

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS



Determinación de Cadmio, Cobre y Plomo en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigada con agua residual tratada y subterránea

Por:

JUAN MANUEL ZEFERINO BALLINAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Junio de 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Determinación de Cadmio, Cobre y Plomo en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa*
L.) irrigada con agua residual tratada y subterránea

Por:

JUAN MANUEL ZEFERINO BALLINAS

TESIS

**Que se somete a la consideración del H. Jurado Examinador como requisito
parcial para obtener el título de:**

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por:



Dr. MARIO GARCIA CARRILLO
Presidente



Dr. ALFREDO OAZ
Vocal



M.C. RICARDO COVARRUBIAS CASTRO
Vocal



M.C. FABIAN GARCÍA ESPINOZA
Vocal Suplente



M.C. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador de la División De Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio de 2019



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS

Determinación de Cadmio, Cobre y Plomo en el cultivo de alfalfa (*Medicago sativa* L.) irrigada con agua residual tratada y subterránea

Por:

JUAN MANUEL ZEFERINO BALLINAS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. MARIO GARCIA CARRILLO
Asesor Principal



Dr. ALFREDO OGAZ
Coasesor



M.C. RICARDO COVARRUBIAS CASTRO
Coasesor



M.C. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador de la División De Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Junio de 2019



AGRADECIMIENTOS

A mis Padres, Ricardo Jiménez Ixtlilco, Silvia Ballinas Castillo y Blanca Estela Ballinas Castillo, por el apoyo que me brindaron para seguir adelante en mi vida en mis estudios y para obtener este logro, en convertirme en un profesional.

A mi Alma Terra Mater, por haberme dado la oportunidad de ser parte de esta escuela **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro - Unidad Laguna**, para realizar mis estudios y darme una formación como profesionista.

A todos mis maestros de la UAAAN – UL, por brindarme su conocimiento en las materias que cursé en mi carrera y por los consejos que me daban en cada clase.

A mis asesores de tesis, **Dr. Mario García Carrillo, Dr. Alfredo Ogaz, M.C. Ricardo Covarrubias Castro y M.C. Fabián García Espinoza**. Por el apoyo para llevar a cabo este trabajo de investigación. Gracias por brindarme su confianza, enseñanza y por transmitirme sus conocimientos durante mi carrera universitaria profesional.

DEDICATORIAS

A mi padre, Ricardo Jiménez Ixtlilco por el apoyo que me dio, su confianza, el conocimiento que me compartió para lograr mis metas. Me siento orgullo de ti, por motivarme que a seguir adelante.

A mis madres, Silvia Ballinas Castillo y Blanca Estela Ballinas Castillo por enseñarme en mi educación y por el apoyo incondicional en todo este tiempo.

Al equipo de futbol americano, por darme la oportunidad de ser parte del equipo, donde me enseñaron a jugar este juego en el entrenamiento y en cada partido. `` **Alma Terra Mater, Alma Terra Mater, Arda Troya y en Combate Muera Marte, Arda Troya y en Combate Muera Marte, Buitres, Buitres al Ataque**``.

RESUMEN

La alfalfa (*Medicago sativa* L.), es una planta utilizada como forraje que pertenece a la familia de las leguminosas, utilizada para la alimentación de ganado bovino en las regiones árida, semiárida, templada de México y en el mundo. El cultivo de la alfalfa es uno de los más relevantes dentro de los sistemas de explotación agrícola y ganadera, además posee acción renovadora de la fertilidad y estructura de los suelos. El objetivo de este trabajo fue determinar la concentración de (Cadmio, Cobre y Plomo) en hoja, tallo y raíz en el cultivo de la alfalfa irrigada con dos tratamientos (tratamiento 1: agua residual tratada y tratamiento 2: agua subterránea). Comparar los resultados con los límites máximos permisibles establecidos por las normas oficiales mexicanas e internacionales. El presente trabajo se realizó en Torreón, Coahuila, México, en el cultivo de la alfalfa en diferentes lugares establecidos en suelos irrigados con agua residual tratada y subterránea. Mediante un diseño completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones cada uno. Los resultados mostraron que el Cadmio fue el metal que menos presencia se encontró en esta investigación, en los tratamientos presentó medias de 0.023, 0.032 y 0.035 mg/kg. Estos valores son muy inferiores a los límites máximos de las normas mexicanas e internacionales que son de 0.500 mg/kg. El Cobre se encontró con medias de 0.155, 0.172 y 0.226 mg/kg en tallo y hoja, en el tratamiento 1, como el tratamiento 2. Por lo que se encuentra por debajo de las normas mexicanas e internacionales, que son de 4.0 mg/kg. En el Plomo fue el metal que mostro altas concentraciones en los tratamientos sus medias fueron de 0.186, 0.192 y 0.202 mg/kg concentrándose en hoja y tallo. Mientras que en la raíz se registraron valores más bajos con media de 0.090 mg/kg. El plomo supero el límite máximo de algunas normas oficiales mexicanas e internacionales de 0.050 y 0.500 mg/kg. En el tallo se encuentra la mayor concentración de cobre y plomo, seguido por la hoja y mientras que en la raíz la menor concentración.

Palabras claves: Alfalfa (*Medicago sativa* L.), Determinación, Metales pesados, Irrigada, Concentración.

INDICE

	Pagina
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
INDICE	iv
INDICE DE CUADROS	vii
INDICE DE FIGURAS	viii
RESUMEN	viii
I. INTRODUCCION	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	4
2.2. Clasificación taxonómica de la alfalfa	5
2.3. Importancia de la alfalfa	5
2.4. Características de la alfalfa.....	6
2.5. Morfología de la alfalfa	7
2.6. Métodos de siembra de la alfalfa	8
2.7. Agua subterránea	9
2.8. Agua residual tratada.....	10
2.8.1. Características de agua residual tratada	10
2.8.2. Composición del agua residual tratada	11
2.8.3. Tratamiento del agua residual tratada	11
2.8.5. Beneficios del uso de agua residual tratada en la agricultura	13
2.9.2. Contaminación de suelos por metales pesados	16
2.10. Cadmio.....	17
2.10.1. Toxicidad del Cadmio	18
2.10.2. En plantas	19
2.10.3. En el ser humano	20
2.11. Cobre.....	21
2.11.1. Toxicidad del Cobre	22

2.11.2. En plantas	23
2.11.3. En el ser humano	23
2.12. Plomo	24
2.12.1. Toxicidad del Plomo.....	25
2.12.2. En plantas	25
2.12.3. En el ser humano	26
2.13. Normas oficiales mexicanas	27
2.13.1. NOM-001-SEMARNAT-1996.....	27
2.13.2. NOM-002-SEMARNAT-1996.....	27
2.13.3. NOM-003-SEMARNAT-1997.....	28
2.13.4. NOM-001-CONAGUA-2011.....	28
2.14. Normas oficiales mexicanas de la secretaria de salubridad y asistencia ...	28
2.14.1. NOM-127-SSA1-1994.....	28
2.14.2. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.....	29
2.14.3. NOM-247-SSA1-2008.....	29
2.15. Normas internacionales.....	29
2.15.1. CODEX STAN 193-1995.....	29
III. MATERIALES Y METODOS	30
3.1. Sitio de investigación	30
3.2. Muestreo	31
3.3. Lavado.....	32
3.4. Secado	32
3.5. Separación de la planta	32
3.6. Preparación de las digestiones	32
3.6.1. Procedimiento de extracción para la determinación de macro y micronutrientes por calcinación.....	33
3.7. Determinación de metales pesados	35
3.8. Diseño experimental	35
3.9. Análisis estadístico.....	35
3.10. Materiales y Reactivos	35

IV. RESULTADOS	37
4.1. Concentraciones de metales pesados en la hoja de alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).....	37
4.2. Análisis de Varianza de metales pesados Cd, Cu y Pb en la hoja.	38
4.3. Comparación de medias en los metales pesados por la prueba de rango múltiple de Tukey en la hoja.....	39
4.4. Concentraciones de metales pesados en el tallo de alfalfa.	40
4.5. Análisis de Varianza de metales pesados en el tallo de alfalfa.	40
4.6. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en el tallo de la alfalfa	42
4.7. Concentraciones de metales pesados Cd, Cu y Pb en la raíz de la alfalfa. .	43
4.8. Análisis de Varianza en Cadmio, Cobre y Plomo en la raíz.	43
4.9. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en la raíz de la alfalfa	44
4.10 Análisis Físico – Químico del Agua Residual Tratada y Subterránea.	47
V. DISCUSION	49
VI. CONCLUSIONES	52
VII. LITERATURA CITADA	55

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.).	5
Cuadro 2. Ubicación de las coordenadas Latitud N, Longitud W, ASNM de la Alfalfa (<i>Medicago sativa</i> L.)	31
Cuadro 3. Concentraciones (mg/kg) de Cadmio, Cobre y Plomo en la hoja.	37
Cuadro 4. Análisis de Varianza de Cd, Cu y Pb en la hoja de la alfalfa.	38
Cuadro 5. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en la hoja	39
Cuadro 6. Concentraciones (mg/kg) de metales pesados Cd, Cu y Pb en el tallo.	40
Cuadro 7. Análisis de Varianza de Cd, Cu y Pb en el tallo.	41
Cuadro 8. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en el tallo	42
Cuadro 9. Concentraciones (mg/kg) de los metales pesados en la raíz.	43
Cuadro 10. Análisis de Varianza de Cd, Cu y Pb en la raíz de la alfalfa.	44
Cuadro 11. Comparación de los valores de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en la raíz	45
Cuadro 12. Concentraciones de medias de la alfalfa (Hoja, Tallo y Raíz). Y su comparación con la NORMA CODEX STAN 193 – 1995.	46
Cuadro 13. Resultados de Análisis Físico - Químico del Agua.	47

INDICE DE FIGURAS

	Pagina
Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la alfalfa.	30

I. INTRODUCCION

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) en sus diversas variedades, es una de las especies leguminosas más cultivadas e importantes para la alimentación del ganado y tanto por la cantidad de forraje obtenido por superficie cultivada, como por su valor nutritivo. La planta presenta altos niveles de proteína y minerales, así como gran palatabilidad y alta digestibilidad en un gran número de especies animales (Bazán *et al.*, 2017).

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 (Monachese *et al.*, 2012).

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). El cadmio no es un elemento esencial para las plantas, estas 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 (Puentes, 2014). El plomo puede entrar a la planta a través del sistema de la raíz o de las hojas. Las diferentes partes de las plantas acumulan el plomo en diferentes grados. En general, las partes del fruto y de la flor acumulan las cantidades más pequeñas de

plomo, la toxicidad del plomo en las plantas difiere con las especies de plantas (Raya, 2014).

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. También este tipo de aguas contienen altos niveles de metales pesados y microorganismos que representan un grave riesgo para la salud humana al igual que los metales pesados (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014).

1.1. Objetivos

Determinar la concentración de (Cadmio, Cobre y Plomo) en hoja, tallo y raíz en el cultivo de la alfalfa.

Determinar la concentración de metales pesados (Cadmio, Cobre y Plomo) en la alfalfa irrigada con agua residual tratada y subterránea.

