

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**“Niveles de cadmio, cobre y plomo en alfalfa (*Medicago sativa*) irrigada con agua residual cruda, agua tratada y agua mezclada en suelos de la Comarca Lagunera”**

**POR  
RICARDO ISRAEL RAMÍREZ GOTTFRIED**

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

**INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN**

**TORREÓN, COAHUILA**

**NOVIEMBRE DE 2016**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Niveles de cadmio, cobre y plomo en alfalfa (*Medicago sativa*) irrigada con agua residual cruda, agua tratada y agua mezclada en suelos de la Comarca Lagunera”

POR  
RICARDO ISRAEL RAMÍREZ GOTTFRIED

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR

PRESIDENTE:

  
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:

  
DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:

  
M.C. FEDERICO VEGA SOTELO

VOCAL SUPLENTE:

  
M.C. ERNESTO LUNA DÁVILA

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



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

“Niveles de cadmio, cobre y plomo en alfalfa (*Medicago sativa*) irrigada con agua residual cruda, agua tratada y agua mezclada en suelos de la Comarca Lagunera”

POR  
RICARDO ISRAEL RAMÍREZ GOTTFRIED

TESIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN IRRIGACIÓN

APROBADA POR

ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO


ASESOR:

  
DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:

  
M.C. FEDERICO VEGA SÓTELO

ASESOR:

  
M.C. ERNESTO LUNA DÁVILA

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



TORREÓN, COAHUILA

NOVIEMBRE DE 2016

## **AGRADECIMIENTOS**

Primero que nada agradezco a mis padres por todo el apoyo brindado durante mis estudios. A mi alma mater la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro que nos ha dado tanto que la única manera de retribuirle algo es convirtiéndonos en unos profesionistas ejemplares. A SIMAS Torreón y al INIFAP de Matamoros Coahuila por haber brindado sus instalaciones para poder hacer mi trabajo de laboratorio.

De manera especial, quiero agradecer al doctor Mario García Carillo, asesor de mi tesis, quien desde mi etapa de estudiante, y hasta el día de hoy me ha brindado sus conocimientos, confianza, y apoyo, así como también sus consejos, no solo como maestro sino como amigo.

Al Ing. Nava, Ing. Cueto, Dr. Vicente de Paul, al Ing. Vega, al Dr. Rocha, al Ing. Luna, al MVZ. Rodrigo Simón al Ing. Borunda que se convirtieron en grandes amigos durante mi estadía en la UAAAN.

A todos mis profesores gracias por todos los conocimientos que me transmitieron a lo largo de mi vida universitaria.

## DEDICATORIA

A mis padres, porque creyeron en mí y me dieron todo su apoyo para sacarme adelante, dándome ejemplos dignos de superación y entrega, gracias a ustedes hoy puedo ver alcanzada una de las principales metas de mi vida, ya que siempre estuvieron impulsándome en los momentos más difíciles de mis estudios, y porque el orgullo que sienten por mí, fue lo que me hizo ir hasta el final. Esto es por ustedes, por lo que valen, porque admiro su fortaleza y por lo que han hecho de mí. A mis hermanas, porque siempre estuvieron ahí aguantando mis corajes y enojos cuando estaba presionado. A mi novia Andy que siempre me apoyó cuando lo necesité

A todos mis maestros quienes se han tomado el tiempo y trabajo de transmitirme sus diversos conocimientos, especialmente del campo y de los temas que corresponden a mi profesión. Pero además de eso, ellos han sido quienes han sabido guiarme por el camino correcto, y quienes me han ofrecido sabios conocimientos para lograr mis metas y lo que me proponga.

A mis coaches que complementaron mi vida universitaria gracias al football americano.

A todos mis amigos de generación que vivieron las mismas presiones y estrés que yo durante este tiempo.

Gracias a todos por haber fomentado en mí el deseo de superación y el anhelo de triunfo en la vida. Mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles. A todos, espero no defraudarlos y contar siempre con su valioso apoyo, sincero e incondicional.

# ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	I
DEDICATORIA .....	II
ÍNDICE GENERAL .....	III
ÍNDICE DE CUADROS .....	V
ÍNDICE DE FIGURAS .....	VI
RESUMEN .....	VII
<b>I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
OBJETIVOS .....	2
HIPÓTESIS .....	2
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
1. CARACTERÍSTICAS DE LA ALFALFA ( <i>MEDICAGO SATIVA</i> ) .....	3
1.1 MORFOLOGÍA DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ) .....	4
1.2 MÉTODOS DE SIEMBRA DE LA ALFALFA ( <i>Medicago sativa</i> ) .....	4
2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
3. AGUAS RESIDUALES.....	8
3.1 AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA .....	9
3.2 BENEFICIOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA .....	11
3.3 PROBLEMAS QUE OCASIONAN LAS AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA .....	12
4. METALES PESADOS.....	14
4.1 COBRE .....	15
4.1.1 TOXICIDAD DEL COBRE EN PLANTAS.....	16
4.1.2 TOXICIDAD DEL COBRE EN EL SER HUMANO .....	16
4.2 CADMIO.....	16
4.2.1 TOXICIDAD DEL CADMIO EN PLANTAS .....	17
4.2.2 TOXICIDAD DEL CADMIO EN EL SER HUMANO .....	18
4.3. PLOMO .....	19
4.3.1 TOXICIDAD DEL PLOMO EN PLANTAS.....	19
4.3.2 TOXICIDAD DEL PLOMO EN EL SER HUMANO.....	20
5. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR METALES PESADOS .....	21
6. PLANTAS HIPERACUMULADORAS .....	22
7. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES.....	23
7.1 NOM-001-SEMARNAT-1996.....	23
7.2 NOM-002-SEMARNAT-1996.....	23
7.3 NOM-003-ECOL-1997.....	23
8. NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE LA SECRETARÍA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA .....	24
8.1 NOM-127-SSA1-1994 .....	24
8.2 NOM-117-SSA1-1994 .....	24
8.3 NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 .....	24
8.4 NOM-185-SSA1-2002 .....	24
8.5 NOM-243-SSA1-2010 .....	24

8.6 NOM-247-SSA1-2008 .....	25
9.0 NORMAS INTERNACIONALES .....	25
9.1 CODEX STAN 193-1995.....	25
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>26</b>
1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA.....	26
2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	27
3. PROCEDIMIENTOS.....	27
3.1 MUESTREO .....	27
3.2 LAVADO.....	28
3.3 SECADO .....	28
3.4 SEPARACIÓN DE LA PLANTA.....	28
3.5 PREPARACIÓN DE LAS DIGESTIONES.....	28
4. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS.....	29
5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO .....	29
6 .MATERIALES Y REACTIVOS .....	29
<b>IV. RESULTADOS .....</b>	<b>30</b>
4.1 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA RAÍZ .....	30
4.2 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA RAÍZ .....	31
4.3 COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA RAÍZ .....	31
4.4 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA HOJA .....	32
4.5 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA HOJA .....	33
4.6 COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA HOJA .....	33
4.7 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TALLO.....	34
4.8 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TALLO .....	35
4.9 COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TALLO .....	35
<b>V. DISCUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>VI. CONCLUSIONES.....</b>	<b>39</b>
<b>VIII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>40</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Concentraciones de metales pesados en raíz .....	30
Cuadro 2: Análisis de varianza de Cd, Cu y Pb en la raíz de la alfalfa .....	31
Cuadro 3: Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en la raíz .....	31
Cuadro 4: Concentraciones de metales pesados en la hoja.....	32
Cuadro 5: Análisis de varianza de Cd, Cu y Pb en la hoja de la alfalfa .....	33
Cuadro 6: Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en la hoja.....	33
Cuadro 7: Concentraciones de metales pesados en el tallo.....	34
Cuadro 8: Análisis de varianza de Cd, Cu y Pb en el tallo de la alfalfa .....	35
Cuadro 9: Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en el tallo.....	35

I



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura: 1 Ubicación geográfica de los puntos.....	26
Figura 2: Ubicación de los puntos de muestreo .....	27

## RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa*) es uno de los cultivos más importantes utilizados en la agricultura, es cultivada en todo el mundo como forraje para ganado y tiene el valor nutricional más alto de los cultivos forrajeros.

El objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar la concentración de metales pesados (Cadmio, Cobre y Plomo) que quedaron contenidas en la raíz tallo y hoja de la Alfalfa (*Medicago sativa*) regada con agua residual cruda, tratada y mezclada (Relación 1:1).

Los trabajos se realizaron en la Comarca Lagunera en diferentes predios ubicados a los alrededores de la planta tratadora de aguas negras del municipio de Torreón. Evaluando tres tratamientos con cuatro repeticiones utilizando un diseño de bloques completamente al azar.

Los resultados mostraron que el Cobre fue el metal más presente en todos los tratamientos sus medias fueron de 1.6525, 3.2075 y 4.10 mg/kg; después de este el metal que también mostro altas concentraciones fue el Plomo se encontraron medias de 1.8375, 1.8780 y 3.0850 mg/kg. Por último en el Cadmio las medias más altas encontradas fueron de .10 y .0550 mg/kg. El Plomo supero los límites de las normas mexicanas e internacionales por lo cual es un riesgo para los organismos vivos. El Cadmio se mantuvo por debajo de las normas por lo cual no presenta un riesgo. En el tallo se encuentra la mayor concentración de los 3 metales mientras que en la Raíz la menor.

**Palabras Clave:** Alfalfa, Agua Cruda, Tratada, Mezclada, Metales Pesados.

## I. INTRODUCCIÓN

La escasez de agua dulce se ha convertido en un problema creciente en gran parte del territorio nacional y específicamente en la región de la Comarca Lagunera. Actualmente la agricultura ocupa más del 70 por ciento de los recursos hídricos disponibles en el planeta. Esto ha provocado que reciclar y utilizar las aguas residuales de espacios urbanos en cultivos agrícolas sea una práctica cada vez más frecuente.

Las aguas residuales por su rico contenido de materia orgánica son muy benéficas en los cultivos donde son utilizadas. También este tipo de aguas contienen altos niveles de metales pesados y microorganismos. Los microorganismos representan un grave riesgo para la salud humana al igual que los metales pesados.

Los metales pesados son altamente contaminantes para suelos ya que quedan depositados en ellos y es muy difícil eliminarlos. La asimilación de estos metales en organismos vivos y su alta toxicidad los hace un peligro para el desarrollo fisiológico de plantas así como para la salud de los seres humanos. El Cobre (Cu), Cadmio (Cd) y Plomo (Pb) son algunos de los elementos que se encuentran presentes en las aguas residuales.

La alfalfa (*Medicago Sativa*) debido a sus altos contenidos de proteína es uno de los cultivos más utilizados en la región lagunera para el alimento ganado bovino.

## **OBJETIVOS**

Determinar la concentración de Cobre, Cadmio y Plomo absorbida y almacenada en la raíz, tallo y hoja de la alfalfa regada con agua residual cruda, tratada y mezclada.

Comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos por las normas oficiales mexicanas e internacionales.

## **HIPÓTESIS**

Las concentraciones de Cadmio, Cobre y Plomo en la alfalfa (*Medicago Sativa*) estarán influenciadas por el tipo de agua residual con la que es regada.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 1. CARACTERÍSTICAS DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*)

El uso eficiente de la alfalfa debe basarse en el conocimiento de sus procesos de crecimiento para permitir un manejo racional del cultivo. De esta manera, su adaptabilidad a los distintos tipos de clima y suelo, su capacidad para recuperar la fertilidad nitrogenada, sus niveles de producción y la calidad del forraje son eficientemente aprovechados, integrando al cultivo a los principales sistemas de producción agrícola ganaderos. Una premisa básica debe ser considerada en el eficiente manejo de este cultivo: la alfalfa es una de las pocas especies que tolera pastoreos intensos pero poco frecuentes; en cambio, no tolera pastoreos frecuentes aunque sean livianos. (Romero, et al., 1995)

La alfalfa es uno de los cultivos más importantes utilizados en la agricultura, es cultivada en todo el mundo para su uso como forraje para ganado y tiene el valor nutricional más alto de los cultivos forrajeros. Cuando la alfalfa se cultiva en suelos a los que se adapta bien, es el cultivo de mayor rendimiento dentro de los forrajes. Su uso principal dentro de la alimentación animal es el ganado lechero, debido a su alto contenido de proteína y fibra altamente digestible, aunque también es utilizado como alimento para ganado para carne, caballos, ovejas y cabras, entre otros animales. Una de las capacidades de este cultivo es la de fijar nitrógeno al suelo; esto es por la presencia de una bacteria llamada Meliloti Sinorhizobium. (SAGARPA / FIRCO, 2009)

Según (Montemayor, et al. 2012) La alfalfa (*Medicago sativa*), es una de las leguminosas más utilizadas para la alimentación de ganado bovino en las regiones áridas y semiáridas de México. El área que se cultiva con alfalfa en México, es de 156 141 hectáreas y se obtiene un rendimiento promedio de 19.8 toneladas por hectárea al año de forraje henificado. Durante el ciclo agrícola 2009, se sembró una superficie de 38 501 ha con alfalfa en la Comarca Lagunera. La producción de este forraje está relacionado con la cantidad de nutrientes disponibles durante el crecimiento de esta leguminosa.

Algunos de sus beneficios más grandes e importantes de este cultivo son la amplia adaptación a diversos agro ecosistemas y climas. Estabilidad en el rendimiento de forraje casi todo el año. Óptima calidad como forraje, por su alto contenido de nutrientes (principalmente proteína) y buena aceptación por el ganado. Es de fácil manejo y su cosecha es altamente mecanizada. Fija al suelo grandes cantidades de nitrógeno atmosférico, por lo que es un excelente cultivo de rotación. Es el cultivo que fija más bióxido de carbono por hectárea por año y el que utiliza menos fertilizante y plaguicidas. Fuerte demanda, buen precio y alta relación beneficio-coste. (Lara & Jurado, 2014)

### **1.1 MORFOLOGÍA DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*)**

En la alfalfa la raíz principal es pivotante, robusta y muy desarrollada (hasta 5 m. de longitud) con numerosas raíces secundarias. Posee una corona que sale del terreno, de la cual emergen brotes que dan lugar a los tallos. Los tallos son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, además son muy consistentes, por tanto es una planta muy adecuada para la siega. Las hojas son trifoliadas, aunque las primeras hojas verdaderas son unifoliadas. Los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados. La flor característica de esta familia es la de la subfamilia Papilionoidea. Son de color azul o púrpura, con inflorescencias en racimos que nacen en las axilas de las hojas. EL fruto es una legumbre indehisciente sin espinas que contiene entre 2 y 6 semillas amarillentas, arriñonadas y de 1.5 a 2.5 mm. de longitud. (Agri-Nova, 2015)

### **1.2 MÉTODOS DE SIEMBRA DE LA ALFALFA (*Medicago sativa*)**

En alfalfa se maneja la siembra en línea que permite ubicar la semilla a una profundidad uniforme, mejora el contacto de la semilla con el suelo; a su vez la incorporación de fertilizante fosfatado en el momento de la siembra estimula el crecimiento y la nodulación en las etapas juveniles. Una de las causas más comunes de fracaso en la implantación es la siembra muy profunda, deberá realizarse por lo tanto a no más 1 o 2 cm. (Arrieta & Romero, 2008)

EL método al voleo es usado solo cuando el suelo mantiene humedad en superficie como ocurre en nuestras condiciones en otoño, cabe destacar que este método será menos eficiente requiriendo mayores densidades de siembra siendo así prácticamente imposible colocar las semillas a una profundidad uniforme. (Arrieta & Romero, 2008)

La cantidad de semilla a sembrar dependerá del porcentaje de germinación y la pureza de la semilla (semilla pura viable) que se utilizará y de la densidad de plantas que se desea obtener. Si se utiliza semilla de variedades comerciales, el primer dato, usualmente se muestra en cada costal de semilla de alfalfa y el segundo, como es semilla con categoría de registrada, la pureza es del 100 %. Se sugieren de 22 a 39 kg/ha de semilla. (Lara & Jurado, 2014)

## **2. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN**

El agua dulce es un recurso vital, pero cada día más escaso. Esta escasez es originada por el crecimiento demográfico, la urbanización y la industrialización asociada a nuevas demandas potenciales sobre los recursos hídricos existentes, a lo que se suman los conflictos asociados a los cambios climáticos, de ahí que el rehusó creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otros usos se planifique y se incremente paulatinamente. (Gonzales & Chiroles, 2011)

Por ser un recurso estratégico para el desarrollo económico y la supervivencia de los países en vías de desarrollo. El problema principal del agua es la pérdida de su calidad original y su creciente escasez para uso agrícola, urbano y ambiental. Así, la reutilización del agua es una actividad crítica, principalmente en zonas semidesérticas o con una disponibilidad de agua renovable es muy escasa. (Acosta, et al., 2013)

Los altos niveles de metales pesados como Plomo, Níquel, Cadmio y Manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas. Por su carácter no

biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, pueden resultar peligrosos. (Prieto, et al., 2014)

(Plevich, et al., 2012) realizaron una investigación que tuvo como propósito analizar la producción de alfalfa (biomasa aérea), la eficiencia del uso de agua durante el ciclo de cultivo y el valor nutritivo del forraje obtenido; dentro de una estructura de riego que usa agua residual urbana tratada, agua de perforación y agua de precipitaciones. Obtuvo que la mayor producción de alfalfa fue lograda por el tratamiento regado con agua residual urbana.

(Siebe, 1994) Realizo un trabajo donde se estudiaron las tendencias de acumulación de metales pesados en secuencias representativas que llevan diferente tiempo bajo riego. También investigó la disponibilidad de esos metales pesados para los principales cultivos (alfalfa y maíz) comparando parcelas que han sido regadas durante 80 años con agua residual con aquellas en que ha sido empleada agua de pozo o que son de temporal. Encontró que la disponibilidad de Cd, Pb y Zn es moderada, no obstante su inclinación a incrementarse conforme aumentan los años de riego, siendo el Cd el más disponible. Por otra parte el Cu tiende a ser retomado por las plantas en menor cantidad, lo cual se atribuye a su inmovilización por la materia orgánica adicionada a los suelos por medio del agua residual.

(Acosta, et al., 2014) mencionan que el uso de aguas residuales para el riego de cultivos forrajeros es una práctica que aumenta día a día en áreas donde el agua, para este fin, es escasa. Sin embargo, los usuarios, al estar en contacto directo con las aguas residuales, padecen enfermedades gastrointestinales a causa de coliformes y parásitos (helmintos). En el estudio ellos evaluaron los coliformes fecales (en aguas residuales, suelo y plantas forrajeras) y helmintos (en aguas residuales) en el módulo II del Distrito de Riego 028 de Tulancingo, Hidalgo.

Otras investigaciones señalaron que el Cu, Zn, Pb, Cr y Co presentaron alto grado de contaminación en cultivos forrajeros. Contrariamente a esto último, al analizar y caracterizar la disponibilidad de los metales pesados en alfalfa y grano de maíz



en sitios que tienen 80 años de regarse con aguas residuales, concluyeron que los metales Cd, Pb, Cr y Zn, introducidos en el suelo, sólo son disponibles para las plantas en cantidades moderadas y únicamente el Cd es más disponible. (Amado & Ortiz, 2001)

(Vásquez, et al., 2001) Cuantificaron en alfalfa concentraciones de Ni y Pb influenciadas por la aplicación de riego con agua residual. Encontraron que la concentración de Cd en agua residual fue superior al límite permisible en México (.01mg/l). Las concentraciones de Ni y Pb fueron 3 y 60 veces inferiores, respectivamente, al valor máximo permisible para el agua residual (NOM, 1993). Además, alfalfas regadas con esas aguas tenían concentraciones de Cd y Pb superiores a los valores considerados normales en tejido vegetal. Se estima que existe un proceso de acumulación de metales pesados en la región del Valle del Mezquital.

(Raya, 2014) determino la concentración de plomo en alfalfa establecido en un suelo regado con agua residual en el ejido Plan de San Luis en Torreón Coahuila. Encontró alta concentración por plomo en los 9 tratamientos que realizo, están arriba de .10 y .20 mg/kg límite máximo permisible que indica la CODEX STAN 171-1989 para leguminosas.

(Hernández, 2014) investigo sobre las concentraciones de cadmio en suelos agrícolas que son regados con agua residual teniendo establecido el cultivo del alfalfa, y cuantifico la cantidad de cadmio que queda atrapado en diferentes profundidades del suelo y en la planta. Encontró que en la profundidad de suelo 30-60 cm se encuentra la mayor concentración de cadmio 11.88 mg/kg.

(Cayetano & Siebe, 2012) En su investigación concluye que las concentraciones de los metales pesados en el cultivo de la alfalfa se incrementan con el tiempo bajo el riego. El consumo de alfalfa no representa un riesgo para la salud. Se incorpora más metal con el agua del que pueden extraer las plantas. La capacidad amortiguadora del suelo impide que el metal sea absorbido por la planta.

### 3. AGUAS RESIDUALES

Las aguas residuales son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser rehusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014)

También son llamadas aguas negras, estas se encuentran contaminadas por infinidad de minerales, microorganismos así como sustancias fecales y orina procedentes de los desechos orgánicos de animales como humanos. Se les llama aguas negras porque su coloración es negra.

