

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



Determinación de Cadmio en Alfalfa *Medicago sativa*, irrigada con aguas residuales.

**POR**

**JUAN MANUEL PUENTES GAMEZ**

**TESIS**

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

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.**

**AGOSTO DEL 2014**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE JUAN MANUEL PUENTES GAMEZ QUE SOMETE A LA  
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO RIQUISITO  
PARCIAL PARA OBTENER TÍTULO DE:

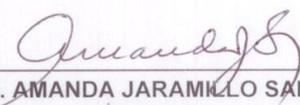
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADO POR:

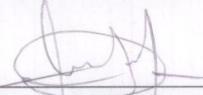
PRESIDENTE

  
MC. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

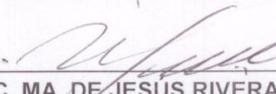
VOCAL

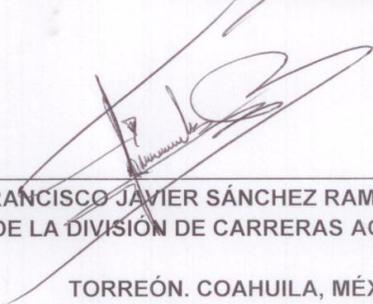
  
MC. AMANDA JARAMILLO SANTOS

VOCAL

  
DR. CESAR GUERRERO GUERRERO

VOCAL

  
MC. MA. DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN. COAHUILA, MÉXICO. AGOSTO 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

Determinación de Cadmio en Alfalfa *Medicago sativa*, irrigada con aguas  
residuales.

POR:

JUAN MANUEL PUENTES GAMEZ

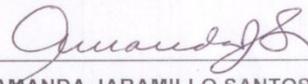
TESIS

QUE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES  
REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR

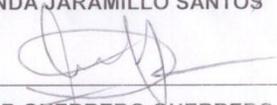
ASESOR PRINCIPAL

  
MC. HÉCTOR MONTAÑO RODRÍGUEZ

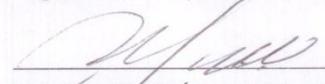
ASESOR

  
MC. AMANDA JARAMILLO SANTOS

ASESOR

  
DR. CESAR GUERRERO GUERRERO

ASESOR

  
MC. MA. DE JESÚS RIVERA GONZÁLEZ

  
DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS  
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO, AGOSTO 2014

## **AGRADECIMIENTOS**

**A DIOS** por darme la oportunidad de seguir adelante y cumplir una más de mis metas en la vida.

A mi **ALMA TERRA MATER** por darme las facilidades para culminar una etapa más de mis estudios, por estos años en los que fue para mí un segundo hogar al que le guardo un profundo cariño y eterno agradecimiento, orgullosamente narro.

**A mis padres y familia**, quienes sin importarles lo que fui en el pasado siempre me dieron el apoyo y la confianza necesaria para culminar un paso más en mis estudios, y seguir adelante en mi vida.

**Al M.C Héctor Montaña Rodríguez y la M.C Amanda Jaramillo Santos** por el apoyo e interés que mostraron durante el transcurso de mi carrera lo cual fue para mí una valiosa ayuda, que hicieron posible la culminación de este trabajo, por su confianza y amistad.

**A la M.C Ma. De Jesús Rivera González**, por el apoyo, confianza e interés mostrado para la culminación de este trabajo.

**Al Dr. Cesar Guerrero Guerrero**, por el apoyo, confianza e interés mostrado para la culminación de este trabajo.

**A mis compañeros y amigos**, que en el transcurso de mis estudios me brindaron la amistad y la ayuda necesaria para seguir adelante, de quienes guardo gratos recuerdos.

## DEDICATORIAS

A las personas más importantes en mi vida:

**Juan Santiago Puentes Ruiz**

**Manuela Gamez Castro**

**José Antonio Puentes Gamez**

**Rocio Puentes Gamez**

**Issabela Puentes Gamez**

Gracias por su apoyo y confianza por creer en mí, hoy es una realidad el sueño que comenzaron ya hace algunos años, quiero brindarles este pequeño reconocimiento, por ser la razón de mí seguir en el día a día de mi vida.

**A toda la familia Puentes Ruiz**, que con sus palabras de aliento y cariño me impulsaron a alcanzar esta meta, que hoy es una realidad, gracias por su apoyo y comprensión, y en aquellas ocasiones que involuntariamente e omitido a las personas pero que sin lugar a duda ocupan un lugar importante en mi vida.

**A toda la familia Gamez Castro**, que con su apoyo y confianza que me brindaron lo necesario para terminar esta etapa en mi vida que hoy alcance esta meta.

# INDICE

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIAS.....	ii
INDICE .....	iii
INDICE DE TABLAS .....	v
INDICE DE ILUSTRACIONES .....	vi
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	3
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	4
1.3 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.4 HIPOTESÍS .....	4
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> L.).....	5
2.1.1 MORFOLOGÍA.....	5
2.1.2 ADAPTABILIDAD .....	6
2.1.3 ESTABLECIMIENTO DE LA ALFALFA .....	6
2.1.3.1 SUELO Y LABOREO.....	6
2.1.3.2 ÉPOCA DE SIEMBRA.....	7
2.1.3.3 MÉTODO DE SIEMBRA .....	7
2.1.3.4 FERTILIZACIÓN AL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO.....	7
2.1.4 VALOR NUTRITIVO DE LA ALFALFA.....	8
2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES PESADOS.....	10
2.3 TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS.....	11
2.4 TOXICIDAD DEL CADMIO .....	15
2.4.1 PLANTAS.....	15
2.4.2 SER HUMANO.....	16
2.5 ENFERMEDADES.....	17
2.6 NORMAS OFICIALES MEXICANAS.....	18
2.6.1. NOM-004-ZOO-1994 .....	18
2.6.2 NOM-001-CONAGUA-2011.....	18

2.6.3 NOM-147-SEMARNAT-2004.....	18
2.6.4 NOM-001-SEMARNAT-1996.....	19
2.6.5 NOM-002-SEMARNAT-1996.....	19
2.7 TRABAJOS REALIZADOS SOBRE EL CADMIO.....	21
CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS.....	22
3.1 SITIO DE INVESTIGACIÓN.....	22
3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.....	22
3.3 MUESTREO .....	23
3.4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA.....	23
3.5 EQUIPO.....	23
3.6 DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	23
CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES .....	25
4.1 RESULTADOS.....	25
4.2 DISCUSION.....	27
CAPITULO V. CONCLUSIONES.....	29
5.1 CONCLUSIÓN .....	29
CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA.....	30

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Concentración de metales pesados en diversas especies vegetales (Cervantes y Moreno, 1999).....	13
<b>Tabla 2.</b> Los límites máximos se encuentran en mg/kg. 1.- Hígado 2.- Riñón 3.- Musculo.....	18
<b>Tabla 3.</b> Valor máximo permisible de cadmio en agua potable.....	18
<b>Tabla 4.</b> Donde se muestran el límite máximo permisible de cadmio en el suelo.	18
<b>Tabla 5.</b> Donde se muestra el límite máximo permisible de cadmio en aguas residuales.....	19
<b>Tabla 6.</b> Que muestra el límite máximo permisible de cadmio en aguas residuales descargadas en sistemas de alcantarillado.....	19
<b>Tabla 7.</b> Donde se presentan el contenido máximo de cadmio en productos alimenticios según la Unión Europea. ....	20
<b>Tabla 8.</b> Tabla que muestra los resultados de cadmio en este trabajo. ....	21
<b>Tabla 9.</b> Tabla que muestra los resultados de cadmio de este trabajo. ....	21
<b>Tabla 10.</b> Esta tabla muestra los 9 bloques con sus 12 repeticiones, en la cual se observan los resultados por cada bloque y al final se observar que se tiene la media de cada bloque. ....	25
<b>Tabla 11.</b> Que muestra las medias de los 9 bloques, donde el bloque 5 muestra la media de mayor concentración obtenida de cadmio en las plantas .....	25
<b>Tabla 12.</b> Que muestra el agrupamiento de las medias de cadmio en la planta de los 9 bloques, donde las medias con la misma letra son significativamente diferentes, donde el agrupamiento de la media con mayor concentración está con la letra A, y la media con menor concentración esta con la letra I.....	26
<b>Tabla 13.</b> Que muestra el análisis de varianza de las medias de concentración de los 9 tratamientos (bloques), donde se puede ver que tanto en los tratamientos y las repeticiones existe una alta significancia. **: Alta significancia.....	27

## INDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 1.</b> Efectos tóxicos de los metales pesados en las plantas (Cervantes y Moreno, 1999). .....	14
<b>Ilustración 2.</b> Imagen donde se muestra la parcela muestreada.....	22
<b>Ilustración 3.</b> Esquema donde se muestran los 9 bloques de la parcela.....	23
<b>Ilustración 4.</b> Grafica donde se comparan las medias de los 9 bloques, donde se puede observar que la media de menor concentración está en el bloque 2 y la media de mayor concentración está en el bloque 5.....	26

## RESUMEN

La alfalfa es el principal cultivo forrajero utilizado en la región para la alimentación del ganado productor de leche y carne, esto se debe a su gran aportación de proteínas, minerales y materias nitrogenadas requeridos por el ganado. Este cultivo cuya principal ventaja sobre otros cultivos es el alto contenido proteico ya que tienen un 74 a 79 % de proteína cruda que es degradable en el rumen del ganado, y de ahí el valor de este forraje y la gran demanda que existe sobre él. También favorece a este cultivo forrajero el contenido bajo de paredes celulares lo cual aumenta su valor energético, fermentación en el rumen y el consumo por los animales.

En el presente trabajo se determinó la concentración de cadmio en plantas de alfalfa (*Medicago sativa* L.) establecidas en un suelo irrigado con aguas residuales. En terrenos del ejido Plan de San Luis, Torreón, Coahuila.

Mediante el análisis de los resultados se determinó que la concentración mayor de cadmio se localizó en el bloque 5 teniendo un valor de 6.07 mg/kg y la concentración menor de cadmio se encontró en el bloque 2 con un valor de 0.74 mg/kg. Esto dio a una diferencia de alta significancia entre estos bloques, a lo cual se puede atribuir a la ubicación de cada bloque sobre la entrada del efluente.

**Palabras clave:** Alfalfa (*Medicago sativa* L.), Cadmio, Toxicidad, Determinación, Aguas residuales.

## INTRODUCCIÓN

El estrés abiótico es uno de los factores ambientales más dañino que enfrenta una planta y de entre ellos destacan los metales pesados en el suelo, los cuales son tóxicos para la misma. Esto representa un problema ambiental, así como un riesgo para la salud humana (Milner y Kochian, 2008).

La presencia de los metales pesados también reduce la cosecha ya que interfiere con el crecimiento de las plantas (Sato-Nagasawa *et al.*, 2011). Los metales pesados no son biodegradables tienden a acumularse en los organismos (Wei *et al.*, 2011). El Cd (cadmio) es un metal pesado con una larga vida media biológica (Cui *et al.*, 2012). Es un ion divalente (Janik *et al.*, 2010), tóxico no esencial que se emana de fuentes industriales y agrícolas (Gojon y Gaymard, 2010), es ampliamente utilizado en la industria (Park y Ely, 2008). En los últimos años se ha convertido en una preocupación ambiental a causa de su liberación significativa a los ecosistemas (Wei *et al.*, 2011), y se considera altamente mutagénico y cancerígeno (Lux *et al.*, 2011b). La alfalfa (*Medicago sativa*) que es cultivada y es rica en proteínas, vitaminas y minerales, presenta un alto valor nutritivo por lo que es utilizada para la alimentación de animales sobre todo para la producción de lácteos (Yang *et al.*, 2008), por lo que tiene un papel esencial en la nutrición humana y animal (Ben *et al.*, 2013).

La dieta humana es la principal fuente de exposición al cadmio del medio ambiente en los no fumadores en la mayor parte del mundo. La disposición atmosférica, las actividades mineras y la aplicación de fertilizantes que contienen cadmio en las tierras agrícolas pueden conducir a la contaminación de los suelos y el aumento de la absorción de cadmio por los productos agrícolas. El cadmio está presente en casi todos los alimentos, pero las concentraciones varían dependiendo del tipo de alimento y el nivel de la contaminación ambiental. Los alimentos provenientes de las plantas generalmente contienen mayores concentraciones de cadmio que la carne, huevos, leche, productos lácteos y pescado. Estudios recientes basados en la ingesta semanal tolerable provisional,

examinaron la acumulación de cadmio en los riñones y el hígado de los sujetos expuestos al medio ambiente, este estudio sugiere que el nivel de ingesta segura para un adulto es de 30 µg/día. El cadmio puede acumularse en los seres humanos y tiene una larga vida media en los tejidos de 10 a 30 años, en particular en los riñones (Monachese *et al.*, 2012).

El objetivo del trabajo fue determinar la concentración de cadmio en cultivos de alfalfa (*Medicago sativa*) en el ejido Plan de San Luis, Torreón, Coahuila. Cuyos terrenos de cultivo son regados con aguas residuales de origen municipal.

# **CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El uso de las aguas residuales para riego agrícola tienen como principal problema las altas cantidades de elementos traza o metales pesados presentes en estas aguas que son depositadas en los terrenos cultivados con forrajes incrementando su concentración natural de tres a seis veces con respecto a lo que ocurre en suelos donde no se emplean estas aguas.

Debido al incremento de los elementos traza o metales pesados en los suelos de cultivos forrajeros, ha incrementado el interés por estudiar este fenómeno ya que estos elementos incrementan la toxicidad sobre los organismos vivos, principalmente en las plantas (forrajes), ya que son el inicio de la cadena alimenticia.

El cadmio debido a su toxicidad y peligrosidad hacía la cadena alimenticia provocaría serios problemas en animales que consuman estas plantas contaminadas con este metal, el ser humano al consumir los productos derivados de los animales está expuesto a diferentes enfermedades, de las cuales destacan: cálculos renales e insuficiencia renal.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN**

El trabajo se realizó en el ejido Plan de San Luis en el área de cultivos y con la finalidad de determinar la concentración de cadmio en el cultivo de Alfalfa (*Medicago sativa*) el cual es irrigado con aguas residuales sin tratar, ya que los usuarios de estos cultivos desconocen el problema que generan los contaminantes provenientes de estas aguas y al continuar usando este tipo de agua para riego ponen en riesgo a los siguientes organismos de la cadena trófica ya que los productos como son la leche, carne o derivados de los mismos ponen en riesgo la salud del hombre.

## **1.3 OBJETIVO GENERAL**

Determinar la concentración de cadmio en cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.), irrigadas con aguas residuales en el ejido Plan de San Luis, Torreón, Coahuila.

## **1.4 HIPOTESIS**

La concentración de Cd en la planta, está relacionada por la presencia de Cd en los suelos irrigados por aguas residuales.

## **CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.**

### **2.1 ALFALFA (*Medicago sativa* L.)**

La especie *Medicago sativa* L. procede de las altiplanicies de Irán y regiones cercanas, incluyendo los oasis de la Península Arábiga, en donde se encuentran ecotipos muy semejantes que pudieron quedar aislados en las primeras etapas de su cultivo (Pardo y García, 1991).

La alfalfa se introdujo a la región del centro de México durante la conquista española, de donde se extendió a lo que son ahora los estados de Hidalgo, Puebla, Guanajuato, Jalisco y Michoacán, actualmente se cultiva desde el norte del país hasta algunas partes altas en el sureste del país (César *et al.*, 2000).

#### **2.1.1 MORFOLOGÍA**

Posee un raíz pivotante que se orienta perpendicularmente pudiendo penetrar en el suelo hasta 8 o 10 metros de profundidad, lo que le permite llegar al agua de las capas profundas (Carámbula, 1977).

Es una planta perenne, vivaz, de desarrollo erecto, tallo poco ramificado de 60 a 100 cm de altura, hojas trifoliadas con un pedicelo intermedio más largo que los laterales, folíolos ovalados, en general sin pelos, tiene márgenes lisos con los bordes superiores ligeramente dentados (Pardo y García, 1991).

Su inflorescencia es en racimos axilares de 5 a 15 flores de color púrpura, violáceas o amarillas y de fecundación cruzada entomófila, en un 80 0 90 por ciento de los casos (Carámbula, 1977).

Los tallos son delgados, sólidos o huecos, cuadrados cuando jóvenes y fuertes para soportar erectos el peso de hojas e inflorescencias (Pardo y García, 1991).

