

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

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en la región de Nazas Durango.

POR

ANA ISABEL GONZÁLEZ CIFUENTES

T E S I S

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

INGENIERO AGRONOMO EN IRRIGACIÓN

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

ABRIL DE 2011.

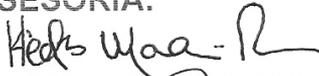
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

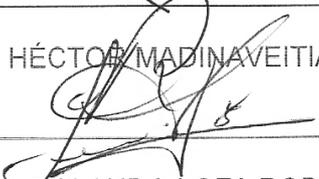
CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS POR METALES PESADOS EN
LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO

TESIS DE LA C. ANA ISABEL GONZÁLEZ CIFUENTES QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y APROBADA
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

COMITÉ DE ASESORÍA:

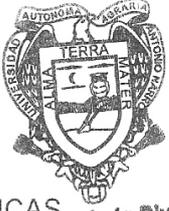
ASESOR PRINCIPAL 
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

COASESOR 
ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ

COASESOR 
ING. FEDERICO VEGA SOTELO

COASESOR 
ING. RUBÉN LÓPEZ TOVAR


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Coordinación de la División de Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

ABRIL DE 2011.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
"ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

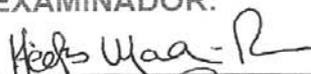
CONTAMINACIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS POR METALES PESADOS EN
LA REGIÓN DE NAZAS DURANGO

TESIS DE LA C. ANA ISABEL GONZÁLEZ CIFUENTES QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR Y APROBADA COMO
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE



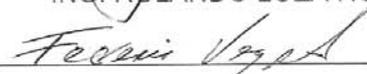
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL



ING. ROLANDO LOZA RODRÍGUEZ

VOCAL



ING. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE



ING. RUBÉN LÓPEZ TOVAR



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN COAHUILA, MÉXICO

ABRIL DE 2011

AGRADECIMIENTOS

A Dios. A ti, por darme la oportunidad de nacer y crecer, a ti Dios mío en quien puse mi fe y permitiste lograr uno de mis más grandes sueños, a ti y solo a ti por la oportunidad tan grande que no cabe duda que eres un misericordioso.

A mi "Alma Terra Mater", por mi carrera, por la estancia y felicidad que esta me brindo.

Al Dr. Héctor Madinaveita Ríos, por haberme brindado incondicionalmente su valioso apoyo y tiempo, como también por haber permitido realizar mí trabajo de investigación, por su asesoría, por compartir sus conocimientos y por su gran calidad de ser humano.

Al Ing. Rolando Loza Rodríguez, por su asesoría, por su apoyo y orientación, por darme ánimos y sobre todo por haberme escuchado cada uno de mis problemas.

Al M.C. Federico vega Sotelo, por apoyarme en el momento que requería, por su amable asesoría, por formar parte de este proyecto, así como también por los conocimientos que me trasmitió como mi profesor durante toda mi carrera.

Al Ing. Rubén López Tovar le agradezco por su colaboración y apoyo en esta tesis y formar parte del miembro del jurado, como también ser uno de mis asesores de este proyecto.

Al Dr. José Luis Reyes Carrillo gracias por su apoyo y dedicación para finalizar esta gran labor. También agradezco a la **Biòl. Isabel Blanco** por brindarme su valiosa amistad y apoyarme en el trabajo de campo.

DEDICATORIAS.

A mis padres, José Raúl González Velázquez y María Concepción Cifuentes Hernández, por haberme traído al mundo por haberme apoyado incondicionalmente y de corazón para lograr este sueño que hoy en día es una realidad. A mi padre por confiar en mí y por su gran sacrificio por lo cual hoy en día es recompensado. A ti mamá por tu gran manera de ser, por esa alma tan blanca y pura que tienes lo cual siempre me aconsejabas. Para ustedes con el amor tierno y puro.

A mis hermanos, Abel, José, Avisai, Jesús, Flaviano, por haberme dado ánimos en el momento que requería, por compartir conmigo momentos bellos de nuestra niñez y juventud. A Miriam, simón, Juanito Martin y Daniel. Los amo a ustedes aun que no convivimos mucho, los amo a todos por igual.

A mis abuelitos, a Dominga Velázquez Morales y Amadeo Gonzales por haberme inculcado una buena educación, enseñarme los valores de la vida, por cuidarme en mi niñez por ser tan amorosa te amo eres una de mis mejores abuelitas.

A mi novio Alejandro, por estar siempre conmigo y apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida, te aprecio mucho. Dios te bendiga por siempre.

A mi amiga Zeny que aprecio mucho por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida, por tu amistad por tu confianza y apoyo incondicional. Y a todos **A mis amigos** por haber compartido conmigo momentos hermosos e inolvidables y difíciles a lo largo de la carrera.

INDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	¡Error! Marcador no definido.
DEDICATORIAS.	¡Error! Marcador no definido.
INDICE DE CONTENIDO	¡Error! Marcador no definido.
INDICE DE CUADROS.....	IV
RESUMEN.....	¡Error! Marcador no definido.
I. INTRODUCCIÓN	¡Error! Marcador no definido.
1.1. OBJETIVO.....	3
1.1.1. OBJETIVO GENERAL	3
1.1.2. OBJETIVO ESPECIFICO	3
1.1.3. HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Origen de contaminación por metales pesados.....	4
2.2. El suelo y la contaminación.....	5
2.3. Características de los metales pesados.....	7
2.4. Contaminación causada por la industria minera.....	8
2.5. Panorama problemática en la región lagunera por metales.....	9
2.6. Disponibilidad de metales pesados en el suelo	10
2.7. Calidad de suelos contaminados relacionado con la biodisponibilidad.....	10
2.8. Metales pesados en el suelo agrícola.....	1
2.10. El plomo.....	12
2.10.1. Problemática de contaminación por Pb en Mexico	13
2.10.2. Efectos del plomo en la salud.....	13
2.10.3 usos del plomo.....	14
2.10.4. Efectos del Plomo en la vegetación.....	15
2.11. Cadmio	15
2.11.1. Problemática de contaminación por Cd en Mexico	16
2.11.2. Efectos del Cadmio en la salud.....	16
2.11.3. Usos del cadmio	17
2.11.4. Efectos del Cadmio en el Ambiente	18
2.12. Zinc	19
2.12.1. Efectos del Zinc en la salud	19
2.12.2. Usos del Zinc.....	20
2.12.3. Efectos del zinc en el medio ambiente.....	20
2.13. Normas oficial mexicana del Plomo, Cadmio y Zinc.....	21
2.13.1. Norma oficial mexicana NOM - 021-SEMARNAT-2000.	21
2.13.2. Norma oficial mexicana (NOM-001-ECOL-1996).....	21
2.14. Límites máximos permisibles de metales pesados en el suelo según normas extranjeras.	22
2.14.1. Límite máximo de plomo (Pb) en suelo.	22
2.14.2. Límite máximo de cadmio (Cd) en suelo según la EPA.....	22
2.14.3. Límite máximo de Zinc (Zn) en el suelo según EPA.	22
2.15. Técnicas de regresión.....	22
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Localización geográfica del área del estudio.....	24