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

1.2. Hipótesis

El cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) absorbe metales pesados del suelo, acumulándolos en la hoja.

La concentración de Cadmio, Cobre y Plomo en la alfalfa es afectada por el agua residual tratada.

La concentración de metales pesados (Cadmio, Cobre y Plomo) en la alfalfa está dentro de las normas oficiales mexicanas e internacionales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Alfalfa (*Medicago sativa* L.)

La alfalfa es la principal especie forrajera que se cultiva en todo el mundo. Esta especie pertenece al género *Medicago*, que comprende alrededor de 83 especies, de las cuales dos terceras partes son anuales y el resto son perenes. El centro primario de diversidad de la alfalfa estuvo en el medio oriente, en la región del noreste de Irán, en el norte de Turquía y en la región del Cáucaso. Durante la expansión del Islam en los siglos VII Y VIII. La alfalfa se distribuyó a diferentes partes de Europa, Asia y África (Santamaría *et al.*, 2000).

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. La alfalfa se cultiva desde el norte del país hasta algunas partes altas en el sureste del país (Salinas, 2000).

La alfalfa es uno de los cultivos más importantes, es cultivada en todo el mundo para usarse como forraje para la alimentación de ganado y tiene valor nutricional más alto de los cultivos forrajeros (SAGARPA, 2009).

Luna *et al.* (2018) enfatizan que la alfalfa (*Medicago sativa* L.) es un cultivo perene de importancia mundial, debido a su alta calidad nutritiva, alto rendimiento, amplia adaptación, persistencia y capacidad de asociarse en simbiosis con bacterias del genero *Rhizobium*, que fijan nitrógeno destinado inicialmente al tejido de la planta y posteriormente al suelo.

2.2. Clasificación taxonómica de la alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es una leguminosa muy valorada como forraje debido a su alto valor nutritivo (Martínez, 2015).

Cuadro 1. Clasificación taxonómica de la alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Clasificación taxonómica	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Fabales
Familia:	Fabaceae
Subfamilia:	Faboideae
Geénero:	<i>Medicago</i>
Especie:	<i>sativa</i> L.

Fuente: (Martínez, 2015).

2.3. Importancia de la alfalfa

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) es la leguminosa forrajera más utilizada para la alimentación del ganado lechero, en las regiones árida, semiárida y templada. La producción nacional de alfalfa, así como la superficie sembrada, muestran una tendencia estable de 1992 y la mayor superficie sembrada y cosechada. La importancia de esta especie se debe a la cantidad de forraje obtenido por unidad de superficie y al alto valor nutritivo, por ser apetecible y consumido por gran número de animales, sea en estado fresco, henificada o ensilada (Rojas *et al.*, 2016).

La alfalfa ocupa el 57 por ciento (36,000 ha) de la superficie sembrada en la Comarca Lagunera, la cual es la cuenca lechera más importante de México. Esta región delimita por varios municipios de los estados de Coahuila y Durango, cuenta con una población aproximada de 400,000 bovinos (Vázquez *et al.*, 2010).

La importancia de la alfalfa se debe a su rendimiento anual, de hasta 30 t MS ha⁻¹ y su valor nutrimental, con 22 por ciento de proteína y 70 por ciento de digestibilidad y es apetecible para los bovinos que la consumen fresca, henificada o ensilada (Rojas-García *et al.*, 2017).

En México la alfalfa es un recurso importante, debido a su amplia adaptación a diferentes climas y suelos. Es el principal cultivo forrajero de las leguminosas, con aproximadamente 32 millones de hectáreas sembradas a nivel mundial. Constituye una fuente importante de alimentación para la producción de leche en estabulación y en la elaboración de concentrados alimenticios, debido a su alta producción de materia seca, contenido proteico y digestibilidad (Saragos *et al.*, 2011).

2.4. Características de la alfalfa

La alfalfa es la leguminosa forrajera que constituye aproximadamente el 80 por ciento del alimento consumido para la alimentación del ganado lechero, en las regiones árida, semiárida y templada en México (Mendoza *et al.*, 2010).

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 por año de forraje henificado. La producción de forraje en alfalfa está relacionado con la

cantidad de nutrientes disponibles durante el crecimiento, se ha demostrado que la alfalfa extrae grandes cantidades de nutrientes del suelo (Montemayor *et al.*, 2012).

El rendimiento del forraje y la persistencia de la alfalfa son considerados muy importantes a tener en cuenta en el manejo productivo de un alfalfar, aunque estos factores son de mucho peso, la calidad del forraje radicada en las hojas, se ha convertido en el principal factor en un sistema de producción intensiva. La persistencia se ve afectada por una serie de factores incluyendo el genotipo, los factores ambientales abióticos, bióticos, gestión y sus interacciones (Odorizzi, 2015).

2.5. Morfología de la alfalfa

La alfalfa es una planta perene que pertenece a la familia de las leguminosas con un promedio de vida de cinco a siete años, según la relación agua, suelo, variedad y atmosfera. La raíz es pivotante, robusta y muy desarrollada hasta cinco metros de longitud con numerosas raíces secundarias (Callejas, 2007).

Los tallos son delgados y erectos para soportar el peso de las hojas y de las inflorescencias, por lo tanto es una planta muy adecuada para la siega. Las hojas son trifoliadas con un pedicelo intermedio más largo que los laterales, foliolos ovalados, los márgenes son lisos y con los bordes superiores ligeramente dentados (Puentes, 2014).

La flor característica de esta familia es la de la subfamilia Faboideae. 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 largas, enrollada en espiral que da de tres a cinco vueltas. Contiene entre dos y seis semillas amarillentas, arriñonadas y de uno punto cinco a dos punto cinco milímetros de longitud, con radícula muy señalada que representa una longitud de más de la mitad de la semilla. La semilla es muy dura y con pocas reservas de nutrientes por lo que su sistema de producción de nutrientes tienen que empezar de inmediato desde la siembra o desde el primer riego hasta los quince días después (Callejas, 2007).

2.6. Métodos de siembra de la alfalfa

La profundidad de siembra de la alfalfa ya que la semilla es muy pequeña 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. En términos generales para suelos con textura arcillosa a migajón, se sugiere una profundidad de siembra de cero punto seis, uno punto tres y dos punto cinco centímetros para suelos arenosos (Quiroga *et al.*, 2000).

Una distribución homogénea de la semilla en la superficie y que esta quede depositada a la profundidad adecuada, se sugiere utilizar la sembradora 'Brillion', la cual compacta la capa de tierra arriba de la semilla para asegurar un buen contacto de la semilla con la humedad. La utilización de la sembradora de

granos pequeños o triguera, en cuyo caso la alfalfa queda sembrada en hileras espaciadas de 15 a 20 centímetros (Quiroga *et al.*, 2000).

Los métodos de siembra en líneas y al voleo son los comúnmente utilizados. La siembra en líneas permite ubicar la semilla a una profundidad uniforme y mejora el contacto de la semilla con el suelo húmedo. La siembra al voleo puede ser utilizada cuando el suelo mantiene la humedad en superficie, este método es menos eficiente ya que tanto la distribución de la semilla en el terreno como la profundidad de siembra no son uniformes (Rebuffo *et al.*, 2000).

2.7. Agua subterránea

La calidad del agua para riego está determinada por la concentración y composición de los constituyentes disueltos que contenga. Las características más importantes que determinan la calidad de agua para riego son, la concentración total de sales solubles, la concentración relativa de sodio con respecto a otros cationes, la concentración de boro y otros elementos que puedan ser tóxicos y bajo ciertas condiciones, la concentración de bicarbonatos con relación a la concentración de calcio más magnesio (Castellón *et al.*, 2015).

Castellón *et al.*, (2015) reportan que los análisis de la calidad del agua se analizaron los parámetros que se describen a continuación, conductividad eléctrica ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$), pH, cationes (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+}), aniones (NO_3^{-} , $\text{H}_2\text{PO}_4^{-}$, SO_4^{2-}), elementos tóxicos (Cl^{-} , Na^{+}) y bicarbonatos (HCO_3^{-}).

El agua es básica para el mantenimiento de los ecosistemas, los cuales a su vez, son un prerequisite para la regeneración de este recurso vital en los

diferentes procesos físicos y biológicos, tanto en el uso y consumo humano, como en la producción agrícola, pecuaria, forestal e industrial. La contaminación química a partir de agua contaminada, es a través de la cadena alimenticia, mediante la absorción de elementos químicos que realizan las plantas, como pueden ser metales pesados (Cd, Pb y As), los cuales están disponibles tanto para los herbívoros como para el ganado y el propio ser humano (Azpilcueta *et al.*, 2017).

2.8. Agua residual tratada

Son aquellas que mediante procesos individuales o combinados de tipo físicos, químicos, biológicos u otros, se han adecuado para hacerlas aptas para su reúso en servicios al público (SEMARNAT, 1997).

El agua residual tratada que se colecta en un sistema de alcantarillado y es conducida hasta una planta de tratamiento, donde pasa por un tren de tratamiento con procesos que pueden ser físicos, químicos o biológicos, con el objetivo de remover contaminantes para mejorar su calidad y hacerla apta para reúso. Son las aguas residuales que han sido tratadas y que cumplen con la calidad (según la normatividad vigente), para ser reutilizadas en diversas actividades productivas, entre ellas la agricultura de riego. Estas aguas también son aprovechadas en servicios al público (Cisneros y Saucedo, 2016).

2.8.1. Características de agua residual tratada

Las características físicas del agua se deben tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda. Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia

orgánica en descomposición. El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión (Orellana, 2005).

Características químicas del agua compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración (Orellana, 2005).

2.8.2. Composición del agua residual tratada

La composición puede verse alterada por actividades humanas, agrícolas, ganaderas e industriales. La consecuencia es la incorporación de sustancias de diferente naturaleza a través de vertidos de agua residuales o debido al paso de las aguas por terrenos tratados con productos agroquímicos o contaminados. Estas incorporaciones ocasionan la degradación de la calidad del agua provocando diferentes efectos negativos como la modificación de los ecosistemas acuáticos, riesgos a la salud (Orellana, 2005).

2.8.3. Tratamiento del agua residual tratada

El tratamiento de las aguas residuales tratadas consta de un conjunto de operaciones físicas, biológicas y químicas, que persiguen eliminar la mayor cantidad posible de contaminantes antes de su vertido, de forma que los niveles de contaminación que queden en los efluentes tratados cumplan los límites legales existentes y puedan ser asimilados de forma natural por los cauces receptores

(CENTA, 2008). El tratamiento del agua residual tratada es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión o disueltas, con objeto de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinara (Noyola *et al.*, 2013).

Por lo general en el tratamiento de aguas residuales se puede distinguir hasta cuatro etapas. Tratamiento preliminar, destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos conlleva un proceso de preaireación. Tratamiento primario, que comprende procesos de sedimentación y tamizado. Tratamiento secundario, que comprende procesos biológicos aerobios, anaerobios y fisicoquímicos (floculación) para reducir la mayor parte de la demanda bioquímica de oxígeno. Tratamiento terciario o avanzado, que está dirigido a la reducción final de la (DBO), metales pesados o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos (Castañeda *et al.*, 2013).