Se clasifican principalmente en dos grandes grupos; aguas residuales industriales y domesticas. Las industriales son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras. Las aguas domesticas son aquellas aguas de procedencia residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente. (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014)

De los dos grandes grupos de aguas residuales, las aguas residuales domesticas siempre estarán presentes. La incidencia de las aguas residuales industriales dependerá del grado de industrialización, de la aglomeración urbana y de la cantidad y características de los vertidos que las industrias realicen a la red de colectores municipales. Las aguas de escorrentía pluvial tendrán su influencia en las aglomeraciones con redes de saneamiento unitarias (lo más frecuente) y en los momentos en que se registren lluvias. (Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo, 2008)

Las aguas tratadas son aquellas que han pasado por procesos físicos, químicos y biológico que han eliminado contaminantes para poder ser reutilizadas en la

agricultura, riego de jardines, procesos industriales entre otros, o simplemente para que su impacto al ser regresadas a la naturaleza sea menor.

### **3.1 AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA**

En América Latina más de 500 000 ha agrícolas se riegan con aguas residuales sin tratar; México es uno de los principales países donde se realiza esta práctica, con alrededor de 350 000 ha. Como consecuencia cerca de 1.25 millones de ha, muestran algún grado de salinización. (Hernández, et al., 2013)

Los residuos procedentes del ser humano se consideran como recursos útiles en muchas partes del mundo y se usan para muy variados propósitos. Las siguientes prácticas de reutilización son las más frecuentes: uso de aguas residuales en agricultura (riego de cultivos); uso de excretas en agricultura (fertilización del suelo). (Carnicross & Mara, 1990)

La agricultura es una actividad económica de alto consumo de recursos hídricos por lo que es imprescindible estimar la eficiencia de utilización del agua en el proceso de transformación insumo-producto. Desde este punto de vista, los productores, más que usuarios del agua, se convierten en transformadores del recurso a bienes de consumo. En este proceso se establecen relaciones como insumos-productos primarios, por ejemplo: agua-rendimiento (alfalfa, maíz) o materias primas-productos secundarios con valor agregado, como rendimiento comercial-producto consumible (leche, tortillas). (Sánchez et al., 2006)

La falta de agua potable en países en vía de desarrollo representa un problema cada día más grande a nivel mundial, por lo que es necesario buscar nuevas y eficientes alternativas que brinden la posibilidad de mejorar la calidad del agua para el consumo humano que sea de fácil acceso y consecución para las poblaciones marginales. (Arcila & Jaramillo, 2015)

Esta situación ha obligado a ir a la búsqueda de alternativas, el empleo de las aguas residuales disponibles es una de ellas, las cuales se aplican principalmente

en el riego de productos que no se consuman en fresco, principalmente en forrajes. (Rodríguez, 2006)

Regar con aguas residuales es una antigua práctica que está recibiendo una renovada atención con la creciente escasez de fuentes de aguas limpias en muchas regiones áridas y semiáridas. Impulsada por la acelerada urbanización y los crecientes volúmenes descargados, el agua residual es ampliamente utilizada como una alternativa de bajo costo en la agricultura de riego, ella se constituye en fuente de vida y genera un valor significativo en la agricultura urbana y periurbana a pesar de los riesgos de salud y ambientales asociados a esta práctica. (Perez, et al., 2005)

(Carnicross and Mara, 1990) señala que al adoptarse el sistema de conducción de aguas para las aguas residuales de origen domestico a mediados del siglo XIX, muchas ciudades europeas y norteamericanas recurrieron al riego de los cultivos como medida de evacuación de esas aguas. Las granjas de aguas residuales, como entonces se denominaron, se crearon en el Reino Unido desde 1865, en los Estados Unidos de América en 1871, en Francia en 1872, en Alemania en 1876, en la India en 1877, en Australia en 1893 y en México en 1904. En la mayoría de esos países, lo que impulso esta forma de aprovechamiento agrícola de las aguas residuales fue el afán de impedir la contaminación de los ríos, más que el de aumentar las cosechas; en el Reino Unido solía decirse: "las aguas residuales a la tierra, la lluvia a los ríos".

Las aguas residuales se aplican sin tratamiento alguno en los terrenos, por lo que resulta necesario conocer la dimensión en la que puedan ser incluidas sustancias nocivas a los suelos, que afecten su potencial productivo y/o sean absorbidas por los cultivos, incorporándose de esta manera a la cadena trófica. Entre los contaminantes introducidos a los suelos a través del riego con agua residual cruda, los metales pesados ocupan un papel importante, ya que tienden a acumularse en los suelos a largo plazo y su remoción de los mismos es prácticamente imposible. (Siebe, 1994)

### **3.2 BENEFICIOS DEL USO DE AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA**

(Silva, et al., 2008) Cita que a presencia de ciertas formas de nutrientes en las aguas residuales beneficiaría más a algunos cultivos que a otros. Para la aplicación del rehusó sobre un cultivo específico, es necesario tener en cuenta aspectos como: la capacidad de asimilación de nutrientes, el consumo de agua, la presencia de iones tóxicos, la concentración relativa de Na y el contenido de sales solubles, ya que en ciertas condiciones climáticas puede salinizarse el suelo y modificarse la composición iónica, alterándole características como el desarrollo vegetativo y la productividad.

Los sólidos en suspensión, coloidales o disueltos presentes en las aguas residuales contienen los principales nutrientes de las plantas (Nitrógeno, Fósforo y Potasio) y también micronutrientes (como Cobre, Hierro y Zinc). Las concentraciones totales de nitrógeno y fósforo en las aguas residuales sin tratar suelen variar entre 10 y 100 mg/l y 5-25 mg/l respectivamente, y las de Potasio entre 10 y 40 mg/l. Las aguas servidas tratadas contendrán normalmente menos Nitrógeno y Fósforo, pero aproximadamente la misma cantidad de Potasio, según sea el proceso de tratamiento empleado. (Carnicross & Mara 1990)

Para una tasa de riego de 2m al año, que es lo normalmente requerido en climas semiáridos, unas concentraciones de 15 a 3 mg/l de Nitrógeno total y Fósforo total, respectivamente, en aguas residuales domésticas sometidas a un buen tratamiento (como el que normalmente se aplica al efluente final de una serie bien concebida de estanques de estabilización de residuos) corresponden a unas tasas de utilización anual de nitrógeno y de fósforo de 300 a 60 kg/ha, respectivamente. (Carnicross & Mara 1990)

El uso de aguas residuales para la producción agrícola puede incrementar el contenido de materia orgánica y de nutrientes en los suelos cultivados, lo cual contribuye a mantener o mejorar la fertilidad del suelo. La dinámica de la materia orgánica en el suelo desempeña un papel importante, en virtud de que la descomposición de la misma, controla la disponibilidad de nutrientes e influye en

la liberación de moléculas orgánicas e inorgánicas enlazadas a la materia orgánica. (Zamora et al., 2009)

Adicionalmente, el uso de aguas residuales presenta beneficios asociados al mejoramiento de la fertilidad de los suelos agrícolas por el aporte de materia orgánica, micronutrientes, N y P y oligoelementos, como Na y K, permitiendo reducir, y en algunos casos eliminar, la necesidad del uso de fertilizantes químicos y trayendo beneficios económicos al sector. La preservación del medio ambiente se favorece también, al evitar el vertimiento directo de las aguas residuales o al reducir los costos de su tratamiento, conservando la calidad del agua y la recarga de los acuíferos de aguas subterráneas. (Silva, et al., 2008)

### **3.3 PROBLEMAS QUE OCASIONAN LAS AGUAS RESIDUALES EN LA AGRICULTURA**

Las aguas residuales generadas en los centros urbanos se han convertido en una alternativa viable para cubrir las necesidades hídricas de otros sectores, como la agricultura. Sin embargo, representan un serio problema ambiental, sobre todo en países en desarrollo, donde es frecuente el uso de agua sin tratar. (Ontiveros, et al., 2013)

Los productos agrícolas que se producen a partir de la agricultura residual son un riesgo para el ser humano, sin contar el daño que se le está ocasionando al medio ambiente por la presencia de metales pesados en sus suelos. Al principio de los 90's 150.000 hectáreas dependían del riego con agua residual. En la actualidad esa cifra ha aumentado a más de 250.000 hectáreas y la práctica tiene presencia en los estados de Hidalgo, Michoacán, San Luís Potosí, Morelos, Colima, Puebla, Tlaxcala, Jalisco, Chihuahua, Sonora, Estado de México y Cd. de México; los cultivos más representativos son las hortalizas (Cebolla, Jitomate, Brócoli), maíz (*Zeamays L.*) y alfalfa (*Medicago sativa*). (Lugo, 2010)

El agua residual puede transmitir infinidad de patógenos con comportamientos y resistencias diversas. Dentro de los patógenos a determinar los parásitos son de especial relevancia pues se destacan por su alta resistencia a los diversos

factores ambientales además se encuentran relacionados con altos índices de morbilidad y mortalidad en los países en desarrollo, especialmente en la población infantil. (Menocal, 2014)

Uno de los inconvenientes del uso de aguas residuales es la presencia de bacterias coliformes, las cuales provienen de las heces de humanos y animales; y la existencia de helmintos, cuya procedencia además del uso de agua residual es el empleo de estiércol como fertilizante, carencia de instalaciones sanitarias adecuadas y la falta de control de animales. El alto riesgo para la salud causado por los helmintos se debe a que su estadio de huevo perdura en el ambiente. Los huevos de *Ascaris lumbricoides* y *Toxocara canis* conservan su poder infectante en el suelo entre siete y doce años. (Hernández, et al., 2014)

Las aguas servidas contienen también contaminantes y toxinas. Los contaminantes son los gérmenes patógenos excretados virus, bacterias, protozoos y helmintos causantes de enfermedades- que se encuentran en cantidad variable en todas las aguas residuales. En Europa, por ejemplo, las aguas residuales de origen domestico contienen con frecuencia unos 10 salmonellas por litro; en los países en desarrollo, la cantidad y la diversidad de los agentes patógenos son mucho mayores. (Carnicross & Mara 1990)

Las aguas servidas, particularmente si llevan una proporción apreciable de efluentes industriales, pueden contener compuestos que son tóxicos tanto para los seres humanos como para las plantas. Un buen ejemplo de esto son los metales pesados. Si la calidad de las aguas residuales se ajusta a lo recomendado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación en cuanto a aguas de riego. (Ayers & Westcot, 1985)

Las aguas residuales también contienen residuos de biosólidos que son un subproducto del tratamiento de las aguas residuales que contienen una gran cantidad de materia orgánica y minerales, y también elementos tóxicos como metales pesados y otros xenobióticos que en concentraciones altas pueden limitar su uso y hacerlos muy contaminantes y peligrosos. (Flores, et al., 2011)

(Vera, et al., 2016) mencionan que la salinidad ha sido definida como uno de los parámetros más importantes que afecta la producción de los cultivos, y que por tanto debe ser controlada y monitoreada cuando se emplea agua residual tratada para riego. La salinidad es indicativa de la cantidad de minerales disueltos en el agua. Al tener mucha concentración trae como resultado, que la respiración de las plantas aumente, afectando el crecimiento y rendimiento de la mayoría de cultivos

