

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS.



Concentración de metales pesados en alfalfa (*Medicago sativa L.*) irrigada con
agua residual y de pozo.

Por:

RAÚL CADENAS GALICIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Torreón, Coahuila, México
Noviembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE SUELOS.

Concentración de metales pesados en alfalfa (*Medicago sativa L.*) irrigada con agua residual y de pozo.

Por:

RAÚL CADENAS GALICIA

TESIS

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

INGENIERO AGRÓNOMO


Dr. MARIO GARCÍA CARRILLO.
Presidente

Aprobada por:


Dr. ALFREDO OGAZ.
Vocal


M.C. RICARDO COVARRUBIAS CASTRO
Vocal


M.C. GERARDO ZAPATA SIFUENTES
Vocal Suplente


M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Noviembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DEPARTAMENTO DE SUELOS

Concentración de metales pesados en alfalfa (*Medicago sativa L.*) irrigada con agua residual y de pozo.

Por:

RAÚL CADENAS GALICIA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. MARIO GARCÍA CARRILLO.
Asesor Principal



Dr. ALFREDO OGAZ.
Coasesor



M.C. RICARDO COVARRUBIAS CASTRO
Coasesor



M.E. JAVIER LÓPEZ HERNÁNDEZ
Coordinador interino de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Noviembre 2018

AGRADECIMIENTOS

Antes que nada, quiero agradecer a mis padres y hermanos por todo el apoyo que me han brindado en toda esta etapa, que sin el aliento de ellos, no se hubiese consumado este logro tan importante en mi vida. De igual manera a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Que sin duda es una de las mejores universidades del país, tanto como los académicos que imparten y comparten sus conocimientos con cada uno de nosotros.

Agradecer al departamento de suelos, de la UAAAN, que brindaron sus instalaciones para poder realizar el análisis de resultados, contando con los técnicos académicos Q.I. Juan Carlos Mejía Cruz, T.A. Silverio Álvarez Valadez, y QFB. Norma Lydia Rangel Carrillo, por su inalcanzable labor que realizan día a día con los estudiantes de la institución.

Un agradecimiento especial para él Dr. Mario García Carrillo, asesor de mi tesis y que durante todo este proceso ha sido un pilar inquebrantable, siempre estando para todo lo que se necesite, más que un profesor, un gran amigo.

Al Dr. Salvador Godoy, M.C Ricardo Covarrubias, Dr. Alfredo Ogaz, Ing. Fabián García, Ing. Iriberto Quirarte, Dr. Alejandro Moreno, y M.C Gerardo Zapata que sin duda han sido parte fundamental en mi formación y algunos de ellos parte del proceso de mi tesis, infinitamente gracias.

En general a todos mis profesores y amigos que me transmitieron conocimientos durante la estadía universitaria, GRACIAS.

DEDICATORIA

A mis padres, Petra Galicia, y Rene Cadenas que desde el inicio de este proyecto siempre me brindaron su apoyo, en ningún momento me han dejado solo, siempre dándome sus entrañables consejos. Mis hermanos, Lizbeth Cadenas y Carlos Cadenas, que siempre de alguna u otra manera siempre me ha dado sus mejores deseos. Todo este esfuerzo que he realizado es por ustedes, que siempre se han sentido orgullosos por mí, así como yo de ustedes, pese a todas las circunstancias que hemos pasado, siempre hemos salido avante, este triunfo no es solo mío, si no de nosotros como una gran familia.

A todos los profesores que han formado parte en mi formación académica, creo que no acabaría de nombrarlos a todos, han sido sin duda una parte esencial, gracias por tomarse el tiempo en mi persona, así como en los trabajos académicos, siempre estando al borde el cañón por cada uno de nosotros, muchas gracias.

Para todos mis amigos y compañeros de generación que sin duda hemos compartidos los mismos gustos por la agricultura y el campo, muchas gracias por estar cuando se les necesito.

RESUMEN

La presente investigación se llevó a cabo en Torreón, Coahuila. Siendo Torreón uno de los principales estados productores de alfalfa a nivel nacional, sembrando anualmente más de 22, 000 hectáreas, destinando el 90 % de la producción a ser forraje para el ganado de carne y leche de la región. El objetivo fue determinar las concentraciones de metales pesados contenidos en la alfalfa (*Medicago sativa L.*), los metales evaluados fueron el Cadmio, Cobre, y Plomo. Se evaluó la cantidad de cada metal contenida en tallo, raíz, y hoja, teniendo como referencia 2 tratamientos (tratamiento 1: aguas negras, y tratamiento 2: agua de pozo) en cada uno de ellos se llevaron a cabo 4 repeticiones, en dicha investigación se utilizó un diseño estadístico completamente al azar.