2.8.4. Agua residual tratada en la agricultura

La utilización de las aguas residuales tratadas con fines agrícolas hace necesario conocer la influencia en los niveles de sanidad en los suelos y en la acumulación y lixiviación de los metales y sus efectos en los cultivos. El uso de aguas residuales tratadas como fuente de suministro para la agricultura y como una medida para disminuir la demanda de agua potable y la contaminación (Isea *et al.*, 2004). Las aguas residuales tratadas para riego agrícola no solo se analizan la calidad del agua residual sino también las características y necesidades del

cultivo y suelo. La calidad del agua para riego se debe hacer la caracterización físico-química (Escobar *et al.*, 2016).

2.8.5. Beneficios del uso de agua residual tratada en la agricultura

El agua para uso y consumo humano en la Región sureste del Estado de Coahuila, proviene de acuíferos subterráneos de donde se bombea cada vez de mayores profundidades, incrementando las posibilidades de contaminarse con elementos tóxicos y otros materiales contaminantes. El incremento de población y de las actividades industriales y agrícolas, representan una amenaza potencial para la contaminación de los acuíferos. Por lo que es necesario realizar análisis fisicoquímicos y microbiológicos periódicamente del agua para garantizar su uso y consumo (Castro *et al.*, 2009).

2.9. Metales pesados

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos útiles. Los metales pesados tiene efecto en la salud y afectan diferentes órganos (Romero, 2009).

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Algunos, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico(As), cromo (Cr), talio (Tl) y plomo (Pb), entre otros (Prieto *et al.*, 2009).

Rodríguez (2017) menciona que los metales pesados como elementos de elevado peso atómico, potencialmente tóxicos, que se emplean en procesos industriales, tales como el cadmio (Cd), el cobre (Cu), el plomo (Pb), el mercurio (Hg) y el níquel (Ni) que incluso en bajas concentraciones, pueden ser nocivos para las plantas y los animales.

Los metales son quizás las sustancias tóxicas, más antiguas que haya conocido el hombre, la toxicidad de algunos de ellos, tales como plomo y arsénico ha sido conocida desde hace muchos años, a diferencia otros metales como el cadmio y talio cuya toxicidad han sido reconocida (Nava *et al.*, 2011).

Incluyendo también algunos de sus compuestos que suelen ser de carácter metálico, aunque también comprenden cierto número de elementos semimetálicos, incluso no metálicos y tienen un alto grado de contaminación, toxicidad o ecotoxicidad. Se trata del daño que suponen estos químicos para el medio ambiente o para el hombre (Rodríguez, 2017).

2.9.1. Características de los metales pesados

Los metales pesados son tóxicos ambientales. Sus características más comunes son, persistencia, bioacumulación, biotransformación y elevada toxicidad, lo cual hace que se encuentren en los ecosistemas por largos periodos, ya su degradación natural es difícil. Son emitidos por diferentes fuentes, por cuanto provienen de su presencia en los suelos donde se han acumulado durante la formación de las capas terrestres, asimismo son empleados en varios procesos industriales (Rodríguez, 2017).

La acumulación de metales pesados en las plantas inhibe o activa algunos procesos enzimáticos que afectan la productividad dando como resultado una vía de entrada de estos metales en la cadena alimenticia. Se pueden clasificar en, Geogénicos: cuando proceden de la roca madre en la que se formó el suelo. Antropogénicos: cuando proceden de residuos peligrosos derivados de actividades industriales, agrícolas, mineras, residuos sólidos urbanos, entre otros (Coyago, 2016).

Los metales pesados son peligrosos porque tiende a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente. La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de estos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta (Prieto *et al.*, 2009).

En la actualidad existe una gran preocupación a nivel mundial, debido al considerable incremento en los índices de contaminación por metales pesados tales como el cromo, níquel, cadmio, plomo y mercurio. Estas sustancias tóxicas tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente, comprometiendo el bienestar y equilibrio no solo de la fauna y la flora existente en dicho ecosistema sino también la salud de las personas residentes en las comunidades aledañas, mediante su acumulación e ingreso a la cadena trófica (Tejada *et al.*, 2015).

2.9.2. Contaminación de suelos por metales pesados

En suelos agrícolas la contaminación con metales pesados representa un riesgo inminente en la salud de los seres humanos, ya que los metales se incorporan en los diferentes eslabones de la cadena trófica, siendo la ingesta directa de los alimentos la principal vía de acceso y causa de preocupación pública. En suelos agrícolas, la aplicación de agroquímicos y el riego con agua residual son dos de las principales fuente de contaminación con metales pesados, donde el flujo de los contaminantes hacia los vegetales representa un riesgo importante para la salud (Pérez *et al.*, 2015).

Los metales pesados están presentes en el suelo como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas. Se consideran entre los metales pesados elementos como el plomo, el cadmio, el cromo, el mercurio, el zinc, el cobre, la plata, entre otros, los que constituyen un grupo de gran importancia, ya que algunos de ellos son esenciales para las células, pero en altas concentraciones pueden resultar tóxicos para los seres vivos, organismos del suelo, plantas y animales (Prieto *et al.*, 2009).

Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de estos tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos (Soraya *et al.*, 2006).

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

La acumulación en los suelos agrícolas de metales pesados puede provocar no solo la contaminación del suelo, sino también consecuencias para la calidad y seguridad alimentaria. La absorción de la planta es una de las principales vías por las que los metales pesados se incorporan en la cadena alimentaria (García *et al.*, 2016).

García *et al.* (2016) mencionan que los niveles de contaminación por metales pesados que se encuentran asociados a los suelos y aguas de riego como resultado de las deposiciones atmosféricas, aditivos, enmiendas orgánicas o aplicación de compuestos fitosanitarios o plaguicidas, no siempre son reconocidos y la determinación de estos contaminantes en los productos agrícolas.

2.10. Cadmio

El cadmio (Cd) número atómico 48, masa atómica 111,40. Se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del zinc y del plomo, a partir de sulfuro de cadmio, en el proceso hay formación de óxido de cadmio, compuesto muy tóxico. Además de contaminar el ambiente desde su fundición y refinación, contamina también por sus múltiples aplicaciones industriales (Ramírez, 2002).

El cadmio es un metal pesado, de densidad 8,642 g/cm³, de color blanco, blando, dúctil y maleable. Es un elemento poco abundante en la naturaleza y se encuentra en casi todos los minerales del zinc. El contenido de cadmio en los suelos se encuentra entre uno a tres mg/kg. Específicamente en suelos no contaminados, el contenido de cadmio debe ser menor a uno (mg/kg) (Sánchez *et al.*, 2011).

La contaminación ambiental por cadmio ha aumentado como consecuencia del incremento de la actividad industrial que ha tenido lugar a finales del siglo XX y principios del siglo XXI, afectando de forma progresiva a los diferentes ecosistemas. El cadmio es un elemento no esencial y poco abundante en la corteza terrestre y a bajas concentraciones puede ser tóxico para todos los organismos vivos (Rodríguez *et al.*, 2008).

El cadmio forma parte de la composición natural de algunas rocas y suelos y provoca una liberación al medio ambiente cercana a 25000 toneladas. De otra parte por vía antrópica las concentraciones en el ambiente pueden ser incrementadas considerablemente. Ya que es un metal ampliamente utilizado en la industria y productos agrícolas, esto ha producido un progresivo aumento en su producción (Reyes *et al.*, 2016).

2.10.1. Toxicidad del Cadmio

Al cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas. El cadmio causa severos desequilibrios en los procesos de nutrición y transporte de agua en las plantas, la favorabilidad de

acumulación de cadmio en las plantas ha llevado a considerarlas como potenciales candidatos para tareas de fitorremediación de este metal (Reyes *et al.*, 2016).

Uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, pues reúne cuatro de las características más temidas de un toxico. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente. Bioacumulación. Persistencia en el medio ambiente. Viaja grandes distancias con el viento y los cursos de agua (Ramírez, 2002).

La absorción de cadmio por un cultivo no solo depende de la actividad del ion metálico en la solución del suelo, sino también de las relaciones que existan entre los iones en la solución y los iones en fase sólida, por otra parte se ha señalado que la transferencia de un elemento entre el suelo y la planta no tiene por qué pasar por la fase de solución (Sánchez *et al.*, 2011).

El Cd es uno de los elementos más tóxicos al cual está expuesto el hombre; la exposición ambiental ocurre principalmente a través del humo de tabaco, el agua y alimentos como vegetales, cereales y moluscos. La acumulación de este metal en el organismo es gradual (Sebath y Robles, 2012).

2.10.2. En plantas

La toxicidad del cadmio en las plantas presenta varios síntomas, con frecuencia altera los procesos fotosintéticos, la respiración y el metalismo del nitrógeno, así como también reducen la absorción de agua y nutrientes esenciales. El cadmio no obstante que no es un elemento esencial para las plantas, se

absorbe y se distribuye rápidamente a través del sistema vascular ocasionando en forma general una depresión del crecimiento de estas e incluso su muerte (Escalante *et al.*, 2012).

El cadmio es un metal pesado no esencial para el crecimiento de las plantas y animales. Bajas concentraciones de este metal en el suelo constituyen un riesgo de toxicidad para plantas. La toxicidad en el suelo debida a los metales pesados está relacionada, no solo con el contenido total de estos elementos, también con su disponibilidad y movilidad en el sistema suelo (Sánchez *et al.*, 2011).

Los efectos tóxicos del cadmio sobre las plantas interfieren en la entrada, transporte y utilización de elementos esenciales y del agua provocan desequilibrios nutricionales e hídricos en la planta. El cadmio también reduce la absorción de nitratos y el transporte de los mismos de la raíz al tallo, además de inhibir la actividad nitrato reductasa en tallos (Rodríguez *et al.*, 2008).

Las plantas expuestas a suelos contaminados con cadmio presentan modificaciones en la apertura estomática, fotosíntesis y transpiración, uno de los síntomas con cadmio más extendidos de la toxicidad por cadmio es la clorosis producida por una deficiencia en hierro (Rodríguez *et al.*, 2008).

2.10.3. En el ser humano

El cadmio se acumula en el organismo humano, fundamentalmente en los riñones y causa hipertensión arterial. La absorción pulmonar es mayor que la intestinal, por lo cual el riesgo es mayor cuando el cadmio es aspirado. En

humanos la exposición prolongada se relaciona con la disfunción renal. También puede conducir a enfermedades pulmonares, se le ha relacionado con el cáncer de pulmón y provocar osteoporosis en humanos y animales (Rodríguez, 2017).

Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente laboral y ambiental. Un indicador de su importancia en relación con otros peligros potenciales es el rango que les adjudica la Agencia Estadounidense para el Registro de Sustancia Tóxicas y Enfermedades, que cataloga los riesgos de los desechos tóxicos de acuerdo con su prevalencia y la gravedad de la intoxicación que originan. Entre los más peligrosos se encuentran el plomo, el mercurio, el arsénico y el cadmio (Pérez *et al.*, 2012).