3.2. Muestreo de suelos.....	24
3.3. Determinación de metales pesados.....	24
3.4. Preparación de la solución.....	25
3.5. Análisis estadístico	26
IV.- RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	27
4.1. Concentración de los metales pesados comparados conforme la norma oficial mexicana	27
4.2 análisis de varianza y modelo de predicción.....	31
V. CONCLUSIONES	¡Error! Marcador no definido.
VI. RECOMENDACIONES	35
VII. BIBLIOGRAFIA.....	36

ÍNDICE DE CUADROS.

Cuadro 1. Concentración de Pb (Mg/Kg^{-1}), Zn (Mg/Kg^{-1}) y Cd (Mg/Kg^{-1}), la media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de cada metal, encontrado en el suelo de uso agrícola en la región de Nazas Durango. 2010.....	27
Cuadro 2. Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción del comportamiento del Pb en suelos agrícolas de la región de Nazas Durango. 2010.....	31

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo analizar los contenidos de metales pesados plomo (Pb), Zinc (Zn) y Cadmio (Cd), en suelo agrícola, localizado en la región de Nazas Durango. Se hicieron muestreos de suelos el 26 de octubre del 2010, dentro de una parcela del cultivo de nogal, al alzar en se tomaron 15 muestras de 0 a una profundidad de 30 cm, tomando una distancia variable entre cada muestra. Los análisis de las muestras se realizaron en las instalaciones de la UAAAN UL. En el laboratorio de suelos de la universidad, en el periodo Octubre 2010-Enero 2011. Los resultados de los contenidos de estos metales en los suelos son bastante elevados, de acuerdo a su toxicidad la concentración de Pb osciló entre el valor máximo 119.6 mg/Kg^{-1} y mínimo 107.7 mg/Kg^{-1} ; mientras el Cd oscila entre (el valor máximo 36.6 mg/Kg^{-1} y el valor mínimo 35.1 mg/Kg^{-1}) y el Zn (el valor máximo 36.0 mg/Kg^{-1} el valor mínimo 26.4 mg/Kg^{-1}), con lo cual se exceden los límites máximos permisibles según la NOM - 021-SEMARNAT-2000, mientras que exceden poco los límites máximos permisibles de la norma oficial mexicana NOM –ECOL-2000. Con los datos obtenidos se efectuó un análisis de regresión múltiple utilizando el paquete estadístico SAS. El mejor modelo de predicción encontrado es el que considera al Pb como la variable dependiente (cuadro 2.1). Se aprecia que el modelo de predicción obtenido es significativo ($P > 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.55, por lo que de acuerdo al análisis, el 55 % de la variación del plomo es explicado por el contenido del cadmio en el suelo. El coeficiente de variación (C.V.) fue de 5.15 %, siendo proporcional con la r^2 que presenta el modelo donde la variable dependiente fue el Pb, los resultados indican que son mínimos los errores experimentales entre la variable dependiente Pb con el Cd ($P > 0.05$). Los demás modelos tuvieron poca significancia ($r^2 < 0.05$).

Palabras claves: Metales pesados, suelos, toxicidad, concentración, plomo, cadmio, Zinc.

I. INTRODUCCIÓN

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).

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo (Pb), el cadmio (Cd) y el arsénico (As), 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, 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 Pb el único contaminante que preocupa (Valdés-Perezgasga y Cabrera-Morelos. 2010).

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).

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).

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente (Angelova *et al.*, 2004).

Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el zinc, el mercurio, el cromo, 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, como también a los suelos agrícolas y organismos que habitan en él, plantas y animales (Spain *et al.*, 2003).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Martín. 2000).

OBJETIVO

2.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la concentración de metales pesados Pb, Zn y Cd, en suelo agrícola localizado en la región Nazas Durango.

2.2. OBJETIVO ESPECIFICO

Analizar la concentración de Pb, Cd y Zn en suelo agrícola de la región de Nazas Durango.

2.3 HIPÓTESIS ALTERNANTE

La concentración de Pb, Cd y Zn en suelos agrícolas de la región de Nazas Durango, rebasan los límites máximos permisibles según distintas normas oficiales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen de la contaminación por metales pesados

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. La contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales (Prieto Méndez *et al.*, 2009).

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de las plantas (Baird. 1999).

Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda. Las concentraciones excesivas de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos. (Pendías y Gulson *et al.*, 2001).

Las concentraciones anómalas de metales pesados en los suelos pueden deberse básicamente a dos tipos de factores: causas naturales y causas antropogénicas. Las causas naturales pueden ser entre otras, actividad volcánica, procesos de formación de suelos, meteoros, erosión de rocas, terrenos, tsumanis, etc. Las causas antropogénicas pueden ser de minería, la

combustión de carburantes fósiles, la industria a través de los vestidores, emisiones, residuos (incineración, depósito), como algunos pesticidas y fertilizantes, etc. (Navarro -Aviñó *et al.*, 2007).

Ocurre eventualmente debido a la contaminación de tierras por procesos industriales, residuos de la minería y corrosión de estructuras galvanizadas (Rodríguez - Serrano *et al.*, 2008).