Con base a los resultados obtenidos, el Cobre fue el metal que arrojó los valores más altos, tanto en el tratamiento 1, como en el tratamiento 2, teniendo valores de 0.226, y 0.177 mg/kg, sin embargo estos valores están dentro de los límites permisibles por las Normas Mexicanas, que son de 0.500 mg/kg. Las concentraciones del Plomo registradas en la investigación son alarmantes, esto debido a los daños que estos ocasionan a la salud, el valor más alto fue de 0.387 mg/kg concentrándose principalmente en la hoja del tratamiento 1, estando al borde de los límites máximos permisibles por las Normas Mexicanas, mientras que los valores más bajos se registraron en la raíz, con 0.120 mg/kg en el tratamiento 2 y 0.182 mg/kg en el tratamiento 1. Mientras que para el Cadmio, que fue uno de los metales que menos presencia se encontró en el estudio, las cantidades oscilaron desde la más baja que fue de 0.020 mg/kg, hasta la más alta que fue de 0.050 mg/kg, estas cantidades definitivamente no causa ninguna alteración a la estructura de la planta, ni en la salud humana.

Palabras claves: Daño, Alfalfa, Metales pesados, Concentraciones, Determinación.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| AGRADECIMIENTOS..... | i |
| DEDICATORIA..... | ii |
| RESUMEN..... | iii |
| ÍNDICE GENERAL..... | iv |
| ÍNDICE DE CUADROS..... | vii |
| ÍNDICE DE FIGURAS..... | viii |
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1 Objetivos..... | 2 |
| 1.2 Hipótesis..... | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. Origen de la alfalfa (<i>Medicago sativa L.</i>)..... | 3 |
| 2.1.1 Importancia económica..... | 3 |
| 2.1.2 Distribución geográfica de la alfalfa (<i>medicago sativa l.</i>) en México..... | 4 |
| 2.1.3 Características de la alfalfa (<i>Medicago sativa L.</i>)..... | 5 |
| 2.1.4 Morfología de la alfalfa (<i>Medicago sativa L.</i>)..... | 6 |
| 2.1.5 Época y modalidades de siembra..... | 7 |
| 2.2 Precedentes del estudio..... | 8 |
| 2.3.1 Aguas negras en la agricultura..... | 12 |
| 2.3.2 Aprovechamiento de aguas negras en la agricultura..... | 14 |
| 2.3.3 Inconvenientes de uso de aguas negras en la agricultura..... | 15 |
| 2.4 Metales pesados..... | 16 |
| 2.4.1 Cobre..... | 17 |

| | |
|--|-----------|
| 2.4.2 Toxicidad del Cobre en las plantas..... | 18 |
| 2.4.3 Toxicidad del cobre en los seres humanos | 19 |
| 2.4.4 Cadmio | 19 |
| 2.4.5 Toxicidad del Cadmio en las plantas..... | 20 |
| 2.4.6 Toxicidad del Cadmio en los seres humanos | 21 |
| 2.4.7 Plomo | 22 |
| 2.4.9 Toxicidad del Plomo en seres humanos | 23 |
| 2.6.1 NOM-001-SEMARNAT-1996 | 24 |
| 2.7 Normas oficiales mexicanas de la secretaria de salubridad y asistencia | 24 |
| 2.7.1 NOM-127-SSA1-1994 | 24 |
| 2.7.3 NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004..... | 24 |
| 2.7.6 NOM-247.SSA1-2008..... | 24 |
| 2.8 Normas internacionales..... | 25 |
| 2.8.1 CODEX STAN 1993-1995..... | 25 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 26 |
| 3.1 Localización geográfica..... | 26 |
| 3.2 Tipo y diseño de investigación..... | 27 |
| 3.3.1 Procedimiento..... | 27 |
| 3.3.2 Muestreo..... | 27 |
| 3.3.3 Lavado..... | 28 |
| 3.3.4 Secado | 28 |
| 3.3.5 Disección de la planta..... | 28 |
| 3.3.6 Elaboración de digestiones..... | 28 |
| 3.4 Determinación de metales pesados..... | 29 |

| | | |
|-------|---|----|
| 3.5 | Análisis estadístico | 29 |
| 3.6 | Materiales y reactivos | 30 |
| IV. | RESULTADOS | 31 |
| 4.1 | Concentración de metales pesados en raíz | 31 |
| 4.1.1 | Análisis de varianza para la concentración de metales pesados en raíz..... | 32 |
| 4.1.2 | Comparación de medias para la concentración de metales pesados en raíz. | 33 |
| 4.2 | Concentraciones de metales pesados en hoja..... | 34 |
| 4.2.1 | Análisis de varianza para las concentraciones de metales pesados en hoja. | 35 |
| 4.2.2 | Comparación de medias para las concentraciones de metales pesados en hoja..... | 36 |
| 4.3 | Concentraciones de metales pesados en el tallo..... | 37 |
| 4.3.1 | Análisis de varianza para las concentraciones de metales pesados en el tallo..... | 38 |
| 4.3.2 | Comparación de medias para las concentraciones de metales pesados en el tallo..... | 39 |
| V. | DISCUSIÓN | 40 |
| VI. | CONCLUSIONES | 42 |
| VII. | LITERATURA CITADA | 43 |

ÍNDICE DE CUADROS

| | |
|--|-----------|
| Cuadro 1. Ubicación, superficie sembrada, producción y valor de producción. | 4 |
| Cuadro 2. Características químicas y digestibilidad In vitro, en diferentes formas. | 6 |
| Cuadro 3. Localización de puntos de muestreo. | 27 |
| Cuadro 4. Concentración de metales pesados en raíz. | 31 |
| Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza en raíz. | 32 |
| Cuadro 6. Comparación de medias por el método de Tukey´s para los metales en raíz. | 33 |
| Cuadro 7. Concentración de metales pesados en hoja. | 34 |
| Cuadro 8. Resultados del análisis de varianza en hoja. | 35 |
| Cuadro 9. Comparación de medias por el método de Tukey´s para los metales en hoja. | 36 |
| Cuadro 10. Concentración de metales pesados en tallo. | 37 |
| Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza en tallo | 38 |
| Cuadro 12. Comparación de medias por el método de Tukey´s para los metales en tallo | 39 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo..... | 26 |
|---|----|

I. INTRODUCCIÓN

La alfalfa (*Medicago sativa L.*) es una leguminosa cultivada en zonas templadas, áridas y semiáridas de todo el mundo, principalmente como fuente de alimentación para rumiantes que se especializan en la producción de carne y leche.