#### **4. METALES PESADOS**

En la Tierra existe casi un centenar de elementos químicos naturales, pero los seres vivos que la habitan usan tan solo una veintena. Conforman este grupo numerosos metales, muchos de ellos esenciales para que los organismos puedan completar su ciclo de vida. Sin embargo, mientras algunos son imprescindibles para la supervivencia, el exceso o la presencia de otros pueden resultar tóxicos o aun letales. (Azpilicueta, et al., 2010)

Los metales son especies químicas no degradables. Por tal motivo, una vez volcados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre los entornos aire - agua - suelo, a veces cambiando su estado de oxidación, o incorporarse a los seres vivos. (Vullo, 2003)

Los metales pesados constituyen un grupo cercano a los 40 elementos de la Tabla Periódica que tienen una densidad mayor o igual a  $5 \text{ g/cm}^3$ . El rasgo distintivo de la fisiología de los metales pesados, es que aún cuando muchos de ellos son esenciales para el crecimiento como el Na, K, Mg, Ca, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn y Mo, se ha reportado que también tienen efectos tóxicos sobre las células, principalmente como resultado de su capacidad para alterar o desnaturalizar las proteínas. (Cañizares, 2000)

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente. (Prieto, et al., 2009)



Debido a su toxicidad y tendencia a acumularse en los sistemas biológicos, representan un riesgo para la salud del hombre y los ecosistemas. Estos elementos provienen de diferentes fuentes como consecuencia de la actividad antropogénica: combustibles, aerosoles urbano-industriales, desechos líquidos y sólidos de origen animal y humano, industria minera, química, textil, productos químicos empleados en el sector agropecuario. Además, está comprobado que son fuentes de contaminación de suelos agrícolas los agroquímicos en general, los fertilizantes fosfatados en particular, los cohetes utilizados en la lucha antigranizo y los abonos orgánicos. (Martí, et al., 2011)

Se cree que los metales pesados tal vez sean los agentes tóxicos más conocidos por el hombre. Los metales pesados difieren de otros agentes tóxicos porque no son sintetizados ni destruidos por los seres vivos. La presencia de metales pesados muchas veces está asociada a la localización geográfica, sea en el agua o en el suelo. (Nakano & Avila, 2006)

#### **4.1 COBRE**

El cobre es un elemento químico, de símbolo Cu, con número atómico 29; uno de los metales de transición e importante metal no ferroso. Su utilidad se debe a la combinación de sus propiedades químicas, físicas y mecánicas, así como a sus propiedades eléctricas y su abundancia. El cobre fue uno de los primeros metales usados por los humanos. La mayor parte del cobre del mundo se obtiene de los sulfuros minerales como la calcocita, covelita, calcopirita, bornita y enargita. Los minerales oxidados son la cuprita, tenorita, malaquita, azurita, crisocola y brocantita. El cobre natural, antes abundante en Estados Unidos, se extrae ahora sólo en Michigan. El grado del mineral empleado en la producción de cobre ha ido disminuyendo regularmente, conforme se han agotado los minerales más ricos y ha crecido la demanda de cobre. Hay grandes cantidades de cobre en la Tierra para uso futuro si se utilizan los minerales de los grados más bajos, y no hay probabilidad de que se agoten durante un largo periodo. (Lenntech, 2015)

El Cobre es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas, requerido en concentraciones trazas para completar su ciclo de vida. (León, et al., 2012)

#### **4.1.1 TOXICIDAD DEL COBRE EN PLANTAS**

El cobre es un metal tóxico cuando se encuentra en los tejidos de las plantas a concentraciones más altas a las necesarias para el crecimiento vegetal. El cobre promueve la generación de especies reactivas de oxígeno, en forma enzimática y no enzimática, las cuales pueden causar la oxidación de proteínas y lípidos, alterar la integridad de las membranas, la fotosíntesis, el crecimiento e inducir la muerte celular. (León, et al., 2012)

#### **4.1.2 TOXICIDAD DEL COBRE EN EL SER HUMANO**

El Cobre puede ser encontrado en muchas clases de comidas, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebiendo y respirando. La absorción del Cobre es necesaria, porque el Cobre es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de Cobre proporcionalmente altas, mucho Cobre puede también causar problemas de salud. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, de estómago, mareos, vómitos y diarreas. Una toma grande de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte. Si el Cobre es cancerígeno no ha sido determinado aún. (Lenntech, 2015)

Los efectos por deficiencias y excesos intensos de cobre se conocen en la medicina humana porque existen dos enfermedades genéticas que representan estos casos extremos y están ampliamente descritas. La enfermedad de Menkes, es el modelo clásico de deficiencia de cobre muy grave. Por su parte, la enfermedad de Wilson es el ejemplo más conocido de los efectos que produce el exceso de cobre debido a la falla de la eliminación por la bilis acumula cobre hasta enfermar y desarrolla cirrosis e insuficiencia hepática. La información existente sugiere que no hay relación entre el consumo de cobre y el cáncer. (PROCOBRE, 2010)

#### **4.2 CADMIO**

Elemento químico relativamente raro, símbolo Cd, número atómico 48; tiene relación estrecha con el zinc, con el que se encuentra asociado en la naturaleza.

Es un metal dúctil, de color blanco con un ligero matiz azulado. Es más blando y maleable que el zinc, pero poco más duro que el estaño. Peso atómico de 112.40 y densidad relativa de 8.65 a 20°C. Su punto de fusión de 320.9°C y de ebullición de 765°C son inferiores a los del zinc. (Lenntech, 2015)

Los metales como el cadmio se encuentran ampliamente distribuidos en la naturaleza, lo que hace inevitables que se acumulen a través de toda la cadena alimenticia. Esto es muy importante desde el punto de vista toxicológico, ya que el cadmio presenta un gran espectro de efectos tóxicos. (García, et al., 1999)

#### **4.2.1 TOXICIDAD DEL CADMIO EN PLANTAS**

Los efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas, han sido ampliamente estudiados. En general el Cd 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. Las plantas expuestas a suelos contaminados con Cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración. Uno de los síntomas más extendidos de la toxicidad por Cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en Hierro, fosfatos o por la reducción del transporte de Mn. También ocasiona alteraciones en la funcionalidad de la membrana plasmática y desequilibrios en el metabolismo del cloroplasto, inhibiendo la síntesis de clorofila y reduciendo la actividad de enzimas implicadas en la fijación de CO<sub>2</sub>. (Rodríguez, et al., 2008)

Estos son algunos de los efectos del cadmio sobre las plantas según (Pernía, et al., 2008) Reducción en el crecimiento y de la elongación de las raíces, inhibición de la apertura estomática, inhibición de la síntesis de clorofila, inhibición de la fotosíntesis, disminución en el contenido de carotinoides, disminución en la tasa de transpiración, inhibición de la germinación del polen y el crecimiento del tubo polínico, estrés oxidativo y enzimas antioxidantes, interferencia con la toma, transporte y uso de varios macro y micronutrientes, especialmente Fe, Mn y Zn. Reacciones semejantes a hipersensibilidad , disturbio en el control redox y el metabolismo.

#### 4.2.2 TOXICIDAD DEL CADMIO EN EL SER HUMANO

El cadmio tiene efectos bien establecidos sobre los riñones, los huesos y los pulmones; se tiene menos evidencia de sus efectos neurotóxicos, teratogénicos o alteradores del sistema endocrino. Incluso 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)

El Cadmio está clasificado como carcinógeno para los seres humanos, en general, la población está expuesta al Cadmio principalmente por vía la oral a través del agua e ingesta de comida contaminada con cadmio (hojas de vegetales, granos, cereales, frutas, vísceras animales y pescado). El cadmio afecta diversos órganos y tejidos como son: riñón produciendo disfunción renal tubular, proteinuria e insuficiencia renal crónica, corazón produciendo arteroesclerosis aórtica y coronaria, incremento en colesterol y ácidos grasos; huesos, testículos placenta, y sistema nervioso central y periférico. El pulmón es un órgano muy susceptible a la exposición a Cadmio, la inhalación crónica subaguda, puede producir bronquitis con daño progresivo alveolar, fibrosis secundaria y enfisema. Los mecanismos moleculares de la toxicidad de Cadmio no son completamente conocidos hasta el momento. (Nava & Méndez, 2011)

Algunas manifestaciones clínicas por ingestión son: náuseas, vómitos, dolores abdominales y cefalea. En muchos casos hay diarrea intensa con colapso. Estos síntomas aparecen cuando se ingiere agua o alimentos con cadmio en concentraciones de alrededor de 15 ppm. La intoxicación aguda puede producirse por la ingestión de altas concentraciones de Cadmio y lleva, incluso, al choque. (Pérez & Azcona, 2012)

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. La vida media del Cadmio en el organismo total es de 30 a 40 años. El riñón es más sensible al Cadmio que pulmón e hígado

y el epitelio del túbulo renal proximal es el punto blanco. Su deterioro se pone de manifiesto por el incremento de proteínas de peso molecular bajo, lo que causa “proteinuria de peso molecular bajo”. (Ramírez, 2002)

#### **4.3. PLOMO**

Este metal no es esencial para los seres vivos, sin embargo, existe en todos los tejidos y órganos de los mamíferos. (Villanueva & Botello, 1992)

Elemento químico, Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19. El plomo es un metal pesado (densidad relativa, o gravedad específica, de 11.4 s 16°C (61°F)), de color azulado, que se empaña para adquirir un color gris mate. Es flexible, inelástico, se funde con facilidad, se funde a 327.4°C (621.3°F) y hierve a 1725°C (3164°F). Las valencias químicas normales son 2 y 4. Es relativamente resistente al ataque de los ácidos sulfúrico y clorhídrico. Pero se disuelve con lentitud en ácido nítrico. El plomo es anfótero, ya que forma sales de plomo de los ácidos, así como sales metálicas del ácido plúmbico. El plomo forma muchas sales, óxidos y compuestos organometálicos. (Lenntech, 2015)

Se encuentra ampliamente distribuido en el ambiente. La mayor parte proviene de actividades como la minería, manufactura industrial y de quemar combustibles fósiles. (Lenntech, 2015)

##### **4.3.1 TOXICIDAD DEL PLOMO EN PLANTAS**

La toxicidad de plomo ocasiona desordenes en las actividades fisiológicas normales de la planta hasta matar eventualmente las células a altas concentraciones. Los principales procesos fisiológicos afectados son la actividad enzimática, la nutrición mineral, el potencial hídrico, el estatus hormonal, la estructura de la membrana y el transporte de electrones. La toxicidad por plomo inhibe la germinación de semillas y retrasa el desarrollo de la planta. (García, 2006)

También entre los efectos negativos, se puede encontrar una inhibición del crecimiento de la planta, ya sea de las raíces como del resto de órganos, un gran número de daños estructurales, puesto que la presencia de este metal en el

interior de las células provoca la aparición de especies reactivas de oxígeno, produciendo estrés oxidativo. Esto, además, produce una inestabilidad de las membranas celulares. (Truchado 2011)