## **2.1.2 ADAPTABILIDAD**

La alfalfa crece bien en suelos francos, profundos, con subsuelo permeable y especialmente con buen drenaje, requiere niveles apropiados de calcio y no soporta suelos de reacción ácida (Carámbula, 1977).

Sin embargo no se desarrolla bien en suelos con pH inferior a 5.6 debido a las limitaciones que la acidez produce en la supervivencia y multiplicación del *Rhizobium meliloti* específico (Pardo y García, 1991). El pH óptimo del suelo para la producción de la alfalfa es de 6.5 a 7.5, las siembras se deben evitar cuando los valores son menores de 5.6 o mayores de 8.5 (César *et al.*, 2000).

Se adapta a un rango amplio de condiciones climáticas sobreviviendo a temperaturas tan bajas como 60°C bajo cero (Alaska) y tan altas como 54°C sobre cero (California) (Carámbula, 1977). La temperatura óptima para su crecimiento está entre 15°C y 25°C durante el día y 10°C y 20°C en la noche, las temperaturas por encima de 30°C reducen el crecimiento por aumento de la respiración de la planta (Pardo y García, 1991).

## **2.1.3 ESTABLECIMIENTO DE LA ALFALFA**

### **2.1.3.1 SUELO Y LABOREO**

El cultivo precedente a una siembra de alfalfa también tiene importancia en el éxito del establecimiento, por lo que se debe descartar la repetición de alfalfa sobre alfalfa por cuanto existen problemas de toxicidad provocados sobre la misma especie, lo cual se aconseja realizar la siembra después de un cereal por ejemplo, trigo o avena (Ortíz, 2001).

El suelo de la parcela será profundo, homogéneo, bien drenado, y de estructura no degradada, esto es, que permita tres condiciones fundamentales: circulación y equilibrio en el suelo del aire y del agua, poder mantener una reserva de agua útil para las plantas y facilitar la penetración de las raíces (Eguilaz *et al.*, 2007).

Se requiere una buena preparación del terreno o cama de siembra, para la preparación del terreno usualmente se requiere de un barbecho, un rastreo y nivelación (tradicional o laser) o empareje del suelo, de ser necesario, previo al barbecho se puede dar un paso de subsuelo para romper capas compactas de suelo también llamadas “pisos de arado” que pudieran estar presentes (Garza y Ortíz, 2000).

### **2.1.3.2 ÉPOCA DE SIEMBRA**

La alfalfa es un cultivo que prácticamente se puede sembrar en cualquier época del año, el período óptimo para su siembra es en los meses de noviembre y diciembre. A causa de las condiciones del clima que prevalecen durante este período, las siembras de alfalfa que se establecen en estos meses no presentan problema de altas infestaciones de maleza y tiempo que necesita la alfalfa para alcanzar el primer corte, es lo suficientemente largo para permitirle a la planta desarrollar un sistema profundo y vigoroso, capaz de soportar el estrés que sufren las plantas. Por otro lado, la baja evaporación que prevalece durante éste período, permite mantener húmeda por más tiempo la superficie del suelo, lo que propicia la emergencia y plántulas de alfalfa (Garza y Ortíz, 2000).

### **2.1.3.3 MÉTODO DE SIEMBRA**

La profundidad de siembra y su interacción con la humedad del suelo son puntos críticos en el establecimiento de la alfalfa. La semilla debe quedar a una profundidad suficiente para que pueda disponer de una adecuada humedad para su germinación, pero también lo suficientemente superficial que permita la apropiada emergencia de las plántulas. En términos generales, para suelos con textura arcillosa a migajón, se sugiere una profundidad de siembra de 0.6 a 1.3 cm y de 1.3 cm a 2.5 para suelos arenosos (Garza y Ortíz 2000).

### **2.1.3.4 FERTILIZACIÓN AL ESTABLECIMIENTO DEL CULTIVO**

La acidez del suelo es una limitante para una efectiva fijación simbiótica por el rizobio asociado a la alfalfa. En suelos con pH bajo de 5.5 el rizobio no tiene posibilidad de sobrevivir, por lo tanto es preferible no sembrar alfalfa en suelos con

este nivel de acidez, puesto que su corrección implicaría la aplicación de una alta dosis de cal, económicamente inaplicables, y además puede provocar desbalance de otros nutrientes en el suelo (Ortíz, 2001).

Un programa de fertilización para un alto rendimiento de la alfalfa como para cualquier otro cultivo, debe considerar aspectos tan importantes como el conocimiento de las características físicas y químicas del suelo, el rendimiento de materia seca esperado y la concentración de nutrimentos contenidos en el forraje, con estos elementos es posible tener una idea bastante precisa de la demanda anual de nutrimentos del cultivo y de las necesidades de fertilización complementarias a las cantidades de nutrimentos ya disponibles en el suelo antes de siembra (Wong y Garza, 2000).

#### **2.1.4 VALOR NUTRITIVO DE LA ALFALFA**

El valor nutritivo de los forrajes es el producto de la concentración de nutrientes, consumo, digestibilidad y metabolismo de los productos digeridos por los animales (Hernández, 2000).

La alfalfa es un forraje cuya principal ventaja es el alto contenido proteico, y de ahí el valor de este forraje y la gran demanda que existe hacia él, para valorar la utilización de los forrajes por el animal hay que tener en cuenta diversos factores (Pardo y García, 1991):

- Composición química;
- Digestibilidad de la materia orgánica;
- Ingestión voluntaria por el animal;
- Utilización en el estómago del animal.

El contenido bajo de paredes celulares de la alfalfa favorece su valor energético, fermentación en el rumen y consumo por los animales (Hernández, 2000).

Tiene un contenido de materias nitrogenadas totales, superior al de cualquier otra planta de las utilizadas comúnmente, un contenido de caroteno y xantofila también muy alto, y un alto porcentaje de fibra (Pardo y García, 1991).

El contenido de paredes celulares se digiere más rápidamente que la de otros forrajes, lo cual influye en que la reducción de la digestibilidad potencial sea menor en comparación a otros forrajes cuando los animales tienen consumos altos de materia seca como es el caso de las vacas lecheras (Hernández, 2000).

Se caracteriza por una concentración alta de proteína cruda, la mayor parte de la cual, es proteína degradable en el rumen (74-79 %) en términos nutricionales, la alfalfa con más de 22% de proteína cruda no tiene ninguna ventaja en proteína metabolizable (Hernández, 2000). Por lo cual para cubrir adecuadamente las necesidades energéticas se habría desperdiciado buena parte de proteínas, por eso es necesario complementar la ración de alfalfa con algún otro alimento más pobre en la fracción nitrogenada y, en cambio, más rico en hidratos de carbono y grasas, tales como el maíz ensilado (Ibáñez y Gamborino, 1983).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS METALES PESADOS

Como metales pesados son considerados todos aquellos elementos metálicos con peso atómico mayor que el hierro (55.85 g/mol), en total 59 elementos. Pero si consideramos sólo estos elementos, quedarían fuera numerosos metales con pesos atómicos inferiores que con frecuencia pueden ser metales contaminantes como el Mn (54.44 g/mol) o el Cr (52.01 g/mol) y otros elementos contaminantes que no son metales como As, F y P, por eso consideramos mejor hablar de elementos traza para todos aquellos elementos metálicos y no metálicos que pueden constituirse como contaminantes (Belmonte Serrato *et al.*, 2010).

Los metales se consideraron muy importantes y contaminantes altamente tóxicos en los distintos departamentos de medio ambiente. Las entradas de los metales pesados en el medio ambiente es el resultado de las actividades humanas (Valavanidis y Vlachogianni, 2010). La distribución de los metales en medio ambiente se rige por las propiedades de los metales y las influencias de los factores medioambientales (Morais *et al.*, 2012).

El cadmio es un metal pesado que se encuentra en una amplia aplicación industrial (Zhou *et al.*, 2012), es un elemento traza, cuya presencia en el medio ambiente es esencialmente debido a las actividades humanas, se trata de un metal pesado muy tóxico no biológico capaz de introducirse a las células vivas por los transportistas en general, se utilizan para la absorción de cationes como el calcio, hierro, zinc, entre otros (Prévéral *et al.*, 2009). Es un metal pesado no esencial para el crecimiento de las plantas y animales (Sánchez *et al.*, 2011).