El agua se ha convertido en un problema a nivel mundial por la escasez que se está presentado especialmente en zonas desérticas, esta problemática se plasma en la Comarca Lagunera. La región es una de las más importantes cuencas lecheras del país, incrementando la demanda de este recurso, se considera que la agricultura y ganadería ocupa hasta un 80 por ciento de este valioso recurso, la demanda creciente de alimentos, ha llevado a la agricultura a reciclar y en algunos casos a utilizar aguas negras para satisfacer las necesidades hídricas de los cultivos, que son consumidos indirectamente por los ciudadanos.

Las aguas negras son desechadas por los hogares y en algunas ocasiones se mezclan con desechos de industrias que van acompañadas de restos químicos. Estas aguas también llevan grandes cantidades de microorganismos y metales pesados, que son perjudiciales tanto para el suelo que funge como almacén, y que a la vez son absorbidos por los cultivos, que son consumidos por humanos de manera indirecta en productos derivados del mismo.

Es muy difícil remediar un suelo con problemas de salinidad o en presencia de metales pesados, esto provoca que sean asimilados por cultivos que el hombre establece, en la Comarca Lagunera por excelencia la alfalfa (*Medicago sativa L.*) es la más utilizada por su gran aporte de proteínas al ganado y así tener mejores producciones de leche.

Algunos de los metales pesados que se encuentran en las aguas negras son el Cobre (Cu), Plomo (Pb), y Cadmio (Cd), que son los elementos que se determinaron este proyecto de investigación.

1.1 Objetivos

Determinar la concentración de metales pesados (Plomo, Cadmio, y Cobre) absorbidos por el cultivo de la alfalfa (*Medicago sativa L.*), en tallo, hoja, y raíz en suelos irrigadas con aguas negras y de pozo.

Hacer una comparación objetiva con los resultados obtenidos en las cantidades de metales pesados analizados, con los límites permisibles por las Normas Mexicanas.

1.2 Hipótesis

La mayor concentración de metales pesado se presentara en la alfalfa (*Medicago sativa L.*) regadas con aguas negras y no se cumplirá con los estándares permitidos por las normas oficiales Mexicanas, almacenándose en mayor cantidad en tallos y hojas. Mientras que la alfalfa (*Medicago sativa L.*) regada con aguas de pozo, presentara pequeñas cantidades de metales pesados principalmente en hojas y tallos.

Los metales como el Cadmio, y Plomo, no van a cumplir con límites permisibles de las Normas Mexicanas, almacenándose, principalmente en la raíz y el tallo.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen de la alfalfa (*Medicago sativa L.*)

Se encontraron indicios en zonas de Turquestán (hoy Irán) y Siberia, en excavaciones arqueológicas los rastros indican que hace más de 3.300 años ya se utilizaba como alimento para animales domesticados de la época. La llegada al continente americano se produce con el embarca miento de Hernán Cortez en 1525. Originalmente era cultivada en el centro del país, bajo condiciones de temporal, cosechándose solamente cuando el suelo y las lluvias permitían su crecimiento, generalmente entre mayo y septiembre. (Santamaría, *et al.*, 2000)

2.1.1 Importancia económica

La alfalfa (*Medicago sativa L.*) en México ha marcado un importante repunte, en los últimos años, hasta entonces se ha sembrado un promedio de 220,000 hectáreas anuales bajo condiciones de riego. Donde los principales estados que la producen son: Guanajuato, Hidalgo, Baja California, México, Coahuila, Durango, San Luis Potosí, Puebla y Querétaro. En el año 2001 la cantidad de hectáreas sembradas fue de 246,000 ha con un dividendo en la producción en verde de 18.4 millones de toneladas y un valor de 5,747.6 millones de pesos. En el año 2001 tuvo una participación del 1.7% respecto al valor total de la producción agropecuaria nacional, su productividad global en ese mismo año fue de \$25,324/ha. (Cofupro, 2003)

En la cuestión del desarrollo de empleos, directos e indirectos, considerando un promedio de 22 jornales por hectárea entre los demandados por los campos de alfalfa establecidos, por establecer y en mantenimiento, se tiene un requerimiento, solo en la cadena de producción primaria, de un total 5'412,000 jornales anuales equivalentes a unos 20,800 empleos en todo el país. (Barberis, *et al.*, 2012).