La principal fuente de contaminación de cadmio en el ser humano es la ingesta de vegetales contaminados con este metal. Químicamente el cadmio se puede encontrar disuelto en el agua contenida en el suelo, adsorbido en superficies orgánicas e inorgánicas, formando parte de minerales, precipitado con otros compuestos del suelo o incorporado a estructuras biológicas (Rodríguez *et al.*, 2008).

Las manifestaciones clínicas de la exposición al cadmio pueden clasificarse, de acuerdo con el tiempo y modo de dicha exposición, en agudas y crónicas y en las debidas a inhalación y a ingestión (Pérez *et al.*, 2012).

2.11. Cobre

El Cu es un metal de la familia IB dentro de la tabla periódica de los elementos, con peso atómico de 63.5 y con número atómico 29. Está incluido en el

grupo de los microelementos o minerales traza esenciales, debido a que las cantidades que los animales o el hombre necesitan de este son muy pequeñas. Este elemento participa en muchos procesos biológicos del organismo, la mayoría relacionados con actividades enzimáticas (Quiroz y Bouda, 2001).

El cobre es un elemento metálico maleable y dúctil que es un excelente conductor de calor y electricidad, además de ser resistente a la corrosión y antimicrobiano. El cobre se produce de forma natural en la corteza terrestre en una variedad de formas. Puede ser encontrado en depósitos de sulfuros (como calcopirita, bornita, calcocita, covelita), en los depósitos de carbonato (como la azurita y malaquita), en los depósitos de silicatos como (chrysocolla y diopside) y cobre puro (Cabrera *et al.*, 2014).

2.11.1. Toxicidad del Cobre

El cobre (Cu) es un cofactor indispensable en numerosos procesos enzimáticos. Sin embargo, se ha considerado un contaminante importante de los cuerpos de agua, clasificándose como extremadamente tóxico, representando un riesgo potencial para la vida acuática (Velasco *et al.*, 2006).

El cobre (Cu) es un metal esencial para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Es un micronutriente que participa en numerosos procesos fisiológicos y un cofactor esencial para muchas metaloproteínas. Sin embargo, también es potencialmente tóxico y los problemas surgen cuando se encuentra en exceso en las células (Cartaya *et al.*, 2017).

2.11.2. En plantas

El cobre es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas, requiriendo en concentraciones trazas para completar su ciclo de vida. El cobre en el suelo no siempre se encuentra totalmente disponible para su absorción por las plantas debido a que puede estar formando complejos insolubles con la materia orgánica. La absorción de iones en las plantas comienza en la epidermis de la raíz (León *et al.*, 2012).

El cobre es absorbido por la planta como Cu^{+2} o como complejo orgánico por vía radicular o foliar. Aunque el cobre se puede detectar en los distintos órganos del vegetal, es en las hojas verdes donde se halla en mayor concentración. No es muy móvil aunque puede desplazarse en cierta proporción de las hojas viejas a las jóvenes. Esta translocación depende del estado en que se encuentra y del grado de deficiencia que la planta presente. Las funciones del cobre en la planta están asociadas con un buen número de enzimas, ya sea como activador o formando parte de ellos como grupo prostético (Martínez, 2003).

2.11.3. En el ser humano

El cobre se ingiere a través de los alimentos, es absorbido a través del intestino delgado para posterior ser transportado de la mucosa intestinal hacia el hígado, de donde se liga a la metalotioneína, la cual une al zinc, mercurio, cadmio y cobre para que sean distribuidas a todo el cuerpo (Aruquipa, 2014).

La exposición aguda por ingestión del sulfato de cobre puede producir necrosis hepática y muerte. La exposición crónica de alimentos conservados en recipientes de cobre genera lesión hepáticas en niños (Londoño *et al.*, 2016).

La absorción del cobre es necesaria porque este es un elemento traza que es esencial para la salud de los humanos, pero mucho cobre también hace daño. La exposición profesional al cobre también suele ocurrir. En el ambiente de trabajo el contacto con cobre puede provocar la gripe conocida como fiebre del metal. Exposiciones de largo periodo al cobre pueden irritar la nariz, la boca y los ojos y causar dolor de cabeza, una toma de cobre puede causar daño al hígado y los riñones e incluso la muerte (Rodríguez, 2017).

2.12. Plomo

Es un elemento químico Pb, número atómico 82 y peso atómico 207.19 g·mol⁻¹, cuya densidad es de 11.34 g·cm⁻³. Este elemento químico es tóxico, denso y acumulativo, el afecta tanto a organismos vivos como seres humanos, pudiendo entrar en las cadenas alimenticias (Belaire *et al.*, 2017).

El plomo es un metal con propiedades tóxicas que más se ha propagado en el ambiente, aunque se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante. La principal contaminación ambiental se debe a compuestos inorgánicos del plomo, los cuales son utilizados en numerosos tipos de industrias y actividades (Castro *et al.*, 2010).

2.12.1. Toxicidad del Plomo

El plomo se considera el metal de mayor importancia toxicológica. Bajo la forma de diversos compuestos se utiliza en innumerables industrias y actividades, siendo su magnitud exacta todavía desconocida en América Latina (Martínez *et al.*, 2001).

La intoxicación por plomo ocurre luego de la exposición a este metal; este tiene muchos usos y fuentes. Como pueden ser baterías de autos, aditivo en la gasolina, revestimiento de cables, producción de tuberías, cisternas, protección de materiales expuestos a la intemperie, entre otros (Valdivia, 2005).

La concentración de plomo en la sangre promueve manifestaciones clínicas particulares donde la progresión de danos en los infantes inicia con concentraciones menores que en adultos. La toxicidad aguda se manifiesta con insuficiencia renal, encefalopatía y síntomas gastrointestinales. La toxicidad crónica se comprometen los sistemas hematopoyético, nervioso, gastrointestinal y reproductor (Azcona *et al.*, 2015).

2.12.2. En plantas

El plomo tiene la capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria. Se encuentra en todas partes del medio ambiente, en el aire, en las plantas y animales de uso alimentario, en el agua de la bebida, en los ríos, océanos y lagos (Rubio *et al.*, 2004).

La toxicidad de Pb en las plantas son la inhibición del crecimiento de la raíz, retraso en el crecimiento de la planta y clorosis, cuando el Pb entra en las células de la planta, produce varios efectos adversos en los procesos fisiológicos, entre los que se encuentra la inhibición de la actividad enzimática, alteración de la nutrición mineral, desequilibrio hídrico (Alvarado *et al.*, 2011).

2.12.3. En el ser humano

El plomo puede penetrar en el organismo por tres vías, respiratoria, digestiva y cutánea, siendo esta última de escasa entidad. El plomo que atraviesa la piel pasa a través de los folículos pilosos y glándulas sebáceas y sudoríparas directamente al torrente circulatorio (Rubio *et al.*, 2004).

La bioaccesibilidad del plomo para humanos y animales está relacionada con las especies químicas del plomo en el suelo, estas especies químicas son las principales causantes de la enfermedad llamada saturnismo (intoxicación por plomo). La presencia de metales pesados sin función biológica conocida en determinadas concentraciones conllevan a la disfuncionalidad de los organismos, son altamente tóxicos y poseen la propiedad de acumularse en los organismos vivos (Castro *et al.*, 2010).

Poma (2008) Señala que los efectos del plomo afectan los órganos y sistemas. El nivel sanguíneo de plomo materno aumenta el riesgo fetal y de alteraciones neurológicas en los recién nacidos. Los embarazos con niveles elevados de plomo en la sangre tienen un riesgo mayor de partos prematuros, abortos espontáneos, muertes fetales y de recién nacidos con peso bajo para su edad gestacional.

Los niveles altos de exposición pueden afectar la síntesis de hemoglobina, la función renal, el tracto gastrointestinal, las articulaciones y el sistema nervioso. La intoxicación aguda se acompaña de alteraciones digestivas, dolores epigástricos y abdominales, vómitos, alteraciones renales y hepáticas. La intoxicación crónica puede implicar neuropatías, debilidad y dolor muscular, fatiga, cefalea, alteraciones del comportamiento y renales, aminoaciduria, irritabilidad, temblor, entre otros (Rodríguez, 2017).

2.13. Normas oficiales mexicanas

2.13.1. 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 permisible para el cadmio es de 0.2 mg/l en uso en riego agrícola y 0.05 mg/l en suelo uso en riego agrícola. El cobre tiene 4.0 mg/l en uso en riego agrícola y 4 mg/l en suelo uso en riego agrícola. El plomo límite máximo permisible es de 0.5 mg/l en uso en riego agrícola y 5 mg/l en suelo uso en riego agrícola.

2.13.2. NOM-002-SEMARNAT-1996

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano municipal. El límite máximo permisible de cadmio es de 0.5 mg/l en promedio mensual y 0.75 mg/l en promedio diario. El cobre el límite máximo permisible es de 10 mg/l en

promedio mensual y 15 mg/l en promedio diario. Para el plomo el límite máximo permisible es de 1 mg/l en promedio mensual y 1.5 mg/l en promedio diario.

2.13.3. NOM-003-SEMARNAT-1997

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. Para cadmio, cobre y plomo no se encuentran límites máximos permisibles.

2.13.4. NOM-001-CONAGUA-2011

Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba. El valor máximo permisible de cadmio es de 0.005 ppm y para el plomo es de 0.05 ppm. Para el cobre no se encontró valor máximo permisible.

2.14. Normas oficiales mexicanas de la secretaria de salubridad y asistencia

2.14.1. NOM-127-SSA1-1994

Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamiento a que debe someterse el agua para su potabilización. Se menciona que los límites permisibles para cadmio es de 0.005 mg/l, para el cobre es de 2.00 mg/l y para el plomo es de 0.025 mg/l.

2.14.2. NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

Que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. El límite máximo permisible de cadmio es de 37 mg/kg de suelo uso agrícola, para el plomo es de 400 mg/kg de suelo uso agrícola y para el cobre no hay ninguna especificación.

2.14.311. NOM-247-SSA1-2008

Productos y servicios. Establece las disposiciones y especificaciones sanitarias que deben cumplir el transporte para consumo humano así como el proceso de las harinas de cereales, sémolas o semolinas, alimentos preparados a base de cereales, de semillas comestibles o sus mezclas y productos de panificación. Método de prueba. El límite máximo para Cadmio es de 0.1 mg/kg y en Plomo de 0.5 mg/kg. El cobre no se menciona en esta norma de su límite máximo permisible.

2.15. Normas internacionales

2.15.1. CODEX STAN 193-1995

Norma general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos. El límite máximo permisible para el cadmio es de 0.1 mg/kg y para el plomo es de 0.2 mg/kg el límite máximo permisible. El cobre no viene ninguna especificación en esta norma CODEX STAN.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Sitio de investigación

El presente trabajo se realizó en la Comarca Lagunera, Torreón Coahuila, México. Donde se recolectaron las muestras de alfalfa en diferentes predios. En los alrededores de la planta tratadora de aguas residuales (Rancho Alegre) y en la UAAAN-UL. Se tomó la ubicación con la ayuda de un GPS (Sistema de Posicionamiento Global) para tener localizado cada punto de muestreo que se llevó a cabo. Se presenta una imagen satelital donde se localizan la ubicación de cada muestreo.



Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo de la alfalfa.

En el cuadro 2. Se muestra la ubicación de las coordenadas de los puntos de muestreo del Tratamiento 1. Agua Residual Tratada y Tratamiento 2. Agua Subterránea, con cada repetición de las muestras de la alfalfa.

Cuadro 2. Ubicación de las coordenadas Latitud N, Longitud W, ASNM de la Alfalfa (*Medicago sativa* L.).

Tratamientos	Punto	Latitud N	Longitud W	ASNM
1	T1R1	25° 29' 52"	103° 17' 55.5"	1130
1	T1R2	25° 29' 56"	103° 17' 57.2"	1125
1	T1R3	25° 29' 53.2"	103° 17' 57"	1129
1	T1R4	25° 29' 55.4"	103° 17' 57.8"	1129
2	T2R1	25° 33' 24.2"	103° 21' 59.8"	1123
2	T2R2	25° 33' 23.3"	103° 21' 57.9"	1124
2	T2R3	25° 33' 22"	103° 21' 58.6"	1124
2	T2R4	25° 33' 21.1"	103° 21' 56.8"	1123

3.2. Muestreo

El muestreo se realizó tomando como referencia una hectárea del cultivo de la alfalfa antes de la floración, donde se recolecto las muestras en forma de Zig-Zag, al azar. Lo primero que se realizó fue medir y marcar un metro cuadrado de superficie en la alfalfa. Después se procedió en cosechar la planta de alfalfa dentro de esa superficie, con palas tratando de obtener la mayor parte posible de su raíz. Este procedimiento se realizó igual con las demás muestras recolectadas por tratamiento y con el GPS (Sistema de Posicionamiento Global) se tomó la ubicación de cada punto de muestreo.

3.3. Lavado

El lavado se realizó para retirar cualquier partícula de tierra que tuviera las muestras de alfalfa. Para esto se utilizó un cepillo, una esponja y agua de llave, posteriormente se procedió a enjuagar todas las muestras con agua destilada para evitar cualquier contaminante que pudiera tener el agua de llave y alterar los resultados de las muestras.

3.4. Secado

Para el secado de las muestras, se utilizaron bolsas de papel canela, para dejar extendidas las muestras de alfalfa, permaneciendo durante una semana a temperatura ambiente en el laboratorio de suelos de la UAAAN – UL.

3.5. Separación de la planta

Este procedimiento se realizó para la separación de las hojas, tallos y raíces de la planta de alfalfa de cada muestra, almacenadas en bolsas de papel canela previamente identificadas.

3.6. Preparación de las digestiones

Las bolsas de papel canela se colocaron en una estufa a 80 °C durante 24 horas. Posteriormente se procedió a la molienda de las muestras, para lo cual se utilizó un molino, una brocha para limpiar el equipo y tamices donde se cribaba y depositaba la molienda. Donde la hoja, tallo y raíz quedo triturada y molida hasta quedar homogénea, con una textura de polvo y depositar la molienda en bolsas de

plástico previamente identificadas. Al finalizar este procedimiento de molienda se inició con el proceso de extracción.

3.6.1. Procedimiento de extracción para la determinación de macro y micronutrientes por calcinación

1. Pesar 1 gr de muestra
2. Pesar el 1 gr de muestra en el crisol (los crisoles deben estar a peso constante, esto se logra metiendo los crisoles a la mufla a 600 °C durante 4 horas).
3. Después de pesar 1 gr en los crisoles, estos son introducidos a la mufla en donde se calcinara la muestra de planta a una temperatura de 600 °C por 4 horas.
4. Posteriormente después de que se realizó la calcinación, a la ceniza que quedo en el crisol se le agrega 10 ml de HCl al 37 % y se agita por 10 segundos y se deja reposar por 20 minutos.
5. Después se pasa la muestra contenida en el crisol a un matraz volumétrico de 100 ml, se le agrega 10 ml de CsCl y se afora.
6. Una vez aforado el matraz volumétrico se pasa a filtrar (filtro # 1), colocando el residuo en botes de plástico de 100 ml.
7. El residuo obtenido en el bote de plástico será el utilizado para analizar.
8. Se pasa a leer en el equipo de absorción Atómica.

Preparación De Reactivos:

CsCl: Cloruro de cesio.

Pesar 12.66 gr de CsCl (previamente se colocó en la estufa en la estufa a 400 C por 24 horas, se coloca en un matraz volumétrico de 100 ml y se afora será la solución madre de CsCl).

Después de la solución madre se toman 100 ml que serán colocados en un matraz volumétrico de 1000 ml y aforado para obtener 1 L, (es el CsCl que será agregado a las muestras).

Formulas

$Ca^{++} + Mg^{++} = (\text{ml. gastados EDTA}) (N \text{ EDTA}) (1000) / \text{ml. Muestra}$

Ca Meq / litro

Magnesio Meq / litro = (Ca+ Mg) - Ca

$CO_3 = (\text{ml. Gastados } H_2SO_4) (N \text{ } H_2SO_4) (1000) / \text{ml. Muestra}$

Cloro Meq / litro = (ml. Gastados $AgNO_3$) (N $AgNO_3$) (1000) / ml. Muestra

Na Meq / litro = 10 veces la conductividad eléctrica – (Ca + Mg)

N= Normalidad

Material:

Muestras de material vegetal molido

Mufla

Balanza analítica

Crisoles a peso constante

Papel filtro # 1

Botes de plástico de 100 ml

Ácido clorhídrico 37 % y CsCl: Cloruro de Cesio

3.7. Determinación de metales pesados

La cuantificación de metales pesados se realizó en un espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 2380. Se utilizó una solución estándar de 1000 ppm de cada metal pesado para realizar la curva de calibración. Estas determinaciones se llevaron a cabo en el laboratorio del departamento de Suelos de la UAAAN-UL.

3.8. Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con dos tratamientos y cuatro repeticiones por tratamiento, donde se determinó la concentración de cadmio, cobre y plomo, en la alfalfa (*Medicago sativa* L.), en sus estructuras morfológicas en hoja, tallo y raíz, irrigada con agua residual tratada y subterránea.

3.9. Análisis estadístico

Las concentraciones de metales pesados obtenidas fueron agrupadas acorde al diseño y posteriormente se llevó a cabo un análisis de varianza (ANVA). Asimismo una prueba de comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey, utilizando el programa SAS (Sistema de Análisis Estadísticos).

3.10. Materiales y Reactivos

Los materiales utilizados durante la realización de experimento fueron los siguientes: Bolsas de plástico, palas truper, GPS, cinta masking tape, cinta métrica, bolsas de papel canela, agua destilada, cepillo de trastes, esponja para

lavado de trastes, pinzas, molino, tamices, brocha, estufa de laboratorio, mufla, balanza analítica, crisoles, agua oxigenada, frascos de plásticos, matraces y embudos. Los reactivos fueron: ácido nítrico-perclórico, ácido clorhídrico y cloruro de cesio. Estándares de Cadmio, Cobre y Plomo con una concentración de 1000 ppm.

IV. RESULTADOS

4.1. Concentraciones de metales pesados en la hoja de alfalfa (*Medicago sativa* L.).

En el cuadro 3. Se muestra los resultados de las concentraciones de metales pesados en la hoja de la planta de alfalfa. Por tratamiento de agua y repetición de las muestras.

Cuadro 3. Concentraciones (mg/kg) de Cadmio, Cobre y Plomo en la hoja.

Tratamiento	Repetición	Concentración (mg/kg)		
		Cadmio	Cobre	Plomo
1	1	ND	0.16	ND
1	2	0.03	0.13	0.15
1	3	0.03	0.21	ND
1	4	0.01	0.12	0.26
2	1	0.03	ND	0.14
2	2	0.01	0.13	0.20
2	3	0.03	0.08	0.16
2	4	ND	0.14	0.27

Tratamiento 1. Agua Residual Tratada y Tratamiento 2. Agua Subterránea.

ND = No Detectable.

4.2. Análisis de Varianza de metales pesados Cd, Cu y Pb en la hoja.

En el cuadro 4. Se muestra los resultados de los metales pesados en la hoja de la alfalfa, Coeficiente de Variación, Valor de F y Significancia Estadística.

Cuadro 4. Análisis de Varianza de Cd, Cu y Pb en la hoja de la alfalfa.

Metales Pesados	R ²	Coeficiente de Variación (C.V)	F calculada	F de tablas	
				0.05	0.01
				5.98	13.74
Cadmio	0.000000	40.40610	0.00	NS	
Cobre	0.296691	25.08595	2.53	NS	
Plomo	0.004881	25.66745	0.02	NS	

NS =Diferencia no significativa

Estos resultados muestran que el Cadmio tiene un valor de F calculada de 0.00 y el Plomo con 0.02 por lo tanto no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos. El Cobre tiene un valor de 2.53 de F calculada, por lo tanto no existe diferencia significativa entre los tratamientos. En el coeficiente de variación en el Cadmio tiene una mayor dispersión de 40.40610 %, mientras que el Cobre y el Plomo tiene una menor dispersión de 25.08595 % y 25.66745 %. Por lo que nos indica que los valores se encuentran muy dispersados, por lo que tienen variabilidad en el coeficiente de variación.

4.3. Comparación de medias en los metales pesados por la prueba de rango múltiple de Tukey en la hoja.

En el cuadro 5. Se muestran los resultados de medias de los metales pasados Cadmio, Cobre y Plomo en los análisis de la hoja por la prueba de rango múltiple de Tukey. Número de Repeticiones, Tratamiento y Significancia.

Cuadro 5. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en la hoja.

Metales Pesados	Medias	Número de repeticiones	Tratamiento	Significancia
Cadmio	0.02333	4	1	A
	0.02333	4	2	A
Cobre	0.11667	4	1	A
	0.15500	4	2	A
Plomo	0.18667	4	1	A
	0.19250	4	2	A

Letras iguales no tienen significancia y letras diferentes tienen significancia.

En el cuadro 5. En el tratamiento 1. Agua residual tratada, el metal con la mayor media es el Plomo con 0.186 mg/kg, en el Cobre con una media de 0.116 mg/kg y el Cadmio con la menor media de 0.023 mg/kg. En el caso del tratamiento 2. Agua subterránea, el Plomo tuvo una media mayor de 0.192 mg/kg, por otra parte el Cobre tuvo una media de 0.155 mg/kg y el Cadmio con una menor media de 0.023 mg/kg. En la significancia en Cadmio, Cobre y Plomo no tienen significancia en los tratamientos analizados en hoja.

4.4. Concentraciones de metales pesados en el tallo de alfalfa.

En el cuadro 6. Se presenta los resultados de las concentraciones de metales pesados en el tallo, Tratamiento y Repetición.

Cuadro 6. Concentraciones (mg/kg) de metales pesados Cd, Cu y Pb en el tallo.

