

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

UNIDAN LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de Alfalfa *Medicago sativa* irrigado con aguas residuales

POR

FERNANDO JOSÉ HERNÁNDEZ PICAZO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TITULO DE:  
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila Mayo del 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Determinación de Cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de  
Alfalfa *Medicago sativa* irrigado con aguas residuales

POR:

FERANDO JOSE HERNANDEZ PICAZO


TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO REQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

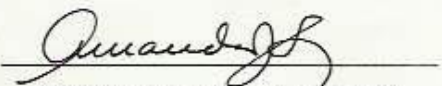
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR


ASESOR PRINCIPAL:

  
MC. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

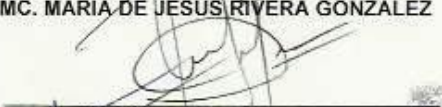
ASESOR:

  
MC. AMANDA JARAMILLO SANTOS

ASESOR:


  
MC. MARIA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

ASESOR:

  
DR. CÉSAR GUERRERO GUERRERO

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

  
Coordinación de la División de  
Agronómicas

TORREON COAHUILA MÉXICO. MAYO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. FERNANDO JOSE HERNÁNDEZ PICAZO QUE SOMETE A  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR

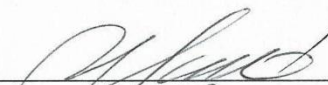
PRESIDENTE:

  
MC. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

VOCAL:

  
MC. AMANDA JARAMILLO SANTOS

VOCAL:

  
MC. MARIA DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

VOCAL:

  
DR. CÉSAR GUERRERO GUERRERO

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREON COAHUILA MÉXICO, MAYO 2014

## **AGRADECIMIENTOS:**

*A Dios, por haberme dado la dicha de la vida, la sabiduría y el conocimiento para concluir una carrera universitaria para ser una persona culta y responsable.*

*A mis padres, Blanca Elvia Picazo Leyva y Daniel Hernández Reyes por cada sacrificio que hicieron para hacer un hombre de bien por cada consejo, cada regaño cada alegría obtenida cada lagrime derramada y cada caída en lo largo de mi vida y cada vez que me he levantado para seguir adelante porque ellos son mi ejemplo a seguir gracias.*

*A mi grupo de asesores Mc. Héctor Montaña Rodríguez, Mc Amanda Jaramillo Santos Mc María de Jesús Rivera González y al Dr. Cesar Guerrero Guerrero por dedicar su tiempo y espacio en la elaboración de mi tesis, por su amistad y consejos y pláticas para realizar una buena carrera universitaria.*

*A la Q.F.B Norma Lydia Rangel Carrillo, por su tiempo y paciencia en la elaboración de los análisis del proyecto de mi tesis y así obtener los resultados requeridos*

*A MI ALMA TERRA MATER, por darme la oportunidad de estudiar una carrera para mi crecimiento personal, además dentro de lo académico gracias a la docencia que a lo largo de la carrera me guio y me brindo sus conocimientos, en el fomento deportivo(al departamento deportivo) y dentro de lo cultural en general a esta institución y ser de esta mí persona y ser un digno representante de mi universidad*

*A mi pareja,María Torres que siempre me apoyo incondicional en todo, por ser mi gran apoyo y estar conmigo siempre y ser una parte fundamental del motor de mi vida.*

*A mis amigos,Marcos, Jonatán, Fidel, Miguel Gama, Ariel, JuanJosé, José Juan, Yanet, Verónica, Edwin, Mario, Edgar, LuisÁngel, Osvaldo, Jesús,Benja, Misael Jonás, CesarOrozco,Rafael, Javier Raya, y a mi compadre Sergio Jair ellos por estar conmigo en cada momento bueno o malo por apoyarme en cada circunstancia y darme un consejo para seguir adelante por su tiempo y apoyo en general.*

## **DEDICATORIAS:**

**A Dios**, por acompañarme cada momento de mi vida y llevarme de la mano por el buen camino y hacerme un hombre de bien, por llenarme de todas esas personas que aprecian y me quieren y caminaron siempre juntas hasta mi logro

**A mis padres**, Blanca y Daniel porque es una de las mejores alegrías que les puedo dar, porque ante todo siempre me apoyaron en todo incondicionalmente una dedicación especial a mi madre que desde el cielo me aplaude cada logro y desde allá está contenta y feliz

**A mis hermanos**, Juan de Dios, Blanca Zoe, Cesar Eildan y Daniel por que forman parte fundamental cada día de mi vida, al apoyarme en todo sin condición alguna les comparto cada alegría, cada triunfo y cada logro de mi vida.

**A mi pareja**, María Torres porque desde que la conocí mi vida tomo un rumbo diferente y me es grato compartirle esta inmensa alegría de muchas que vendrán a lo largo de nuestras vidas.

**A mi familia**, a mis sobrinos Cesar Uriel, Jordán, Paloma, Daniela y Néstor a mis tíos Yolanda, Bety, Adalberto, Hilda, Fernando y Gloria y a mis primos Adrián, Jesús, José, Juan, Liz, Kary, Dany, Iveth, Miguel, Deby, Javi, Vero, Naye, Eduardo, Tania, Landy, Fernanda, Dariana y Mili ellos por ser la familia que me dio todo y por siempre estar unidos.

**A mis amigos y compañeros**, Marcos, Jonatán, Fidel, Miguel Gama, Ariel, Juan José, José Juan, Yanet, Verónica, Edwin, Mario, Edgar, Luis Ángel, Osvaldo, Jesús, Benja, Misael Jonás, Cesar Orozco, Rafael, Javier Raya, y a mi compadre Sergio Jair la gratitud que les ofrezco es muy grande, por cada momento que pasamos juntos buenos y malos por hacer mis días amenos y contar con ellos encada situación que se presentó.

## ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS: .....	I
DEDICATORIAS: .....	II
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2. JUSTIFICACIÓN .....	3
1.3. OBJETIVOS .....	4
1.4. HIPÓTESIS .....	4
1.5. METAS.....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1. EL SUELO .....	5
2.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO .....	6
2.3. EL PERFIL DEL SUELO .....	6
2.5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO .....	6
2.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO .....	8
2.7. TIPOS DE SUELO .....	8
2.8. METALES PESADOS .....	9
2.9. PROBLEMÁTICA DE METALES PESADOS EN EL MEDIO AMBIENTE .....	9
2.10. METALES PESADOS EN SUELO.....	11
2.11. TOXICOLOGÍA DEL CADMIO .....	12
2.12. TOXICIDAD DEL CADMIO .....	13
2.13. VÍAS DE EXPOSICIÓN Y EFECTOS EN LA SALUD DEL SER HUMANO PROVOCADOS POR EL CADMIO.....	13
2.14. NORMA OFICIAL MEXICANA DE LOS METALES PESADOS .....	15
2.14.1. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 .....	15
2.15. NORMA INTERNACIONALE EN MATERIA DE METALES PESADOS EN SUELOS.....	16
2.15.1 EPA (1992).....	16
2.16. INVESTIGACIÓN SOBRE METALES PESADOS EN SUELO.....	16
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	17