Por su parte la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en el año 2000 tuvo un gran importancia con el 1.7% respecto a la cantidad total de la producción agropecuaria nacional, su productividad global en ese mismo año fue de \$25,324/ha. (Cofupro, 2003)

2.1.2 Distribución geográfica de la alfalfa (*medicago sativa* L.) en México.

Cuadro 1. Ubicación, superficie sembrada, producción y valor de producción.

| Ubicación | Superficie sembrada (Hectáreas) | Producción (Toneladas) | Valor de producción (Miles de pesos) |
|------------------|--|-------------------------------|---|
| Hidalgo | 48, 243 | 4, 978, 497 | 974, 092,72 |
| Chihuahua | 74, 020 | 4,934,021 | 1,598,365,48 |
| Guanajuato | 53, 675 | 3,698,699 | 2,124,947,34 |
| Sonora | 29, 850 | 2,185,371 | 839,431,12 |
| Durango | 26,429 | 2,017,106 | 714,368,56 |
| Coahuila | 22, 401 | 1,720,106 | 762,249,60 |
| Baja California | 30, 627 | 1,672,346 | 784,275,18 |
| Puebla | 18, 433 | 1,386,008 | 669,293, 90 |
| Jalisco | 10,210 | 734,222 | 308,530,48 |
| Zacatecas | 9,764 | 718,254 | 207,300,34 |
| México | 8,202 | 646,559 | 241,873,12 |
| Querétaro | 7,820 | 608,414 | 239,654,75 |
| Veracruz | 4,410 | 21,062 | 12,783,78 |
| Morelos | 2,330 | 7,208 | 6,811,60 |
| Tamaulipas | 1,330 | 6,500 | 3,376,88 |
| Nayarit | 1,040 | 4,342 | 2,431,52 |
| Guerrero | 550 | 277,84 | 202,49 |
| TOTAL | 383,436 | 29, 110, 563.04 | 11,018,750.50 |

Fuente: Elaborada por el Servicio de la información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP), con información de las Delegaciones de la SAGARPA.

Los estados que destacaron en el 2010 en producción fueron: Hidalgo, Chihuahua, Guanajuato, Sonora, Durango, Coahuila, Baja California, San Luis Potosí, Puebla y Jalisco, veintiséis estados en toda la República Mexicana fueron los que reportaron una producción total de 29, 110,563 toneladas. (Inforural, 2012)

2.1.3 Características de la alfalfa (*Medicago sativa* L.)

La alfalfa (*Medicago sativa* L.) pertenece a una amplia familia, de Leguminosas (Fabácea), que tiene más de 17, 000 especies identificadas en todo el mundo. Algunas especies, tienen la capacidad de establecer asociaciones simbióticas con bacterias del suelo del orden Rhizobiales, comúnmente conocido con el nombre de rizobios, estas fijan nitrógeno atmosférico, teniendo la capacidad de suplir las necesidades de la planta, pudiendo prosperar en suelos con deficiencia de este elemento, colonizando suelos y como consecuencia previniendo factores como la erosión. (Martínez, *et al.*, 2015)

Por características calóricas y nutritivas es el sustento en la alimentación del ganado que produce carne y leche a nivel mundial, puede consumirse en forma fresca, ensilada, henificada o deshidratada, estos dos últimos procesos son los de mayor interés para las industrias ganaderas. La alfalfa (*Medicago sativa* L.) ocupa el 57 por ciento (36, 000 ha) de la superficie sembrada en la Comarca Lagunera. (Vázquez, *et al.*, 2010)

Así como ofrece proteínas al ganado, la calidad, cantidad y producción de este forraje está ligado directamente con la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo durante las etapas crecimiento de esta leguminosa. Se ha verificado que necesita grandes cantidades de macro y micro nutrientes del suelo, mismos que deben retroalimentarse para evitar que surjan deficiencias en el crecimiento de las plantas entre los cortes de forraje que se realizan a lo largo de cada ciclo. El fósforo (P) es uno de los nutrientes que influyen de manera importante en el crecimiento de la

alfalfa, debido a su requerimiento en diferentes funciones bioquímicas. (Montemayor, *et al.*, 2012)

La demanda de la alfalfa (*Medicago sativa L.*) depende en gran medida del valor nutritivo de la misma, donde la concentración de nutrientes es determinante, para el consumo, la digestibilidad y un mejor metabolismo del forraje digerido por los rumiantes, es esencial medir el contenido de los nutrientes que son la principal fuente para proporcionar energía en conjunto con los carbohidratos, proteínas y lípidos. Especialmente son los carbohidratos quienes generan el 80 % de la energía. (Trejo, *et al.*, 2003).