#### **4.3.2 TOXICIDAD DEL PLOMO EN EL SER HUMANO**

Este metal afecta sistemas, órganos y tejidos y su efecto puede ser proporcional a la cantidad presente en el organismo. Pero los umbrales de sus efectos tóxicos varían en diferentes individuos. Los niños generalmente absorben una mayor proporción del plomo y con un efecto más severo que los adultos, porque están en un proceso activo de desarrollo y por ciertas características fisiológicas, patológicas y de conducta. Se recomienda que los niveles en sangre se mantengan debajo de los límites marcados por los departamentos de salud. (Poma, 2008)

El plomo se distribuye en el organismo primariamente en dos compartimientos, uno activo en la sangre y tejidos blandos y otro pasivo o de depósito en los huesos. Con la edad, el contenido de plomo en los huesos aumenta significativamente. Los síntomas de intoxicación aguda por plomo son: fatiga, anorexia, palidez, astenia, irritabilidad, alteraciones del sueño, cambios bruscos de conducta y retardo mental. Las manifestaciones más serias son torpeza motora, ataxia, dolor abdominal, vómitos, constipación y alteraciones de conciencia debido a encefalopatía. (Vega, et al., 1990)

La principal vía de exposición para la población general es por la ingesta de comida y aire. Los niños son en particular sensibles a los efectos de este metal para los cuales es considerado como un riesgo medio ambiental primario. El plomo entra al cuerpo a través de la absorción intestinal por medio de la ingestión; a los pulmones ingresa a través de la inhalación y en la piel por adsorción. Una vez que el plomo ha sido absorbido puede acumularse en huesos, dientes, hígado, pulmón, riñón, cerebro y bazo; asimismo, es capaz de atravesar la barrera hematoencefálica y placenta. Los órganos más sensibles al daño por la toxicidad en exposiciones agudas del plomo son el sistema nervioso central en desarrollo y

maduro, sistema hematológico y cardiovascular; mientras que en las exposiciones crónicas el plomo afecta el sistema gastrointestinal. (Nava & Méndez, 2011)

## **5. CONTAMINACIÓN DE SUELOS POR METALES PESADOS**

La problemática de los metales pesados como Plomo, Níquel, Cadmio y Manganeso, presentes en el agua residual utilizada para riego, radica principalmente en que pueden ser acumulados en los suelos agrícolas. Resultan peligrosos por su carácter no biodegradable. (Mancilla, et al., 2012)

Cuando el contenido de metales pesados en el suelo alcanza niveles que rebasan los límites máximos permitidos causan efectos inmediatos como inhibición del crecimiento normal y el desarrollo de las plantas. En el suelo, los metales pesados como iones libres, pueden tener acción directa sobre los seres vivos lo que ocurre a través del bloqueo de las actividades biológicas, causando daños irreversibles en los diferentes organismos. (Cañizares, 2000)

(Brito & Galváz, 2015) señalan que algunos de los metales pesados pueden formar parte natural del suelo en cantidades que no resultan tóxicas para los seres vivos; sin embargo, la industrialización ha provocado un aumento de la presencia de estos en las aguas residuales que se utilizan para riego, con el consecuente riesgo para la salud humana y ambiental. El proceso de migración y fijación de contaminantes dentro de un sistema cerrado, dependerá de la capacidad de absorción por parte de los subsistemas agua-suelo-planta, aplicación de tasas de riego (concentración del contaminante), y de la persistencia y toxicidad de los contaminantes.

(Arrayone, et al., 2010) Cita que con frecuencia los metales pesados se encuentran en forma iónica interactuando fuertemente con la matriz del suelo. Estos metales pueden movilizarse y cambiar su forma química debido a cambios en las condiciones medioambientales.

La contaminación de los suelos por elementos potencialmente tóxicos (EPTs) se ha incrementado considerablemente, como consecuencia del empleo intensivo de

agroquímicos, de los residuos generados por actividades de minería, fundición y del riego con aguas residuales. Esta problemática ocurre, generalmente, en las zonas agrícolas cercanas a las grandes urbes, en donde los volúmenes de aguas residuales industriales y municipales son cada vez mayores. (Tamariz, 1996)

Los EPTs pueden ser absorbidos por las plantas cultivadas y asimilados o depositados en las mismas, por lo que es necesario conocer los niveles actuales de contaminación por metales pesados en suelos agrícolas, sobre todo por el efecto que éstos pueden ejercer sobre la salud humana y animal. Adicionalmente, los contaminantes tienen la capacidad de reducir la calidad del suelo y, por ende, su productividad. (Bautista & Viñas, 2006)

## **6. PLANTAS HIPERACUMULADORAS**

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal, y de las características y contenido en metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno las plantas hiperacumuladoras pueden superar en 100 ó más veces los valores normales de metales acumulados. Estas plantas son especies muy tolerantes a uno o más metales pesados y a menudo su distribución está restringida a suelos ricos en un amplio rango de concentraciones de metales, pues no son competitivas en zonas no contaminadas. La hiperacumulación ha evolucionado en más de 400 especies de plantas repartidas en 45 familias botánicas. (Llugany, et al., 2007)

Muchas especies toleran las elevadas concentraciones de metales en el suelo entre las acumuladoras se han reconocido diferentes grados de acumulación metálica, desde pequeñas elevaciones sobre el nivel de fondo hasta concentraciones excepcionalmente elevadas de metales pesados. (Kidd, et al., 2007)

La hiperacumulación es un fenómeno raro, y la base evolutiva de su selección ha sido una incertidumbre desde su descubrimiento. Algunos estudios recientes



sugieren que la acumulación inusual de metales confiere a estas plantas la capacidad de limitar su depredación y las infecciones microbianas causantes de enfermedades vegetales. (Kidd, et al., 2007)

Los organismos genéticamente modificados (OGM), comúnmente conocidos como transgénicos, juegan un papel importante en diversos ámbitos de la vida actual. Algunas plantas genéticamente modificadas (GM) están adaptadas específicamente para ser plantas hiperacumuladoras específicas de algunos elementos. (Delgadillo, et al., 2011)

## **7. NORMAS OFICIALES MEXICANAS EN MATERIA DE AGUAS RESIDUALES**

### **7.1 NOM-001-SEMARNAT-1996**

Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. Para el Cadmio nos indica que su límite permisible es de .2mg/l en agua promedio mensual y .05mg/l promedio mensual en suelo de uso agrícola. En el Cobre se menciona que es de 4mg/l promedio mensual en agua y 4mg/l promedio mensual en suelo de uso agrícola. Por último en el Plomo nos dice que su límite es de .5mg/l promedio mensual en agua y de 5mg/l promedio mensual para suelo de uso agrícola.

### **7.2NOM-002-SEMARNAT-1996**

Esta norma establece los límites máximos permisibles contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

### **7.3 NOM-003-ECOL-1997**

Establece los límites permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en el servicio público. No se encuentran límites permisibles para el Cadmio, Cobre y Plomo.

## **8. NORMAS OFICIALES MEXICANAS DE LA SECRETARIA DE SALUBRIDAD Y ASISTENCIA**

### **8.1 NOM-127-SSA1-1994**

Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Nos menciona que el límite para el Cadmio es de .0005 mg/l, para el Cobre es de 2 mg/l y para el Plomo es de .025mg/l.

### **8.2 NOM-117-SSA1-1994**

Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de Cadmio, Arsénico, Plomo, Estaño, Cobre, Fierro, Zinc y Mercurio en Alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica. No se señalan límites permisibles para Cadmio, Cobre ni Plomo.

### **8.3 NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004**

Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por Arsénico, Bario, Berilio, Cadmio, Cromo hexavalente, Mercurio, Níquel, Plata, Plomo, Selenio, Talio y o Vanalio. El límite permisible para el cadmio es de 37 mg/kg de suelo y en el plomo es de 400 mg/kg. El límite permisible del cobre no está determinado.

### **8.4 NOM-185-SSA1-2002**

Productos y servicios, mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche. Especificaciones sanitarias. Los límites máximos permisibles de Plomo para los productos mencionados en esta norma son de .10 mg/kg. No se encuentran límites permisibles para Cobre y Cadmio.

### **8.5 NOM-243-SSA1-2010**

Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba. El límite máximo permisible para el Plomo es de .01mg/kg para leche,

formula láctea y producto lácteo combinado, y para quesos es de 0.5 mg/kg. Los límites permisibles para Cadmio y Cobre no vienen definidos.

#### **8.6 NOM-247-SSA1-2008**

Esta Norma Oficial Mexicana establece las disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir el transporte y almacenamiento de cereales destinados para consumo humano, así como el proceso de las harinas de cereales, sémolas o semolinas, alimentos preparados a base de cereales, de semillas comestibles, de harinas, de sémolas o semolinas o sus mezclas y los productos de panificación. Para el Cadmio el límite permisible es .10 mg/kg y en el caso del Plomo es de .50 mg/kg. Esta norma no nos señala el límite permisible del Cobre.

### **9.0 NORMAS INTERNACIONALES**

#### **9.1 CODEX STAN 193-1995**

Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. Para el Cadmio establece como límite máximo permisible .10 mg/kg, para el Plomo el límite máximo permisible es de .20 mg/kg.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

Las muestras de este trabajo fueron recolectadas en la Comarca Lagunera en diferentes predios ubicados a los alrededores de la planta tratadora de aguas negras de la colonia Valle Oriente. Con ayuda de un GPS se tomo la ubicación exacta de cada punto de muestreo. Después de esto se utilizo un programa geográfico para vaciar los puntos recolectados y así poder obtener la imagen satelital de su ubicación.



Figura: 1 Ubicación geográfica de los puntos.

Ubicación de los puntos de muestreo			
Punto	Latitud	Longitud	Altitud
T1R1	25°31'19.47"N	103°20'26.94"O	1121 msnm
T1R2	25°31'17.60"N	103°20'27.46"O	1120 msnm
T1R3	25°31'16.46"N	103°20'29.84"O	1121 msnm
T1R4	25°31'18.37"N	103°20'29.78"O	1119 msnm
T2R1	25°31'3.20"N	103°19'20.28"O	1119 msnm
T2R2	25°31'8.47"N	103°19'15.13"O	1121 msnm
T2R3	25°31'0.84"N	103°19'13.20"O	1119 msnm
T2R4	25°30'54.87"N	103°19'21.29"O	1120 msnm
T3R1	25°30'35.40"N	103°19'48.98"O	1121 msnm
T3R2	25°30'36.12"N	103°19'50.87"O	1120 msnm
T3R3	25°30'36.82"N	103°19'48.23"O	1121 msnm
T3R4	25°30'37.96"N	103°19'49.93"O	1119 msnm

Figura 2: Ubicación de los puntos de muestreo

## 2. TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Esta investigación es de tipo experimental, ya que en ella tenemos el uso de variables dependientes e independientes, en este caso evaluaremos la cantidad de metales pesados (Cobre, Cadmio y Plomo) presentes en las estructuras morfológicas de la alfalfa (*Medicago Sativa*) regada con agua tratada, mezclada (Relación 1:1) y aguas residual cruda.