3. SITIO DE LA INVESTIGACIÓN .....	17
3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	17
3.2. MUESTREO.....	19
3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA .....	19
3.4. EQUIPO .....	19
3.5. PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE CADMIO EN SUELO.....	20
IV. RESULTADOS.....	21
_Toc384891984	
V. DISCUSIÓN.....	24
VI. CONCLUSIÓN .....	25
VII. LITERATURA CITADA.....	26

### ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Resultados de laboratorio de muestras de suelo para determinar cadmio, colectadas a 3 profundidades diferentes.....	21
<b>Tabla 2.</b> Resultados de análisis de varianza de concentración de cadmio en suelo.....	22
<b>Tabla 3.</b> Resultados de la comparación de medias de las distintas concentraciones de cadmio en el suelo a diferentes profundidades (0-30 cm), (30-60) y (60-90). ...	22

### ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Comparación de los valores de las media a distintas profundidades de concentración de cadmio en suelo.....	23
---	----

## RESUMEN

El cadmio no se encuentra en el ambiente como un metal puro; es más abundante en la naturaleza en forma de óxidos complejos, sulfuros, carbonatos, zinc, plomo y menas de cobre. Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente laboral y ambiental. Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio. Los efectos tóxicos del cadmio se manifiesta especialmente en los huesos y riñones y las personas que tienen bajas reservas de hierro son particularmente vulnerables a estos efectos adversos. La contaminación con metales pesados es uno de los temas más importantes en la actualidad, debido a que están presentes en el agua, suelo, aire y alimentos. Ya que por este medio se incorpora fácilmente a la cadena alimentaria, al igual debemos de tener en cuenta que es necesario comparar las concentraciones de metales existentes con los límites establecidos por la norma que rige en cada país. El objetivo del presente trabajo es la determinación de cadmio en suelos agrícolas que son regados con agua residual para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*), y así determinar la existencia de este metal a distintas profundidades en el suelo. Los resultados de las concentraciones de cadmio en suelo obtenidos en este trabajo fueron los siguientes con mayor concentración de 11.88 mg/kg encontramos que esta en la profundidad (30-60 ) cm la concentración siguiente fue de 11.81 mg/kg en la profundidad (0-30) cm y la menor concentración fue de 11.76 mg/kg en la profundidad (60-90) cm, por lo que se deduce que los valores encontrados están dentro de los límites máximos permisibles que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que es de 37 mg/kg de cadmio en suelo.

**Palabras claves:** Metales pesados, cadmio, contaminación, suelo, determinación



## I. INTRODUCCIÓN

La presencia de metales pesados en el medio ambiente es una gran amenaza para los seres humanos (Zhang *et al.*, 2012), la toxicidad de estos es un problema generalizado que aparte de afectar al medio ambiente, también lo hace a todos los seres vivos (Siddiqui *et al.*, 2012). Las concentraciones de estos en el ambiente se debe mayormente a las originadas a las actividades antropogénicas, que cada día son más altas y conllevan a una problemática debido que tienen un potencial tóxico con efectos nocivos a la salud al igual que desequilibrio ecológico. La contaminación con metales pesados es uno de los temas más importantes en la actualidad, debido a que están presentes en el agua, suelo, aire y alimentos. (Villa *et al.*, 2012)

Se ha estimado que 300,000 toneladas de cadmio son liberadas al medio ambiente cada año de las cuales 4,000 a 13,000 toneladas son derivadas de las actividades humanas. Las vías naturales y antropogénicas de cadmio incluyen emisiones industriales; así como la aplicación de fertilizantes y aguas negras en sembradío (Nava-Ruiz y M., 2011 )

La determinación de metales pesados en el ambiente es de gran importancia, entre los más importantes están el plomo, arsénico y cadmio, la acumulación de estos en el organismo humano causa enfermedades muy graves que pueden ocasionar la muerte. En el caso del arsénico las enfermedades que son ocasiona: bronquitis, cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares. El cadmio ocasiona enfermedades tales como; bronquitis, enfisema, nefrotoxicidad, infertilidad, cáncer de próstata, alteraciones neurológicas, hipertensión y enfermedades vasculares. El Plomo ocasiona enfermedades como alteraciones neurológicas (disminución del coeficiente intelectual infantil), nefrotoxicidad, anemia cáncer de riñón .el problema de enfermedades en la ciudad de Torreón Coah. es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico en el ambiente, 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 (Carrillo y Gallard, 2012). Las actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la Comarca Lagunera, México han contaminado el suelo, el aire y el agua (Cano *et al.*, 2009).

En este caso nos inclinaremos por un metal en específico, que es el cadmio (Cd) es un metal pesado no esencial para las plantas y muy tóxico, cuya concentración en el suelo se incrementa progresivamente debido a actividades antropogénicas, tales como la minería, fundición de metales, quema de combustibles fósiles, uso de fertilizantes fosfatados, fabricación de baterías, pigmentos y plásticos (Gallegos *et al.*, 2012).

En el presente trabajo el objetivo fue determinar el cadmio en suelos agrícolas que son regados con agua residual para el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*), y determinar si se encuentran bajo los límites que establece la norma. Las muestras de suelo fueron tomadas en 9 bloques y profundidades diferentes por medio del método de espectrofotometría de absorción atómica en cual los resultados obtenidos en este trabajo nos indica que en la profundidad (30-60) con una media de 11.88 mg/kg es la que contiene mayor concentración de cadmio, por el contrario la profundidad (60-90) con una concentración de 11.76 mg/kg es en la que se encontró menor concentración de cadmio por lo que se puede constatar que esta dentro de los límites máximos permisibles que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que es de 37 mg/kg de cadmio en suelo y por lo que se deduce que no se existe significancia entre los resultados de cadmio en suelo de uso agrícola.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El suelo desempeña funciones importantes en este planeta, actúa como medio filtrante amortiguador y transformador; es hábitat de miles de organismos y es donde se llevan a cabo los ciclos biogeoquímicos. El suelo puede llegar a contaminarse por la aportación de químicos, y metales pesados debido a las actividades antropogénicas, la presencia de estas sustancias en concentraciones mayores hace que aparezca la toxicidad y es cuando surge el problema para el suelo para la cadena alimenticia que deriva a partir de ello.

En este caso el cadmio es un metal muy tóxico y peligroso, ya que al contenerlo algún miembro de la cadena alimenticia se va propagando contaminando a todos hasta llegar al ser humano y provocar enfermedades por consumo de productos que contienen este metal.

## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

La siguiente investigación tiene como objetivo determinar la concentración de cadmio por el método de espectrofotometría de absorción atómica en los suelos agrícolas que son irrigados con agua residual, con el fin de conocer ¿qué tanta acumulación de cadmio contiene el suelo por el uso de riego con el agua residual? y si esta no rebasan los límites máximos permisibles que establece (NOM-147, 2004) que es de 37 mg/kg. Además que los resultados o datos obtenidos servirán como base para futuras investigaciones en la determinación de cadmio en suelo regados con agua residual, y así darnos cuenta de cómo se encuentran las concentraciones del mismo, y cuál ha sido el incremento a través del tiempo para así buscar alternativas para remediación de suelo o buscar alternativas que ayuden a disminuir la presencia del cadmio.

### **1.3. OBJETIVOS**

Determinar las concentraciones de cadmio (Cd) en suelos agrícolas dedicados a la producción de alfalfa (*Medicago sativa*), usando agua residual para el riego en el ejido Plan de San Luis del municipio de Torreón, Coahuila.

### **1.4. HIPÓTESIS**

La concentración de Cd en el suelo regado por aguas residuales estará dentro de la norma oficial.

### **1.5.METAS**

En la realización de este proyecto se determinara si existe presencia de cadmio en suelo que son irrigados por agua residual para los cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) y así determinar si esta bajo los limites máximos permisibles que establece la norma NOM-147.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. EL SUELO

El suelo es considerado un recurso natural frágil y no renovable, debido a que resulta difícil y costoso recuperarlo, e incluso tratar de mejorar sus propiedades después de haber sido alterado. El suelo realiza un gran número de funciones clave tanto ambientales como económicas, sociales y culturales que son esenciales para la vida. Es indispensable para la producción de alimentos y el crecimiento vegetal, almacena minerales, materia orgánica, agua y otras sustancias químicas y participa en su transformación; sirve de filtro natural para las aguas subterráneas; es hábitat de una gran cantidad de organismos; proporciona materias primas para la construcción, además de que es un elemento del paisaje y patrimonio cultural (SEMARNAT, 2005).

El término suelo se refiere al material exterior, poco compacto, de la superficie terrestre; uno de sus componentes principales es la fracción mineral, esta proviene del material parental y es el producto de la desintegración de las rocas provocada por el intemperismo físico, químico y bioquímico. La fracción mineral del suelo está constituida por partículas de diferentes tamaños: arena (200-20 micras), limo (20-0 micras) y arcilla (menos de 2 micras). La cantidad de cada uno de los componentes de esta fracción varía de un suelo a otro y depende directamente del material de origen a la proporción relativa de arena, limo y arcilla expresada en porcentaje, se le conoce como textura del suelo (Valdez y J.N., 2005).

## **2.2. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO**

El suelo está compuesto de sustancias sólidas, agua y aire. Las sustancias sólidas, son los residuos de plantas, animales vivos o muertos y los minerales que proceden de la desintegración y descomposición de las rocas. En el agua se disuelven los minerales del suelo para que las raíces de las plantas puedan tomarlos. Sin aire en el suelo se mueren las raíces de las plantas y los pequeños animales que viven en él (Mocoa, 2002).

## **2.3. EL PERFIL DEL SUELO**

A medida que las partículas de la roca se desintegran y se mezclan con los residuos vegetales y animales, formándose las diferentes capas que vemos que se llaman horizontes A, B y C las cuales forman el perfil del suelo.

El horizonte A, es la primera capa que vemos de arriba hacia abajo, cuando existe el color oscuro es porque tiene mucha materia orgánica y se ven muchas raíces vivas o muertas, lombrices, insectos y animales muy pequeños.

El horizonte B, es la segunda capa que vemos. Es de color más claro porque tiene menor cantidad de materia orgánica. El horizonte C, es la capa que se encuentra en la parte más baja del perfil del suelo y es de color más claro (Mocoa, 2002).

## **2.5. PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO**

Los suelos contienen propiedades físicas las cuales son:

- El color tiene color oscuro generalmente son más ricos en materia orgánica, mientras los colores pardos, rojizos y amarillentos indican que los suelos son bien aireados y no se encharcan, aquellos que presentan colores grises y manchados de verdeazuloso indican que los suelos permanecen mucho tiempo encharcados.

- Textura del suelo que se deriva de la roca madre, en las que las partículas más pequeñas se llaman arcillas, los intermedios limos y las más grandes se llaman arenas.
- Estructura del suelo es la manera como se unen partículas para formar terrones, cuando las partículas están unidas en formas de láminas o lascas se dice que hay estructura laminar, cuando forman columnas con los bordes redondeados se dice que la estructura es de columna y si estas tienen bordes angulosos, la estructura es prismática. Si las partículas del suelo se unen en forma de bloque de varios tamaños con bordes redondeados o angulosos, se dice que la estructura es blocosa. Cuando las partículas de suelo forman terrones pequeños y redondeados como gránulos, la estructura se dice que es granular. Se dice que no hay estructura cuando las partículas del suelo no forman terrones. Esto ocurre en aquellos suelos gredosos, en donde se forma una masa que no rompe en terrones y en los suelos arenosos, donde las arenas no están reunidas en granos pequeños.
- Porosidad del suelo que está compuesta por los poros o pequeñas cavidades que existen en el suelo, por lo que en estas cavidades o poros penetran el aire y el agua. En los suelos que tienen partículas grandes como las arenas, los poros son grandes y el agua y el aire penetran fácilmente, pero también hay suelos que tienen partículas más pequeñas como las arcillas, los poros son muy pequeños por lo tanto agua y el aire no penetran con facilidad.
- Permeabilidad del suelo es la facilidad con que el agua y el aire se mueven dentro de él, los suelos que se encharcan tienen permeabilidad muy lenta.
- Profundidad del suelo hasta donde llegan, sin tropiezo, las raíces de las plantas en busca de agua y alimentos. Los tropiezos o limitaciones que encuentran las raíces para penetrar son capas endurecidas, piedras o rocas, agua, sales dañinas.
- Drenaje del suelo es la rapidez con que los suelos se secan después de un aguacero (Mocoa, 2002).

## 2.6. PROPIEDADES QUÍMICAS DEL SUELO

Las cuales son:

- La acidez, esta propiedad en el suelo hace que haya muy pocos alimentos para las raíces de las plantas, por lo que la producción de las cosechas son muy bajas.
- La fertilidad en el suelo es cuando existe gran cantidad de alimentos o nutrientes para el crecimiento de las plantas.
- M.O. es la fuente principal de nutrientes para contribuir a un buen desarrollo de las plantas (Mocoa, 2002).

## 2.7. TIPOS DE SUELO

Se clasifican en:

Suelos arenosos: son aquellos suelos que no retienen el agua, al poseer poca materia orgánica no son aptos para la agricultura.