Cuadro 2. Características químicas y digestibilidad In vitro, en diferentes formas.

| Características | Verde | Heno | Ensilado |
|----------------------------|-------|------|----------|
| Proteína cruda (%) | 19.3 | 13.5 | 16.7 |
| Fibra turgente neutra (%) | 36.1 | 10.2 | 44.2 |
| Fibra detergente ácido (%) | 27.9 | 38.8 | 34.5 |
| Lignina (%) | 6.3 | 10.2 | 7.3 |
| Digestibilidad in vitro | 79.5 | 71.7 | 74.1 |

Fuente: Libro Técnico No 2 Oct. 2000. SAGAR-INIFAP, CIRNOC, CELALA

2.1.4 Morfología de la alfalfa (*Medicago sativa L.*)

Es una planta perene, de porte erecto, puede llegar a crecer una altura de entre 30 y 60 cm. Presenta un color verde grisáceo. Tiene rasgos muy bien definidos tales como: Una raíz principal, robusta, larga y profunda, es pivotante con numerosas raíces secundarias. Los tallos son delgados y erectos, son resistentes capaces de soportar el peso de las hojas e inflorescencias. Sus hojas son ovaladas, trifoliadas, con las orillas lisas, los bordes superiores levemente dentados. Las flores son

chicas, se desarrollan en racimos, que surgen en las axilas de las hojas, son color violeta pálido. El fruto es una legumbre se abre espontáneamente al llegar a la adultez, para liberar las semilla, estos tienen entre 2 y 6 semillas amarillentas, con una longitud de 1.5 a 2.5 mm. (Cantú, *et al.*, 2008)

2.1.5 Época y modalidades de siembra.

El periodo de siembra varía mucho, esto depende generalmente de la región, en zonas cálidas y praderas la siembra se lleva a cabo en la época de otoño, con el fin de evitar riesgos de heladas tempranas. Además de que en este periodo la planta tiene un mejor desarrollo en el sistema radicular, tiene la capacidad de almacenar mayor cantidad de reservas y para el momento de la explotación está en un nivel alto de proteínas. En climas de fríos es preferible que las siembras se lleven a cabo en la temporada de primavera, para cuando llegue el invierno la planta ya es resistente a las bajas temperaturas. Aunque en algunas zonas como Torreón la fecha óptima de siembra se consideran en los meses de Noviembre y diciembre, con el beneficio de tener poca aparición de malezas, tomando en cuenta que su mayor inconveniente es la presencia de malas hierbas. (Márquez, *et al.*, 2003)

El mejor método para sembrar alfalfa (*Medicago sativa* L.) es mediante una sembradora de Brillon, la cual logra una buena distribución homogénea de la semilla, además de colocarla a la profundidad recomendada, posteriormente compactar una ligera capa de tierra sobre la semilla, para asegurar la germinación de la misma. También es recomendable utilizar una sembradora de granos pequeños, donde la semilla será depositada en hileras espaciadas de 15 a 20 cm. En dado caso de no contar con ni una de las sembradoras mencionadas, se tiene que realizar la siembra al boleó, aunque no es recomendable ya que no se deposita uniformemente, además la profundidad no es la óptima, en el caso de llevar a cabo la siembra mediante este método, se sugiere incrementar la cantidad de semilla entre un 20 y 30 por ciento. (Bazán, *et al.*, 2017)

2.2 Precedentes del estudio

Becerra, 2006 menciona que conforme al Consejo de Agua Mundial (World Water Council), para principios del siglo XXI se podrán identificar enormes desafíos con respecto a la escasez de agua, la difícil accesibilidad, un bajo drástico en su calidad. Estos desafíos son muy difíciles de afrontar, ya que el agua disponible o apta para el consumo humano no está repartida de manera equivalente en toda la superficie del planeta. En el país de México, la adversidad de decaimiento por el agua se pone más difícil, esto se ha reflejado en los últimos años, principalmente en la parte norte del país, donde predominan las zonas desérticas. Este problema va de la mano, con la nula planeación de crecimiento demográfico de las poblaciones, donde prácticamente no se registran precipitaciones pluviales.

Estudios realizados sobre la valoración del agua realmente disponible o accesible del globo terráqueo es de tan solo el 0.007% de las aguas dulces. De esta agua disponible dependen muchos procesos desarrollados por los seres humanos. Las actualizaciones más nuevas sobre investigaciones de los expertos en el tema y dependencias gubernamentales e instituciones internacionales relacionadas con la escasez del agua, han hecho un perturbador anuncio que según estudios revelan que para el año 2025 más de las dos terceras partes de la población humana padecerá problemas por no tener acceso al disolvente universal. Cabe mencionar que las mayores concentraciones de agua dulce, en todo el planeta se encuentran concentradas en tan apenas seis países que son: China, India, Brasil, Canadá, Rusia, y EE.UU. Con un enorme porcentaje de más del 40% entre los ríos y mantos acuíferos del planeta tierra. (Toledo, 2002)

Es cierto que en la tierra se cuentan con los llamados “ciclos”, uno de ellos es precisamente el del agua, que según estudios realizados alrededor de $113,00 \text{ km}^3$ de agua caen a la tierra en forma de lluvia anualmente, de lo que prácticamente $71,000 \text{ km}^3$ se evaporan y regresan en forma de vapor a la atmósfera, el sobrante, $42,000 \text{ km}^3$, se acumulan en los mantos acuíferos o van a parar a los mares y por

conducto de los ríos. No obstante, las cantidades reales o disponibles de este valioso recurso son de 9,000 a 14,000 km³. Lo que más resalta en todo este proceso es que, prácticamente el 70%, se destina para las actividades del ser humano, alrededor de 4,200 km³, en volúmenes reales disponibles reales para cada uno de los seres humanos. Si se realizara una repartición de metros cúbicos por humano que puebla la Tierra, a cada ser vivo le tocaría aproximadamente 700 m³ al año. (Izazola, 2001).