El cadmio es uno de los mayores agentes tóxicos asociado a la contaminación ambiental e industrial, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico (Ramírez, 2002):

1. Efectos adversos para el hombre y medio ambiente;
2. Bioacumulación;
3. Persistencia en el medio ambiente;
4. “viaja” grandes distancias con el viento y en los cursos de agua.

El cadmio ocupa actualmente el séptimo lugar en la lista de prioridades de las sustancias peligrosas emitida por la Agencia para las Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (Rennolds *et al.*, 2010).

### **2.3 TOXICIDAD DE LOS METALES PESADOS**

La contaminación por metales pesados también altera la composición de las poblaciones de un ecosistema, ya que cada especie responde de diferente manera a las concentraciones de contaminantes y por tanto se acumula en mayor o menor medida de determinados metales pesados (Cervantes y Moreno, 1999).

El término “metal pesado” se vincula en la mente de muchas personas a los metales (o sus compuestos) que son tóxicos. Sin embargo, esta es una sensación más que una conclusión basada en evidencia científica. Dos hechos se deben tener en cuenta: (1) el efecto de cualquier sustancia en un sistema vivo va a depender siempre de la concentración disponible para las células. Por lo tanto, no hay sustancias tóxicas que lo sean siempre. Lo que tenemos que evaluar son los datos de la relación dosis-respuesta de la toxicidad, es decir, la relación cuantitativa entre dosis y respuesta. (2) Varios iones metálicos son cruciales para el metabolismo de las células en concentraciones bajas, pero son tóxicos en altas concentraciones, o lo que se traduce en forma de campana relaciones dosis-respuesta, estos metales son a veces llamados micronutrientes (Appenroth, 2010).

La variabilidad de respuesta de los organismos por intervención de los factores fisicoquímicos dificulta la explicación de los mecanismos para los efectos observados y dificulta también la determinación de concentraciones letales o sub-letales de los metales pesados, a pesar de estas circunstancias, se han determinado los valores límites de concentración letal para metales pesados en varias clases de organismos y la resistencia a metales por las plantas suele manifestarse a través de dos estrategias diferentes: evasión y tolerancia. La evasión es la capacidad del organismo para prevenir una captación excesiva del metal en su cuerpo, en tanto que la tolerancia es la capacidad para enfrentarse

con los metales que se acumulan de manera excesiva en su cuerpo (Cervantes y Moreno, 1999).

La toxicidad por metales pesados se debe en parte al estrés oxidativo producido por las especies de oxígeno reactivo (ROS) generadas a través de diferentes mecanismos dependiendo del metal que se trate. Los cationes metálicos  $\text{Cd}^{2+}$  y  $\text{Pb}^{2+}$  no experimentan cambios redox y por lo tanto, a diferencia del  $\text{Fe}^{2+}$  y  $\text{Cu}^{2+}$ , no actúan directamente en la generación de ROS (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008).

En las plantas los mecanismos de tolerancia a metales incluyen (Cervantes y Moreno Sánchez, 1999):

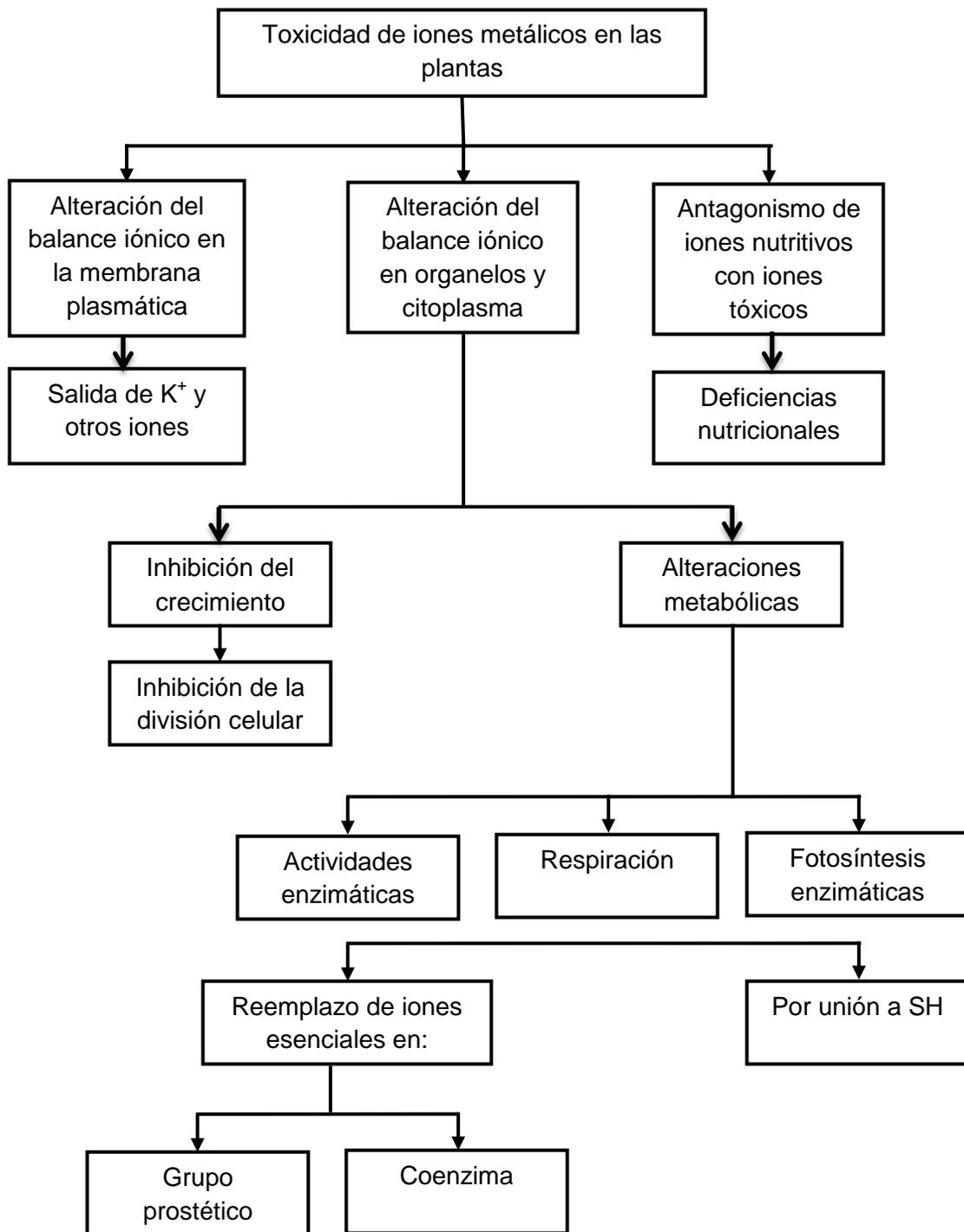
- a) Producción de compuestos intracelulares quelantes de metales. Las plantas acumulan una variedad de compuestos quelantes de metales después de ser expuestas a concentraciones excesivas de éstos, como aminoácidos, derivados de aminoácidos, ácido cítrico, ácido málico y fitoquelatinas;
- b) Alteración de patrones de compartimentalización del metal. Algunas plantas translocan el exceso de metales a las hojas viejas: otras restringen el transporte de raíz a tallo: la vacuola funciona como un reservorio del exceso de metales;
- c) Alteraciones del metabolismo celular. Modificación de procesos metabólicos sensibles a los metales pesados por activación de vías alternativas, aumento en la síntesis de enzimas sensibles o cambios estructurales de las enzimas para disminuir la pérdida de actividad impuesta por el metal.

Las plantas pueden movilizar a los metales del suelo al secretar moléculas secuestradoras de metales a nivel de la rizósfera, como el ácido mugineico, el ácido ovénico y la nicotinamida en gramíneas, una vez que los metales han ingresado a la raíz, pueden ser almacenados o enviarse al tallos. La vacuola tiene una función esencial en el almacenamiento de metales. Los iones metálicos se transportan de manera activa al interior del tonoplasto como iones libres o como

complejos metal-molécula quelante, los cuales son regularmente una fitoquelatina de sólo 2 o 3 unidades de glutatión.