El suelo es alterado como resultado de las actividades mineras. Una de las anomalías biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción, es el aumento de la cantidad de micro elementos en el suelo convirtiéndolos a niveles de macro elementos los cuales afectan negativamente la biota y calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo (Wong, 2003).

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos” (Méndez *et al.*, 2009).

2.2. El suelo y la contaminación

El suelo es un recurso natural definido generalmente como la capa superior de la corteza terrestre, está formado por partículas de minerales, materia orgánica, agua aire y allí nacen y desarrollan miles de seres vivos, desde microorganismos hasta plantas y animales superiores; las principales funciones de los suelos son la provisión de un entorno físico y cultural para el hombre y

sus actividades; la producción de biomasa y de materias primas; el apoyo al desarrollo de la biodiversidad y la contaminación de sumideros de carbono (COM. 2002)

La contaminación es uno de los problemas más importantes del suelo (AEMA-PNUMA, 2002) esto consiste en la introducción de elementos extraños al sistema suelo o la existencia de un nivel inusual de uno propio que, por sí mismo o por su efecto sobre los restantes componentes, genera un efecto nocivo para los organismos del suelo, sus consumidores, o es susceptible de transmitir a otros sistemas (Martínez *et al.*, 2005)

Según la definición de la EPA un sitio contaminado “es aquel que tiene la presencia, verdadera o percibida, de alguna sustancia peligrosa o algún contaminante” (EPA, 2003). Genera un efecto nocivo para los organismos del suelo y sus consumidores. La contaminación puede tener un origen natural y/o antrópico o inducido (COM. 2002).

Se considera suelo contaminado aquel cuyas características han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes químicos de carácter peligroso de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente (Real Decreto 9/2005).

La contaminación no solo perjudica al suelo, si no también puede tener implicancias en aguas superficiales y subterráneas al ser arrastrados los contaminantes de ese lugar ya sea por medio de lluvias o simple infiltración. Además la presencia de contaminantes por sobre ciertos niveles implica múltiples consecuencias negativas para la cadena alimenticia (Contreras y Herrera. 2005).

2.3. Características de los metales pesados

Los metales pesados se definen como aquellos elementos que tienen una densidad mayor de 5 g/cm^3 en su forma elemental. Estos están conformados por 38 elementos, pero generalmente son 12 los utilizados más comúnmente y descargados como parte de una serie de residuos al medio ambiente: Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn, y Zn. Dos de los contaminantes encontrados con más frecuencia en las zonas mineras del país son el Arsénico y el Plomo, junto con el Cadmio en algunas de ellas (Valdez, 1999).

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentración incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), arsénico (As), cromo (Cr), entre otros. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Prieto Méndez *et al.*, 2009)

La toxicidad de los metales pesados depende, como ha quedado expuesto previamente, de la concentración, la forma química y la persistencia. Los metales pesados están considerados como muy peligrosos para los seres vivos en general, pues poseen una gran toxicidad, en parte debido a su elevada tendencia a bioacumularse. La bioacumulación es un aumento de la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, de forma que llega a ser superior a la del producto químico en el ambiente (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. 4. 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).

2. 5. Panorama problemática en la región lagunera por metales.

Se encontró 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 (20 partes por millón). Sin embargo, para el cadmio el material más tóxico de los tres, encontraron que Torreón tiene los niveles más elevados jamás encontrados en la literatura científica (Valdés-Perezgasga y Cabrera-Morelos, 2010).

El problema en la ciudad de Torreón es provocado principalmente por el plomo, cadmio y el arsénico, tres elementos 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. En marzo de 1999 las autoridades federales aceptaron que Peñoles era la fuente de las emisiones tóxicas de plomo y dióxido de azufre (López, 1999).

La primera queja documentada oficialmente contra Peñoles data de 1993, desde entonces han sido recurrentes las quejas de la comunidad sobre las molestias que se atribuyen a las actividades de esta empresa, en especial, irritación de ojos y garganta y olores desagradables; sin embargo, hasta el momento las acciones correctivas por parte de la empresa han sido lentas, renuentes y definitivamente insuficientes (Viniestra *et al.*, 1964).

2. 6. Disponibilidad de metales pesados en el suelo

La cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Kimberly y William. 1999)

Los suelos arenosos contienen menores concentraciones de metales pesados que los suelos arcillosos (Ross. 1994).

El pH es un factor esencial, para que la mayoría de los metales tiendan a estar más disponibles en un pH ácido, excepto As, Mo, Se y Cr, los cuales tienden a estar más disponibles a pH alcalino es una variable importante para definir la movilidad del catión, debido a que medios con pH moderadamente alto se produce la precipitación como hidroxicomplejos. La adsorción de los metales pesados está fuertemente condicionada por pH del suelo y por tanto, también su biodisponibilidad de sus compuestos (Alloway. 1995).

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).

3.8. Metales pesados en el suelo agrícola

Esta actividad puede contaminar el suelo con metales pesados a través de la aplicación de fertilizantes que contienen trazas de metales pesados, de plaguicidas con metales pesados, de estiércol, purines, composta y lodos de aguas residuales. (Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente de Holanda. 1992).

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 cultivo. Esto se debe a la adición de diversas sustancias, como: fertilizantes, pesticidas, aguas negras y lodos residuales de origen industrial y doméstico, vertidos industriales y elementos menores (Bonilla-Fernández *et al.*, 1993).

Los elementos menores pueden participar en una serie de procesos al incorporarse al ciclo del agua, principalmente en la fase relacionado 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. En consecuencia, el uso agrícola de estos suelos contaminados por metales pesados, aparentemente, produce cultivos normales, pero potencialmente peligrosos para el consumo humano y animal (Fergusson y Vázquez. 2001).

2.10. Plomo

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).

El plomo es un metal natural gris azulado que se forma en la corteza terrestre. Su símbolo químico es Pb. Su número atómico es 82, 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).

El plomo 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 para los humanos (Rosen, 1992).