Méndez, 2006 realiza un estudio con aguas negras en el afluente Luyanó en el municipio Arroyo Naranjo, Cuba, se realizaron distintos análisis, en el que se sugirieron una serie de distintos tipos de contaminación, como el de aguas de baja contaminación (conforme a los valores DBO5 y DQO obtenidos). Los resultados indican que este tipo de aguas, toxicológicamente no representan un riesgo de contaminación para la salud humana, ni para el suelo y el medio ambiente en general. Cabe señalar que citan que este tipo de aguas no deben emplearse de manera directa, es decir sin un previo tratamiento para los cultivos que no llevan un proceso antes de ser consumidos de manera directa, por la alta carga microbiana que presentan.

Montero, 2006 llevo acabó una investigación en la granja urbana, ubicada en San Miguel del Padrón, su objetivo fue determinar las consecuencias del usos de aguas negras en el rendimiento de los cultivos básicos como el sorgo (*Sorghum bicolor. L.*) y maíz (*Zea mays. L.*), para poder constatar se el rendimiento disminuía o se mantenía la producción que con agua de pozo. Cabe señalar que el grano obtenido fue destinado para la alimentación de ganado vacuno de la región. Se utilizaron solo dos tratamientos que fueron T1: riego con aguas residuales y T2: en condiciones de secano. Al final del estudio se aplicó una dosis de 1775,4 m³ ·ha⁻¹ de aguas residuales, en la que efectivamente se pudo aumentar significativamente el rendimiento en los cultivos de sorgo y maíz con rendimientos de 4,29 toneladas por hectárea y 1,73 hectáreas del tratamiento dos.

Con la intención de poder cuantificar la rentabilidad en el uso de aguas negras como una viable alternativa de riego en zonas donde escasea el agua se realizó una investigación donde se evaluó el efecto sobre propiedades químicas del suelo. Dos parcelas de producción. T1 en riego constante de pasto, T2 con un riego intermitente de hortalizas. Los resultados arrojaron que en el T1 de aguas residuales, incrementó significativamente las reservas de materia orgánica, fósforo, potasio y magnesio. Quiere decir que se efectuó un efecto prometedor con la utilización de aguas negras ya que los resultados demuestran que hubo una mejora en la fertilidad del suelo. Cabe, resaltar que a largo plazo se incrementan los contenidos de cadmio y plomo almacenados en el suelo con niveles dañinos para el ser humano. (Zamora, 2008)

Meléndez, 2011 realizó un estudio en los municipios de la Soledad de Graciano Sánchez., México, donde, hace tiempo se emplean las aguas residuales provenientes de descargas domésticas e industriales. Esto crea una incertidumbre en los cultivos que pudieran tener un riesgo secundario para la salud pública por la presencia de coliformes fecales. Bajo estas condiciones se realizó un muestreo aleatorio donde se determinó la calidad actual del agua de los niveles someros y calidad del suelo agrícola. Los resultados indican que la calidad de agua sobrepasó el límite aceptable en las normas oficiales mexicanas (DOF 1996) para la utilización agrícola. Por otro lado se violan los valores permisibles para coliformes que son de (NMP/100 mL). Por lo ya señalado es recomendable realizar un tratamiento de purificación de las aguas negras antes de emplearlas en la agricultura y no crear problemas de salud pública.

Sobrinho, 2013 realizó un estudio para determinar las concentraciones naturales de metales pesados en suelos, principalmente en provincias ganaderas en Cuba, con un sistema de pastizales ya establecidos, que están ubicados en Mayabeque y Artemisa, con el objetivo de tener valores de referencia de calidad, de los suelos en

la región. Los análisis sugirieron presencia de los siguientes metales como Cu, Zn, Cd, Pb, Ni. Con esto se demostró que dependiendo del tipo del suelo existe una enorme variación, en cuestión de acumulaciones naturales de metales en los suelos de la región. Se determinó que un factor muy grande en la presencia de metales pesados en los suelos agrícolas es consecuencia del crecimiento industrial y de urbanización en las grandes ciudades.

La tabla periódica de los elementos químicos y según sus características, los metales considerados como tóxicos son los que se encuentran en los bloques d y p. Según Morton los elementos del bloque d son los elementos que realizan el enlace. Son los metales pesados con características tóxicas para la salud humana. (Morton, 2006)

2.3 Aguas negras

Díaz, 2012 describe a las aguas negras como fluidos con contaminantes, que necesitan su propio sistema de traslado y en dado reusó de un saneamiento para poder cumplir con las normativas del estado mexicano. Otro nombre que se le da a este tipo de aguas son aguas Residuales y/o Aguas Cloacales. Actualmente se trasladan por su propio sistema de alcantarillado, pero en algunos casos se mezclan con aguas que provienen de las lluvias, provocando una contaminación del agua.

Lecca, 2014 dice que por el punto de formación, el vital líquido se puede clasificar en tres categorías: que son aguas existenciales, aguas acuíferas y aguas meteorológicas. En la actualidad se puede dar uso a las aguas negras, para poder llevar acabo las necesidades del hombre principalmente en actividades agrícolas. Señala que agua que se encuentra de manera natural no es pura. Por pasar distintas etapas como cuando entra en contacto en las condiciones de ambiente como suelo, aire o las actividades del mismo hombre, en ese momento se considera impura y contaminada.

