones de cadmio y zinc de 1:100 a 1:1200 en la mayoría de minerales y suelos. (Universidad Ceu –San Pablo. Madrid. España. 2008).

Fuentes industriales: entre las industrias que utilizan el cadmio, podemos citar la galvanoplastia, baterías, grabados, pigmentos de pinturas y vidrios.

Fuente agrícola: algunos pesticidas fosfatados que contenían cadmio, actualmente prohibidos, han aportado concentraciones variables de este metal a algunos alimentos, como por ejemplo el arroz o el trigo. El Cadmio puede entrar en el organismo por distintas vías, siendo las principales: la inhalación, en caso de los trabajadores, o por ingestión, en caso de la población en general. Por inhalación dependiendo del tamaño de partícula, se absorbe, aproximadamente, el 5 % del cadmio inhalado. (Universidad Ceu –San Pablo. Madrid. España. 2008).

2.3.6.Cadmio en el suelo

El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración promedio de 0.1 mg/kg., en las rocas sedimentarias las concentraciones son más elevadas; las condiciones ambientales como la erosión causan el transporte de grandes cantidades de cadmio a los océanos cuyo contenido de este metal es alrededor de 0.1 ug/kg. La minería de metales no ferrosos es la principal fuente de liberación de cadmio al medio acuático, la contaminación puede provenir del agua de drenado de minas, de las aguas residuales del procesamiento de los minerales, de derrames de los depósitos, de desechos del proceso del mineral, del agua de lluvia que cae en el área general de la mina y de las partículas más ligeras de mineral que pasan a través de los cedazos en las operaciones de concentración y purificación (Saldivar et al., 1995).

2.4.Plomo (Pb).

El plomo es un metal pesado, azulado, suave y maleable, usado en varios procesos industriales. 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 nueve sistemas de clasificación de riesgo citados por el Fondo para la Defensa Ambiental o Environmental Defense Fund, el plomo aparece como un material que es más peligroso que la mayoría de los productos químicos. Se le considera dentro del 10% de los materiales más peligrosos para la salud humana (Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 1999).

Los griegos y romanos hicieron el uso extenso del Plomo en la forma de tuberías del agua, de recipientes de almacenaje y de utensilios para cocinar. Algunos científicos han mantenido que la asimilación del Pb dio lugar a la declinación de las clases predominantes de ambos imperios (Keller et al., 2001).

2.4.1. Propiedades

El plomo es un metal natural gris azulado que se forma en la corteza terrestre. Su símbolo químico es Pb. Su número atómico es 8, y su peso atómico (molecular) 207.20. Tiene una presión a vapor de 1.77 mm Hg a 1000°C, 10 mm Hg a 1162°C, 100 mm Hg a 1421°C y 400 mm Hg a 1630°C. Del grupo 14, tiene su punto de fusión a 327.4°C y el de ebullición a 1740°C. Su peso específico es 11.3 (Hernández. 1998).

2.4.2. Efectos en la salud

Hay evidencia de que Pb y Cd han sido la causa de los efectos para la salud humana, las muertes de los animales, y la alteración de los ecosistemas naturales y agro ecosistemas. En general, los metales pesados pueden ser potencialmente tóxicos para la salud humana (Kibblewhite et al., 2008).

El plomo es uno de los metales pesados más ampliamente distribuidos en toda la superficie de la tierra y, por consecuencia, el riesgo de exposición de la población en general es muy variado. La forma química del plomo es un factor importante que afecta su comportamiento biológico en el cuerpo humano: los compuestos del plomo orgánico son absorbidos rápidamente a través de la piel o las membranas mucosas y los compuestos de plomo inorgánico son absorbidos primariamente a través del tracto gastrointestinal y respiratorio (INE. 2005).

La agencia de protección del medio ambiente de Estados Unidos ha clasificado el Pb como potencialmente peligroso y tóxico a la mayoría de las formas de vida (Awofolu et al., 2005). Afecta a todos los sistemas del cuerpo humano. En los niños, el plomo reduce el desarrollo intelectual, el crecimiento y la capacidad auditiva, causa anemia y provoca problemas de comportamiento y déficit de atención. A valores extremadamente altos de exposición, el plomo puede causar daño cerebral severo y la muerte. Los niños son especialmente susceptibles a la intoxicación por plomo (Villalobos-Jauregui et al., 2006).

2.4.3.Plomo en planta- suelo

Dado que el plomo es acumulativo, este tiene un movimiento lento dentro de las plantas, pero en altas concentraciones las cuales pueden ser tóxicas para los cultivos, estos pueden presentar un crecimiento lento o no llegan a desarrollarse normalmente (América. 2004).

Este metal es absorbido como iones por las plantas a través de su sistema de raíces y es translocado a los sitios metabólicamente activos en la planta donde ejercen sus efectos tóxicos, por lo que es necesario conocer sus variaciones en cuanto a su reactividad química y a su movilidad en el suelo y en las plantas. Las diferencias que presentaron han sido de utilidad para evaluar la fitotoxicidad del plomo en las plantas (Fassbender y Bornemisza, 1987).

El Pb, en el suelo, se encuentra principalmente en forma de Pb^{2+} , también es conocido su estado de oxidación +4. Algunos de los compuestos insolubles son $Pb(OH)_2$, $PbCO_3$, PbS , $PbSO_4$. La velocidad de oxidación depende de factores como la humedad, la temperatura, el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica o la roturación de los suelos (Guitart, 2005).