## 3. PROCEDIMIENTOS

### 3.1 MUESTREO

Se tomó como referencia para los muestreos una superficie de 1 hectárea aproximadamente. El tratamiento número uno es el de alfalfa regada con agua residual cruda, el tratamiento dos es el de alfalfa regada con agua tratada y el tres es el de alfalfa regado con agua mezclada. Lo primero que se realizó fue medir y marcar un metro cuadrado en la superficie de la alfalfa y con el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se ubicó el punto marcado. Después de esto se procedió a extraer la planta con palas tratando de sacarla con la mayor parte posible de su raíz. Este mismo procedimiento se realizó en las cuatro muestras recolectadas por tratamiento.

### **3.2 LAVADO**

El lavado se realizó con el objetivo de retirar cualquier partícula de tierra que hubiese quedado en las muestras extraídas en campo, esto se llevó a cabo utilizando un cepillo y una esponja además de agua común de la llave. Al término todas las muestras fueron enjuagadas con agua destilada para evitar cualquier tipo de contaminante que pudiera tener el agua de la llave y que nos llegara a afectar en nuestros resultados.

### **3.3 SECADO**

Al finalizar el procedimiento anterior, se dejaron dentro del laboratorio las muestras extendidas en bolsas de papel canela durante una semana a una temperatura promedio de 30 grados centígrados.

### **3.4 SEPARACIÓN DE LA PLANTA**

Después de lo anterior se realizó la separación de la planta, esto es separar las hojas los tallos y las raíces de cada muestra.

### **3.5 PREPARACIÓN DE LAS DIGESTIONES**

Después de tener separadas las muestras en hojas, tallos y raíces, se etiquetaron bolsas de papel para posteriormente colocar las muestras en ellas y así poderlas trasladar al INIFAP de la ciudad de Matamoros Coahuila donde se llevó a cabo el proceso de molienda y digestiones. La molienda es el proceso por el cual la planta es triturada y molida hasta que esta quede de una manera homogénea y con textura de polvo. Este proceso se llevó a cabo utilizando un molino, una licuadora en la cual se daba el primer triturada para así facilitar el trabajo del molino y un compresor de aire con el cual se realizaba la limpieza de los equipos. Al realizar la molienda las muestras se iban colocando en bolsas de plástico pequeñas previamente etiquetadas.

Al terminar la molienda de las muestras se inició inmediatamente con el proceso de digestión, en el cual el primer paso fue pesar .50 gr de cada muestra. Después de esto cada muestra se colocó en un recipiente agregando 2 ml de agua oxigenada y 6 ml de ácido nítrico. Se sellaron herméticamente con una llave

especial. Ya con las muestras preparadas se procedió a colocarlas en el equipo ethos one microwave digestion system este aparato deja girando las muestras durante 50 minutos a una temperatura de 200 grados centigrados. Al terminar el proceso se dejan enfriar las muestras para poder retirarlas y, el contenido se vacía en frascos de 100 ml donde se afora esa cantidad con agua destilada.

#### **4. DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS**

La cuantificación de metales pesados se realizó en un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo AANALYST200, se utilizó para la curva de calibración un estándar de 1000 ppm estas determinaciones se realizaron en el laboratorio del sistema municipal de agua y saneamiento (SIMAS) de Torreón Coahuila, acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

#### **5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar, evaluando tres tratamientos (agua residual cruda, agua tratada y agua mezclada) con 4 repeticiones en tres niveles de respuesta (hoja, tallo y raíz); asimismo la prueba de medias se realizó por el método de Tuckey´s y se llevó a cabo utilizando el programa SAS.

#### **6 .MATERIALES Y REACTIVOS**

Los materiales utilizados en el transcurso del experimento fueron los siguientes: palas truper, cinta masking tape, bolsas de plástico, GPS, agua destilada, cepillo de trastes, esponja para lavado de trastes, navaja , molino, licuadora, compresor de aire, agua oxigenada ,ácido nítrico , ethos one microwave digestion system y frascos de plástico. Estándares de Cadmio, Plomo y Cobre a una concentración de 1000ppm.

## IV. RESULTADOS

### 4.1 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA RAÍZ

En el cuadro número 1 se muestran las concentraciones de los metales pesados por tratamiento y repetición en la raíz de la planta.

Cuadro 1: Concentraciones de metales pesados en raíz

		Raíz		
Tratamiento	Repetición	Concentración (mg/kg)		
		Cadmio	Cobre	Plomo
1	1	0.10	2.78	0.79
1	2	0.10	4.25	2.71
1	3	0.10	1.635	2.04
1	4	0.10	4.16	1.07
2	1	0.10	1.04	1.527
2	2	0.10	0.847	1.048
2	3	0.10	0.719	1.351
2	4	0.10	0.751	1.103
3	1	0.05	0.05	0.05
3	2	0.0117	0.2931	0.171
3	3	0.05	0.05	0.05
3	4	0.05	0.05	0.05

T1= Agua Cruda, T2=Agua Tratada y T3= Agua Mezclada



## 4.2 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA RAÍZ

En el cuadro 2 se muestra el análisis de varianza de los resultados obtenidos en la raíz. Estos resultados nos muestran una diferencia altamente significativa entre los tratamientos

Cuadro 2: Análisis de varianza de Cd, Cu y Pb en la raíz de la alfalfa

Metales Pesados	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación (C.V)	Valor de F	Significancia Estadística
<b>Cadmio</b>	0.888889	14.43376	36	<.0001**
<b>Cobre</b>	0.815694	52.36511	19.52	<.0005
<b>Plomo</b>	0.68054	53.01979	9.59	<.0059

## 4.3 COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA RAÍZ

En el cuadro 3 se observa la comparación de medias obtenida de los resultados de los análisis en la raíz de la planta.

Cuadro 3: Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en la raíz

Metales Pesados	Media	Numero de Muestras	Tratamiento	Significancia
<b>Cadmio</b>	<b>0.1000</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>A</b>
	<b>0.1000</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>A</b>
	<b>0.0400</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>B</b>
<b>Cobre</b>	<b>3.2075</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>A</b>
	<b>0.8400</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>B</b>
	<b>0.1100</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>B</b>
<b>Plomo</b>	<b>1.6525</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>A</b>
	<b>1.2575</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>B</b>
	<b>0.0800</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>B</b>

Letras iguales no tienen significancia, letras diferentes tienen significancia.

En el tratamiento 1 (agua cruda) el metal que tuvo mayor concentración fue el Cobre con una media de 3.2075 mg/kg, este tratamiento fue el que tuvo

significancia, el tratamiento que menos concentración mostro fue el 3 con una media de 0.110 mg/kg. Podemos observar que en el Cadmio el tratamiento 1 y 2 muestran una media de 0.10 mg/kg. Por otra parte el tratamiento 3 es el que tiene significancia y tiene una media de 0.040 mg/kg siendo esta la media con menor concentración de los tres tratamientos. Para el caso del Plomo encontramos que los tratamientos 2 y 3 no tienen significancia y que el tratamiento 1 fue el más significativo con una media de 1.6525 mg/kg. Con todo lo anterior podemos decir que el Cobre fue el metal que más se presentó en los resultados de raíz y el Cadmio el que tuvo la menor presencia con medias por debajo de las normas mexicanas e internacionales que marcan un límite de 0.10 mg/kg. El Plomo presento medias por encima de las normas en los tratamientos 1 y 2 (Agua Cruda y Agua Tratada). Los límites establecidos en la normatividad mexicana son de .50 mg/kg y en la internacional de .20mg/kg.

#### 4.4 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA HOJA

En el cuadro 4 se presentan las concentraciones de metales pesados encontrados en la hoja de la planta.

Cuadro 4: Concentraciones de metales pesados en la hoja

		Hoja		
Tratamiento	Repetición	Concentración mg/kg		
		Cadmio	Cobre	Plomo
1	1	0.10	2.18	1.66
1	2	0.10	1.989	2.79
1	3	0.10	0.665	1.317
1	4	0.10	1.77	1.58
2	1	0.10	1.016	1.17
2	2	0.10	0.554	1
2	3	0.10	0.327	1.054
2	4	0.10	0.697	1.271
3	1	0.05	0.05	0.05
3	2	0.0675	0.2813	0.148
3	3	0.05	0.05	0.05
3	4	0.05	0.05	0.05

#### 4.5 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA HOJA

En el cuadro 5 observamos el análisis de varianza realizado en Cadmio, Cobre y Plomo en la hoja.

Cuadro 5: Análisis de varianza de Cd, Cu y Pb en la hoja de la alfalfa

Metales Pesados	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación (C.V)	Valor de F	Significancia estadística
<b>Cadmio</b>	0.947368	6.792356	81	<.0001**
<b>Cobre</b>	0.747220	53.50525	13.30	0.00021
<b>Plomo</b>	0.825960	37.92206	21.36	0.0004

#### 4.6 COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN LA HOJA

En el cuadro 6 se puede observar la comparación de medias obtenida de los resultados de los análisis en la hoja de la planta.

Cuadro 6: Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en la hoja

Metales Pesados	Media	Numero de Muestras	Tratamiento	Significancia
<b>Cadmio</b>	0.1000	4	1	A
	0.1000	4	2	A
	0.0550	4	3	B
<b>Cobre</b>	1.6525	4	1	A
	0.6500	4	2	B
	0.1075	4	3	B
<b>Plomo</b>	1.8375	4	1	A
	1.1225	4	2	A
	0.0750	4	3	B

En este cuadro se observa que para el caso del Cadmio el tratamiento 1 y 2 tienen una media de 0.10 mg/kg, mientras que el tratamiento 3 tiene una media de 0.05 mg/kg siendo este tratamiento de menor concentración y el que tiene la mayor significancia. Por otra parte en el Cobre el tratamiento 3 muestra la menor

concentración con una media de 0.65 mg/kg y el tratamiento 1 la mayor con una media de 1.6525 mg/kg siendo este el que mostro la más alta significancia. Para el Plomo encontramos que el tratamiento 2 y 3 no tiene significancia, el tratamiento 1 mostro la mayor concentración siendo su media de 1.8375 mg/kg, y la menor concentración se obtuvo en el tratamiento 3 con.075 mg/kg. Debido a lo anterior podemos hacer mención que el Plomo fue el metal que más se encontró en la Hoja de la planta y su mayor concentración se presentó en el tratamiento de Agua Cruda, este tratamiento y el de agua tratada superaron las concentraciones marcadas en las normas mexicanas e internacionales. El cadmio fue el que menor presencia tuvo y no sobrepaso los límites de las normas.

#### 4.7 CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TALLO

En el cuadro 7 se puede apreciar las concentraciones de metales pesados encontrados en el tallo de la planta.