Medina, 2009 cita que toda agua que ha sido utilizada y tratada, siempre conservara un porcentaje de contaminación de una u otra manera. Las aguas que provienen de uso agrícola tendrán contenidos plaguicidas y fertilizantes. Las de uso público, contiene todo tipo de cosas arrojados por los humanos, también farmacéuticos. Los desechos de las grandes industrias como las centrales eléctricas son aguas que se someten a temperaturas muy elevadas, además de contaminantes químicos, por eso el debate en si las aguas se deben reciclar en específico las que son desechadas por las grandes industrias por su alto grado de contaminación.

Actualmente la utilización de aguas negras como forma de riego en cultivos forrajeros se ha convertido en una práctica que cada vez se ve con más frecuencia y normalidad. Esto, trae grandes consecuencias a las personas que están en contacto con aguas negras de manera muy frecuente, contraen enfermedades de tipo gastrointestinales consecuencia de helmintos. Por eso es indispensable saber la calidad o en este caso el tipo de contaminación que trae ese tipo de aguas, pero eso se realiza estudios bacteriológicos de los ya mencionados helmintos. Los resultados obtenidos en las concentraciones son de 2×10^{10} NMP·100 mL⁻¹ de agua. Estas cantidades son excesivamente altas para el contacto humano, por eso se sugiere siempre tratar las aguas negras para todo tipo de reutilización. (Hernández, 2014)

2.3.1 Aguas negras en la agricultura

La utilización de aguas negras en la agricultura, se está incrementando en todo el mundo. Al día de hoy, alrededor de 21 millones de hectáreas dedicadas a la producción de alimentos se riegan con aguas negras, esto en diferentes países desarrollados y en subdesarrollo, esto se debe en gran parte al precio económico que cuesta construir plantas tratadoras, pero viéndolo de otra manera no todo es perjudicial, el uso aguas negras ayuda a reducir el uso de agua potable, que ya en

muchas partes del mundo, y al mismo tiempo a devolver gran cantidad de nutrientes a los suelos agrícolas, bajando la utilización de abonos sintéticos que causan un gran impacto al medio ambiente. (Méndez, 2000)

Silva, 2006 relata que uno de los recursos más importantes para el desarrollo de la humanidad es el agua. Cita que para que una persona pueda tener los alimentos a diario se necesita una media de 3.000 litros de agua. De aquí surge la interrogante del uso de aguas residuales, como una ayuda para poder cumplir las necesidades hídricas de un cultivo, esto en zonas donde el valioso líquido escasea verdaderamente, donde ni siquiera cubre las necesidades de los seres humanos, el uso de aguas negras trae consigo ciertos beneficios para agricultura y su entorno.

Jiménez, 2010 dice que sus principales componentes de las aguas negras son el nitrógeno y fósforo, además de coliformes fecales. A nivel nacional se estima que en el país se descargaron 229.73 m³/s) de aguas negras. Los estados que más cantidad de aguas desecharon fueron la ciudad de México 24.22 m³/s, y el estado de Veracruz con 16.08 m³/s, juntos logran el 27.1% del total de aguas negras de todo el país.

Debido a la gran cantidad de metros cúbicos que se crean de aguas negras en el país, cobra fuerza el destino que se le debe de dar a este tipo de aguas, según registros de la CONAGUA, en el año 2012 existían un total de 2 569 plantas tratadoras en funcionamiento, lo cual equivalía a un 43.3 % del total de aguas tratadas de toda la república, según datos del organismo es más del doble que se trataban en el año 2000, por eso el continuo crecimiento en materia del rehúso de aguas negras, que ya llevan un trato especial que las hace aptas para usos distintos de la sociedad.(CONAGUA, 2014)

2.3.2 Aprovechamiento de aguas negras en la agricultura

La utilización de aguas negras en el mundo es una realidad, se realiza con mucha frecuencia en países de Europa, México, Estados Unidos y China, siendo China, donde más se lleva a cabo dicha práctica, aproximadamente 2 millones de hectáreas, de cultivo son regadas con aguas negras. En segundo lugar sigue el país de México, donde se aprovecha las aguas negras para una superficie aproximadamente de 90 000 hectáreas de riego, además de contar con miles de plantas tratadoras de aguas negras en todo el país, siendo uno de los mejores en cuanto a utilización de aguas negras. (Zurita, 2011)

Castañeda, 2013 dice que una forma de aprovechar las aguas negras son el tratamiento y eliminación de contaminantes a bajos costos, para que de alguna forma este inocua. Se han realizado diferentes estudios para que el uso de aguas negras tenga repercusiones tanto al suelo y el cultivo en uso, la metodología es simple, y a un bajo costo. Este tipo de prácticas en si repercute directamente en el aumento de calidad agua y la disminución de riego hacia la población disminuya considerablemente, además de no tener repercusiones en el suelo con altos niveles de sales.