2.4.4.Plomo en el ambiente

El plomo (Pb) se considera un contaminante ecotoxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos. La principal vía de bio-disponibilidad son el suelo y el polvo, donde se concentra y por medio del cual ingresa a los organismos. El manejo inadecuado de materiales con plomo ha sido causante de numerosos problemas ambientales en todo el mundo; sin embargo, no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado de movilidad o bio-disponibilidad. La distribución química del plomo en el suelo depende del pH, de la mineralogía, textura, materia orgánica así como de la naturaleza de los compuestos de plomo contaminantes. El suelo es uno de los mayores reservorios en los cuales se acumula la contaminación ambiental (Alloway, 1995)

2.5.Zinc (Zn).

El zinc es un elemento traza colocado en el grupo IIB de la tabla periódica de los elementos. Generalmente el zinc se extrae de minas de profundidad (Atlas de Productos Básicos, 2004). El zinc se mira como agente contaminador de ecosistemas acuáticos debido a su persistencia, toxicidad y capacidad ambiental de ser incorporado en cadenas de alimentos (Nars et al., 2006).

2.5.1.Propiedades

Elemento químico de símbolo Zn, número atómico 30 y peso atómico 65.37. Es un metal maleable, dúctil y de color gris. Se conoce 15 isótopos, cinco de los cuales son estables y tienen masas atómicas de 64, 66, 67,68 y 70. Cerca de la mitad del zinc común se encuentran como isótopo de masa atómica 64 El zinc es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02 %. ocupa el lugar 25 en orden de abundancia entre los elementos. Su principal mineral es la blenda marmatita o esfalerita de zinc, (Zn). Los usos más importantes del zinc los constituyen las aleaciones y el descubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados (Gulson et al., 1996).

2.5.2.Efectos en la salud

Aunque muchos metales son biológico esenciales en cantidades traza como el zinc, las cantidades excesivas pueden interferir con procesos fisiológicos (Giddings et al., 2001). Aunque se ha encontrado que el Zn tiene baja toxicidad, el consumo prolongado de dosis grandes puede dar lugar a algunas complicaciones de la salud tales como fatiga, vértigos y neutropenia. Algunas fuentes literarias también han revelado que el Zn podría ser tóxico a algunos organismos acuáticos tales como pescados. (Schmidt, 2003 y Awofolu et al., 2004). La ruta más común de exposición al Zinc es mediante la dieta. La vida media del Zinc excede a 300 días y de 70-80% es excretado en heces. Estudios con cadmio y zinc sugieren que el zinc previene los efectos tóxicos del cadmio. Por lo que el zinc participa en la prevención del cáncer por reducción de los efectos carcinogénicos del cadmio (Galván-Bobadilla et al., 2005). En contraposición (Navarro, 2006) difiere

afirmando que si bien el zinc no es altamente tóxico, por considerarse un elemento esencial para animales y humanos y por ser necesario para el regular funcionamiento de sistemas enzimáticos, se han encontrado efectos adversos en la morfología de peces expuestos a concentraciones de zinc por encima de los valores recomendados, así como efectos carcinogénicos en humanos que han consumido grandes.

En el organismo se encuentran presentes aproximadamente entre 2 y 3 gramos de este micromineral, que es participe en el funcionamiento de 70 enzimas, entre las cuales podemos nombrar las del metabolismo de carbohidratos, proteínas y grasas, en la síntesis de la insulina, el ARN, el ADN, y algunas otras. Cumple también funciones aliviando alergias, aumenta la inmunidad natural contra infecciones bacterianas. Su presencia se concentra en testículos, cabello, uñas, hueso y tejidos pigmentados del ojo. Su fuente principal está en la carne, el pescado, los lácteos, la yema de huevo, las legumbres secas y los cereales integrales. Los niveles de zinc en el organismo se suelen ver disminuidos por consumo de tabaco, café y el alcohol en exceso. Los síntomas más comunes de la carencia de zinc suelen ser los problemas de próstata en hombres mayores a 45 años, las irregularidades menstruales, el retraso en el crecimiento, la pérdida de gusto, cicatrización defectuosa, pérdida de agudez olfativa, dificultades para la erección, retraso de crecimiento uterino y anemia. La necesidad diaria es de aproximadamente 2,2 mg/día (Licata, 2007).

2.5.3.Efectos del Zn en el medio ambiente.

El Zinc ocurre de forma natural en el aire, agua y suelo, pero las concentraciones están aumentando por causas no naturales, debido a la adición de Zinc a través de las actividades humanas. La mayoría del Zinc es adicionado durante actividades industriales, como es la minería, la combustión de carbón y residuos y el procesado del acero. La producción mundial de Zinc está todavía creciendo. Esto significa básicamente que más y más Zinc termina en el ambiente (Cervantes. 2006).

El Zinc puede interrumpir la actividad en los suelos, con influencias negativas en la actividad de microorganismos y lombrices. La descomposición de la materia orgánica posiblemente sea más lenta debido a esto. El zinc puede también incrementar la acidez de las aguas; cuando el zinc entra en los 21 cuerpos de estos peces, este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria (Henry, 2000).

2.6. Metales pesados en la comarca lagunera

Las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la Comarca Lagunera han contaminado el suelo, el aire y el agua de la región con diferentes elementos potencialmente tóxicos como plomo, cadmio, arsénico y zinc. El Pb y Cd han sido la causa de efectos negativos sobre la salud humana, de la mortandad en animales, y la perturbación de los ecosistemas naturales y los agroecosistemas (Ortiz-Cano et al., 2009).

Los efectos negativos producidos por los metales pesados en las diferentes partes de los agroecosistemas, suelos, cultivos y agua, así como, en los seres humanos, desde hace décadas, despertó el interés de muchos investigadores. También la sociedad, en general, y los políticos se han concienciado de este problema medioambiental, y desde la década de los 90 se han adoptado, a nivel internacional, políticas para garantizar una mayor protección medioambiental y un desarrollo sostenible (Peris- Mendoza, 2006).