Tratamiento	Repetición	Concentración en (mg/kg)		
		Cadmio	Cobre	Plomo
1	1	0.02	0.24	0.17
1	2	0.02	0.10	0.23
1	3	0.04	0.26	0.32
1	4	0.01	0.09	0.09
2	1	0.02	0.23	0.15
2	2	0.04	0.20	0.14
2	3	0.06	0.25	0.21
2	4	0.01	ND	0.21

Tratamiento 1. Agua Residual Tratada y Tratamiento 2. Agua Subterránea.

ND= No Detectable.

4.5. Análisis de Varianza de metales pesados en el tallo de alfalfa.

Cuadro 7. Se muestra el Análisis de Varianza de Cadmio, Cobre y Plomo en el tallo de la alfalfa. Coeficiente de Variación, Valor de F y Significancia Estadística.

Cuadro 7. Análisis de Varianza de Cd, Cu y Pb en el tallo.

Metales Pesados	R²	Coefficiente de Variación (C.V)	F calculada	F de tablas	
				0.05	0.01
				5.98	13.74
Cadmio	0.093023	65.55548	0.62	NS	
Cobre	0.186823	32.69074	1.38	NS	
Plomo	0.036982	38.76558	0.23	NS	

NS= Diferencia no significativa

En el cuadro 7. En el análisis de varianza, el Cadmio tiene un valor de F calculada de 0.62 y el Cobre con 1.38, Por lo tanto no existe diferencia significativa entre los tratamientos. El Plomo con un valor de F calculada de 0.23, lo cual no existe diferencia significancia estadística entre los tratamientos. En el coeficiente de variación se observa que el Cadmio tiene una mayor dispersión de 65.55548 %, mientras que el Plomo tiene una dispersión de 38.76558 % y por último el Cobre con una dispersión menor de 32.69074 %. Lo cual nos indica que hay variabilidad en el coeficiente de variación entre los metales pesados.

4.6. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en el tallo de la alfalfa.

En el cuadro 8. Se muestra la comparación de medias en cada metal pesado con los resultados obtenidos por la prueba de rango múltiple de Tukey en los análisis en el tallo. Número de Repeticiones. Tratamiento y Significancia.

Cuadro 8. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en el tallo.

Metales Pesados	Medias	Número de Repeticiones	Tratamiento	Significancia
Cadmio	0.02250	4	1	A
	0.03250	4	2	A
Cobre	0.17250	4	1	A
	0.22667	4	2	A
Plomo	0.17750	4	1	A
	0.20250	4	2	A

Letras iguales no tienen significancia y letras diferentes tienen significancia.

En los metales pesados, en el tratamiento 1. Agua residual tratada y en el tratamiento 2. Agua subterránea. El Cadmio tuvo medias de 0.022 y 0.032 mg/kg. En el Cobre con medias de 0.172 y 0.226 mg/kg. Por último el Plomo con medias de 0.177 y 0.202 mg/kg. Por lo que se encontraron medias más altas en el tratamiento 2 (agua subterránea). En significancia, para el caso de Cadmio, Cobre y Plomo no se encuentran ninguna significancia en los tratamientos analizados en tallo.

4.7. Concentraciones de metales pesados Cd, Cu y Pb en la raíz de la alfalfa.

En el cuadro 9. Se observa los resultados de las concentraciones de los metales pesados en la raíz de la alfalfa, con el tipo de Tratamiento de Agua y Número de Repetición.

Cuadro 9. Concentraciones (mg/kg) de los metales pesados en la raíz.

Tratamiento	Repetición	Concentración (mg/kg)		
		Cadmio	Cobre	Plomo
1	1	0.04	0.08	0.05
1	2	0.02	0.06	0.03
1	3	0.03	0.14	0.08
1	4	0.04	0.08	0.17
2	1	0.02	0.08	ND
2	2	0.02	0.10	0.06
2	3	0.06	0.12	0.16
2	4	0.04	0.18	0.14

Tratamiento 1. Agua Residual Tratada y Tratamiento 2. Agua Subterránea.

ND= No Detectable.

4.8. Análisis de Varianza en Cadmio, Cobre y Plomo en la raíz.

El cuadro 10. Se muestra los resultados de Análisis de Varianza de Cadmio, Cobre y Plomo en la raíz.

Cuadro 10. Análisis de Varianza de Cd, Cu y Pb en la raíz de la alfalfa.

Metales Pesados	R²	Coefficiente de Variación (C.V)	F calculada	F de tablas	
				0.05	0.01
				5.98	13.74
Cadmio	0.009009	44.85408	0.05	NS	
Cobre	0.163636	37.29314	1.17	NS	
Plomo	0.141420	52.68776	0.99	NS	

NS = Diferencia no significativa

En el cuadro 10. Análisis de varianza en F calculada, el Cadmio tiene un valor de 0.05 y en Cobre con 1.17, por lo tanto no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos. Para el Plomo con un valor de F calculada de 0.99. Entonces no existe diferencia significativa entre los tratamientos. En el coeficiente de variación el Plomo obtuvo una mayor dispersión de 52.68776 %, por otro caso el en Cadmio con una dispersión de un valor de 44.85408 % y por último el Cobre con menor dispersión con un valor de 37.29314 %. Por lo que se encuentran valores muy dispersantes en el coeficiente de variación. Lo que nos indica que tienen variabilidad entre los metales pesados.

4.9. Comparación de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en la raíz.

En el cuadro 11. Se muestra la comparación de los valores de medias de los metales pesados por la prueba de rango múltiple de Tukey en la raíz, Número de Repeticiones, Tratamiento y Significancia.

Cuadro 11. Comparación de los valores de medias por la prueba de rango múltiple de Tukey en la raíz.

Metales Pesados	Medias	Número de Repeticiones	Tratamiento	Significancia
Cadmio	0.03250	4	1	A
	0.03500	4	2	A
Cobre	0.09000	4	1	A
	0.12000	4	2	A
Plomo	0.08250	4	1	A
	0.12000	4	2	A

Letras iguales no tienen significancia y letras diferentes tienen significancia

En este cuadro 11. En los metales pesados en el tratamiento 1. Agua residual tratada, en Cadmio tuvo una media de 0.032 mg/kg. En el Cobre una media de 0.090 mg/kg y en el Plomo con una media de 0.082 mg/kg. Por lo que el cobre presentó la mayor media. Para el caso del tratamiento 2. Agua subterránea, presento en el Cadmio una media de 0.035 mg/kg. Para el Cobre y Plomo presentaron medias iguales de 0.120 mg/kg. En el tratamiento 2 (agua subterránea). Presento medias más altas que en el tratamiento 1 (agua residual tratada). En la significancia se muestra que los metales pesados no tienen significancia en los tratamientos en raíz.

Cuadro 12. Concentraciones de medias de la alfalfa en (Hoja y Tallo). Y su comparación con la NORMA CODEX STAN 193 – 1995.

Metales pesados	Tratamiento	Medias			Límite máximo permisible de la NORMA CODEX STAN 193 – 1995
		Hoja	Tallo	Total	
Cadmio	1	0.02333	0.02250	0.04583	0.100 mg/kg
	2	0.02333	0.03250	0.05583	
Cobre	1	0.11667	0.17250	0.28917	ninguna especificación
	2	0.15500	0.22667	0.38167	
Plomo	1	0.18667	0.17750	0.36417	0.200 mg/kg
	2	0.19250	0.20250	0.39500	

En el cuadro 12, se presentan las medias de las concentraciones de los metales pesados, en hoja y tallo. Mostrando el respectivo tipo de tratamiento 1 (Agua Residual Tratada) y 2 (Agua Subterránea). La NORMA CODEX STAN 193 – 1995. En esta norma se pueden ver los límites que están establecidos en general del Codex para los contaminantes y las toxinas presentes los alimentos y piensos. Nos dice que para el cadmio es de 0.100 mg/kg, mientras que para el plomo es de 0.200 mg/kg y el cobre no se menciona ninguna especificación en esta NORMA CODEX STAN. En el Cadmio en hoja y tallo, se presentan concentraciones menores de lo que indica el Codex el límite para el Cadmio. Para el caso del plomo en hoja y tallo, se muestran concentraciones por encima del límite lo que indica la Norma Codex. Por lo que se muestra que en el tratamiento 1 (agua residual tratada) y tratamiento 2 (agua subterránea) presentan concentraciones

por arriba del límite máximo permisible de lo permitido para el plomo que es de 0.200 mg/kg.

4.10. Análisis Físico – Químico del Agua Residual Tratada y Subterránea.

En el cuadro 13. Se muestra los resultados de análisis físico – químico del agua, parámetros, concentraciones y unidades.

Cuadro 13. Resultados de Análisis Físico - Químico del Agua.

Agua Residual Tratada			Agua Subterránea		
Parámetros	Concentraciones	Unidades	Parámetros	Concentraciones	Unidades
C.E	1.069	Ms/cm	C.E	1.357	Ms/cm
pH	7.95		pH	7.67	
Calcio	44.0	Meq/litro	Calcio	14.4	Meq/litro
Magnesio	5.6	Meq/litro	Magnesio	2.0	Meq/litro
Cloro	13.4	Meq/litro	Cloro	14.3	Meq/litro
CO ₃	14.3	Meq/litro	CO ₃	0.4	Meq/litro
HCO ₃	1.7	Meq/litro	HCO ₃	2.5	Meq/litro
Cadmio	0.04	Mg/kg	Cadmio	0.04	Mg/kg
Cobre	0.06	Mg/kg	Cobre	0.06	Mg/kg
Plomo	0.29	Mg/kg	Plomo	0.42	Mg/kg

El cuadro 13. El agua residual tratada presentó una conductividad eléctrica de 1.069 Ms/cm y el agua subterránea fue de 1.357 Ms/cm. En comparación en

los dos tipos de agua residual tratada y subterránea, presentaron una concentración de 7.95 y 7.67 en pH. En el parámetro de Calcio tuvo una concentración de 44.0 Meq/litro y en el Magnesio de 5.6 Meq/litro en el agua residual tratada. En el agua subterránea, los parámetros de Calcio es de 14.4 Meq/litro y Magnesio de 2 Meq/litro, en estos resultados tienen diferencias en concentraciones en el agua residual tratada y subterránea. Para el carbonato con contracciones de 14.3 y 0.4 Meq/litro. En el bicarbonato con concentraciones de 1.7 y 2.5 Meq/litro en agua residual tratada y subterránea

En los resultados de los metales pesados en el agua residual tratada tuvo concentraciones en el Cadmio de 0.04 mg/kg, en Cobre de 0.06 mg/kg y en el Plomo con 0.29 mg/kg. En comparación con el agua subterránea el Cadmio presento una concentración de 0.04 mg/kg, el Cobre con 0.06 mg/kg y en el Plomo con 0.42 mg/kg. En los resultados de los análisis de los metales pesados para los dos tipos de tratamiento de agua, el Cadmio y Cobre obtuvieron la misma concentración y mientras que el Plomo es el único metal que tuvo diferencia en agua residual tratada y subterránea. En las normas oficiales mexicanas e internacionales, en el Cadmio y el Cobre presentan concentraciones por debajo del límite máximo permisibles lo que indica las normas, mientras que en el plomo se encuentra por arriba del límite máximo de las normas.