Metal	Rango de concentración ppm (peso seco)	Concentración promedio ppm (peso seco)
Aluminio	1-14,500	200
Arsénico	0.009-1.5	0.04-0.2
Cadmio	0.01-0.66	0.04-0.07
Cobre	1-29	10
Cromo	0-01-3.4	0.05
Mercurio	0.0002-0.82	0.015
Plomo	0.1-7.8	0.5
Zinc	6-67	20-30

**Tabla 1.** Concentración de metales pesados en diversas especies vegetales (Cervantes y Moreno, 1999).



**Ilustración 1.** Efectos tóxicos de los metales pesados en las plantas (Cervantes y Moreno, 1999).

## 2.4 TOXICIDAD DEL CADMIO

### 2.4.1 PLANTAS

Aunque el Cd no es un elemento esencial para las plantas, éstas lo absorben por la raíz y las hojas, puesto que su solubilidad depende del pH, su captación en las plantas se relaciona con el pH del suelo. En general, una fracción se absorbe de manera pasiva por las raíces y otra de modo metabólico (Cervantes y Moreno, 1999). Lo cual interfiere en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales (Ca, Mg, P y K) y del agua, provocando desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta (Rodríguez-Serrano *et al.*, 2008).

La absorción de cadmio de un cultivo no sólo depende de la actividad del ion metálico en la solución del suelo, sino también de las relaciones que existan entre los iones en solución y los iones en fase sólida (Sánchez *et al.*, 2011).

Los efectos que describen Cervantes y Moreno (1999) del Cd en las plantas son: retardo en el crecimiento, daño a la raíz, clorosis en las hojas, interferencia con el metabolismo de algunos micronutrientes, inhibición de la fotosíntesis, de la fijación del CO<sub>2</sub> y de la transpiración, la modificación de la permeabilidad de membranas celulares y destrucción de organelos y células, inhibe la síntesis de antocianinas y clorofila, disminuye la eficiencia fotoquímica del fotosistema II en el estado estacionario, reduciendo el decaimiento de la fluorescencia y el rendimiento cuántico para el transporte de electrones y aumentando el decaimiento no fotoquímico de la fluorescencia, también induce la desaparición del apilamiento de los grana, la degradación de los lípidos del tilacoide, liberación de algunos péptidos asociados con el complejo liberador de oxígeno y la desorganización del sistema antena.

El Cd interactúa con varios elementos contaminantes de las plantas, modificando su captación y sus efectos bioquímicos: el Zn y Cu reducen la captación del Cd en la raíz y las hojas; el Mn y Ni compiten con el Cd durante el proceso de la captación; también existen interacciones Cd-Se, Cd-Pi y Cd-Ca, y es en este último donde hay remplazo de Cd por Ca (Cervantes y Moreno, 1999).

## 2.4.2 SER HUMANO

El contenido corporal de cadmio se incrementa con la edad hasta los 50 años. En los adultos, la carga corporal de cadmio puede llegar a 40 miligramos, dependiendo de la situación geográfica y sobretodo del hábito de fumar, pues en un fumador la carga alcanza el doble (Piotrowski y Coleman, 1990).

En condiciones “normales” de distribución, el cadmio absorbido se excreta principalmente por orina y en menor cantidad con la bilis, aunque pequeñas porciones puedan eliminarse con sudor, pelo y aún gastrointestinal, pero el Cd que sale con heces en su mayor parte es el que no es absorbido (Kjellstrom y Nordberg, 1978).

Se encontró que aproximadamente 0.06% del contenido corporal que corresponde a Cd y de esto más del 50% está en los hematíes unido inestablemente a una pseudoproteína o la metalotioneína. El “medio de transporte” del cadmio hacia el plasma sanguíneo es la metalotioneína (Ramírez, 2002).

La acumulación de Cd en el riñón e hígado depende de la intensidad de exposición, del tiempo de exposición y del estado óptimo de la función de excreción renal (Oleru, 1991).

El cadmio está presente en casi todos los alimentos, pero las concentraciones varían en función del tipo de comida y el nivel de contaminación del medio ambiente, en la alimentación generalmente proveniente de las plantas contiene concentraciones más altas de cadmio que en la carne, los huevos, la leche, los productos lácteos y el pescado (Monachese *et al.*, 2012).

## 2.5 ENFERMEDADES

Este elemento se ha relacionado con algunos efectos toxicológicos en personas que han sufrido intoxicaciones crónicas, como son la proteinuria, al afectar el cadmio los túbulos proximales y distales de los riñones, originando la formación de cálculos (Portillo y Ramos, 1982). Se sabe que una exposición crónica relativamente baja puede causar daños irreversibles a los túbulos renales, que pueden dar lugar al daño glomerular y a la insuficiencia renal; con frecuencia se observa pérdida de hueso junto con estos efectos (Mead, 2011).

Como carcinógeno, el cadmio se dirige hacia varios puntos del sistema endocrino considerados susceptibles, y algunos datos sugieren que las mamas se encuentran entre éstos. Si bien se ha planteado la hipótesis de que el cadmio actúa como un metaloestrógeno, hasta la fecha las investigaciones realizadas no han confirmado esto como un mecanismo que vincule el cadmio con el cáncer de mama (Barret, 2010).

Los pulmones de los fumadores están expuestos a concentraciones muy elevadas de cadmio en cada cigarrillo contiene 1-3mg/kg de cadmio. En consecuencia, un individuo que fuma un paquete de cigarrillos al día, inhala alrededor de 40mg/kg de cadmio, al corto plazo (aguda) los efectos de la exposición al cadmio por inhalación se centra fundamentalmente en los pulmones y se caracterizan por neumonitis, bronquitis y edema pulmonar (Rennolds *et al.*, 2010).

Por otro lado, se han reportado algunas epidemias como la ocurrida en Japón y provocada por la ingestión de arroz contaminado con cadmio, produciendo la enfermedad conocida como "itai-itai", una osteomalacia productora de fracturas múltiples. En el laboratorio ha demostrado ser un cancerígeno y en el ser humano este metal se ha correlacionado con el cáncer de la próstata (Portillo y Ramos, 1982).

## 2.6 NORMAS OFICIALES MEXICANAS

**2.6.1. NOM-004-ZOO-1994.** Control de residuos tóxicos en carne, grasa, hígado y riñón de bovinos, equinos, porcinos y ovinos, por lo que ahora se denominará grasa, hígado, músculo y riñón en aves, bovinos, caprinos, cérvidos, equinos, ovinos y porcinos. Residuos tóxicos. Límites máximos permisibles y procedimientos de muestreo.

Compuesto	Tejido	Especie						
		Bovino	Equino	Porcino	Ovino	Ave	Caprino	Cérvido
Cadmio	1	10	10	10	10	10	10	10
	2	5	5	5	5	5	5	5
	3	2	2	2	2	2	2	2

**Tabla 2.** Los límites máximos se encuentran en mg/kg. 1.- Hígado 2.- Riñón 3.- Musculo.

**2.6.2 NOM-001-CONAGUA-2011.** Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba.

Metal	Ppm
Cadmio	0.005

**Tabla 3.** Valor máximo permisible de cadmio en agua potable.

**2.6.3 NOM-147-SEMARNAT-2004.** Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y/o vanadio.

Concentraciones de referencia totales por tipo de uso de suelo		
Contaminante	Uso agrícola/residencial/ comercial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
	Cadmio	37

**Tabla 4.** Donde se muestran el límite máximo permisible de cadmio en el suelo.

**2.6.4 NOM-001-SEMARNAT-1996.** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Límite Máximo Permissible									
Parámetros (miligramos por litro)	Ríos			Embales naturales y artificiales		Aguas costeras			Suelo
	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Protección de vida acuática	Uso en riego agrícola	Uso público urbano	Explotación pesquera, navegación y otros usos	Recreación	Estuarios	Uso en riego agrícola
<b>Cadmio</b>	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.05

**Tabla 5.** Donde se muestra el límite máximo permissible de cadmio en aguas residuales.

**2.6.5 NOM-002-SEMARNAT-1996.** Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Límite Máximo Permissible			
Parámetro	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
<b>Cadmio total</b>	0.5	0.75	1

**Tabla 6.** Que muestra el límite máximo permissible de cadmio en aguas residuales descargadas en sistemas de alcantarillado.

Según el artículo 155 del reglamento técnico de la Unión Europea tiene el siguiente contenido máximo de cadmio en productos alimenticios.

Producto	Contenido máximo (mg/kg peso fresco)
Carne (excluidos los despojos) de bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral	0.050
Hígado de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos	0.500
Riñones de bovinos, ovinos, cerdos, aves de corral y caballos	1.000
Carne de caballo, excluidos los despojos	0.200

**Tabla 7.** Donde se presentan el contenido máximo de cadmio en productos alimenticios según la Unión Europea.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) tiene como un contenido máximo de cadmio en cereales, legumbres y leguminosas de 0.1 mg/kg.