2.7. Calidad de suelos contaminados relacionado con la biodisponibilidad

Los factores que afectan la concentración de los metales en la solución del suelo afectan la biodisponibilidad, por lo tanto, ésta depende de la naturaleza del metal, su interacción con los coloides del suelo, las propiedades del suelo y el tiempo de contacto del suelo con el metal (Naidu et al., 2003).

Los factores del suelo que afectan la biodisponibilidad del metal son el pH, potencial redox, textura, contenido y tipo de arcillas, materia orgánica, óxidos de Fe, Mn y Al, y la presencia de cationes y aniones en solución (Silveira y Basta, 2003).

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos –de hecho ocurre lo contrario- sino a que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa. El envenenamiento por metales pesados se debe al funcionamiento de la cuarta fundidora más importante del mundo, propiedad de la compañía Peñoles, situada en el centro de la ciudad de Torreón (Valdés-Perezgasga y Cabrera-Morelos ,1999).

2.8.Norma oficial mexicana del Pb, Cd y Zn

Norma oficial mexicana NOM - 021-SEMARNAT-2000

- Normatividad en México hace referencia a un límite máximo permisible para el plomo 100-300 mg/kg-1 que son los valores sugeridos de elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos que se indican.
- La normatividad en México hace referencia a un límite máximo permisible para el cadmio es de 3-5 mg kg-1 que son los valores sugeridos de elementos tóxicos en el suelo según la tolerancia de los cultivos que se indican.
- La normatividad en México hace referencia a un límite máximo permisible para el Zinc 1.0 mg kg-1 que son los valores sugeridos de elementos micronutriente extraíble en el suelo según la tolerancia de los cultivos que se indican.

2.8.1. Norma oficial mexicana (NOM-001-ECOL-1996)

- La normatividad en México que hace referencia a un límite máximo permisible para el plomo 10.0 mg kg⁻¹ metal pesado en aguas residuales y suelos.
- La normatividad en México que hace referencia a un límite máximo permisible para el cadmio es 0.10 mg kg⁻¹ de metal pesado en aguas residuales y suelos.
- La normatividad en México que hace referencia a un límite máximo permisible para el Zinc 20 .00 mg kg⁻¹ metal pesado en aguas residuales y suelos.

2.8.2. Límites máximos permisibles de metales pesados en el suelo según normas extranjeras.

Límite máximo de plomo (Pb) en suelo.

El valor límite del plomo en suelos, según, la normatividad española es de 50-300 ppm. 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).

Límite máximo de cadmio (Cd) en suelo según la EPA

La normatividad señala por la agencia de protección ambiental de Estados Unidos (EPA), para suelos de uso residencial y agrícolas es de 400 ppm. (Universidad Autónoma de Zacatecas. 2005)

Límite máximo de Zinc (Zn) en el suelo según EPA

La EPA Considera a los sitios excesivamente Fitotóxicos a los que contienen entre 200 y 400 ppm de zinc. El anteproyecto de norma del 2003 para la limpieza y remediación de los suelos contaminados a la agricultura en México señala que el valor máximo de zinc en el suelo es de 300 ppm (Puga et al., 2008).

III. MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo se llevó a cabo en el laboratorio de suelos ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el municipio de Torreón, Coahuila, México.

3.1. Localización geográfica de los puntos de muestreo

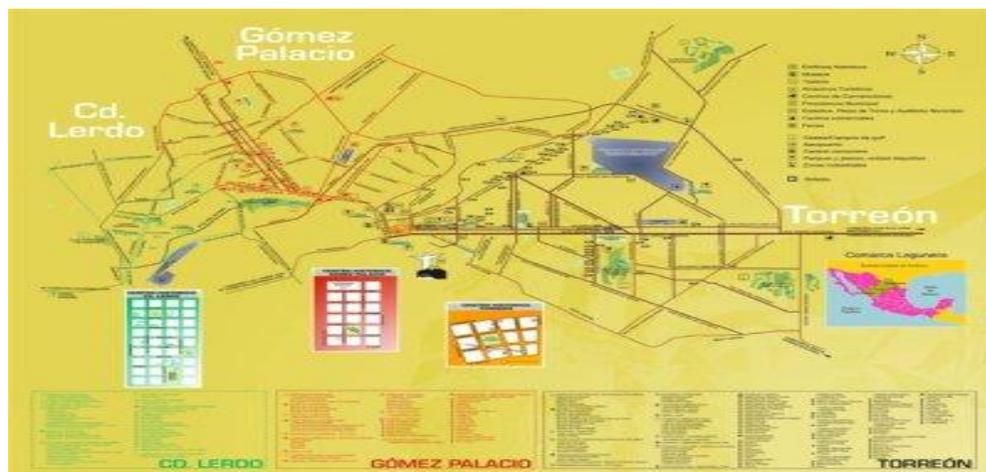
Los puntos de muestreo y su localización geográfica se presentan en el cuadro 1 y la ubicación geográfica se muestra en la gráfica 1.

Cuadro 1. Localización geográfica de los puntos de muestreo del suelo

Sitio	Localizacion geografica	Altura sobre el nivel del mar
Villa Juárez.	N: 25° 30' 20.4'' W: 103° 22' 60''	1150 m
Venecia.	N: 25° 46' 23''	1139 m

3.2. Clima

Según la clasificación de Köppen, modificado por García (1981), el clima es seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos. La precipitación pluvial es de 258 mm y la temperatura media anual es de 22.1°C, con rangos de 38.5 como media máxima y 16.1 como media mínima, la presencia de lasheladas ocurren de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril; mientras que la presencia de granizadas se da entre mayo y junio. La evaporación anual media aproximadamente es de 2396 mm.