Industrialmente sus compuestos más importantes son los óxidos de plomo y el tetraetilo de plomo. El plomo forma aleaciones con muchos metales y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones (Alkorta *et al.*, 2004)

2.10.1. Problemática de contaminación por Pb en Mexico

En la región chinampera de Xochimilco y Tláhuac, en las inmediaciones de la Ciudad de México se presenta un deterioro ambiental severo derivado de la presencia de Pb. Los iones metálicos extraíbles tuvieron el siguiente orden: Pb>Cu>Cd (Ramos-Bello *et al.*, 2001).

El área conocida como San Francisco del Oro, Chih, en el área de influencia de la presa de Jales la cual es un área de confinamiento de los desechos de la industria minera, abarcó 3 km lineales en dirección de vientos dominantes a partir de la fuente de contaminación. El Pb en los primeros 5 sitios ubicados dentro de los 1 500 m de distancia a los jales, presentan valores arriba de las 1000 ppm en la parte superficial (Puga *et al.*, 2006).

2.10.2. Efectos del Pb en la salud

El plomo es muy toxico para los seres vivos. Afecta a los sistemas endocrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal, además de afectar la piel y los riñones. Persiste en el suelo, en el aire, en el agua, en los hogares y en los expuestos a él. La exposición al plomo, aun a niveles bajos, afecta a niños y adultos. En cantidades muy pequeñas, interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardo y problemas digestivos. En casos extremos, causa convulsione, colapso e incluso la muerte. La exposición a cantidades muy pequeñas puede causar a largo plazo daños medibles e irreversibles en niños aun cuando éstos no muestren síntomas particulares. En los adultos, un nivel bajo de plomo causa incrementos pequeños, pero significativos en la presión arterial y no existe evidencia de que haya un umbral para este efecto. La

hipertensión causada por la exposición al plomo contribuye a la muerte de miles de personas cada año. También afecta la fertilidad (Valdez. 2001).

Afecta a todos los sistemas del cuerpo humano. En los niños, reduce el desarrollo intelectual, el crecimiento y la capacidad auditiva, causa anemia y provoca problemas de comportamiento y déficit de atención. A valores de exposición extremadamente altos, el plomo puede causar daños cerebral cebero y la muerte. Los niños son especialmente susceptibles a la intoxicación por plomo (Villalobos-Jauregui *et al*; 2006).

Cuando el plomo es ingerido inhalado o absorbido por la piel resulta ser altamente toxico para los seres vivos en general y para los humanos en particular. Se sospecha que es toxico para los sistemas endocrinos, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal además de poder afectar la piel y los riñones la exposición al plomo a un niveles bajos, afecta a niños y adultos. En cantidades muy pequeñas, el plomo interfiere con el desarrollo del sistema neurológico, causa crecimiento retardado y problemas digestivos en casos extremos causa convulsiones, colapsos e incluso la muerte (Valdés-Perezgasga y Cabrera-Morelos. 2010).

2.10.3. Usos del Pb

El plomo existe naturalmente en la corteza terrestre de donde es extraído y procesado para usos diversos el plomo se emplea en la fabricación de baterías y en el revestimiento de cables eléctricos. Se utiliza industrialmente en las redes de tuberías, tanques y aparatos de rayos X. Debido a su densidad y propiedades nucleares, se usa como blindaje protector de materiales radioactivos entre las numerosas soldaduras, el metal tipográfico y diversos cojinetes metálicos. Una gran parte del plomo se emplea en forma de

compuestos, sobre todo en pinturas y pigmentos (Valdez-Pérez Gasga y Cabrera-Morelos. 1999).

2.10.3. Efectos del Pb en la vegetación

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 se llegan a desarrollar 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).

2.11. Cadmio

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

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).

3.10.1. Problemática de contaminación por Cd en Mexico

Para evaluar los contenidos de metales pesados, materia orgánica y nutriente en la bahía de Chetumal, se determinaron las concentraciones de los metales pesados (Cd, Pb, y Zn) en sedimentos superficiales, así como algunos parámetros ambientales (materia orgánica y nutriente) en sedimento y agua. Los contenidos de Cd encontrados en los sedimentos son elevados de acuerdo a la toxicidad de estos metales. La concentración de Cd oscila entre 0.00 a 1.00 ppm (González *et al.*, 2008).

3.10.2. Efectos del Cd en la salud

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)

Las medidas preventivas contra el envenenamiento por cadmio giran en torno a evitar su ingesta. Incrementar los hábitos de higiene en zonas donde exista este metal en polvo; no fumar, beber preferentemente agua purificada y usarla para cocinar y lavarse los dientes; no usar utensilios de plástico para preparar alimentos, guardar o servir alimentos; evitar que los niños mordisqueen juguetes de plástico, bolígrafos, etc. evitar los mariscos y las viseras, pues acumulan el cadmio y también ayuda el tomar mega dosis de vitamina C (varios gramos al día); tomar alimentos ricos en bioflavonoides (centro germinado, polen de abeja por ejemplo); tomar levadura de cerveza que contiene el complejo B y selenio(Valdez-Perezgasga y Cabrera-Morales.1999).

La dosis tolerable de Cadmio propuesta por la Organización Mundial de la Salud es de 400 a 500 mg por semana para un adulto normal (Galván-Bobadilla. 2005).

3.10.3. 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).

2.11.4. Efectos del Cd en el ambiente

En 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).

2.12. Zinc

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 recubrimiento protector de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados (Gulson *et al.*, 1996)

3.12.1. Efectos del Zn en la salud

El zinc es un nutrimento indispensable para el organismo de los humanos y juega un papel importante en una serie de procesos metabólicos, participa en el sitio catalítico de varios sistemas enzimáticos; participa como ion estructural en membrana biológicas, y guarda una estrecha relación con la síntesis de proteínas, entre otras cosas (Rosado, 2008).

Demasiada cantidad de zinc puede también causar problemas de salud evidentes, como es úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia. Niveles altos de zinc pueden dañar el páncreas y disturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de zinc intensivas pueden causar desórdenes respiratorios (Higuera y Oyarzun. 2008).