## 2.7 TRABAJOS REALIZADOS SOBRE EL CADMIO

El estudio realizado por Miranda *et al.*, (2008) fue determinar las concentraciones de metales pesados (Cd), en el tejido foliar de los cultivos de lechuga, apio, repollo y brócoli. Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en la **tabla 8**.

Vegetal	Cadmio (mg/kg)
Lechuga	0.400
Apio	0.430
Repollo	0.100
Brócoli	0.010

**Tabla 8.** Tabla que muestra los resultados de cadmio en este trabajo.

En el trabajo realizado por Cajuste *et al.*, (2001) se investigó la dinámica del Cd, Ni y Pb, en relación con su transporte en agua, acumulación y movilización en el suelo, así como su incorporación al follaje de la alfalfa (*Medicago sativa*), y al follaje y grano de maíz (*Zea mays* L.) y trigo (*Triticum aestivum*). Los resultados de este experimento se muestran en la **tabla 9**.

Especie vegetal	Cadmio (mg/kg)
Alfalfa	0.7-2.3
Trigo	4.35

**Tabla 9.** Tabla que muestra los resultados de cadmio de este trabajo.

## CAPITULO III. MATERIALES Y METODOS

### 3.1 SITIO DE INVESTIGACIÓN.

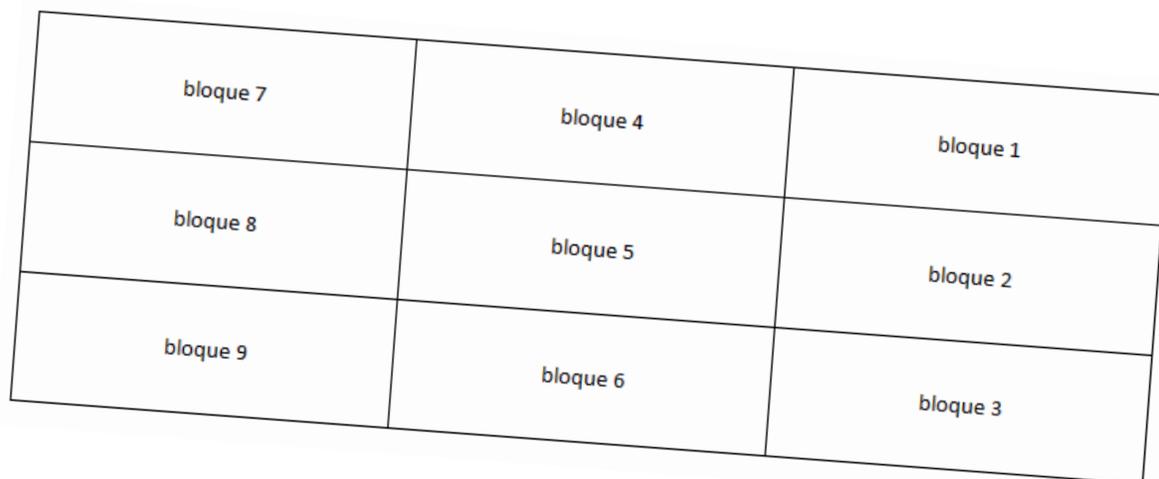
El presente trabajo se llevó a cabo en el ejido Plan de San Luis, Torreón, Coahuila con latitud  $25^{\circ}34'5.24$  N y longitud  $103^{\circ}21'35.81$  O en una parcela con un área de  $3420\text{ m}^2$ , se realizó el 19 de abril del 2013.

### 3.2 DISEÑO EXPERIMENTAL.

El experimento se realizó mediante el diseño de bloques al azar con 12 repeticiones, por lo cual se utilizó una parcela de 18 m por 180 m teniendo como un área de  $3420\text{ m}^2$ , donde se eliminaron 15 m de cabecera y 15 m de recibidor para eliminar posibles efectos erróneos en el muestreo, también se eliminaron 1.5 m de cada costado para así dejar un campo de muestreo de 15 m por 150 m teniendo este mismo un área de  $2250\text{ m}^2$ , donde se hicieron 9 bloques de 15 m por 16 m obteniendo así un área de  $240\text{ m}^2$  en cada uno de ellos, en los cuales se tomaron 12 muestras por bloque. Variable a determinar: cantidad de cadmio en muestras vegetales de alfalfa (mezcla de raíz, tallo y hoja) colectada mediante un diseño de bloques al azar.



**Ilustración 2.** Imagen donde se muestra la parcela muestreada.



**Ilustración 3.** Esquema donde se muestran los 9 bloques de la parcela

### 3.3 MUESTREO

El muestreo se llevó a cabo mediante el diseño bloques al azar para lo cual primeramente se trabajó para obtener el área aproximada de la parcela, al obtener el área se prosiguió hacer 9 bloques, de los cuales se tomaron 12 repeticiones por bloque.

### 3.4 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

Se tomaron 12 plantas por bloque en el sitio del experimento, las cuales se manejaron en bolsas de plástico para trasportarlas al laboratorio, y se pusieron a secar por un periodo de 3 a 4 días a temperatura ambiente de 35°C, posterior al secado de las plantas se hizo una maceración de las mismas (Lux *et al.*, 2011).

### 3.5 EQUIPO

- Se utilizó espectrofotómetro de absorción atómica (Perkin Elmer 2380) para la determinación de metales pesados.

### 3.6 DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS

Mezcla digestora se utilizó 4 ml de HNO<sub>3</sub> y 2 ml de HClO<sub>4</sub> por muestra (relación 2:1). Esta mezcla puede realizarse con anticipación ya que es estable.

Se pesa el material vegetal, 0.50 g y se coloca en matraces microkjeldahl de 30 ml o tubos de digestión. Se adicionan 6 ml de mezcla digestora. Se deja en predigestión por 12 horas como mínimo o en reposo toda la noche.

Se colocan los matraces o los tubos, en la unidad digestora y se calienta a 150 °C hasta que desaparezcan los humos pardos de los óxidos de nitrógeno este proceso toma entre 30 y 45 minutos. Durante esta etapa se rota el matraz o el tubo para lavar las paredes de todo residuo orgánico.

El final de la reacción está marcado por la aparición de vapores blancos densos de característicos del  $\text{HClO}_4$ . Esta etapa dura aproximadamente 1 hora. Después de la aparición de vapores pesados, dejar las muestras por 5 minutos más en el aparato digestor (Barra *et al.*, 1971).

## CAPITULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

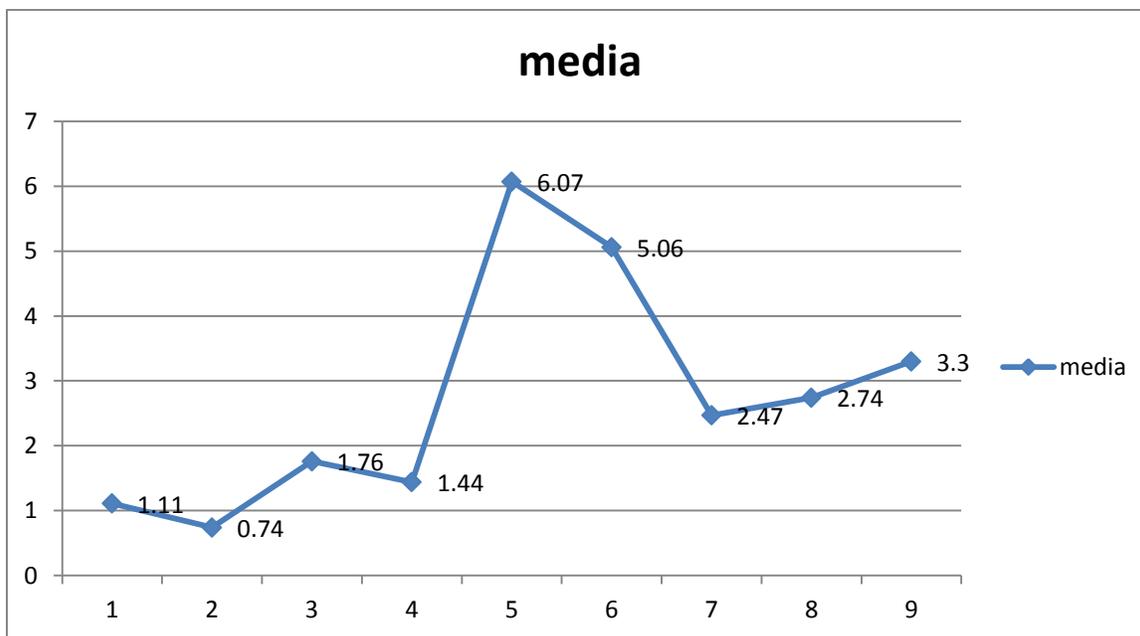
### 4.1 RESULTADOS

Bloque 1 mg/kg	Bloque 2 mg/kg	Bloque 3 mg/kg	Bloque 4 mg/kg	Bloque 5 mg/kg	Bloque 6 mg/kg	Bloque 7 mg/kg	Bloque 8 mg/kg	Bloque 9 mg/kg
1.20	0.80	1.10	0.15	3.45	5.65	2.30	2.80	3.20
1.00	0.85	1.25	0.65	3.65	4.80	2.50	2.85	3.30
1.65	0.75	1.00	0.70	3.50	4.50	2.60	2.70	3.40
1.35	0.90	1.05	0.85	3.75	4.60	2.50	3.05	3.25
0.25	0.85	0.85	1.00	7.20	4.00	2.30	2.80	3.15
0.50	0.60	0.70	1.05	7.30	4.50	2.55	2.70	3.35
0.65	0.90	0.80	1.25	7.40	4.15	1.95	2.15	4.10
0.75	0.55	1.10	1.45	7.35	4.00	2.45	2.65	3.35
1.50	0.95	2.55	1.95	7.70	6.85	2.60	2.70	3.30
1.45	0.40	2.60	2.20	8.00	6.10	2.90	2.85	2.95
1.35	0.60	4.20	3.15	7.55	5.75	2.05	2.80	3.15
1.70	0.75	3.95	2.90	6.10	5.90	2.95	2.90	3.15
Media mg/kg								
1.11	0.74	1.76	1.44	6.07	5.06	2.47	2.74	3.3

**Tabla 10.** Esta tabla muestra los 9 bloques con sus 12 repeticiones, en la cual se observan los resultados por cada bloque y al final se observan que se tiene la media de cada bloque.

Bloque	Media (mg/kg)
1	1.11
2	0.74
3	1.76
4	1.44
5	6.07
6	5.06
7	2.47
8	2.74
9	3.3

**Tabla 11.** Que muestra las medias de los 9 bloques, donde el bloque 5 muestra la media de mayor concentración obtenida de cadmio en las plantas



**Ilustración 4.** Grafica donde se comparan las medias de los 9 bloques, donde se puede observar que la media de menor concentración está en el bloque 2 y la media de mayor concentración está en el bloque 5.

Agrupamiento	Media (mg/kg)	Núm. De repeticiones	Tratamiento
A	6.070	12	5
B	5.060	12	6
C	3.300	12	9
D	2.740	12	8
E	2.470	12	7
F	1.760	12	3
G	1.440	12	4
H	1.110	12	1
I	0.740	12	2

**Tabla 12.** Que muestra el agrupamiento de las medias de cadmio en la planta de los 9 bloques, donde las medias con la misma letra son significativamente diferentes, donde el agrupamiento de la media con mayor concentración está con la letra A, y la media con menor concentración esta con la letra I.

Fuente de v	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-valor	Significancia estadística
Tratamientos	8	317.4136724	39.6767090	58.78	<.0001**
Repeticiones	11	22.0930313	2.0084574	3.03	<.0018**
Error	89	59.0709110	0.6637181		
Total correcto	108	398.5776147			

**Tabla 13.** Que muestra el análisis de varianza de las medias de concentración de los 9 tratamientos (bloques), donde se puede ver que tanto en los tratamientos y las repeticiones existe una alta significancia. \*\*: Alta significancia.

#### 4.2 DISCUSION

De acuerdo a los resultados obtenidos, resulto que los bloques de mayor concentración de cadmio se dieron en la parte media (bloque 5 y 6) de la parcela, ya que a menor distancia de la entrada del efluente del agua residual se obtuvieron datos menores a los de parte media de la parcela (bloques 1, 2, 3 y 4), por otro lado los resultados de los bloques (7, 8 y 9) de la parte recibidora del efluente, las concentraciones se vieron constantes.

Según los valores mostrados por Cervantes y Moreno (1999) de cadmio en diversas especies de vegetales los cuales en una concentración promedio son de 0.04 a 0.07 mg/kg comparado con los resultados obtenidos en este experimento se puede observar que son mayores. Esto se puede deber a que los valores mostrados de Cervantes y Moreno sean de un suelo cuyo uso sea agrícola irrigados con agua no residual, lo contrario de este estudio el cual las aguas residuales se reutilizan para fin agrícola.

La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (ONU-FAO) tiene como un contenido máximo de cadmio en cereales, legumbres y leguminosas de 0.1 mg/kg lo cual se supera en el resultado de menor concentración en este trabajo 74 veces el contenido máximo, lo cual es preocupante ya que es un potencial peligro para los animales y la salud humana.

En un estudio realizado en el Valle del Mezquital, Hidalgo donde se encuentra con la misma situación de riego agrícola con aguas residuales del presente trabajo, los resultados reportados son de 0.7-2.23 mg/kg por Cajuste *et al.*, (2001) en alfalfa son similares a los del presente trabajo ya que algunos bloques mostraron resultados semejantes a la concentración de cadmio, mientras que los bloques restantes superaron esta concentración.

El estudio realizado por Miranda *et al.*, (2008) en el tejido foliar de los cultivos de lechuga, apio, repollo y brócoli los resultados obtenidos son de 0.400 mg/kg, 0.430 mg/kg, 0.100 mg/kg y 0.010 mg/kg respectivamente, comparados con los resultados de este trabajo son menores.

Los resultados de cadmio del estudio en el suelo en la misma área de experimento al del presente trabajo mostraron una concentración de 11.88 mg/kg, la NOM-147-SEMARNAT-2004 la cual tiene como límite máximo permisible de 37 mg/kg de cadmio en el suelo, el cual no supera el límite máximo permisible pero es un potencial riesgo de salud para los animales y los seres humanos.

## **CAPITULO V. CONCLUSIONES**

### **5.1 CONCLUSIÓN**

La irrigación con aguas residuales en los campos agrícolas puede determinar la concentración de cadmio en los cultivos de alfalfa (*Medicago sativa* L.), pero esta concentración depende del tiempo de uso de estas aguas en la irrigación de los cultivos de la zona, por lo que se puede suponer que con el paso del tiempo la concentración de cadmio tendera a aumentar en estos cultivos de la zona.

Se puede inferir entonces, un riesgo latente de toxicidad para la salud de los animales que consuman este cultivo en esta zona, lo cual conlleva un potencial peligro para la cadena alimenticia del ser humano. La exposición nociva de cadmio al consumir los productos de dichos animales será un riesgo latente de toxicidad al consumir los productos derivados del ganado vacuno que se alimenta con este forraje.

## CAPITULO VI. BIBLIOGRAFIA

- Appenroth, K. J. 2010. "Definition of "heavy metals" and their role in biological systems." *Soil Heavy Metals, SoilBiology* 19: 19-29.
- Barra, J. D. E., Etcheveres, G. D., Romero, R. M. L., Cuevas, J. P., Moreno, C. H., Huerta, M. L. C., Peña, A. G., Gutiérrez, B. y Cruz, E. M. 1971. "Manual de procedimientos analíticos para análisis de suelo y planta del laboratorio de fertilidad de suelos." *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo S.A.*: 27-28.
- Barret, Julia R. 2010. "El cadmio y el cáncer de mama. Se asocia la exposición con el fenotipo similar al basal." *Salud Pública de México* 52: 183-184.
- Belmonte-Serrato, F., Romero-Díaz, A., Sarría, F. A., Moreno Brotóns, J. y Rojo López, S. 2010. "Afección de suelos agrícolas por metales pesados en áreas limítrofes a explotaciones mineras del sureste de España." *Papeles de Geografía* 51: 45-54.
- Cajuste, Lenom J., Alarcón, A. V., Grabach, Ch. D. S. y González, G. A. 2001. "Cadmio, Níquel y Plomo en agua residual, suelo y cultivos en el valle del Mezquital, Hidalgo, México." *Agrociencia* 35: 267-274.
- Carámbula, M 1997. *Producción y manejo de pasturas sembradas. Hemisferio Sur* 1° edición: 1-464.
- Cervantes, C. y Moreno Sánchez, R. 1999. *Contaminación ambiental por metales pesados: Impacto en los seres vivos. AGT Editor, S.A.* 1° edición: 1-157.
- César, J. S., Hernández, G. N., García, G. M. y Corral, J. A. R. 2000. "Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México "Potencial productivo de la alfalfa en México". Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2: 1-4
- Cui, W., Li, L., Gao, Z., Wu, H., Xie, Y. y Shen, W. 2012. "Haem oxygenase-1 is involved in salicylic acid-induced alleviation of oxidative stress due to cadmium stress in *Medicago sativa*." *Journal of Experimental Botany* 63: 5521-5534.