Gráfica 1.- Ubicación geográfica del área de estudio.

3.3. Determinación de los sitios de muestreo

Se eligieron dos localidades de la Comarca Lagunera con dos tipos de características diferentes. Estas características se definen de la siguiente forma:

- La primera localidad se ubica en un área de siembra de hortalizas bajo agricultura orgánica, específicamente donde se realicen aplicaciones de estiércol solarizado, las muestras se tomaron en el ejido Venecia Durango. Municipio de Gómez Palacio.
- La segunda localidad esta se encuentra en un área de cultivo hortícola convencional donde se empleen prácticas agrícolas de fertilización química. Ubicada en Cd. Juárez Municipio de Cd. Lerdo Durango.

3.4. Toma de muestras

el muestreo de suelo se obtuvieron de la parcela antes mencionada el día 12 de octubre del 2011, los puntos que se tomaron dentro de la parcela del

cultivo hortícola, fueron al azar en el cual fueron 15 muestras tomadas de 0-15, 15-30 y 30-60 la distancia entre cada muestra fue variable.

3.5. Preparación de la Muestra

Se tomaron las muestras en bolsas de plástico de 1 kg de capacidad y se transportaron en hieleras para después ponerlas a secar y una vez que perdieron la humedad se tamizaron para posteriormente realizar los análisis respectivos.

3.6. Análisis Físicos y Químicos.

pH	Extracto de pasta de suelo a saturación Potenciómetro Termo Orion Mod-420.
Conductividad Eléctrica mS/cm	Extracto de pasta a saturación Conductivímetro Orion Mod-162
Materia Orgánica %	Walkley y Black modificado.
Nitratos N-NO ₃ ppm	Extracción con hidróxido de calcio.
(As, Cd, Pb, Zn). y leído en aparato de absorción	Extracción con HNO ₃ atómica.

3.7. Análisis de metales pesados y arsénico

Para determinar los metales pesados As, Pb, Cd, y Zn en suelos agrícolas el método que se utiliza de extracción con ácido nítrico HNO₃ 4 Molar (260 ml de HNO₃/LT).

- 1.- La muestra de suelo fue secada, y molida se tamizo con una malla de 2 mm, luego se realizó una mezcla simplificando las 15 muestras a 3 muestras cada una compuesta de 5 puntos muestreados. A cada muestra se le realizó un factorial de A*B, donde A es el metal pesado y B son las repeticiones.
- 2.- Pesar 5 gr de suelo en la balanza analítica marca industry modelo sartorius y colocarlos en botes de plástico con tapón.
- 3.- Agregar con la probeta de 50 ml ácido nítrico 4 M y marcar el nivel del líquido.
- 4.- Colocarlos en baño María de 4 a 12 horas a una temperatura de 70°C.
- 5.- Sacarlo del baño María modelo Felisa de 110 V, dejarlo enfriar a temperatura ambiente y nivelar al volumen original si es necesario y tapar bien.
- 6.- Ponerlos agitar en el agitador de acción reciproca 1 hora.
- 7.- Filtrar con papel filtro y recoger el filtrado en un vaso de precipitado de 50 ml.
- 8.- Leer en el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica 2380 donde se calibra dependiendo del metal que se analizara As, Pd, Cd y Zn.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

No se establecerá un diseño experimental convencional debido a la amplitud de la Comarca Lagunera y la diferencia geográfica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se puede observar en los resultados mostrados que existe una concentración

Metales.	CD. JUÁREZ 0-15 cm	CD. JUÁREZ 15-30 cm	CD. JUÁREZ 30-60 cm	Venecia 0-15 cm	Venecia 15-30 Cm	Venecia 30-60 cm	P.D	P.M.
(Plomo) ppm	29.87	27.28	26.73	24.26	25.24	17.56	10.0	5.0
(Cadmio)ppm	0.498	0.498	0.498	0.348	0.298	0.584	0.1	0.5

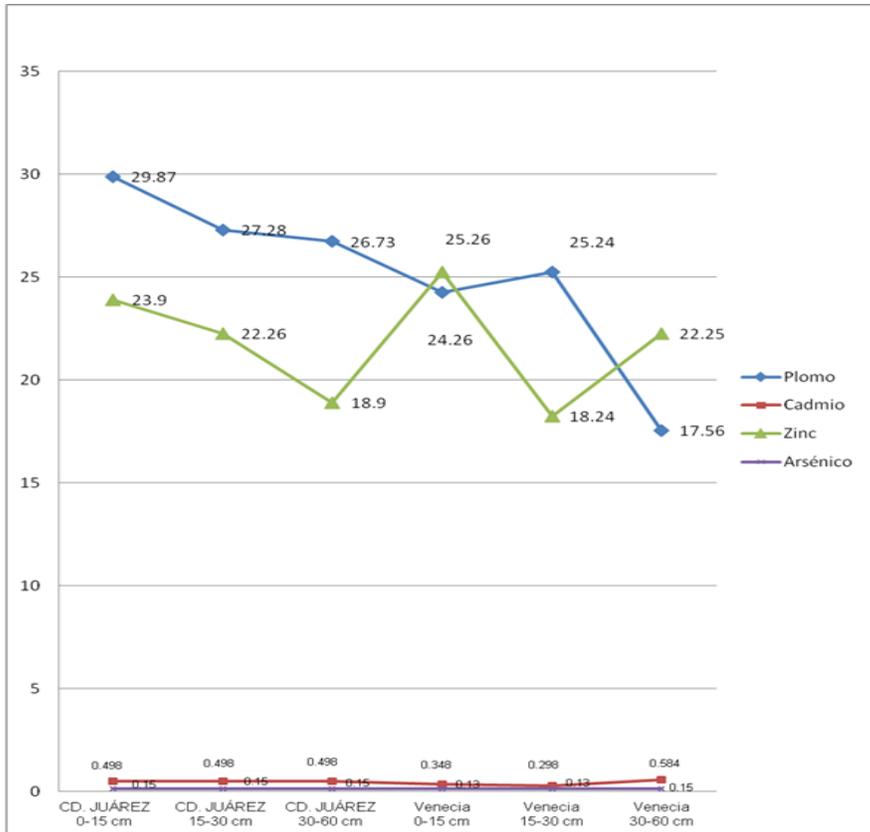
excesiva de metales pesados en los dos sitios de muestreo que rebasan los límites máximos permisibles de la normatividad.