- -Suelos calizos: en estos suelos abundan las sales calcáreas, suelen ser de colores blancos y también áridos y secos, por lo tanto no son buenos para la agricultura.
- Suelos humíferos (también llamados tierra negra): son aquellos que poseen gran cantidad de materia orgánica en descomposición, son fantásticos para retener el agua y por lo tanto son excelentes para cultivar el agua. Suelos arcillosos: estos suelos están formados por pequeños granos finos de color amarillo y retienen el agua en charcos pero si son mezclados con humus pueden resultar muy efectivos para la agricultura. Suelos pedregosos: formados por toda clase de roca y piedras, al no retener el agua resultan pésimos para cultivar. Suelos mixtos: es una mezcla de suelo arenoso y del suelo arcilloso (Mocoa, 2002).



## **2.8. METALES PESADOS**

Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Otra definición más práctica, desde el punto de vista de la toxicidad, se basa en sus propiedades cuando están en solución: “metal es un elemento que bajo condiciones biológicas puede reaccionar perdiendo uno o más electrones para formar un catión” .Los metaloides poseen propiedades físicas semejantes a las de los metales y no metales, éstos son el arsénico, germanio, antimonio, selenio y telurio. Los compuestos metálicos y metaloides se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua. La definición rigurosa de metal pesado todavía no es establecida por los científicos y es tema de discusión y polémica. Una de sus definiciones se basa en la gravedad específica: “metal pesado es aquel metal con gravedad específica  $> 5 \text{ g/cm}^3$ ”, sin embargo esta definición no es útil respecto al estudio de los efectos toxicológicos que algunos metales tienen sobre el ambiente y los seres vivos, así que otra definición de metal pesado que se ha adoptado es “grupo de metales o metaloides asociados con contaminación y toxicidad potencial” (Reyes-Navarrete *et al.*, 2010).

## **2.9. PROBLEMÁTICA DE METALES PESADOS EN EL MEDIO AMBIENTE**

La presencia de metales pesados en el medio ambiente es una gran amenaza para los seres humanos (Zhang *et al.*, 2012). Ya que el impulso de las actividades industriales, ha favorecido cada vez más la generación de residuos potencialmente tóxicos, que en altas concentraciones pueden tener efectos nocivos a la salud del hombre y desequilibrios ecológicos. Uno de los problemas más notables a nivel mundial, el cual ocupa un lugar sobresaliente, es la

progresiva degradación de los recursos naturales, causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y sociales, generando un irremediable deterioro en el ambiente (Baltazar y Campos, 2012).

Los metales se incluyen dentro de las sustancias más persistentes emitidas al ambiente, los cuales tiene efectos importantes sobre los seres vivos. La exposición ambiental a los metales generalmente resulta en un continuo de respuestas biológicas que se da en todos los niveles de organización biológica. Estas respuestas pueden observarse desde alteraciones a nivel molecular, comprometiendo la salud del individuo, hasta poner en riesgo la salud del ecosistema (Galante *et al.*, 2013)..

Los desechos industriales y mineros son la principal fuentes de contaminación ambiental por los metales pesados, como consecuencia se ha contaminado grandes áreas de tierra y agua con metales tóxicos, causando serios problemas ambientales y de salud. La contaminación ambiental ya es un problema mundial, los metales pesados pertenecientes a los contaminantes más importantes (Cartaya *et al.*, 2011).

El progreso de la industria ha dado lugar a aumento de la emisión de contaminantes en los ecosistemas (Tabari *et al.*, 2010). En el caso del plomo y el cadmio, estos son de gran importancia ya que pueden afectar la salud de los ecosistemas y de los consumidores de alimentos con alto contenido de estos metales, que son entre los más ampliamente utilizados en diferentes actividades humanas y que además son entre los principales productos mineros de México (Espericueta *et al.*, 2010).

## 2.10. METALES PESADOS EN SUELO

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente bajas concentraciones en la corteza terrestre, principalmente en los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (Huertos y Baena, 2008). Sin embargo, los desechos de las actividades antropogénicas son descargados directamente o arrastrados por las escorrentías y son depositados en los suelos (Fuentes *et al.*, 2010).

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas más serios de degradación ambiental. En la Región Lagunera de México se han detectado altas concentraciones de plomo en las inmediaciones de plantas metalúrgicas (Calzada *et al.*, 2009). La presencia de metales pesados en la solución del suelo altera la disponibilidad de nutrientes para las plantas (Alvarado *et al.*, 2011). Los tratamientos de aguas residuales también pueden ser fuente de contaminación por metales pesados y sales solubles para el suelo, ya que generan diariamente toneladas de lodos (biosólidos), los cuales pueden tener un uso agrícola como fuente de nutrientes y material mejorador del suelo (Santoyo *et al.*, 2010).

Los problemas ambientales de los metales pesados en los suelos están relacionados con su carácter tóxico cuando se acumulan o cuando interactúan algunas propiedades físicas, se movilizan a través del perfil a la cadena trófica mediante los cuerpos de agua o los cultivos y pueden llegar a afectar la salud humana. En países desarrollados el establecimiento de valores de referencia de estos metales ha permitido el mejoramiento de la planeación y la gestión ambiental del recurso suelo, y se ha convertido en un instrumento de control para

las entidades ambientales que ha permitido evaluar el impacto en diferentes actividades agrícolas (Saa *et al.*, 2011).

Los metales pesados se encuentran unidos a los diferentes componentes sólidos del suelo, los cuales de acuerdo con sus características fisicoquímicas presentan diferente disponibilidad (Flores *et al.*, 2011).

## **2.11. TOXICOLOGÍA DEL CADMIO**

El cadmio es un metal que forma parte del grupo IIB de la tabla periódica, con un peso atómico de 112.41; la forma iónica del cadmio ( $Cd^{2+}$ ) (Nava-Ruíz y M., 2011). El cadmio (Cd) es un elemento metálico blanco plateado que se puede moldear fácilmente (Ganiveth *et al.*, 2008). El cadmio fue descubierto en 1817 por el químico alemán Friedrich Stromeyer, en las incrustaciones de los hornos de cincesta. Este metal es considerado el más móvil en el ambiente acuático y una de sus principales características es que es bioacumulativo y persistente en el ambiente (taza media de 10-30 años) se encuentra en aguas superficiales y subterráneas (Ganivediath *et al.*, 2008) cabe mencionar que este metal pesado también tiende acumularse en la superficie del suelo. (Sánchez *et al.*) Uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

1. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
2. Bioacumulación.
3. Persistencia en el medio ambiente.
4. El cadmio se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo, a partir de sulfuro de cadmio, en el proceso hay formación de óxido de cadmio, este compuesto es muy tóxico. Además de contaminar el ambiente desde su fundición y refinación, contamina también por sus múltiples aplicaciones industriales (Ramírez, 2002).

## **2.12. TOXICIDAD DEL CADMIO**

Algunos metales son muy tóxicos y muy cancerígenos por lo que tienen una importancia en el desarrollo del cáncer de mama. El cadmio, el plomo y el arsénico tienen un papel importante en el origen de la insuficiencia renal crónica en el ser humano (Sabath y Osorio, 2012). Estar expuesto a metales pesados o tener una sobre exposición a estos, causa enfermedades en los seres humanos e incluso hasta en animales (Vicente *et al.*, 2010).