V. DISCUSION

Con base a los resultados obtenidos en esta investigación, se encontró que en el Cadmio (Cd) concentraciones en hoja, tallo y raíz que no existió diferencias significativa en los tratamientos. En las medias se encontraron con valores muy parecidos en los dos tratamientos. Se coinciden con lo que mencionan Reyes *et al.*, (2016) que el cadmio se le reconoce como uno de los metales pesados con mayor tendencia a acumularse en las plantas, por lo que en la alfalfa presento concentraciones de este metal. De acuerdo a la Norma CODEX STAN 193-1995 y la Norma Mexicana NOM-247-SSA1-2008 establecen que el límite máximo permisible para el Cadmio es de 0.100 mg/kg. Mientras que la cantidad de Cadmio se encuentra entre 0.022 y 0.035 mg/kg. Por lo que no representan ningún riesgo para los animales, en planta y en la salud humana. Ya que se encuentran valores por debajo entre los límites máximos permisibles de estas Normas.

El Cobre (Cu) en los resultados la mayor concentración se presentó en el tallo, con medias de 0.172 y 0.226 mg/kg, en hoja de 0.116 y 0.155 mg/kg y valores más bajos en raíz de 0.090 y 0.120 mg/kg en el agua residual tratada y subterránea. Según las Normas NOM-127-SSA1-1994, NOM-001-SEMARNAT-1996. Establecen que el límite máximo permisible es de 2.000 y 4.000 mg/kg. Estos valores en Cobre se encuentran por debajo del límite máximo de estas normas y coinciden con los reportados por León *et al.*, (2012) menciona que el cobre es un elemento esencial en la nutrición mineral de las plantas, requiriendo en concentraciones trazas para completar su ciclo de vida. Además coinciden con

los reportes que hace Cartaya *et al.*, (2017) señala que el Cobre es un metal esencial para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas. Es un micronutriente que participa en numerosos procesos fisiológicos y un cofactor esencial para muchas metaloproteínas. Mientras que por otra parte Martínez, (2003) señala que el cobre es absorbido por la planta como Cu^{+2} o como complejo orgánico por vía radicular o foliar, aunque el cobre se puede detectar en los distintos órganos del vegetal, es en las hojas verdes donde se halla en mayor concentración. Se concuerda con lo que hace referencia Martínez, con lo que se demostró en los resultados que en la alfalfa presento concentraciones de Cobre en la hoja.

Las comparaciones correspondientes en el Plomo con los resultados obtenidos en el tratamiento 2 (agua subterránea) se presentó la mayor concentración de este metal fue en el tallo con un valor de media de 0.202 mg/kg y en la hoja con un valor de 0.192 mg/kg. En la raíz la menor concentración de 0.120 mg/kg. Según la Norma CODEX STAN 193-1995 menciona que la concentración máxima para el Plomo es de 0.200 mg/kg, por lo que el tratamiento 2, presento en el tallo una concentración alta a lo que establece el límite máximo de esta Norma. En los resultados del tratamiento 1 (agua residual tratada), con medias entre 0.186 y 0.177 mg/kg, en la hoja se encontró la mayor concentración de este metal y Mientras que en la raíz se encontró la menor concentración con 0.090 mg/kg. La Norma Mexicana NOM-247-SSA1-2008 y NOM-001-SEMARNAT-1996 establecen que el límite máximo para el Plomo es de 0.500 mg/kg, por lo que

estos valores están por debajo y son permisibles de acuerdo a estas normas. Para el tratamiento 1 (agua residual tratada) y tratamiento 2 (agua subterránea).

Los metales pesados son en general tóxicos para los seres humanos y seres vivos entre los más susceptibles de presentarse en el agua. El Plomo presento una concentración de 0.29 mg/kg y el Cadmio de 0.04 mg/kg y Cobre de 0.06 mg/kg en agua residual tratada y el en agua subterránea el Plomo presento una concentración de 0.42 mg/kg, Cadmio de 0.04 mg/kg y para el Cobre de 0.06 mg/kg. Según la NORMA-127-SSA1-1994 establece la salud ambiental, agua para uso y consumo humano – límites permisibles de calidad y tratamiento a que se debe someterse el agua para su potabilización para el Plomo es de 0.025 mg/l, Cadmio de 0.005 mg/l y Cobre de 2.00 mg/l y la NOM-001-CONAGUA-2011 señala que el límite máximo permisible para el Plomo es de 0.05 ppm, para el Cadmio de 0.005 ppm. Por lo que el Plomo y el cadmio muestran concentraciones mayores en los tratamientos en agua, por lo que está por arriba del límite máximo permisible de estas Normas. El Cobre está por debajo del límite máximo lo que indican estas dos Normas.

De acuerdo con los resultados de esta investigación concuerdan con Alvarado *et al.*, (2011) dice que la toxicidad de Pb en las plantas son la inhibición del crecimiento de la raíz, retraso en el crecimiento de la planta y clorosis, cuando el Pb entra en las células de la planta, produce varios efectos adversos en los procesos fisiológicos. Por otra parte coinciden con Rubio *et al.*, (2004) basándose en estas comparaciones, mencionan que el Plomo tiene la capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo

largo de la cadena alimentaria. Por lo que los resultados en esta investigación concuerdan con lo mencionado anteriormente, ya que el Plomo es un metal peligroso en humanos, plantas, en el agua y en los animales. Además se concuerda con lo reportado de Belaire *et al.*, (2017) menciona que el Plomo es un elemento químico tóxico, denso y acumulativo, afecta a organismos vivos como seres humanos pudiendo entrar en las cadenas alimenticias.

Los resultados obtenidos coinciden con Escobar *at al.*, (2016) quienes menciona que las aguas residuales tratadas para riego agrícola no solo se analiza la calidad del agua residual sino también las características y necesidades del cultivo y suelo. La calidad del agua para riego se debe hacer la caracterización físico-química. Con los resultados obtenidos de esta investigación coinciden con lo que menciona escobar con el agua.

Los metales pesados que suelen aparecer como elementos trazas en las aguas subterráneas, pero que pueden ser indicios de contaminación cuando sus concentraciones son anormalmente altas. Entre los mismos se pueden citar Al, Cu, Zn, Pb, Se, As, Cr, Hg Fe, y Mn. Por lo que en los análisis del agua se encontró en el Plomo tuvo una concentración mayor en el agua subterránea, mientras que el cadmio y cobre tuvieron una concentración menor. Se concluye que el agua subterránea existen concentraciones de metales pesados, por lo cual al ser utilizada para riego en los cultivos, ya que los metales pesados se almacenan en las hojas y tallos de las plantas, eso puede ser contaminante para los animales ya que consumen estas partes de la planta.

VI. CONCLUSIONES

Para el Cadmio es el metal que se encontró en menores concentraciones, tanto en hoja y tallo en el tratamiento 1 (agua residual tratada). Con lo que se determinó la concentración de este metal y se cumplió en este trabajo de investigación, con los resultados obtenidos. Ya que se comprobó que las concentraciones están inferiores a los límites máximos que permiten las Normas Mexicanas e Internacionales. Se concluye que el Cadmio no representa un riesgo en el cultivo de la alfalfa irrigada con agua residual tratada y subterránea.

Para el caso del Cobre es un metal que presentó mayores concentraciones en el tratamiento 2 (agua subterránea). En las Normas Mexicanas se encuentra por debajo del límite máximo permisible que son de 2.000 a 4.000 mg/kg. Se concluye que el Cobre no presenta ningún daño en la alfalfa. Por lo que se demostró las concentraciones en la alfalfa en este trabajo.

El Plomo es el metal que tuvo las mayores concentraciones en los dos tratamientos, principalmente adhiriéndose en el tallo y hoja. Sin embargo, los valores permisibles de las Normas Oficiales Mexicanas e Internacionales que están entre 0.200 y 0.500 mg/kg, pero al sumar las concentraciones de las hojas y tallos de la planta completa superan los valores permisibles de la norma Codex. Los objetivos se cumplieron ya que encontramos estos elementos en los resultados que se llevaron a cabo. Concluyendo que el Plomo representa un riesgo para la alfalfa, en el agua, animales y en el ser humano.

Se concluye que el Plomo y Cobre presentaron mayores concentraciones en el tallo y hoja en el tratamiento 1 y 2, mientras que en la raíz la menores concentraciones. En el Cadmio se registró menores concentraciones.

VII. LITERATURA CITADA

- Alvarado, C. J., Dasgupta, S. N., Ambriz, E., Sánchez, Y. J. M y Villegas, J. 2011. Hongos micorrizicos arbusculares y la fitorremediación de plomo. Revista internacional de contaminación ambiental. Vol. 27 (4): 357 – 364.
- Azcona, C. M. I., Ramírez, A. R y Vicente, F. G. 2015. Efectos tóxicos del plomo. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas. Vol. 20 (1): 72 - 77.
- Azpilcueta, P. M. E., Pedroza, S. A., Sánchez, C. I., Salcedo, J. M.R y Trejo, C. R. 2017. Calidad química del agua en un área agrícola de maíz forrajero (*Zea mays L.*) en la Comarca Lagunera, México. Rev. Int. Contam. Ambie. Vol. 33 (1): 75 – 83.
- Balderas, P. M. A., Cajuste, J. L., Lugo, F. J. A y Vázquez, A. A. 2003. Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho. Terra Latinoamericana, vol. 21 (4): pp. 449 - 459.
- Bazán, Víctor. R., Yamada, G. A., Coronado, Luis. S y Fuentes, Nadia. N. 2017. Comportamiento Productivo de la Alfalfa (*Medicago sativa*) de la Variedad Caravelí Sometida al Pastoreo en el Valle de Hualal. 28(3): 743 - 749.
- Belaire, A. C. C y Jacobs, B. F. 2017. Tratamiento de aguas contaminadas con plomo (II) mediante una técnica en continuo de bioadsorción en columna de corcho. Universidad Autónoma de Barcelona. Pp. 1 – 88.
- Cabrera, M. C. D., Velásquez, A. S y Vrhovac, B. J. 2014. Enfermedades profesionales en la industria del cobre: extracción, manufactura y reciclaje. Medicina y Seguridad del Trabajo. Vol. 60 (237): 756 - 778.
- Callejas, R. E. A. 2007. Efecto de la variedad y estación de corte sobre el rendimiento y calidad nutritiva de forraje de alfalfa, en el valle del Mezquital, Hidalgo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Pp. 1 - 49.
- Cartaya, O., Guridi, F., Cabrera, A., Moreno, A. M y Hernández, Y. 2017. Efecto de la aplicación foliar de oligogalacturonidos a plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum L.*) en la fitoextracción de cobre de suelo contaminado. Cultrop. La Habana, vol. 38 (3). Pp. 142 – 147.
- Castañeda, Villanueva. A., & Flores, López, H. 2013. Tratamiento de aguas residuales domesticas mediante plantas micrófitas típicas en Los de Jalisco, México. Revista de Tecnología y Sociedad, (5). Universidad de Guadalajara, México.