(Zinc)ppm	23.90	22.26	18.90	25.26	18.24	22.25	20.0	10.0
(Arsénico)ppm ANALIZADO EN EL EXTRACTO A SATURACIÓN	0.15	0.15	0.15	0.13	0.13	0.15	0.4	0.2

Cuadro 2. Basado de acuerdo a la Normatividad.

NOM-001-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales en aguas y Bienes Nacionales.

NOM-002-ECOL-1996 Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas Residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal.



Grafica 2. Determinación de la concentración de metales pesados se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica modelo Perkin Elmer 2380.

V.CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en la presente investigación, se detectó la presencia de metales pesados en los suelos analizados.

Los niveles que se encontraron de metales pesados en las muestras de suelo de cada sitio analizado fueron superiores a los límites máximos permisibles que establecen las normas internacionales en su mayoría, siendo el Arsénico y el Plomo los dos elementos que se encontraron con mayor concentración en los dos sitios de muestreo fuera de norma (EPA y Holanda).

La relación más alta respecto a los análisis físico-químicos fue la del Arsénico con la materia orgánica con un valor de $r^2=0.87326$ confirmando su importancia en la acumulación de los metales en el suelo. Respecto a la relación de la textura con la

acumulación del metal en el suelo, la mayor relación es con el limo en lo que se refiere a plomo y zinc.

En cuanto a la técnica empleada, se puede decir que esta fue adecuada para el análisis de las muestras de suelo, obteniéndose porcentajes de la determinación de los metales pesados.

VI. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones más profundas de evaluación de metales pesados y continuar trabajando, con varias técnicas para evaluar diferentes parámetros.

Según lo reportado por Prieto-Méndez *et al.*, (2009), el plomo puede causar diversos daños en las plantas y en diferentes grados de acumulación. En algunas especies, la acumulación de plomo, a medida que se aumentan las dosis de este en el suelo hasta 1000 mg Kg^{-1} de Pb, tiende a incrementarse rápidamente en los órganos de las plantas hasta que éstas no lo toleran y mueren.

Realizar investigaciones sobre las interacciones complejas en donde participan la planta, el suelo y los contaminantes, ya que son múltiples y no son claras.

Elaborar proyectos para analizar las causas específicas por las que se acumulan los metales en el suelo.

Elaborar Normas Oficiales Mexicanas en materia de suelos regados con descargas de agua residual.

Aplicar metodologías de biorremediación en suelos con plantas nativas de la región donde se detecten cantidades considerables de metales pesados.

VII. BIBLIOGRAFIA

- Abeliuk, R.** 2007. Tratamiento de aguas servidas en Santiago (I): Los tristes records del agua de Santiago. http://www.cipma.cl/RAD/1991/2_Abeliuc.pdf.
- Acosta, V., C. Lodeiros, W. Senior y G. Martínez.** 2002. Niveles de metales pesados en sedimentos superficiales en tres zonas litorales de Venezuela. *Interciencia*. Vol. 27. N° 012. p.p. 686-690.
- Alloway, B.J.,** 1995. *Heavy Metals in Soils*. Blackie Academic & Professional. Londres. 370 pp.
- Awofolu, O. R., Z. Mbolekwa, V. Mtshemla, y O. S. Fatoki.** 2005. Levels of trace metals in water and sediment from Tyumeriver and its effects on an irrigated farmland. *Water S. A.* Vol. 31. N° 1. p.p. 87-94.
- Amat-Infante, P. D., A. Pierra-Conde, I. Casals-Blet y D. Vázquez-Avella.** 2002. Estudio de la concentración de metales pesados en sedimentos y ostiones en la bahía de Manzanillo, Cuba. *Journal of the Mexican Chemical Society*. Vol. 46. N°004. p.p. 359-361.
- América A. L.** 2004. (En línea), Met-Mex Peñoles y los niños de Torreón, consultora en toxicología ambiental y evaluación de riesgos, Xalapa, México, disponible en <http://www.sertox.com.ar/retel/n04/002.pdf> consultada en octubre 2012.
- Atlas de productos básicos.** 2004. (En línea). Producción uso y consumo del zinc. Unitednationspublications. (<http://www.books.google.com.mx>). (Consultada el 25 de Septiembre del 2011).