- Eguilaz, J. J. R., Delgado, J., Ciriza, J. J. P. d., Irañeta, I., Torecilla, J. J., Olloqui, R. y Morras, P. 2007. "Guía de cultivo de: Alfalfa de regadío." *Rumex*: 52-53.
- FAO, Organización de las Naciones Unidas Para la Agricultura y la Alimentación, <http://www.fao.org/docrep/meeting/005/w1362s/w1362s0w.htm#TopOfPage> 2014.
- Garza, H. M. Q. y Ortiz, J. d. J. M., 2000. "Producción y Utilización de la alfalfa en la zona norte de México "Establecimiento de la alfalfa"." Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2: 7-10.
- Gojon, A. y Gaymard. F. 2010. "Keeping nitrate in the roots: An unexpected requirement for Cadmium tolerance in plants." *Journal of Molecular Cell Biology* 2: 299-301.
- Hernández, G. N. 2000. "Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México "Valor nutritivo de la alfalfa"." Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias 2: 157-159.
- Ibáñez, M. d. P. y Ibáñez Gamborino, M. 1983. La alfalfa: su cultivo y aprovechamiento, Mundi-Prensa Libros, S.A. 3° Edición: 1-380.
- Janik, E., Maksumiec, W., Mazur, R., Garstka, M. y Gruszucki, W. I. 2010. "Structural and functional modifications of the major light-harvesting complex II in cadmium or cooper-trated *Secale cereale*." *Plant and Cell Physiology* 51: 1330-1340.
- Kjellstrom, T. y Nordberg, G. F. 1978. "A kinetic model of Cd metabolism in the human being." *Environ Res* 16: 248-269.
- Lux, A., Vacuik, M., Martinika, M., Lisková, D., Kulkarni, M. G., Stirk, W. A. y Staden, J. V. 2011. "Cadmium induces hypodermal periderm formation in the roots of the monocotyledonous medicinal plant *Merwillia plumbea*." *Annals of Botany* 107: 285-292.
- Mead, M. N. 2011. "Confusión por el cadmio ¿Los consumidores necesitan protección?." *Salud Pública de México* 53: 178-186.
- Milner, M. J. y Kochian, L. V. 2008. "Investigating heavy metal hyper-accumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system" *Annals of Botany* 102: 3-13.

- Miranda, D., Carranza, C., Rojas, A., Jerez, C. M. Fischer, G. y Zurita, J. 2008. "Acumulación de metales pesados en suelo y plantas de cuatro cultivos hortícolas, regados con agua del río Bogotá." *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 2: 180-191.
- Monachese, M., Burton, J. P. y Reig, G. 2012. "Bioremediation and Tolerance of humans to heavy metals through microbial processes: a potential role for probiotics?" *Applied and Environmental Microbiology* 78: 6397-6404.
- Morais, S., García e Costa y Pereira, Ma. L. 2012. "Environmental Health – Emerging Issues and Practice: Heavy Metals and Human Health" *InTech*: 227-246.
- NOM-001-CONAGUA-2011. Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- NOM-002-SEMARNAT-1996. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-147-SEMARNAT-2004. Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y/o vanadio.
- NOM-004-ZOO-1994. Control de residuos tóxicos en carne, grasa, hígado y riñón de bovinos, equinos, porcinos y ovinos, por lo que ahora se denominará grasa, hígado, músculo y riñón en aves, bovinos, caprinos, cérvidos, equinos, ovinos y porcinos. Residuos tóxicos. Límites máximos permisibles y procedimientos de muestreo.
- Ortíz, P. S. 2001. "Henificación de alfalfa: Manejo de alfalfa para henificación." *Instituto de Investigaciones Agropecuarias* 51: 11-24.

- Oleru, U. G., 1991. "Kidney, liver, hair and lungs as indicators of Cd absorption." *Am Ind Hyg Assoc J* 37: 617-630.
- Pardo, E. d. M. y García, C. R. 1991. Praderas y forrajes: producción y aprovechamiento, Mundi-Prensa Libros, S.A. 2° Edición: 1-674.
- Park, S. y Ely, R. L. 2008. "Candidate stress genes of *Nitrosomonas europaea* for monitoring inhibition of nitrification by heavy metals." *Applied and Environmental Microbiology* 74: 5475-5482.
- Piotrowski, J. K. y Coleman, D. O. 1990. "Environmental hazards of Heavy Metals: Summary evaluation of Pb, Cd and Hg". Marc Report N° 20, MARC, Chelsea College, University of London. London.
- Portillo y Ramos, M. L. (1982). El medio ambiente en México: temas, problemas y alternativas. Fondo de Cultura Económica 1° edición: 11-491.
- Prévéral, S., Gayet, L., Moldes, C., Hoffmann, J., Mounicou, S., Gruet, A., Reynaud, F., Lobinski, R., Verdavatz, J., Vavasseur, A. y Forestier, C. 2009. "A common highly conserved cadmium detoxification mechanism from bacteria to humans." *The Journal of Biological Chemistry* 284: 4936-4943.
- Ramírez, A. 2002. "Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos." *Anales de la Facultad de Medicina Universidad Nacional Mayor de San Marcos* 63: 51-64.
- Rennolds, J., Butler, S., Maloney, K., Boyaka, P. N., Davis, I. C., Knoell, D. L., Parinandi, N. L. y Cormet-Boyaka, E. 2010. "Cadmium regulates the expression of the CFTR chloride channel in human airway epithelial cells." *Toxicological Sciences* 116: 349-358.
- Rodríguez-Serrano, M., Martínez-de la Casa, N., Romero-Puertas, M. C., del Río, L. A. y Sandillo, L. M. 2008. "Toxicidad del cadmio en Plantas." *Ecosistemas* 17: 139-146.
- Sánchez, N., Rivero, C., y Martínez, Y. 2011. "Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fósforo." *Revista Ingeniería UC* 18: 7-14.
- Satoh-Nagasawa, N., Mori, M., Nakasawa, N., Kamamoto, T., Nagato, Y., Sakurai, K., Takahashi, H., Wanatabe, A. y Akagi, H. 2011. "Mutations in Rice (*Oryza*

- sativa*) heavy metal ATPase 2 (OsHMA2) restrict the translocation of zinc and cadmium." *Plant Cell Physiol* 53: 213-224.
- Valavanidis, A. y Vlachogianni, T. 2010. "Metal pollution in Ecosystems. Ecotoxicology studies and risk assessment in the marine environment." *Science advances on Environment, Toxicology y Ecotoxicology issues* 3: 1-14.
- Wei, Y., Zheng, Q., Liu, Z. P. y Yang, Z. M. 2011. "Regulation of tolerance of *Chlamydomonas reinhardtii* to heavy metal toxicity by heme oxygenase-1 and carbon monoxide." *Plant Cell Physiol* 52: 1665-1675.
- Wong, J. A. C. y Garza, H. M. Q. 2000. "Producción y Utilización de la alfalfa en la zona norte de México: Fertilización de la alfalfa." *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias* 2: 13-17.
- Yang, S., Gao, M., Xu, C., Gao, J., Deshpande, S., Lin, S., Roe, B. A. y Zhu, H. 2008. "Alfalfa benefits from *Medicago truncatula*: the RCT1 gene from *M. truncatula* confers broad-spectrum resistance to anthracnose in alfalfa." *Proceedings of the National Academy of Sciences* 105: 12164-12169.
- Zhou, Z., Lei, Y., y Wang, C. 2012. "Analysis of aberrant methylation in DNA repairs genes during malignant transformation of human bronchial epithelial cell induced by cadmium." *Toxicological Sciences* 125: 412-41.