Cuadro 7: Concentraciones de metales pesados en el tallo

<b>TALLO</b>					
<b>Tratamiento</b>	<b>Repetición</b>	<b>Concentración en mg/kg</b>			
		<b>Cadmio</b>	<b>Cobre</b>	<b>Plomo</b>	
1	1	0.10	5.8	3.3	
1	2	0.10	3.57	6.48	
1	3	0.10	5.37	1.24	
1	4	0.10	1.66	1.322	
2	1	0.10	3.7	0.78	
2	2	0.10	1.21	2.447	
2	3	0.10	1.36	2.18	
2	4	0.10	1.242	2.103	
3	1	0.05	0.05	0.05	
3	2	0.0305	0.3131	0.217	
3	3	0.05	0.05	0.05	
3	4	0.05	0.05	0.05	

#### 4.8 ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TALLO

En el cuadro 8 se muestra el análisis de varianza de los resultados obtenidos en los análisis en el tallo.

Cuadro 8: Análisis de varianza de Cd, Cu y Pb en el tallo de la alfalfa

Metales Pesados	R <sup>2</sup>	Coefficiente de Variación	Valor de F	Significancia estadística
<b>Cadmio</b>	0.96414	7.069595	121	<.0001**
<b>Cobre</b>	0.676871	64.05389	9.43	0.0062
<b>Plomo</b>	0.47819	87.99597	4.12	0.0536

#### 4.9 COMPARACIÓN DE MEDIAS PARA LA CONCENTRACIÓN DE METALES PESADOS EN EL TALLO

En el cuadro 9 se puede observar la tabla de comparación de medias obtenida de los resultados de los análisis en el tallo de la planta.

Cuadro 9: Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en el tallo

Metales Pesados	Medias	Numero de Muestras	Tratamiento	Significancia
<b>Cadmio</b>	<b>0.1000</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>A</b>
	<b>0.1000</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>A</b>
	<b>0.0450</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>B</b>
<b>Cobre</b>	<b>4.1000</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>A</b>
	<b>1.8775</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>A</b>
	<b>0.1150</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>B</b>
<b>Plomo</b>	<b>3.0850</b>	<b>4</b>	<b>1</b>	<b>A</b>
	<b>1.8780</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>A</b>
	<b>0.0930</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>B</b>

Este muestra que para el Cadmio el tratamiento 3 es el que tiene significancia y la menor concentración con una media de 0.045 mg/kg, los tratamientos 1 y 2 mostraron medias similares en 0.10 mg/kg. En el Cobre se observa que el tratamiento 3 es el que tiene significancia con una media de 0.1150 mg/kg siendo este tratamiento el que tiene la menor concentración de metal, el tratamiento 1 y 2

son iguales estadísticamente, el tratamiento 1 es donde se encuentra la mayor concentración de metal con una media de 4.10 mg/kg. Por último en el plomo el tratamiento 3 muestra la media con menor concentración con un valor de 0.093 mg/kg y además es el valor con significancia, los tratamientos 1 y 2 son iguales estadísticamente y el tratamiento con la media de mayor concentración es el 1 con una media de 3.085 mg/kg.

## V. DISCUSIÓN

.Al analizar los resultados anteriores encontramos que la cantidad de Cadmio en Raíz, Hoja y Tallo no tuvo variación de acuerdo a los tratamientos ya que se encontraron medias con valores muy similares en los tres casos. Según el CODEX STAN 193-1995 y la Norma Mexicana NOM-247-SSA1-2008 establecen que el límite permisible para este metal es de 0.10 mg/kg la cantidad de Cadmio encontrada en las estructuras de la planta se encuentra entre 0.10 y 0.04 mg/kg, por lo cual ningún tratamiento representa un riesgo para la salud humana ni de animales.

En el caso del Cobre en el tratamiento 1 (agua cruda) fue donde se presentaron las mayores concentraciones de este metal con medias entre 4.10mg/kg y 1.6525 mg/kg y en el tratamiento número 3 (agua mezclada) las menores con medias entre 0.1075 y 0.11 mg/kg, así mismo en el Tallo fue donde las medias mostraron la mayor concentración y las menores se localizaron en la Raíz. El cobre fue el metal que más presencia tuvo en esta investigación.

En el Plomo se puede observar que en el tratamiento 1 (agua cruda) fue donde se encontraron las mayores concentraciones con valores de medias entre 3.085 y 1.6525 mg/kg. El tratamiento con las menores concentraciones fue el numero 3 (agua mezclada) con valores entre 0.075 y 0.093 mg/kg. En el intermedio quedo el tratamiento 2 (agua tratada) con medias entre 1.8780 y 1.1225 mg/kg. En el tallo fue es donde se encontró la mayor concentración de este metal y en la raíz la menor. Según el CODEX STAN 193-1995 la concentración máxima de es de 0.20 mg/kg, la Norma Mexicana NOM-247-SSA1-2008 señala que el límite permisible es de 0.50 mg/kg. Los resultados en este trabajo muestran concentraciones mayores a estas normas en los tratamientos de agua cruda y agua tratada, solo en el tratamiento de agua mezclada los valores fueron menores a las normas.

Algunas normas mexicanas como la NOM-243-SSA1-2010 y la NOM-185-SSA1-2002 mencionan que el límite permisible para algunos alimentos de origen animal derivados de la leche como quesos, cremas, mantequilla, etc. no debe superar

entre .10 y .50 mg/kg. La alfalfa regada con agua cruda y tratada tiene un alto contenido de plomo.

Estos resultados no concuerdan con los reportados por (Siebe, 1994) que realizo un trabajo donde se estudiaron las tendencias de acumulación de metales pesados en secuencias representativas que llevan diferente tiempo bajo riego. Encontró que la disponibilidad de Cd, Pb y Zn es moderada, no obstante su inclinación a incrementarse conforme aumentan los años de riego, siendo el Cd el más disponible. Por otra parte el Cu tiende a ser retomado por las plantas en menor cantidad.

(Cayetano & Siebe, 2012) En su investigación concluyen que las concentraciones de los metales pesados en el cultivo de la alfalfa se incrementan con el tiempo bajo el riego. El consumo de alfalfa no representa un riesgo para la salud. Se incorpora más metal con el agua del que pueden extraer las plantas. La capacidad amortiguadora del suelo impide que el metal sea absorbido por la planta.

En estos resultados el alfalfa si representa un riesgo para la salud ya que en Plomo se han superado y por mucho los límites máximos permisibles, el cobre mostro concentraciones muy altas; el cadmio mostro concentraciones muy bajas.

Por otra parte los resultados obtenidos coinciden con (Amado & Ortiz, 2001) que señalaron que el Cu, Zn, Pb, Cr y Co presentaron alto grado de contaminación en cultivos forrajeros.

Los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con los encontrados por (Raya, 2014) quien determino la concentración de plomo en alfalfa establecido en un suelo regado con agua residual en el ejido Plan de San Luis en Torreón Coahuila. Encontró alta concentración por plomo en los 9 tratamientos que realizo, están arriba de 0.10 y 0.20 mg/kg límite máximo permisible que indica la CODEX STAN 171-1989 para leguminosas.



## VI. CONCLUSIONES

El Cadmio no es un metal del que se deba preocupar al regar alfalfa con agua cruda, tratada y mezclada ya que se encontró que la cantidad que queda adherida a las estructuras de la planta se encuentra dentro de los límites de las normas mexicanas e internacionales, el Cadmio en la alfalfa no es un riesgo para la salud.

El Cobre es un metal que no es muy tóxico para los organismos vivos, sus mayores concentraciones se encontraron en el agua cruda y las menores en el agua mezclada, el tallo presentó la mayor parte de este metal y en la raíz la menor. En esta investigación este metal fue el que presentó las mayores concentraciones.

El Plomo es el metal que más preocupación causa debido a sus altas concentraciones, las mayores se encontraron en el tratamiento de agua cruda, las menores en el de agua mezclada, en el tallo quedó adherido la mayor parte del metal y la menor en la raíz. Los resultados en los tratamientos de agua cruda y agua tratada están por arriba de los límites de las normas mexicanas e internacionales. Se concluye que consumir alfalfa regada con agua residual cruda y tratada es un riesgo potencial para la salud.

En el tallo de la planta se encontraron las mayores concentraciones de los tres metales mientras que en la raíz las menores.

Se sugiere hacer una investigación acerca de cómo la alfalfa contaminada afecta a los animales que la consumen.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Acosta Zamorano, D., Macías Carranza, V., Mendoza Espinosa, L., & Cabello Pasini, A. (2013). Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides temoranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México. *Agrociencia*, XLVII(8), 753-766.
- Agri-Nova. (Junio de 2015). *Infoagro*. Recuperado el 18 de Julio de 2016, de <http://www.infoagro.com/herbaceos/forrajes/alfalfa.htm>
- Amado Alvarez, J. P., & Ortiz Franco, P. (2001). Consecuencia de la fertilización nitrogenada y fosforica sobre la producción de avena irrigada con agua residual. *Terra*, XIX(2), 175-182.
- Arcila, H. R., & Jaramillo Peralta, J. (21 de Julio de 2015). Agentes Naturales Como Alternativa para el Tratamiento de Agua. *Facultad de Ciencias Basicas*, 11(2), 153.
- Arrayone Q., C., Araque M., P., & Pelaez J., C. A. (2010). Evaluación de la bioacumulación y toxicidad de cadmio y mercurio en pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*). *VITAE, REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA*, XVII(1), 45-49.
- Arrieta, I., & Romero, C. (2008). Curso de Posturas: Alfalfa. Montevideo, Uruguay.
- Ayers, R., & Westcot, D. (1985). *Water quality for agriculture*. Roma, Italia.
- Azpilicueta, C., Pena, L., & Gallego, S. (Abril-Mayo de 2010). Los metales y las plantas: entre la nutrición y la toxicidad. *Ciencia Hoy*, XX(116), 13-16.
- Bautista Cruz, A., & Arnaud Viñas, M. d. (Enero de 2006). Elementos potencialmente tóxicos en suelos agrícolas con manejo de riesgo contaminante. *Naturaleza y Desarrollo*, IV(1), 36-42.
- Cairncross, S., & Mara, D. (1990). *Directrices para el uso sin riesgos de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura* (Primera Edición ed.). Ginebra, Suiza: Distribucion y Ventas, Organizacion Mundial de La Salud,.
- Cañizares Villanueva, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa. *Revista Latinoamericana de Microbiología*, 131-143.
- Cayetano, M., & Siebe, C. (2012). Transferencia suelo-planta de metales pesados en parcelas regadas con agua residual en el Valle del Mezquital. *XXII CONGRESO NACIONAL DE GEOQUÍMICA*, , pág. 21. Coatzacoalcos: Instituto Nacional de Geoquímica A.C.

CODEX-STAN-193-1995. (s.f.). Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.

Delgadillo López, A. E., González Ramírez, C. A., Prieto García, F., Villagómez Ibarra, J. R., & Acevedo Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: Una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, XIV(1), 597- 612.

Flores Pardavé, L., Palacios Vargas, J. P., Castaño Meneses, G., & Cutz Pool, L. G. ( de Abril de 2011). Colémbolos de suelos agrícolas en cultivos de alfalfa y de maíz adicionados con biosólidos en Agusalientes , México. *Agrociencia*, XLV(3), 353-362.