- Aydinal, C.** y S. Marinova 2003. Distribution and Forms of Heavy Metals in Some Agricultural Soils. Polish Journal of Environmental Studies. Vol. 12, No. 5 pag. 629-633.
- Ayeni, O.O.,** Ndakidemi, P.A., Snyman, R.G y Odendaal, J.P 2010. Metal contamination of soils collected from four different sites along the lower Diep River, Cape Town, South Africa. International Journal of the Physical Sciences. Vol. 5(13) pag. 2045-251.
- Awofolu, O. R.,** Z. Mbolekwa, V. Mtshemla, y O. S. Fatoki. 2005. Levels of trace metals in water and sediment from Tyumeriver and its effects on an irrigated farmland. Water S. A. Vol. 31. N° 1. p.p. 87-94.
- Balderas-Plata, M.,** C. Lenom, J. Fuente y J A. Vázquez-Alarcón 2003. Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho, TERRA Latinoamericana, Vol. 21, Núm. 4, pag. 449-459.
- Carbonell, A,** F. Burlo y J. 1995 Matix Arsenico en el sistema suelo-planta, UNIVERSIDAD DE ALICANTE. pag. 6-107.
- Chen, S** 2003. Heavy Metals in Plants and Phytoremediation. A State-of-the-Art Report with Special Reference to Literature Published in Chinese Journals. Vol., 10 (5) p.p. 335 – 340.
- Cervantes, C.** (2006). Microorganismos que expulsan metales pesados. Instituto de investigaciones Químicas- Biológicas, universidad michoacana de san Nicolás de Hidalgo spectra
- Cobelo-García, A.,** A. Labandeira y R. Prego. 2005. Two opposite cases of metal accumulation in ria sediments: ferrol and corme-laxe (Galicia, Nw Iberian Peninsula). Ciencias Marinas. Vol. 31. N°004. p.p. 653-659.

- Dan, T., B. Hale., D. Johnson., B. Conard., B. Stiebel y E. Veska** 2008. Toxicity thresholds for oat (*Avena sativa* L.) grown in Ni-impacted agricultural soils near Port Colborne, Ontario, Canada. *Can. J. SoilSci.* 88, 389–398.
- Elementos Químicos (EQ).** 2007. (En línea). Arsénico. (<http://herramientas.educa.madrid.org/tabla/6usos/as6.html>.) (Consultada el 17 de Septiembre del 2012).
- Fassbender, H. W. y E. Bornemisza.** 1987. Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Flores, M., M. Díez., J. Aguilar., M. Peinado y F. García,** 2009. Estudio de metales pesados y arsénico en los suelos de olivar de Sierra Mágina, Jaén. *ACTA AGRONÓMICA*, vol. 58, núm. 4, pag. 303-307.
- Fox, P. M. y H. E. Doner.** 2003. Accumulation, release, and solubility of arsenic, molybdenum, and vanadium in wetland sediments. *Journal Environment. Qual.* Vol 32. p.p. 2428-2435
- Galván-Bobadilla, A. I., R. M. García-Escamilla, N. Gutierrez-García, M. L. Mendoza-Magaña y R. Rosiles-Martínez.** 2005. Concentraciones de cadmio y zinc en tejido de cáncer prostático. *Revista Mexicana de Patología Clínica.* Vol. 52. N° 2. p.p. 109-117.
- García-Céspedes, J., J. Acuña-González y J. A. Vargas-Zamora.** 2004. Metales traza en sedimentos costeros de Costa Rica. *Revista de Biología Trópica.* Vol. 52. N° 2.
- García, E.** 1981. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Editorial Offset Larrios, S. A. México, D. F.
- Giddings, E. M., M. I. Hornberger y H. I. Hadley.** 2001. Trace-metal concentrations in sediment and water and health of aquatic macroinvertebrate communities of streams near park city, Summit County,

Utah. Science for a changing world. Water-resources investigations report 01-4213.

Guitart R. y Vernon G. Thomas 2005. Revista Española de Salud Pública V.79 No.6. Madrid Nov.- ISSN 1135-5727.

Gulson B.L., Mizon K.J., Korsch M.J. & Howarth D. 1996. Non-orebody sources are significant contributors to blood lead of some children with low to moderate lead exposure in a major mining community. The science of the total environment. 181: 223-230.

Harada, E., A. Hokura., S. Takada., K. Baba., Y. Terada., I. Nakai y K. Yazaki 2010. Characterization of Cadmium Accumulation in Willow as a Woody Metal Accumulator Using Synchrotron Radiation-Based X-Ray Microanalyses. Plant Cell Physiol. Vol.51 (5): Pag. 848–853.

Herwijnen. R.., P. Vishnu., T.R. Hutchings., A. Al-Tabbaa., A.J. Moffat., M.L. Johns y S.K. Ouki 2006. How to Remediate Heavy Metal Contaminated Sites with Amended Composts, Paper presented at the SUBR:IM Conference

Hernández-Xolocotzi E., 1998. Zacates Indígenas. Revista de geografía agrícola. Tomo II. pp. 491-499.

Henry R. J. 2000 .National Network of environmental Management Studies (NNEMS) fellow. U.S. environmental Protection Agency Office of Solid Waste and emergency Response Technology Innovation office. Washington, D.C.

Higuera y Oyarzun, 2008 (en línea) metales pesados y su Bioacumulación, <http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practicas4.pdf>.

Hinojosa, M., J. A. Carreira., R. García-Ruiz y R. Dick 2005. Microbial Response to Heavy Metal-Polluted Soils: Community Analysis from Phospholipid-

Linked Fatty Acids and Ester-Linked Fatty Acids Extracts Published online.

INE, 2005. (En línea), lo que usted debe saber del plomo, <http://www.ine.gob.mx/ueajei/publicaciones/folletos/98/98.html> (Consultada el día 09 de Octubre).

Kabata A. y M. Piotrowska 1992. Transfer of Cadmium, Zinc and Lead from Soils to Plants. Pulawy-poland. pp171.

Kibblewhite, M. G., K. Ritz y M. J. Swift, 2008. Soil health in agricultural systems. Phil. Trans. R. Soc. B. Pag. 363, 685–701.