## **2.13. VÍAS DE EXPOSICIÓN Y EFECTOS EN LA SALUD DEL SER HUMANO PROVOCADOS POR EL CADMIO**

Los efectos tóxicos del cadmio se manifiestan especialmente en los huesos y riñones y las personas que tienen bajas reservas de hierro son particularmente vulnerables a estos efectos adversos. El cadmio se almacena en el hígado y riñones con excreción lenta y tiene una vida larga en el cuerpo humano. Las concentraciones de cadmio de más de 5 mg/m<sup>3</sup> de aire durante ocho horas pueden provocar un edema pulmonar tardío de carácter mortal. En México, existen escasas normas e información relacionadas con este tema, por lo que se cree pertinente informar y hacer notar los efectos provocados por el cadmio, que forma parte de una larga lista de contaminantes que afectan la salud.

Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente, laboral y ambiental. La Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancias Tóxicas y Enfermedades, cataloga los riesgos de los desechos tóxicos de acuerdo con su prevalencia y la gravedad de la intoxicación que originan. Entre los más peligrosos se encuentra el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio; este último ocupa el lugar número 6 de la lista presentada por esta agencia, razón por la cual es de gran interés toxicológico. La comida y los cigarrillos son las principales fuentes de exposición al cadmio en la población en general. Esta exposición también puede darse a través de líquidos, ya sea por las cañerías que contienen cadmio en sus soldaduras o por el agua que ha sido

contaminada por las fábricas, como las que hacen acabado de metales, electrónica, manufactura de pigmentos (pinturas y agentes colorantes), baterías, estabilizadores plásticos, plaguicidas (fungicidas), electrodeposición, entre otras. Se ha calculado que más de 80% del cadmio ingerido proviene de cereales (especialmente arroz y trigo), verduras (de hoja) y tubérculos (principalmente papas y zanahorias). Así como los mariscos, hígado y los riñones de animales son alimentos que contienen concentraciones de cadmio mayores de 0.05 µg/g incluso en circunstancias normales. Asimismo, cuando el arroz y el trigo son contaminados por este mineral en la tierra y el agua, la concentración puede aumentar de modo considerable hasta 1 µg/g. Algunas organizaciones internacionales consideran que el ser humano debe ingerir como máximo 7 µg/semana por kg de peso. Al ingerir por vía digestiva la cantidad de 100 mg provoca síntomas gastrointestinales, y a partir de los 350 mg se considera que es potencialmente mortal. Mientras que por inhalación, las concentraciones ambientales superiores a 200 µg/m<sup>3</sup> inducen la “fiebre de los metales”; a partir de 500 µg/m<sup>3</sup> aparece neumonitis química y más allá de los 5,000 µg/m<sup>3</sup> es mortal. En el año 2009, la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria estableció una ingestión semanal tolerable en los alimentos de 2.5 µg por kg de peso corporal. Al año siguiente, el Comité Mixto de la Organización de Agricultura y Comida de Estados Unidos (FAO), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Comité de Expertos en Aditivos Alimentarios (JECFA) determinaron un insumo mensual tolerable provisional en los alimentos de 25 µg por kg de peso corporal. Mientras tanto, la OMS fijó una ingestión semanal tolerable provisional de 7 µg/kg de peso corporal. Fumar aumenta considerablemente la concentración de cadmio en el ambiente, sobre todo en espacios cerrados. La hoja de tabaco acumula altas concentraciones de manera natural, por tanto, el fumador está expuesto a cantidades significativamente elevadas. El humo del tabaco arrastra el cadmio a los pulmones. La sangre lo transportará al resto del cuerpo, donde puede incrementar los efectos por potenciación del consumo en alimentos ricos en este metal. La exposición al cadmio por fumar cigarrillos es una preocupación seria para la salud que es causada por los alimentos. Los fumadores duplican su dosis

diaria de ingestión en comparación con los no fumadores. Ya que un cigarrillo contiene de 1 a 2  $\mu\text{g}$  de cadmio y dada una absorción pulmonar de 10%, al fumar una cajetilla diariamente se genera una dosis de 1 mg de cadmio al año. Sin embargo, el Departamento de Salud y Servicios Humanos de Estados Unidos (1999) asegura que los fumadores estarían depositando en su cuerpo una cantidad de 1-3  $\mu\text{g}$  adicional de cadmio al día por cada paquete de cigarrillos que fumen. En cuanto a las exposiciones laborales, la inhalación es la ruta principal de ingreso y la absorción a partir de esta vía depende del tipo de compuesto inhalado del tamaño de las partículas y de su retención en el pulmón. Otro punto a resaltar es que las personas que tienen bajas reservas de hierro son especialmente vulnerables a los efectos adversos del cadmio: la deficiencia crónica de nutrientes puede dar como resultado la regulación a la alta de los sistemas para optimizar la captación de los nutrientes faltantes, y ello puede ocasionar la captación de cadmio a través de algunos de estos sistemas (García y Azcona, 2012).

## **2.14. NORMA OFICIAL MEXICANA DE LOS METALES PESADOS**

### **2.14.1. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004**

Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario berilio cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo selenio, itatio y/o vanadio. (NOM-147, 2004).

## **2.15. NORMA INTERNACIONALE EN MATERIA DE METALES PESADOS EN SUELOS**

### **2.15.1 EPA (1992)**

EPA UnitedStatesEnvironmentalProtection Agency. (1992). Guide to side and soildescriptionforhazardous waste site characterization. Vol 1: metals. Washington.

## **2.16. INVESTIGACIÓN SOBRE METALES PESADOS EN SUELO**

El estudio realizado por (Hernández, 2011)en la determinación de metales pesados en suelo de Natividad ,Ixtlán de Juárez Oaxaca, en la cual resultados obtenidosseñala que los suelos tienen un contenido muy variable de cadmio (Cd) pero en promedio hay una concentración natural de 1mg/kg de cadmio en el suelo. Lo cual indica que están contaminados por este metal pero no rebasan los límites máximos permisible que establece (NOM-147, 2004) que es de 37 mg/kg de cadmio en suelo.Por lo tanto esuna región minera la cual esta propensa a la contaminación por metales pesados y con el paso del tiempo se incrementara la presencia de metales y en especifico el cadmio, ya que es muy dañino para la salud del ser humano.