3.12.2. Usos del Zn

El zinc se usa para techadas, canalones y cornisas, también se emplea para hacer objetos moldeados, planchas para fabricar recipientes y hacer fotograbados. El hierro se protege de la corrosión mediante el recubrimiento de zinc, así mismo se utiliza en las pilas eléctricas como ánodo, en las pilas de zinc-plata-oxígeno usadas en los misiles y las capsulas especiales y en baterías zinc-aire para ordenadores portátiles. El metal también forma aleaciones como el latón (cobre-zinc) y la plata alemana. Los compuestos de zinc y su polvo son usados principalmente en la agricultura, pintura e industria de caucho (Sánchez–Albavera y Larde. 2006).

3.12.3. 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

cuerpos de estos peces, este es capaz de biomagnificarse en la cadena alimentaria (Henry, 2000).

3.13. Norma oficial mexicana del Pb, Cd y Zn

3.13.1. Norma oficial mexicana NOM - 021-SEMARNAT-2000

La normatividad en México hace referencia a un límite máximo permisible para el plomo $100-300 \text{ mg/kg}^{-1}$ 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 $3-5 \text{ mg kg}^{-1}$ 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.

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

La normatividad en Mexico 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.

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

2.14.1. 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).

2.14.2. 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)

2.14.3. 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).

2.15. Técnicas de regresión

El análisis de regresión es una técnica estadística que puede ser usada para analizar la relación entre una variable dependiente y otra independiente (que en este caso sería una regresión simple), o más de una variables independientes (regresión múltiple). El objetivo del análisis de regresión 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 un valor de alto poder de la variable

independientes que mejor predicen la variable dependiente, para el caso de una regresión simple. 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).

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización geográfica del área del estudio

El ejido La Perla municipio de Nazas Durango, se encuentra ubicado entre las coordenadas geográficas 25° 16' 31" de latitud norte y 104° 07' 44" de longitud oeste (StreetPilotGPS, 1998). Con una altura de 1120 metros sobre nivel del mar (CNA, 2002).

El presente trabajo se realizó en el periodo de 26 de Octubre del 2010 a 16 de Enero del 2011. Las muestras de suelos que fueron analizados, se sacaron de la parcela con cultivo de nogal, del ejido la Perla Municipio de Nazas Durango, México. Los análisis de las muestras se realizaron en el laboratorio de suelos de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL.

3.2. Muestreo de suelos

Las muestras de suelo se obtuvieron de la parcela antes mencionada el día 26 de octubre del 2010, los puntos que se tomaron dentro de la parcela del cultivo nogal, fueron al zar en el cual fueron 15 muestras tomadas de 0 a una profundidad de 30 cm, la distancia entre cada muestra fue variable.

3.3. Determinación de metales pesados

Para determinar los metales pesados 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 recíproca 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 *Perkin Elmer* 2380 donde se calibra dependiendo del metal que se analizara por lo cual Pb 20 ppm, Cd 2 ppm y Zn 1 ppm su nivel de estándar

Calculo para obtener el dato en Ppm (mg kg^{-1})

$\text{Ppm Pb} = \text{CONC. LEÍDA EN ABS. AT.} \times \text{DIL. DE MASA} \times \text{DIL. DE VOLUMEN}$. Igual para el Cd y Zinc.

4.4. Preparación de la solución

1.- Solución concentrado 260 ml de HNO_3 /LT de H_2O destilada.

2.- Se realizó una dilución una de muestra y tres de agua destilada.

3.5. Análisis estadístico

El diseño estadístico empleado en este trabajo se basa en un análisis estadístico de comparación de variables, donde se obtuvieron las correlaciones más significativas de los metales pesados Pb, Cd y Zn a través de un análisis de regresión, conforme el programa estadístico SAS separando a cada relación como diferenciales e integrando las variables dependientes e independientes, obteniendo probabilidades del comportamiento del sistema suelo, empleando técnicas matemáticas de estadística básica.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Concentración de los metales pesados comparados conforme la norma oficial mexicana NOM-021-SERMARNAT.

Cuadro 1. Concentración de Pb (Mg/Kg^{-1}), Zn (Mg/Kg^{-1}) y Cd (Mg/Kg^{-1}), la media, desviación estándar, valor máximo y valor mínimo de cada metal, encontrado en el suelo de uso agrícola en la región de Nazas Durango. 2010.

Nº de Muestras	Pb Mg/Kg^{-1}	NOM-021- SEMARNAT- 2000	Zn Mg Kg^{-1}	NOM-021- SEMARNAT- 2000	Cd Mg Kg^{-1}	NOM-021- SEMARNAT- 2000
1	119.66	Valor máximo permisible de 300 mg/Kg^{-1}	28.2	Límite máximo permisible de 1.0 mgKg^{-1}	35.4	Límite máximo permisible de 3 - 5 mgKg^{-1} .
2	114		29.4		35.7	
3	116.7		30.9		35.1	
4	107.7		26.4		35.4	
5	116.1	NOM -001- ECOL-1996	36	NOM-001- ECOL-1996	36.6	NOM-001- ECOL-1996
6	113.7		29.7		35.1	
7	111.9	Valor máximo	32.7	Valor limite	35.1	Valor limite
8	110.1	Permisible de	34.8	Máximo	35.1	Máximo
9	115.8	10 mg/kg^{-1}	35.1	Permisible	36.3	permisible
10	116.1		35.7	20 mg/kg^{-1}	37.2	0.10 mg /kg^{-1}
11	112.5		25.2		35.4	
12	105.6		36		35.7	
13	100.8		35.4		35.4	
14	115.5		33.6		35.4	
15	113.1		33.9		36.6	
16	116.7		33.3		35.1	
17	108.9		33.3		35.1	
18	113.4		32.7		35.1	
19	117		31.8		36.3	
20	110.1		32.4		37.2	
21	112.2		25.2		34.8	
22	115.2		27.6		36.3	
23	443.7		35.1		35.4	
24	117.3		35.4		35.4	
25	102.9		16.8		35.1	
26	114.6		33.6		36	
27	109.5		34.4		36.3	
28	108.3		34.8		34.2	
29	121.8		35.7		35.1	
30	123.3		33		35.67	
Media	116.9		35		24.11	
Desviación Estándar	100.8		1.73		19.94	
Valor máximo	119		36		36.6	
Valor mínimo	107.7		26.4		35.1	

En el Cuadro 1 se muestra los valores del análisis estadístico básico que corresponden a la media, la desviación estándar, mínima y máxima.