Keller, A., B. Steiger, S. Zee y R. Schulin. 2001. A Stochastic Empirical Model for Regional Heavy-Metal Balances in Agroecosystems. J. Environ. Qual. Vol. 30. p.p.1976–1989.

Kopittke, P., A. Blamey. y C. Menzies 2010. Toxic effects of Pb²⁺ on the growth and mineral nutrition of signal grass (*Brachiaria decumbens*) and Rhodes grass (*Chloris gayana*). PLANT AND SOIL. 300(1-2) pag.127-136

Lasat. M 2002. Reviews and analyses: Phytoextraction of toxic Metals A Review of biological mechanisms. 11 pag. 215-234.

Lentech. 2007. (En línea). Cadmio. (<http://www.lenntech.com/espanol/tabla-periodica/Cd.htm>. 2012). (Consultada el 25 de septiembre del 2012).

Licata, M. 2007. (En línea). El zinc en la nutrición. (<http://www.zonadiet.com/nutricion/zinc.html>). (Consultada el 25 de septiembre).

Llugany M., R. Tolrà, C. Poschnrieder, J. Barceló. 2007. (en línea) Ecosistemas. Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para la planta y para el hombre?

[http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7664/1/ECO_16\(2\)_02.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/7664/1/ECO_16(2)_02.pdf)

(consulta 9 Marzo 2012) Vol. 16 núm. 2 pág. 1-2.

- Martí, B.**, M. Conde., F. L., Jimeno y J. H Méndez, 2002. Química Analítica Cualitativa. Desimoctava- Segunda Reimpresion ed. THOMSON, España.
- Mancilla-Villa, O. R.**, H.R, Ortega-Escobar., C. Ramírez-Ayala., E. Uscanga-Mortera., R. Ramos-Bello y A. L, Reyes-Ortigoza 2012. Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. Rev. Int. Contam. Ambie. Vol.28 (1) Pag, 39-48.
- Matschullat, J.** 2000. Arsenic in the geosphere—a review. Science of the Total Environment, The, 249(1-3), 297-312.
- Matthew J. M.** y L. V. Kochian, 2008. Investigating Heavy-metal Hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a Model System. Robert W. Holley Center for Agriculture and Health, USDA-ARS, Cornell University, Ithaca, NY 14853, USA. Pag.3–13.
- Méndez-Romero. F.**, J. Gisbert-Blanquer. , J. García-Díaz y Á. Marqués-Mateu 2003. RELACIÓN ESTADÍSTICA ENTRE METALES PESADOS Y PROPIEDADES DE SUELOS DE CULTIVO REGADOS CON AGUAS RESIDUALES NO DEPURADAS. Pag. 159-165.
- Monroy M.**, F. Díaz-Barriga., I. Razo y L. Carrizales. 2002. Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgo en salud en villa de la paz-matehuala, s.l.p.
- Mwegoha, w** y C.Kihampa.2010. Heavy metal contamination in agricultural soils and water in Dar es Salaam city, Tanzania, Vol. 4(11), pp. 763-769.
- Napoles.J.**,A.Abalos,A.Marañon,I.Aguilera y F.Cumba 2005 Caracterización de suelos de la refinería “Hermanos Díaz” Impactados con Hidrocarburos,CENIC.vol.36.no.Especial.
- Nars, S. M.**, M. A. Okbah y S. M. Kasem. 2006. Environmental assessment of heavy metal pollution in botton sediments of Aden Port, Yemen. International Journal of Oceans and Oceanography.Vol. 1.N° 1.p.p. 99-109.

- Navarro-Aviñó, J.P., I. Aguilar Alonso y J.R. López-Moya** 2007. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas.
- Navarro E.** 2006. Adsorción de metales por polímeros. Revista Iberoamericana de Polímeros. Vol. 7. N° 2.p.p. 114-121.
- Naidu. R y K.R. Kim** 2008. Contaminant Fate, Dynamics and Bioavailability: Biochemical and Molecular Mechanism at the Soil: Root interface .SoilSci. PlantNutr. v8 no especial pag.56-63.
- Norma oficial mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000** que establece los límites máximos permisibles en los suelos agrícolas y las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.
- Norma oficial mexicana NOM-001-ECOL-1996** que establecen los límites máximos permisibles en suelos de los metales pesados.
- Nars, S. M., M. A. Okbah y S. M. Kasem.** 2006. Environmental assessment of heavy metal pollution in bottom sediments of Aden Port, Yemen. International Journal of Oceans and Oceanography.Vol. 1.N° 1.p.p. 99-109.
- Ortiz-Cano.G., R. Trejo-Calzada., R. D. Valdez-Cepeda., J. G. Arreola-Ávila., A. Flores-Hernández y B. López-Ariza** 2009. Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthushybridus l.*) y micorrizas. Revista Chapingo Serie Horticultura, Vol., 15(2), Pág. 161-168.
- Pagnanelli, F., E. Moscardini., V. Giuliano., y L. Toro.** 2004. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of and abandoned pyrite mining area: pollution detection and affinity series. Environ. Pollut.pag,189-201.