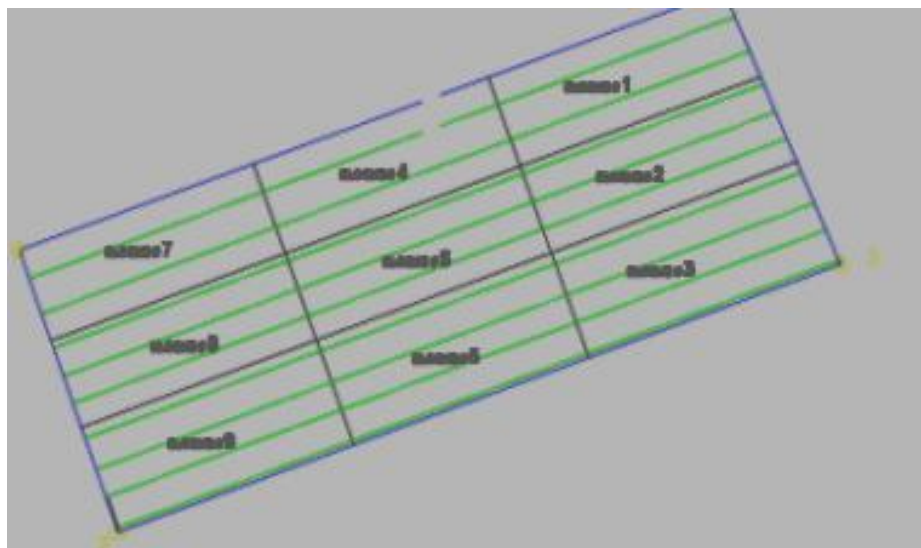
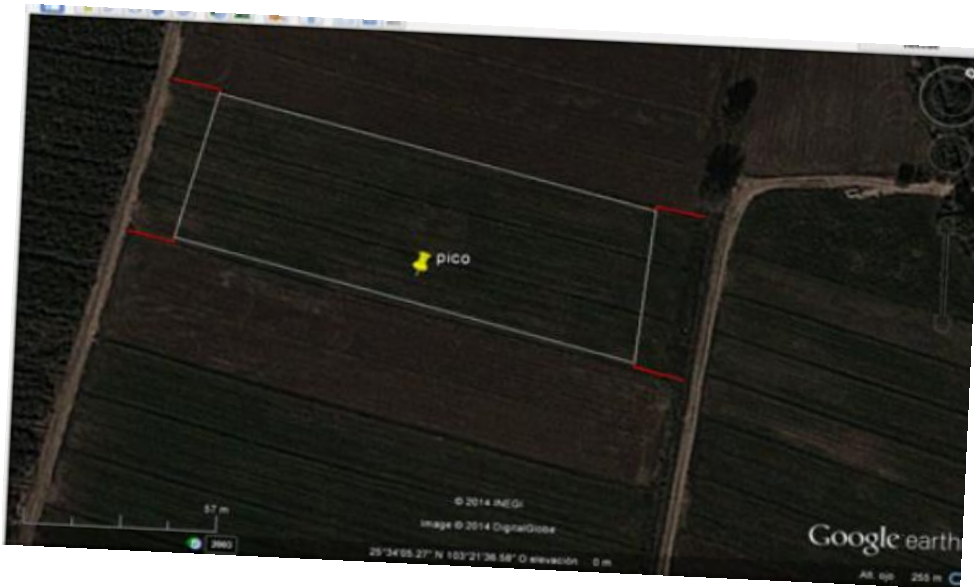
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3. SITIO DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo se llevó a cabo en el ejido Plan de San Luis del municipio de Torreón, Coahuila con coordenadas: altitud 25° 34´ 5.24N y una longitud de 103° 21´35.81O en una parcela de aproximadamente 3,420 m<sup>2</sup> de área, se realizó el día 19 de abril de 2013 en el periodo primavera verano, con el objetivo de determinar las concentraciones de cadmio presentes en el suelo utilizado para la producción de alfalfa (*Medicago sativa*) es irrigada con aguas residuales.

#### 3.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El experimento se realizó mediante el diseño bloques al azar con cuatro repeticiones, para lo cual se utilizó una parcela cuya superficie es de 3,420 m<sup>2</sup>, de dicha superficie se eliminaron 15 m de cabecera y 15 m de recibidor para eliminar posibles efectos erróneos en el muestreo, de la superficie resultante también se eliminaron 1.5m de cada lado para así dejar una superficie final a muestrear de 2,250 m<sup>2</sup>, el área final donde se hicieron 9 bloques de 15m por 16m, en los cuales se tomaron 4 muestras por bloque.



### 3.2. MUESTREO

Para el muestreo se tomaron 4 muestras por bloquea las siguientes profundidades: Bloqué 1,4y 7 (0-30 cm),bloque 2,5y 8 (30-60 cm) y bloque 3,6 y 9 (60-90 cm).

### 3.3. PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Las muestras fueron expuestas a 35°C por un periodo de 4 días para secado. Posteriormente las muestras fueron tamizadas utilizando un tamiz de 0.05 mm.

Se procedió al análisis de las muestras en el laboratorio mediante el método de extracción ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) y la lectura de la concentración de cadmio en suelo se leyó utilizando el equipo de absorción.

### 3.4. EQUIPO

Se utilizo espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 2380) para determinación de metales pesados. En el que se trabajo bajo las siguientes condiciones de operación estándar.

Condición	Unidades de medida	Cantidad
Longitud de onda	nm	228.8
Slit	nm	0.7
Ruido relativo		1.0
Sensitividad	mg/L	0.028
Rango lineal	mg/L	2.0
Flama		Aire-Acetileno

Nota: Él estándar del cadmio es de 2.0 ppm.

### 3.5. PROCEDIMIENTO DE DETERMINACIÓN DE CADMIO EN SUELO

- 1.-Secar y tamizar en malla de 2 mm la muestra de suelo.
- 2.- Pesar 5 gr de suelo y colocarlos en contenedor de plásticos con tapa con una capacidad de 60 ml.
- 3.- Agregar 50 ml de ácido nítrico 4 molar (260 ml/litro) en los contenedores de plástico.
- 4.- Colocar en baño maría a 12 horas a 70 °C.
- 5.-Sacarlo del baño maríay dejarlo a temperatura ambiente.
- 6.-Agitar por una hora en placa.
- 7.-Filtrar y coleccionar el filtrado.
- 8.-Analizar el residuo filtrado en absorción atómica (Etcheveres *et al.*, 1971).

#### IV. RESULTADOS

Tabla 1. Resultados de laboratorio de muestras de suelo para determinar cadmio, colectadas a 3 profundidades diferentes.

bloques	muestra	Resultados	Media
	1/ 0-30	11.7	
1	2/ 0-30	11.8	11.825
	3/ 0-30	12	
	4/ 0-30	11.8	
	1/ 30-60	12	
2	2/30-60	11.6	11.9
	3/30-60	12.1	
	4/30-60	11.9	
	1 60-90	11.9	
3	2/ 60-90	12	11.9
	3/60-90	12	
	4/60-90	11.9	
	1/ 0-30	11.5	
4	2/0-30	11.5	11.7
	3/0-30	12.1	
	4/0-30	11.7	
	1/ 30-60	12	
5	2/30-60	11.5	11.85
	3/30-60	12.1	
	4/30-60	11.8	
	1/ 60-90	11.7	
6	2/60-90	11.7	11.75
	3/60-90	11.8	
	4/60-90	11.7	
	1/ 0-30	12.1	
7	2/0-30	11.8	11.925
	3/0-30	11.9	
	4/0-30	11.9	
	1/30-60	12.1	
8	2/30-60	12	11.9
	3/30-60	11.6	
	4/30-60	11.9	
	1/60-90	12	
9	2/ 60-90	11.7	11.65
	3/60-90	11.3	
	4/ 60-90	11.6	

Tabla 2. Resultados de análisis de varianza de concentración de cadmio en suelo.