La desviación estándar para el Pb y Cd respectivamente es de ± 100.8 , ± 19.94 . Mientras que los valores de la media para Pb y Cd son respectivamente $116.9 \text{ Mg/ Kg}^{-1}$ y 24.11 Mg Kg^{-1} . Estos valores establecen que se presentó un acontecimiento conocido como error experimental, los altos valores de la desviación estándar señalan que los trabajos de campo y laboratorio presentaron errores no controlados o que no fueron vistos en el momento del análisis de laboratorio.

Para el Zn su desviación estándar es ± 1.73 , con lo cual al compararla con la media (35 Mg/ Kg^{-1}) no establece ningún error experimental, esto indica que se manipulo correctamente las muestras de Zn al momento de su análisis de laboratorio.

En base a los valores máximos y mínimos ($119-107.1 \text{ Mg /Kg}^{-1}$) indican que el Pb cumple con la norma **021-SEMARNAT-2000** Pb: 300 mg Kg^{-1} , esto nos indica que están dentro de lo tolerable más sin embargo la **NOM-001-ECOL-1996** Pb: 10 Mg/ Kg^{-1} , rebasan los límites máximos. De cualquier modo, si se considera que el Pb de ninguna manera es un bioelemento, esto significa que de cualquier modo, aunque se encuentre en concentraciones bajas en el suelo, está contaminando a la flora y fauna de este sistema.

Los valores máximos y mínimos del zinc ($36-26.4 \text{ Mg /Kg}^{-1}$) indican que este oligoelemento rebasan las normas **021-SEMARNAT-2000** Pb: 1.0 mg Kg^{-1} , **NOM-001-ECOL-1996** Pb: 20 mg Kg^{-1} .

Los valores máximos y mínimos del cadmio (36.6-35.1 mg K-1) indican que este elemento rebasan las normas **021-SEMARNAT-2000** Pb: 3-5 mg /Kg¹, **NOM-001-ECOL-1996** Pb: 0.10 mg Kg-1.

Esto indica que el plomo y cadmio, elementos no esenciales pueden afectar al consumidor de los productos agrícolas que se siembran en este lugar del Nazas Durango. En el caso del zinc su concentración excesiva en el suelo de estudio puede beneficiar el crecimiento de los cultivos ya que es un oligoelemento, por lo cual no es necesario aplicar más cantidad de este elemento pues podría repercutir en dañar los cultivos.

Como menciona Rafael (2006) que los suelos contaminados por metales pesados las plantas los acumulan posiblemente, principalmente en el sistema particular como también ocurre en el caso del Pb, Cd y Zn.

En base a América (2004), el Pb 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 se llegan a desarrollar normalmente

Ramos-Bello *et al.*, (2001), citan que en la región chinampera de Xochimilco y Tláhuac, en las inmediaciones de la Ciudad de México se presenta un deterioro ambiental severo. El contenido de Pb en los suelos presenta concentraciones que fluctúan de 0.22 % a 0.66 %. Los iones metálicos extraíbles tuvieron el siguiente orden: Pb>Cu>Cd

Como citan Méndez *et al.*, (2009). Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanzan niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas, y un disturbio funcional en otros componentes del

ambiente así como la disminución de las poblaciones microbianas del suelo, el término que se usa o se emplea es “polución de suelos”

Como argumentan Spain *et al.*, (2003), se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el zinc, el mercurio, el cromo, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que aunque algunos de ellos son esenciales para las células, a altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos.

Henry (2000) cita que 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.

Conforme 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.

Sánchez y Larde (2006), citan los compuestos de zinc y su polvo son usados principalmente en la agricultura, pintura e industria de caucho.

Como lo han reportado (Anónimo, 2008) en 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.

5.2. Análisis de varianza y modelo de predicción.

Cuadro 2. Modelo de regresión y análisis de varianza para la predicción del comportamiento del Pb en suelos agrícolas de la región de Nazas Durango. 2010.

Fuente	GL	Suma de cuadrados	cuadrado Medio	valor de F	prov.> F	R ²
Modelo	1	5.95869	5.95869	6.181	0.1134	0.5552
Error	7	230.56131	32.93733			
C Total	8	236.52000				

C.V. 5.14718%

Variable	GL	Parámetro Estimado	Error estándar	Prov. > T
intercepto	1	54.985169	132.88512534	0.6914
Cd	1	1.588983	3.73583939	0.6834

El mejor modelo es el que consideró al Pb como variable dependiente. El Cuadro 2 incluye el modelo de regresión y el análisis de varianza para la predicción del Pb. En este Cuadro se aprecia que el modelo de predicción obtenida es significativa ($P \geq 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.55, por lo tanto el 55 % de la variación del Pb es explicado por el valor de Cd en el suelo. El Zn no tuvo correlación con el Pb. El valor del coeficiente de determinación obtenido considera al modelo aceptable para este tipo de sistemas (Cuadro 2.).

Como presentan Volke *et al.*, (2005) 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.

Como argumenta Wong, (2003), el suelo es alterado como resultado de las actividades mineras, una de las anomalías biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción, es el aumento de la cantidad de micro elementos en el suelo convirtiéndolos a niveles de macro elementos los cuales afectan negativamente la biota y calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo.

En base a (Anónimo Universidad Autónoma de Zacatecas, 2005) cada vez se considera que el problema de la contaminación del suelo debe de atenderse de manera inmediata, desafortunadamente los costos para remover los contaminantes por métodos fisicoquímicos, han hecho que los industriales ignoren dicho problema

En base a (Anónimo Instituto Nacional de Salud Pública y Medio Ambiente de Holanda 1992), la actividad agrícola puede contaminar el suelo con metales pesados a través de la aplicación de fertilizantes que contienen trazas de metales pesados (fosfatados), de plaguicidas con metales pesados, de estiércol, purines, composta y lodos de aguas residuales.

Como aseguran Fergusson y Vázquez (2001), en consecuencia, el uso agrícola de estos suelos contaminados por metales pesados, aparentemente,

produce cultivos normales, pero potencialmente peligrosos para el consumo humano y animal.