- Paniagua-Contreras** et al; 2003 ; Schmidt, 2003; Awofolu et al; 2005; Navarro, 2006. Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza.
- Paniagua-Contreras, G. L.**, E. Monroy-Perez, S. Vaca-Pacheco y S. E. González-Almazán. 2003. Resistencia a antibióticos y metales pesados en cepas clínicas de *Staphylococcus aureus*. Revista Médica del Hospital General de México, S. S. Vol. 66. N° 1. p.p. 13-21.
- Panuccio, M.R.**, A. Sorgonà., M. Rizzo y G. Cacco 2009. Cadmium adsorption on vermiculite, zeolite and pumice: batch experimental studies. J. Environ. Manage.90 (1), 364–374.
- Peris-Mendoza, M** 2006. Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón, Universitat de Valencia. Pag 360-380.
- Puga S.**, M. Sosa, T. Lebgue, C. Quintana y A. Campos. 2008. Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. Ecología Aplicada, Vol.5 N° 1,2.pp 149-155. Puga S., M. Sosa, T. Lebgue, C. Quintana y A. Campos. 2006. Heavy metals pollution in soils damaged by mining industry. Ecología Aplicada, Vol.5 N° 1,2.pp 149-155.
- Quishlaqui, A** y F. Moorre 2007. Statistical Analysis of Accumulation and Sources of Heavy Metals Occurrence in Agricultural Soils of Khoshk River Banks, Shiraz, Iran.American-Eurasian J. Agric. & Environ. Pag. 565-573.
- Rodriguez-Serrano.M**, N.Martinez- de la casa, M.Romero-Puertas, L.Del Rio y L.Sandalio 2008 Toxicidad del cadmio en plantas, Ecosistemas.Vol.17 (3).pag.139-146.
- Roychowdhury, T.**, H.Tokunaga., T. Uchino y M. Ando 2005 .Effect of arsenic-contaminated irrigation water on agricultural land soil and plants in West Bengal, India. Chemosphere, 58(6), pag, 799-810.
- Saldivar, L.**, A Tovar y F. Goes 1995 CADMIO-Capitulo 13.Mexico.pag.213-215.

- Schmidt, U.** 2003. Enhancing phytoextraction: The effect of chemical soil manipulation on mobility, plantaccumulation, and leaching of heavy metals. *Journal Environ. Qual.* Vol. 32. p.p. 1939-1954
- Silveira C y A. Basta** 2003. Contaminación de suelos: Estudios, tratamiento y gestión. Mundi-Prensa.
- Spain, A** 2003. Implications of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. *Reviews in Undergraduate Research*, pag.2:1-6.
- Stuczynski, T. I., G. W. McCarty y G. Siebielec** 2003. Response of Soil Microbiological Activities to Cadmium, Lead, and Zinc Salt Amendments. Published in *J. Environ. Qual.* Pag, 1346–1355.
- Suarez, P. y R. Reyes.** 2002. La incorporación de metales pesados en las bacterias y su importancia para el ambiente. *Interciencia.* Vol. 27. N° 4. p.p. 160-164.
- Tchernitchin.A, F.Olivares, C.Aranda, R.Bustamente, L.Gaete, K.Ferrada, R.Villagra, Jeanette, R.Iturbe, Y.Kim, N.Hernandez, T.Bizjak y S.Novsak** 2008. Efectos de exposición aguda a cadmio en la acción de estrógenos en útero de rata impúber, *Revista chilena de pediatría.* Vol.79 (4).pag.373-380.
- Ulrich Schmidt** 2003. Enhancing Phytoextraction: The Effect of Chemical Soil Manipulation on Mobility, Plant Accumulation, and Leaching of Heavy Metals. Published in *J. Environ. Qual.* Vol. 32: pag, 1939–1954.
- Universidad Autónoma de Zacatecas.** 2005. Anónimo (En línea), Evaluación de riesgos ambientales por plomo en la población de Beta Grande Zacatecas Valdez, 2001. (En línea). Contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila. <http://www.jornada.unam.mx/2001/04/30/eco-valdez.html>. (Consultada día 29 de octubre).

Universidad Ceu –San Pablo. Madrid. España, 2008, anónimo (en línea),cadmio,
www.conganata.org/9congreso/PDF/625.pdf.

Velasco Trejo J. A., D. A. de la Rosa Pèrez, G. Solòrzano Ochoa y T. L. VolkeSepùlveda. 2004. Primer informe del proyecto: Evaluacion de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales.

Valdés-Perezgasga F. y V. M. Cabrera Morelos. (En línea) 1999. METALES PESADOS EN TORREON, COAHUILA, MEXICO. en línea
<http://www.texascenter.org/tcps/btep/breports.htm>

Vázquez A., A. Cajuste., C. Siebe., G. Alcántar y M. de L. de la Isla de B 2001.
Cadmio, níquel y plomo en aguas residuales, suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo, México. *Agrociencia* 35: pag, 267-271.

Villalobos-Jauregui A., F. Valdez-Perezgasga, G. G. García-Vargas y J. Alonso-Chamarro. 2006. Predicción del riesgo a la salud infantil en una zona contaminada por plomo. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*. Vol. 27. N° 1. p.p. 8-15.

Volke, N. A. , X. Yang., Y. Feng, Zhenli He, y P. J. Stoffella. 2005. REVIEW Molecular mechanisms of heavy metal hyperaccumulation and phytoremediation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 18 (2005) 339–35. ELSEVIER.

Wong, C. S. C., S. C. Wu, N. S. Duzgoren-Aydin, A. Aydin y M. H. Wong. 2006. Trace metal contamination of sediments in an e-wasteprocessing village in China. *Elsevier Environmental Pollution*. Vol. 20.p.p. 1-9.

Xiong, J., L. Wu, .S. Tu., J.D. Van Nostrand., Z. He., J. Zhou y G. Wang 2010. Microbial Communities and Functional Genes Associated with Soil

Arsenic Contamination and the Rhizosphere of the Arsenic-Hyperaccumulating Plant *Pteris vittata* L. APPLIED AND ENVIRONMENTAL MICROBIOLOGY, Pag. 7277–7284.

Yaron, B., Calvet, R. & Prost, R. (1996). Soil Pollution: Processes and Dynamics. Springer.