- Castellón, G. J. J., Bernal, M. R y Hernández, R. M. L. 2015. Calidad de agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. Ingeniería. Vol. 19 (1): 39 - 50.
- Castro, N. E., Méndez de la, C. E., De la Garza, I y Colunga, U. E. 2010. Determinación de Plomo en Pozo de Agua Contaminado para su Posible Remediación. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Libro Científico Anual. Agricultura, Ganadería y Ciencia Forestal.
- Castro, N. E., Notario, O. J. A y Cepeda, D. A. R. 2009. Calidad del agua para Uso y Consumo Humano en el Sureste del Estado de Coahuila, México. Universidad Autónoma Agraria Antoni Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Libro Científico Anual. Agricultura, Ganadería y Ciencia Forestal.
- CENTA. (Centro de las Nuevas Tecnologías del Agua de Sevilla). 2008. Monográfico 3: Manual de Depuración de aguas Residuales Urbanas. Edición. Alianza por el Agua. Sevilla, España. Pp. 1 – 260.
- Cisneros, E. O. X y Saucedo, R. H. 2016. Reúso de aguas residuales en la agricultura. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Coordinación de Riego y Drenaje. Pp. 1 – 149.
- CODEX STAN 193 -1995. Norma general del CODEX para los contaminantes y las toxinas presentes en los alimentos y piensos.
- Coyago, E., Bonilla, S. 2016. Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. La granja. Revista de ciencias de la vida, vol. 23 (1). Pp. 35 – 46.
- Escalante, C. S., Rodríguez, D. A., Vásquez, M. S., Murrieta, A. V., Rodríguez, T., Guerrero, Z. L. A., Pérez, N, O., Franco, H. M. O y Ponce, M. A. 2012. Evaluación del efecto de cadmio sobre la germinación y elongación radical de semillas bacterizadas de *Axonopus affinis* y *Festuca rubra*. Polibotanica. No.34. pp. 205 - 221.
- Escobar, M. C. Tovar, L. F y Romero, C. J. 2016. Diseño de un sistema experto para reutilización de aguas residuales tratadas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 26 (2). Pp. 21 – 34.
- García Rico, L., Robles, Burgueño. M. R y Valenzuela Soto. E. M. 1999. Las metalotioneinas y su relación con la toxicidad del cadmio en los mamíferos. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 15 (2). Pp. 113 - 120.

- García, C. D. C., Lima, C. L. C., Ruiz, G. L. C., Santana, R. J. C y Calderón, P. P. A. 2016. Agroecosistemas con probables riesgos a la salud por contaminación con metales pesados. *Revista Cubana de Química*. Vol. 28 (1): 378 - 393.
- Isea, D., Bello, N., Vargas, L., Duran, J., Yabroudi, S y Delgado, J. 2004. Acumulación y lixiviación de metales macronutrientes en suelos irrigados con aguas residuales tratadas. *Interciencia*, vol. 29 (12). Pp. 660 – 666.
- León, M. J. M y Sepúlveda, J. G. 2012. El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. *Interciencia*, vol. 37 (11): 805 - 811.
- Londoño, F. L. F., Londoño, M. P. T y Muñoz, G. F. G. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Revista. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 14(2). Pp. 145 -153.
- Luna, G. M. J., López, C. C., Hernández, G. A., Martínez, H. P. A y Ortega, C. M. E. 2018. Evaluación del rendimiento de materia seca y sus componentes en germoplasma de alfalfa (*Medicago sativa L.*). *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*. Vol. 9 (3): 487 - 505.
- Martínez, C. F. J. 2003. Estudio agronómico y ambiental del riego con aguas residuales depuradas en el cultivo del arroz. Aplicación a una línea de riego en el parque natural de la Albufera (Valencia). Editorial. Universidad Politécnica de Valencia. Pp. 1 – 355.
- Martínez, M. R. 2015. *Medicago sativa*: yield improvement and new approaches of its nutritive and functional value. Tesis. Doctorado. Universidad de Granada. Granada, España. p 229.
- Martínez, R. N., Sant, Y. R. A y Riera, M. V. N. 2001. Efectos de la exposición a bajas concentraciones de plomo en ratones sobre diferentes parámetros bioquímicos. *Revista de Toxicología*, vol. 18 (2): 82 - 86.
- Mendoza, P. S. I., Hernández, G. A., Pérez, P. J., Quero, C. A. R., Escalante, E. A. S., Zaragoza, R. J. L y Ramírez, R. O. 2010. Respuesta productiva de la alfalfa a diferentes frecuencias de corte. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, vol. 1 (3): 287 - 296.
- Monachese, Marc., Burton, Jeremy. P y Reid, Gregor. 2012. Bioremediation and Tolerance of Humans to Heavy Metals through Microbial Processes. 78(18): 6397 – 6404.
- Montemayor, T. J. A., Woo, R. J. L., Munguía, L. J., Román, L. A., Segura, C. M. A., Yescas, C. P y Frías, R. E. 2012. Producción de alfalfa (*Medicago sativa L.*)

cultivada con riego sub-superficial y diferentes niveles de fosforo. Revista mexicana de ciencias agrícolas, vol. 3 (7): 1321 - 1332.

Nava, R. C y Méndez, A. M. 2011. Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). Arch Neurocién (Mex), vol. 16 (3): 140 - 147.

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

NOM-003-SEMARNAT-1997. Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

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.

NOM-127-SSA1-1994. Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que se debe someterse el agua para su potabilización.

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

NOM-247-SSA1-2008. Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales. Métodos de prueba.

Noyola, A., Morgan, S. J. M y Güereca, L. P. 2013. Selección de Tecnologías para el Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Primera Edición. Universidad Nacional Autónoma de México. México. Pp. 1 – 123.

- Orellana, J. A. 2005. Características del agua potable. Ingeniería Sanitaria- UTN – FRRO. Pp. 1 - 7.
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental. 2014. Fiscalización ambiental en aguas residuales. Primera edición. B.V. Odiaga Franco, Ed. Lima, Perú.
- Pérez, G. P. E y Azcona, C. M. I. 2012. Los efectos del cadmio en la salud. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, vol. 17 (3): 199 - 205.
- Pérez, H. V. S., García, S. A. M., Castro, O. E. P y Duarte, Z. V. M. 2015. Contenido de plomo total e intercambiable en un suelo agrícola regado con aguas residuales y su acumulación en alfalfa.
- Poma, P. A. 2008. Intoxicación por plomo en humanos. Anales de la Facultad de Medicina. Vol. 69 (2): 120 - 126.
- Prieto-Méndez. J., González Ramírez. C. A., Gutiérrez Román. A. D y García Prieto. F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. Tropical and Subtropical Agroecosystems, vol. 10 (1): Pp. 29 - 44.
- Puentes, G. J. M. 2014. Determinación de Cadmio en Alfalfa *Medicago sativa*, irrigada con aguas residuales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. 44 p.
- Quiroga, G. H. M., & Márquez, O. J. J. 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.
- Quiroz, R. G. F y Bouda, J. 2001. Fisiopatología de las deficiencias de cobre en rumiantes y su diagnóstico. Veterinaria México, vol. 32, núm. 4. Pp. 289 – 296.
- Ramírez, A. 2002. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Anales de la Facultad de Medicina, vol. 63 (1): 51 - 64.
- Raya, T. F. J. 2014. Determinación de plomo en alfalfa *Medicago sativa*, irrigada con aguas residuales. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Torreón, Coahuila, México. P. 14.
- Rebuffo, M., Risso, F. D y Restaino, E. 2000. Tecnología en alfalfa. INIA. Pp.165.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, E. O., Díaz, M y González, E. E. 2016. Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y

- seguridad alimentaria. Ingeniería, Investigación y Desarrollo, vol. 16 (2): 66 - 77.
- Rodríguez, H. D. 2017. Intoxicación ocupacional por metales pesados. Facultad de Ingeniería Química y Agronomía, Universidad de Oriente, Santiago de Cuba, Cuba. Medisan. Vol. 21 (12): 33 - 72.
- Rodríguez, S. M., Martínez, C. N., Romero, P. M.C., Rio, L.A y Sandalio, L. M. 2008. Toxicidad del Cadmio en Plantas. Ecosistemas. Vol.17 (3): 139 - 146.
- Rojas, G. A. R., Hernández, G. A., Joaquín, C. S., Maldonado, P. M. A., Mendoza, P. S. I., Álvarez, V. P y Joaquín, T. B. M. 2016. Comportamiento productivo de cinco variedades de alfalfa. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 7 (8): Pp. 1855 - 1866.
- Rojas, G. A. R., Torres, S. N., Joaquín, C. S., Hernández, G. A., Maldonado, P. M. A y Sánchez, S. P. 2017. Componentes del rendimiento en variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Agrociencia, vol. 51 (7). Pp. 697 - 708.
- Romero, L. K. P. 2009. Contaminación por metales pesados. Revista Científica Ciencia Médica, vol. 12 (1): 45 - 46.
- Rubio, C. A. J., Gutiérrez, R. E. M. I., Revert, C., Lozano, G y Hardisson, A. 2004. El plomo como contaminante alimentario. Revista de Toxicología, vol. 21(2-3): 72 - 80.
- 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.
- Salinas, S. 2000. La producción de alfalfa en México: pasado, presente y futuro. Memorias del congreso mundial de la leche. Querétaro, Qro. Pp: 53 - 54.
- Sánchez, N., Rivero, C y Martínez, Y. 2011. Cadmio disponible en dos suelos de Venezuela: efecto del fosforo. Revista INGENIERIA UC, vol. 18 (2): 7 - 14.
- Santamaría, C. J., Núñez, G. H., Medina, G. G y Ruiz, C. J. 2000. Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México.
- Saragos, P. A., Vásquez, P. J. A., Alarcón, Z. B., Galicia, J. R.M., Venegas, O. M. R y Arellano, D. N. 2011. Componentes de rendimiento y calidad nutritiva de ocho variedades de alfalfa (*Medicago sativa* L.) en valles centrales de México. Pp. 1 – 20.

- Sebath, M. E y Robles, O. M. L. 2012. Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Nefrología (Madrid)*, vol. 32 (3): 279 - 286.
- Soraya, P., Sosa, M., Toutcha, L., Quintana, C y Campos, A. 2006. Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, vol. 5 (1-2).Pp. 149 - 155.
- Tejada, T. C., Villabona, O. A y Garces, J. L. 2015. Adsorption of heavy metals in waste wáter using biological meterials. *Tecno Lógicas*, vol. 18 (34): 109 - 123.
- Valdivia, I. M. M. 2005. Intoxicación por plomo. *Rev. Soc. Per. Med. Inter.* 18(1). Pp. 22 - 27.
- Vázquez, V. C., García, H. J. L., Salazar, S. E., Murillo, A. B., Orona, C. I., Zúñiga, T. R., Rueda, P. E. O y Preciado, R. P. 2010. Rendimiento y Valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa* L.) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*, Vol. 1 (4): 363 - 372.
- Velasco, S. Y. M., Gómez, M. W y Calderón, B, J. M. 2006. Toxicidad aguda del sulfato de cobre (CuSo4) en alevinos de cachama blanca (*Piaractus brachypomus*) bajo condiciones de aguas blandas. *Orinoquia*, vol. 10 (1): 64 - 70.