García Rico, L., Robles Burgueño, M. d., & Valenzuela Soto, E. M. (1999). Las metalotioneínas y su relación con la toxicidad del cadmio en los mamíferos. *Rev. Int. Contam. Ambient.*, XV(2), 113-120.

García Vargas, D. (6 de Julio de 2006). Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de *Zea mays* L. Expuestas a la toxicidad por plomo. 23-26. Barcelona, España.

González González, M. I., & Chiroles Rubalcaba, S. (2011). Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura. *Revista Cubana de Salud Pública*, XXXVII (1), 61-73.

Guadarrama Brito, M. E., & Galván Fernández, A. (Enero-Junio de 2015). Impacto del uso de agua residual en la agricultura . *Revista Iberoamericana de las ciencias Biológicas y Agropecuarias*, IV(7).

Hernández Acosta, E., Quiñones Aguilar, E. E., Cristóbal Acevedo, D., & Rubiños Panta, J. E. (2014). Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en Tulancingo , Hidalgo México . *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 90-100.

Hernández Picazo, F. J. (2014). Determinación de cadmio en suelos agrícolas dedicados a la producción de alfalfa medicago sativa irrigados con agua residual. 29. Torreón, Coahuila, Mexico : Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro .

Kidd, P., Becerra Castro, C., & García Lestón, M. (Mayo de 2007). Aplicación de plantas hiperacumuladoras de níquel en la fitoextracción natural: el género *Alyssum* L. *Revista Ecosistemas*, XVI(2), 26-43.

- Lara Macías, C. R., & Jurado Guerra, P. (2014). *Paquete tecnológico para producir alfalfa en el estado de Chihuahua* (Primera Edición ed.). Aldama, Chihuahua, México : Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias.
- Lenntech BV. (2015). *Lenntech*. Recuperado el 2 de Julio de 2016, de <http://www.lenntech.es>
- León Morale, J. M., & Sepúlveda Jiménez, G. (Noviembre de 2012). El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas . *Interciencia* , XXXVII(11), 805-811.
- Llugany, M., Tolrà., R., Poschnrieder, C., & Barceló, J. (Mayo de 2007). Hiperacumulación de metales: ¿una ventaja para el hombre? *Revista Ecosistemas*, XVI(2), 4-9.
- Lugo Morin, D. R. (Octubre-Diciembre de 2010). La agricultura residual: Algunas implicaciones para su discusión . *Ciencia y Sociedad*, XXXV(4), 657-680.
- Mancilla Villa, Ó. R., Ortega Escobar, H. M., Ramírez Ayala, C., Uscanga Mortera, E., Ramos Bello, R., & Reyes Ortigonza, A. L. (2012). Metales pesados totales y arsenico en el agua para riego de Puebla y Veracruz. *Rev. Int. Contam. Ambie.*, XXVIII(1), 39-48.
- Martí, L., Filippini, M. F., Salcedo, C., Drovandi, A., Trolío, S., & Valdés, A. (2011). Evaluación de metales pesados en suelos de los oasis irrigados de la Provincia de Mendoza: Concentraciones totales de Zn, Pb, Cd y Cu. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias*, XLIII(11), 203-221 .
- Mead, M. N. (Marzo-Abril de 2011). Confusión por el cadmio ¿Los consumidores necesitan protección? *Salud Pública de México*, LIII(2), 178-186.
- Menocal Heredia, L. T. (Junio de 2014). Importancia de la vigilancia sanitaria de los parásitos en la calidad de agua segun su uso . *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología* , LII(2), 196-209.
- Montemayor Trejo, J. A., Woo Reza, J. L., Munguía López, J., López, A. R., Segura Castruita, M. Á., Yescas Coronado, P., y otros. (Septiembre- Octubre de 2012). Producción de alfalfa (*Medicago Sativa* L.) cultivada con riego sub-superficial y diferentes niveles de fósforo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, III(7), 1321-1332.
- Nakano, V., & Avila Campo, M. J. (2006). *Metales Pesados: Un Peligro Eminente*. São Paulo: Departamento de Microbiologia Universidad de São Paulo.

- Nava Ruíz, C., & Méndez Armenta, M. (Julio - Septiembre de 2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Arch Neurocién*, XVI(3), 140-147.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (s.f.). Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales. .
- NOM-002-SEMARNAT-1996. (s.f.). Esta norma establece los límites máximos permisibles contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- NOM-003-ECOL-1997. (s.f.). Establece los límites permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se rehúsen en el servicio público.
- NOM-117-SSA1-1994. (s.f.). Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica.
- NOM-127-SSA1-1994. (s.f.). Salud ambiental, agua para uso y consumo humano, límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. .
- NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. (s.f.). Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y o vanalio.
- NOM-185-SSA1-2002. (s.f.). Productos y servicios, mantequilla, cremas, producto lácteo condensado azucarado, productos lácteos fermentados y acidificados, dulces a base de leche. Especificaciones sanitarias.
- NOM-243-SSA1-2010. (s.f.). Productos y servicios. Leche, fórmula láctea, producto lácteo combinado y derivados lácteos. Disposiciones y especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.
- NOM-247-SSA1-2008. (s.f.). Esta Norma Oficial Mexicana establece las disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir el transporte y almacenamiento de cereales destinados para consumo humano, así como el proceso de las harinas de cereales, sémolas o semolinas, aliment.
- Ontiveros Capurata, R. E., Diakite Diakite, L., Álvarez Sánchez, M. E., & Corasmerino, P. M. (Septiembre-Octubre de 2013). Evaluación de aguas

residuales de la ciudad de México utilizadas para riego. *Tecnología y Ciencias del Agua*, IV(4), 127-140.

- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. (2014). *Fiscalización ambiental en aguas residuales* (Primera edición ed.). (B. V. Odiaga Franco, Ed.) Lima, Peru.
- Pérez García, P. E., & Azcona Cruz, M. I. (Julio-Septiembre de 2012). Los efectos del cadmio en la salud. *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, XVII(3), 199-205.
- Perez, R. R., López Ramírez, E., & Marañón Pimentel, B. (2005). La agricultura con agua residual en las ciudades de la cuenca Lerma-Chapala. 31. Distrito Federal, Mexico.
- Pernía, B., De Sousa, A., Reyes, R., & Castrillo, M. (Febrero de 2008). Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas. *Interciencia*, XXXIII(2), 112-119.
- Plevich, J. O., S. Delgado, A. R., Saroff, C., Tarico, J. C., Crespi, R. J., & M. Barotto, O. (2012). El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, VI(12), 1353-1358.
- Poma, P. (2008). Intoxicación por plomo en humanos. *An Fac med.*, LXIX(II), 120-126.
- Prieto Méndez, J., González Ramíre, C. A., Román Gutiérrez, A. D., & Prieto García, F. (2009). Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, X(1), 29-44.
- PROCOBRE. (2010). *Cobre: Salud, medio ambiente y nuevas tecnologías* (Primera Edición ed.). (H. S. Worstman, Ed.) Santiago de Chile: Cooper Cunnects Life.
- Ramírez, A. (2002). Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina*, LXIII(1), 51-64.
- Raya Torres, F. J. (2014). Determinacion de plomo en alfalfa *Medicago Sativa*, irrigada con aguas residuales. 1-41. Torreon, Coahuila, Mexico: Tesis de Licenciatura, Universidad Autonoma Agrarias Antonio Narro.

- Rodríguez Serrano, M., Martínez de la Casa, N., Romero Puertas, M., del Río, L., & Sandalio, L. (Septiembre de 2008). Toxicidad del Cadmio en Plantas. *Revista Ecosistemas*, XVII(3), 139-146.
- Romero, N., Camerón, E., & Ustarroz, E. (1995). Manejo y Utilización de la alfalfa. *Producción Animal*, 150-170.
- SAGARPA / FIRCO . (2009). *Diseño de Estrategias de Mercado, Logísticas y de Adecuación de Productos para la Integración de la Alfalfa Mexicana en el Comercio Global de Forrajes*. Delicias, Chihuahua, México : Tis Consulting Group.
- Sánchez Cohen, I., Catalán Valencia, E., González Cervantes, G., Estrada Avalos, J., & Garcia Arellano, D. (Septiembre-Diciembre de 2006). Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. *Agricultura técnica en México*, 32(3), 333-340.
- Secretariado Alianza por el Agua / Ecología y Desarrollo. (2008). *Monográficos agua en centroamérica: Manual de depuración de aguas residuales urbanas* (Primera ed.). Ideasmares.
- Siebe, C. ( de Julio de 1994). Acomulacion y Disponibilidad de Metales Pesados en Suelos Regados Con Aguas Residuales en el Distrito de Riego 03, Tula , Hidalgo, Mexico. *Rev. Int. Contam. Ambient*, X(1), 15-21.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (26 de Febrero de 2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombia*, 347-359.
- Silva, J., Torres, P., & Madera, C. (2008). Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. *Agronomía Colombiana*, XXVI(2), 347-359.
- Tamariz, J. (1996). Contaminación de suelos agrícolas por metales pesados en el municipio de Atlixco, Puebla. Distrito Federal, Estado de Mexico, México.
- Truchado Martín, D. A. (11 de Diciembre de 2011). *Investigación en salud ambiental y ecotoxicología*. Recuperado el 20 de Julio de 2016, de <https://toxamb.wordpress.com/2014/12/11/efectos-de-los-metales-pesados-en-las-plantas/>
- Universidad Agraria de La Habana Fructuoso Rodríguez Pérez. (2006). Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 15(3), 17-21.

- Vázquez Alarcón, A., Justin Cajuste, L., Siebe Grabach, C., Alcántar González, G., & de la Isla de Bauer, M. d. ( de 2001). Cadmio , níquel y plomo en agua residual , suelo y cultivos en el Valle del Mezquital, Hidalgo , México. *Agrociencias*, XXXV(3), 267-274.
- Vega M., J., Contreras R., A., Rios L., E., Marchetti P., N., & Agurto V., M. (1990). El plomo y sus efectos en la salud infantil. *Revista Chilena de Pediatría*, LXI(3), 154-160.
- Vera Puerto, I. L., Rojas Arredondo, M., Chávez Yavara, W., & Arriaza Torres, B. T. (2016). Evaluación de materiales filtrantes para el reúso en agricultura de aguas residuales tratadas provenientes de zonas áridas . *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, XXVI(1), 5-19.
- Villanueva F, S., & V. Botello, A. (1992). Metales pesados en la zona costera del Golfo de México y caribe mexicano; Una revisión . *Rev. Int. Contam. Ambient*, VII(1), 47-61.
- Vullo, D. L. (Noviembre de 2003). Microorganismos y metales pesados; Una interacción en beneficio del medio ambiente . *Química Viva*, II(3).
- Zamora, F. R., Rodríguez Guevara, N. J., Nectalí José, D. G., & Yendis Colina, H. J. (Abril- Junio de 2009). Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana . *Agricultura Técnica en México*, XXXV(2), 211-218.