De acuerdo a Prieto Méndez (2009), Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), arsénico (As), cromo (Cr), entre otros. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos

Según citan Prieto Méndez *et al* (2009), la contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales.

Como asegura Baird. (1999), Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos.

Como citan Gulson *et al* (1996) las concentraciones excesivas de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos.

Según Navarro-Aviñó *et al* (2007).La toxicidad de los metales pesados depende, como ha quedado expuesto previamente, de la concentración, la forma química y la persistencia. La bioacumulacion es un aumento de la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, de forma que llega a ser superior a la del producto químico en el ambiente.

V. CONCLUSIONES

La desviación estándar para el Pb y Cd respectivamente es de ± 100.8 , ± 19.94 . Mientras que los valores de la media para Pb y Cd son respectivamente $116.9 \text{ Mg/ Kg}^{-1}$ y 24.11 Mg Kg^{-1} . Estos valores establecen que se presentó un acontecimiento conocido como error experimental, los altos valores de la desviación estándar señalan que los trabajos de campo y laboratorio presentaron errores no controlados o que no fueron vistos en el momento del análisis de laboratorio. Para el Zn su desviación estándar es ± 1.73 , con lo cual al compararla con la media (35 Mg/ Kg^{-1}) no establece ningún error experimental, esto indica que se manipulo correctamente las muestras de Zn al momento de su análisis en el laboratorio.

La concentración de Pb osciló entre el valor máximo 119.6 mg/Kg^{-1} y mínimo 107.7 mg/Kg^{-1} ; mientras el Cd osciló entre (el valor máximo 36.6 mg/Kg^{-1} y el valor mínimo 35.1 mg/Kg^{-1}) y el Zn (el valor máximo 36.0 mg/Kg^{-1} el valor mínimo 26.4 mg/Kg^{-1}), con lo cual se exceden los límites máximos permisibles según la NOM - 021-SEMARNAT-2000, mientras que exceden poco los límites máximos permisibles de la norma oficial mexicana NOM – ECOL-2000. El modelo de predicción obtenida es significativa ($P \geq 0.05$) con un coeficiente de determinación de 0.55, por lo tanto el 55 % de la variación del Pb es explicado por el valor de Cd en el suelo. El Zn no tuvo correlación con el Pb. Esto indica que el plomo y cadmio, elementos no esenciales pueden afectar al consumidor de los productos agrícolas que se siembran en este lugar del Nazas Durango. En el caso del zinc su concentración excesiva en el suelo de estudio puede beneficiar el crecimiento de los cultivos ya que es un oligoelemento, por lo cual no es necesario aplicar más cantidad de este elemento pues podría repercutir en dañar los cultivos.

VI. RECOMENDACIONES.

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

Al llevar a cabo una evaluación de metales pesados de suelos, muestrear con diferentes profundidades para tener más conocimiento sobre el problema de la contaminación.

Para investigaciones posteriores se recomienda obtener datos sobre concentración de metales pesados tanto del agua de bombeo como de agua de río para saber el origen de la contaminación.

En la medida de lo posible evitar la realización de actividades que lleven a la contaminación de los sistemas.

VII. BIBLIOGRAFIA

- 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/default.htm>. Consultado en el 2011.
- Alkorta I., J. Hernández-A, J. M. Becerril, I. Amezaga, I. Albizu y C. Garbisu. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. Review environmental science and Bio/Technology. N° 3. 71-90.
- Alloway y Al-Khashman, O. A. 1995, Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas Vol. 17 N°3*. Pp 139-146.
- Angelova V., R, Ivanova, V. Delibaltova y k Ivanov, 2004. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibre crops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*, N°19: Pp 197–205.
- Bonilla-Fernández, G. G. Romero-Hernández y J. González- Domínguez. 1993. Evaluación de metales pesados en terrenos agrícolas de la región de Atlixco y Huequechula, Edo. De Puebla. *Rev. Int. Contam. Ambient.* Vol .9 N°3 Pp 26.
- Baird C. 1999. *Environmental Chemistry*. 2nd Ed. W.H. Freeman & Company. http://revistas.concytec.gob.pe/scielo.php?script=sci_arttext&id=S1726-22162006000100020&lng=pt&nrm=iso. consultada 23 Enero 2011.
- Cervantes, C. (2006). Microorganismos que expulsan metales pesados. Instituto de investigaciones Químicos- Biológicas, universidad michoacana de san Nicolás de Hidalgo spectra
- COM, 2002. Estrategia temática para la producción del suelo. Comisiones de las comunidades Europeas. Bruselas. (Consultado 2 de enero de 2011). Pp 1-39.
- Contreras A. P. y L. Herrera Z. 2005. Suelos contaminados con hidrocarburos:RNA 16S como indicador de impacto. Universidad de Chile (en línea). <http://cabierta.uchile.cl/revista/26/articulos/pdf/rev6.pdf>. (consultado en el 2011). Pp. 1-72.

- Fergusson, J.E. y Vazquez L.M. 2001. The heavy elements: Chemistry environment impact and health effects. Pergamon Press. London, UK. P. 17
- 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.
- González Bucio J. L., J. M. Carrión Jimenez, O. Y. Gamboa y C. Díaz López. 2008. Contaminación de la bahía de Chetumal por metales pesados, materia orgánica y nutrientes producidos por las descargas de aguas residuales municipales. *Caos Conciencia*. N° 1 pp 5-11.
- Galván –Bodilla-2005- Artículos relacionados Artículo: Concentraciones de cadmio y zinc en tejido de cáncer prostático. Para la medición de estos metales fue por espectrofotometría. 52, Núm. 2, pp 109-117 • Abril - Junio, 2005 MG. Galván-Bobadilla
- 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.
- 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.
- Henry R. J. 2000 (En línea). 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.
- Hernández Xolocotzi E., 1998. Zacates Indígenas. *Revista de geografía agrícola*. Tomo II. pp. 491-499.
- Higuera y Oyarzun, 2008). (En línea). Metales pesados departamento de ingeniería geológica y minera universidad politécnica de Almeda. España
http://www.uclm.es/users/higueras/MGA/Tema08/Minerales_Salud_2.htm