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-valor	Significancia estadística
Bloques	2	0.02046667	0.01023333	1.04	0.4336 NS
Muestras	2	0.02046667	0.01023333	1.04	0.4336 NS
Error	4	0.03946667	0.00986667		
Total correcto	8	0.08040000			

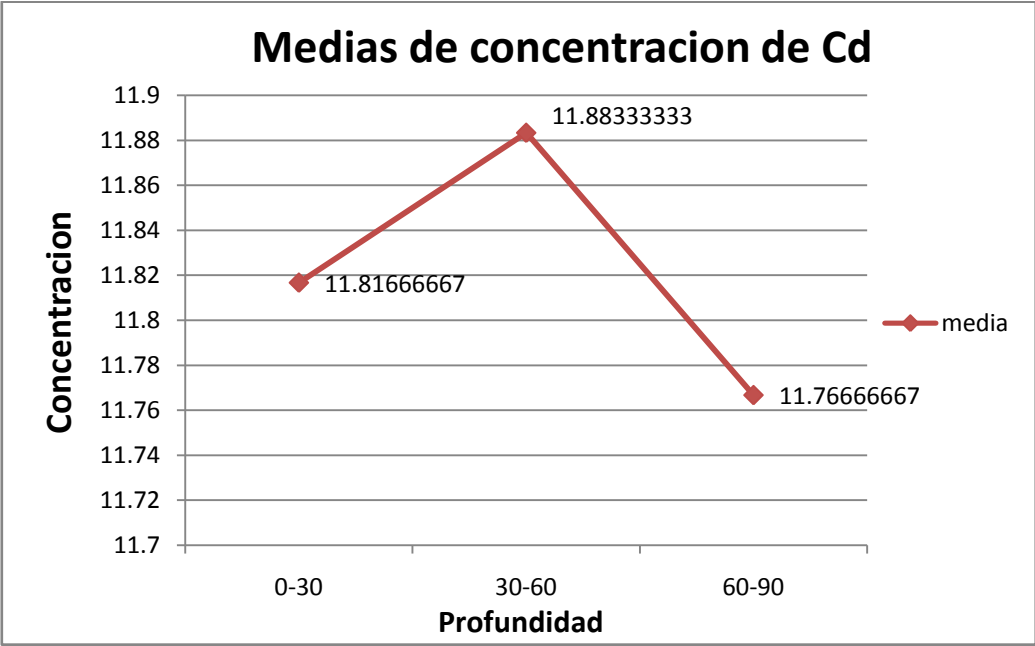
**NS:**no significativo

Tabla 3. Resultados de la comparación de medias de las distintas concentraciones de cadmio en el suelo a diferentes profundidades (0-30 cm), (30-60) y (60-90).

Agrupamiento	Media mg/kg	Núm. De muestras	Profundidad
A	11.88333	12	2
A	11.81666	12	1
A	11.76666	12	3

Medias con distinta literal indican diferencia significativa según el método de comparación de medias “Diferencia mínima significativa” o (LSD), con un alfa de erro de 0.05 %.

Figura 1. Comparación de los valores de las media a distintas profundidades de concentración de cadmio en suelo.



En la cual se determina determinándose que en la profundidad (30-60 cm) es en la que se encuentra mayor concentración de cadmio siguiéndole la profundidad (0-30 cm) y con la menor concentración la profundidad (60-90 cm).

## V. DISCUSIÓN

Los resultados de laboratorio al ser analizados estadísticamente por comparación de medias nos muestra que los valores obtenidos en este trabajo la profundidad (30-60 cm.) con una media de 11.88 mg/kg es la que contiene mayor concentración de cadmio, por el contrario la profundidad (60-90 cm.) con una concentración de 11.76 mg/kg es en la que se encontró menor concentración de cadmio, por lo anterior se determina que dichos valores están por debajo de los límites máximos permisibles en suelo que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 es de 37 mg/kg.

En comparación con la norma de la EPA (USA -1992) en relación al Cadmio, los valores obtenidos están por encima de los límites máximos permisibles que son 10 mg/kg de cadmio en suelo.

En base a los valores anteriormente descritos y obtenidos estadísticamente por comparación de medias, se considera que no hay significancia entre variables por lo tanto, la presencia de cadmio en suelo para uso agrícola esta dentro de la norma en el sitio muestreado, aunque en relación con Norma internacional ya mencionada, se encuentra por encima de la misma.

La presencia de cadmio en suelo nos indica que existe toxicidad, aunque sea en bajas concentraciones, debido posiblemente a las actividades antropogénicas a que están expuestos los suelos, el incremento de la concentración del metal (Cd) ira en ascenso debido a la irrigación con agua residual para los cultivos, por lo que se derivara una problemática desde que estos sean cosechados, dañando toda la cadena trófica hasta llegar al final con el ser humano.

En relación a la determinación de metales pesados Hernández en 2011 en estudios del suelo en Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca, se determinó la concentración 15 mg/kg de cadmio, los resultados son similares a los obtenidos en el presente trabajo y están está por debajo de los límites máximos permisibles que establece la norma en México.



## VI. CONCLUSIÓN

Los resultados analizados tanto para bloques como para las diferentes profundidades muestran que la distribución de cadmio en el sitio, se presenta de manera uniforme.

Las normas mexicanas en relación a los metales pesados no son muy compatibles con las de otros países (USA y Comunidad Europea), en relación a los límites de concentración de los mismos en los diferentes recursos naturales (suelo, aire, agua y seres vivos), las normas mexicanas son muy altas en sus límites permisibles, ya que la diferencia con respecto al cadmio en suelo la Norma Mexicana nos indica 37mg/kg y en la EPA (USA) es de 10mg/kg.

Estas diferencias son demasiado amplias entre ellas, mientras que en los países desarrollados las normas son más estrictas en los límites permisibles de concentración en los diferentes recursos naturales.

Es necesario realizar análisis en los suelos con la finalidad de estar monitoreando la presencia de cadmio en suelo para llevar un control ya que por el tipo de agua que se usa para irrigar estos suelos, habrá un incremento de concentración del mismo conforme se deposite de manera continua mayor cantidad de éste contaminante a través del tiempo en el suelo agrícola de esta región, por lo que surgirá una problemática en los seres vivos por este problema de contaminación.