- Higuera y Oyarzun, 2008 (en línea) metales pesados y su Bioacumulación, [Htp://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practicas4.pdf](http://www.fcyt.umss.edu.bo/docentes/29/practicas/practicas4.pdf). (Consultada el día 6 de octubre).
- Instituto nacional de salud pública y medio ambiente de Holanda 1992. (En línea). Metales pesados en suelos agrícolas Holanda http://www2.sag.gob.cl/Recursos-Naturales/criterios_calidad_suelos_agricolas/pdf/5_metales_pesados_suelo.pdf. Consultada el 7 de octubre 2010.
- 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 10 de Octubre)
- Kimberly, M.F., y H. William 1999. Trace metals in Montreal Urban Soils and The of Teraxacum Officinale. Can. Soil Sci. Pág. 385-387.
- López 1999, (En línea) Panorama de la problemática referente a la contaminación por metales, la contaminación por metales pesados en Torreón Coahuila. www.texascenter.org/publications/torreon.pdf. (Consultada el 3 de Octubre 2010).
- Martin, C.W. 2000. Heavy Metals Trends in Floodplain Sediments and Valley Fill. Catena N°39, Pp 53-68.
- Martínez S. J. y C. Pérez S. 2005. Environmental transfer of zinc in calcareous soils in zones near old mining sites with semi A. climate (en línea). (Chemospher . www.telesisenxarxa.net/TEISIS) (Consultado en el 2011). Pp. 1-1227.
- 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.
- Méndez F. A. 2009, revista contaminación por metales pesados en los suelos agrícolas contenidos permitidos los que rebasan los límites máximos permisibles. N° 123 Pp 45-53 consultado el año 2011.

- 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.
- 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. *Ecosistemas* Vol. 16 N° 2.
- Pendías K. y Gulson y Gutiérrez-Castrejón, T. 2001. Efecto de aguas negras sobre la biomasa y actividades microbianas en suelos agrícolas del Estado de Hidalgo. *Rev. Int. Contam. Ambient.* 9(3): 38.
- 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.
- Paniagua-Contreras et al; 2003; Schmidt, 2003; Awofolu et al; 2005; Navarro, 2006). Evaluación de metales pesados en tres residuos orgánicos de diferente naturaleza
- Pagnanelli, F., Moscardini, E., Giuliano, V. y Toro, L. 2004. Sequential extraction of heavy metals in river sediments of and abandoned pyrite mining area: pollution detection and affinity series. *Environ. Pollut.* 132: 189-201.
- Prieto Méndez J., C. A. González Ramírez., A. D. Román Gutiérrez., y F. Prieto García F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. review. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. N°10. 29 – 44.
- Ramos-Bello R., L. J. Cajuste, D. Flores-Román, N. E. García-Calderón. 2001. Heavy metals, salts and sodium in chinampa soils in México. *Agrociencia*. N° 35. pp 385-395.

- Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.(consultado en el 2011). www.conectapyme.com. Pp. 1-28
- Ross, S.M. 1994 Sources and forms of Potentially Toxic Metals in Soil-Plant Systems,. P. 3-26, in S. M. E. Ross, ed. Toxic Metals in Soil-Plant Systems. John Wiley and Sons, England, UK.
- Rosen,1992. "Effects of Low Levels of Lead Exposure", Residential lead hazard standards-TSCA section 403: office of pollution prevention and toxics. Environmental protection Agency, U.S.Science 256 pg. 294
- .Rodríguez-Serrano M., N. Martínez-de la Casa., M. C. Romero-Puertas., L. A. del Río y L. M. Sandalio. 2008. Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Ecosistemas Vol. 17 N°3*. 139-146.
- Rosado N., S. Tangruangkiat y R. Mesta. 2008. Utilization of Vetiver Grass (*Vetiveria zizanioides*) for Removal of Heavy Metals from Industrial Wastewaters. *Science Asia*. N° 33. 397-403.
- Salisbury, B. F. y C. W. Ross. 1994. Fisiología vegetal. Editorial Iberoamericana S.A. de C. V. México D.F. 759 p.
- Sánchez – Albavera F. y J. Larde, 2006, (En línea), minería y competitividad internacional en América latina p.p. 103 consultado en el 2011. <http://www.books.google.com.mx>.
- Spain, A. *et al.* 2003. Implications Of Microbial Heavy Metals Tolerance in the Environment. *Reviews In Undergraduate Research*, 2:1-6.
- Silveira y Basta *et al.*, 2003 y Seoánzes, C., A.J. Chacón, A. Gutiérrez e I. Angulo. 2003. Contaminación de suelos: Estudios, tratamiento y gestión. Mundi-Prensa. Madrid, España.

- 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 7 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. Volke Sepúlveda. 2004. Primer informe del proyecto: Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales. SEMARNAT-INE.
- Vázquez A., A., L.J. Cajuste, C. Siebe G., G. Alcántar G. 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: 267-271.
- Viniegra G, R. Escobar., E. Borja., y P.J. Cabello 1964. La Polución atmosférica e hídrica de Torreón, Coahuila, *Salud Pública México*.
- Valdés Perezgasga F. y V. M. Cabrera Morelos. (En línea) 1999, METALES PESADOS EN TORREON, COAHUILA, MEXICO. Disponible en: <http://www.texascenter.org/tcps/btep/breports.htm>. Consultado el 16/10/10. <http://www.ine.gob.mx/dgicurg/download/inf-Vetagrande%20final-1004-eine%20final.pdf>. (Consultada el 2 de octubre 2010).
- Volke, N. A. , Xiaoe Yang, Ying 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.
- Villalobos-Jauregui et al; 2006). *Revista Predicción del riesgo a la salud infantil en una zona contaminada por plomo*. Vol. 3 Pp. 35-40.
- Valdez- Perezgasga, F. y V. M. Cabrera Morales. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, Mexico. Texas Center for policy studies y CILADHAC. Primera edición. p. p. 1-46.

Wong. Puga, 2003(En línea). Universidad Autónoma de Chihuahua. Minería
suelos contaminados. [www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-
2.pdf](http://www.scielo.org.pe/pdf/ecol/v5n1-2/a20v5n1-2.pdf). Consultada el 25 septiembre 2010.