La principal causa de la contaminación por cadmio es la actividad antropogénica, cabe mencionar que el desarrollo industrial y urbano es lo que más contribuye en este proceso.

## VII. LITERATURA CITADA

- Alvarado, C. J., N. D. Schubert, E. Ambriz, J. M. S. Yañez y J. Villegas 2011. "Hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo " Rev. Int. Contam. Ambie. 27: 357-364
- Baltazar, C. D. L. y J. A. A. Campos 2012. "Proteínas queladoras de metales pesados en plantas hiperacumuladoras." Revista de ciencia y tecnología de la UACJ 10: 21-30.
- Calzada, R. T., O. E. Arriaga, A. P. Sandoval, J. G. A. Ávila, A. F. Hernández, J. R. Torres y R. D. V. Cepeda 2009. "Evaluación de trompillo (*solanum elaeagnifolium*) en la fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados " Revista Chapingo Serie Zonas Aridas 8: 247-253.
- Cano, H. G. O., R. T. Calzada, R. D. V. Cepeda, J. G. A. Ávila, A. F. Hernández y B. L. Ariza 2009. "Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthus hybridus* L.) y micorrizas." Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 161-168.
- Carrillo, J. L. R. y R. O. Gallard 2012. "Utilización de las abejas melíferas para monitorear metales pesados en el aire." Apicultura sin fronteras: 2-5.
- Cartaya, O. E., I. Reynaldo, C. Peniche y M. L. Garrido 2011. "Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados." Rev. Int. Contam. Ambie. 27: 41-46.
- EPA United States Environmental Protection Agency. (1992).Guie to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol 1: metals. Washington.
- Espericueta, F., J. I. O. López, G. I. Fierro, M. A. Juárez y D. Voltolina 2010. "Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios." CICIMAR Océánides 25: 121-134
- Etcheveres, J. P., G. G. d. Etcheveres, R. M. L. Romero, J. P. Cuevas, J. A. López, C. H. Moreno, M. L. C. Huerta, A. G. Peña, B. Gutiérrez y E. M. Cruz 1971. "manual de procedimiento analíticos para análisis de suelo y planta

- del laboratorio de fertilidad de suelos." sociedad mexicana de la ciencia del suelo S.A. 1: 48.
- Flores, E. G., M. A. T. Campante, E. S. Castro, A. P. Magaña y A. J. G. Martínez 2011. "Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal." Rev. Int. Contam. Ambie. 27: 291-301.
- Fuentes, M. V., L. R. d. Astudillo, A. Díaz y G. Martínez 2010. "Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela." Rev. Biol. Trop. 58: 129-140.
- Galante, P. M., E. T. Sánchez, M. Valverde y E. R. D. Castillo 2013. "Biomarkers of exposure for assessing environmental metal pollution: from molecules to ecosystems." Rev. Int. Contam. Ambie. 29: 117-140
- Gallegos, E. G., E. G. Santillán, L. F. J. Santillán, L. J. Santacruz, J. M. Rigoberto, M. González y M. A. G. Camarillo 2012. "La respuesta de Haba (*Vicia faba*, L.) cultivada en suelos contaminados con diferentes concentraciones de cadmio." Int. Contam. Ambient 28: 119-126.
- Ganiveth, M. P., I. C. Angulo y L. U. Padilla 2008. "Bioacumulación de cadmio en ostras de la bahía de Cartagena." Ingenierías Universidad de Medellín 7: 11-20.
- García, P. E. P. y M. i. Azcona 2012. "Los efectos del cadmio en la salud." Esp Méd Quir 17: 199-205.
- Hernández, A. H. 2011. "Determinación de metales pesados en suelos de Natividad, Ixtlán de Juárez Oaxaca." Universidad de la Sierra de Juárez 1: 1-87.
- Huertos, E. G. y A. R. Baena 2008. "Contaminación de Suelos por Metales Pesados." Mancla revista de la sociedad española de mineralogía 10: 48-60.
- Mocoa 2002. "El suelo Propiedades físicas-químicas -Conservación " Ministerio de cultura y desarrollo rural, programa nacional de transferencia de tecnología agropecuaria pronatta. 1: 1-14.

- Nava-Ruíz, C. y M.-A. M. 2011 "Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)." *Neurociencia (Mex)* 16: 140-147.
- NOM-147 2004. " Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario berilio cadmio, cromo, hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo selenio, itatio y/o vanadio.".
- Ramírez, A. 2002. "Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos." *Anales de la Facultad de Medicina* 63: 51 - 64.
- Reyes-Navarrete, M. G., A. I. A.-d. I. Peña, D. M. Antuna, A. G.-. Vargas, L. S. González-Valdez y E. d. C. V. -Alarcón 2010. " Metales pesados: importancia y análisis." Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional, Unidad Durango, Instituto Politécnico Nacional 15: 10-17.
- Saa, G. R., J. A. R. Victoria y R. M. Molina 2011. "Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia." *Acta Agronómica* 60: 203-218.
- Sabath, E. y M. L. R. Osorio 2012. "Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados." *Revista Nefrología* 32: 279-286.
- Sánchez, N., N. Subero y C. Rivero "Determinación de la adsorción de cadmio mediante isotermas de adsorción en suelos agrícolas venezolanos." *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal* 60: 190-197.
- Santoyo, R., V. E. Hernández, R. M. Torres, J. E. R. Panta, E. H. Acosta, E. O. Trejo y L. C. Chee 2010. "Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos " *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 16: 241-251.
- SEMARNAT (2005). Informe de la situación del medio ambiente en México, compendio de estadísticas ambientales, capítulo 3, México.
- Siddiqui, M. M., B. H. Abbasi, N. Ahmad, M. Ali y T. Mahmood 2012. "Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and growth and

- DPPH-scavenging activity in *Brassica rapa* var. turnip." *Toxicology and Industrial Health* 00: 1–12.
- Tabari, S., S. S. S. Saravi, G. A. Bandany, A. Dehghan y M. Shokrzadeh<sup>5</sup> 2010. "Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled from Southern Caspian Sea, Iran." *Toxicology and Industrial Health* 26: 649–656.
- Valdez, M. y M. J.N. 2005. "Ecología microbiana del suelo." 1: 130.
- Vicente, L. V., Y. Quirós, F. P. Barriocanal, J. L. Novo, F. J. L. Hernández y A. I. Morales 2010. "Nephrotoxicity of Uranium: Pathophysiological, Diagnostic and Therapeutic Perspectives." *Toxicological sciences* 118: 324–347.
- Villa, Ò. R. M., H. M. O. Escobar, C. R. Ayala, E. U. Mortera, R. R. Bello y A. L. R. Ortigoza 2012. "Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México." *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28: 39-48.
- Zhang, C., E. Appel y Q. Qiao 2012. "Heavy metal pollution in farmland irrigated with river water near a steel plant-magnetic and geochemical signature." *Geophys. J. Int* 192: 963-974.