Otro de los beneficios que se obtienen al utilizar aguas negras para riego en cultivos son las de conservación de agua potable, esto toma fundamental importancia en zonas áridas que escasea gravemente el vital líquido, donde las únicas fuentes de aguas son las subterráneas. Esto lleva otro beneficio, donde es destinada al riego de grandes extensiones, que por otro lado serian descargadas en los ríos arroyos y causaría prejuicios al entorno local y posible contaminación a los mantos freáticos que se encuentran bajo el suelo. (Pérez, 2002)

Cortes, 2010 dice que las aguas procedentes del alcantarillado, hasta las aguas que han tenido un tratamiento, contienen una cantidad considerable de nutrientes que

son esenciales para el desarrollo de la planta como NPK y algunos micro nutrientes. Se han realizado y un sin número de estudios que han confirmado la presencia de estos nutrientes. Aguas de alcantarillado urbano contienen hasta un 10-30 mg/l de N, mientras que de fósforo 4-10 mg/l, suponiendo una aplicación anual de aguas negras aproximadamente de 8000 m³/ha, se obtiene un asombroso aporte total de N de 160 kg/ha/año, y de P de 56 kg/ha/año.

2.3.3 Inconvenientes de uso de aguas negras en la agricultura

Cuando se habla de aguas negras en general, o inclusive aguas tratadas, siempre se encuentra presente un riesgo latente para las personas en cuestión de salud, por este motivo en varios países, se ha prohibido el uso directo de aguas negras. El principal motivo es el riesgo de la incalculable presencia tanto de virus como de bacterias, que son perjudiciales para la salud de los agricultores que están en contacto con este tipo de aguas. Otro punto muy importante es el de los consumidores de los productos que fueron regados con aguas negras, sin duda tienen un impacto en la salud de estos consumidores, por eso La Organización Mundial de la Salud, ha emitido una serie de recomendaciones y normas para la utilización de este tipo de aguas. (Castañeda, 2013)

Otro problema muy marcado con la utilización de aguas negras es que no solo son los residuos de las zonas urbanas, si no que van mezcladas con desechos industriales, que por lo general contiene contaminantes químicos tales como metales pesados, que representan un problema muy importante en el suelo agrícola, ya que algunas plantas son capaces de absorberlos y acumularlos en sus tejidos vegetales, y en la cadena de producción pueden llegar a productos de consumo directo y tener repercusiones en los consumidores. Por las condiciones mencionadas se recalca que todos los problemas mencionados pueden reducirse en gran medida si el agua pasara por un proceso de saneamiento. Actualmente ya se cuenta con tecnologías que hacen de la calidad del agua utilizable en este caso para la agricultura. (Romero, 2009)

No es tan fácil poder de utilizar las aguas negras, por unas sencillas razones, es regalada o en algunos casos muy barata, además de contribuye con la aportación de una cantidad considerables de nutrientes que disminuye el gasto en la compra de fertilizantes. Este fenómeno en algunos países ha causado migraciones entre campesinos y agricultores que con la ilusión del uso de aguas negras pueden tener mejores oportunidades de tener mejores vidas, esto quiere decir que a corto plazo puedan comenzar a utilizar aguas tratadas, esto implica que no haya alternativas para la utilización de aguas de desechos seguras, que es lo mismo que pasen por un saneamiento previo antes de ser utilizadas. (Acosta, 2013)

2.4 Metales pesados

Es muy importante saber cuándo realmente un suelo esta o se considera contaminado, un suelo contaminado es él que ha tenido cambios físicos, químicos o en dado caso biológicos, que no debería tener naturalmente. Uno de los factores que más contribuyen a la contaminación de suelos son los metales pesados, que abarca uno de los más grandes contaminantes ambientales, por ello son unos de los grupos de los cuales hay más investigaciones recientemente, por su alta movilidad que estos presentan y los efectos tóxicos que presentan los cultivos a bajas concentraciones de metales pesados presentes en los suelos. (Prieto, 2009)

Las fuentes más comunes por contaminación de metales pesados, son por diferentes fuentes de contaminación muy marcadas dependiendo de su origen. En diferentes casos esta se presenta de forma natural en base al origen del material original y sus modificaciones a través del tiempo, a este tipo de contaminación se le dan el nombre de endógena. En otros casos las contaminaciones son provocadas por condiciones externas, como resultado de actividades del hombre, y se le da el nombre de exógena. Otros factores que aportan a la contaminación de suelos, es

por el uso indiscriminado de fertilizantes, que aportan grandes cantidades de minerales que no son aprovechados al 100% por los cultivos, el rehusó de aguas de muy mala calidad de uso en la agricultura. Que al pasar del tiempo se van acumulando hasta llegar al punto de ser tóxicos para el ser humano o los cultivos. (Marcano, 2016)

Romero, 2009 dice que el suelo se ha convertido en un enorme almacén para una gran cantidad sustancias toxicas, gracias a la consistencia del suelo, los contaminantes pueden penetrar relativamente rápido al suelo que funge de almacén, entre ellos los metales pesados. Cabe resaltar que el grado de contaminación no solo depende de metal que se encuentre en función, la agresividad va relacionada directamente con las condiciones del suelo, que pueden favorecer a que este se disperse por el manto del suelo y se convierta en un serio problema o a que solo se quede en un lugar sin tanto movimiento y no teniendo altas repercusiones, en el medio ambiente que rodea al suelo contaminado.

En la actualidad se han logrado identificar distintas formas en que el suelo retiene y hace disponible los metales pesados. Estos pueden presentarse de distintas formas en el suelo como, iones intercambiables en los coloides, haciendo complejos de adsorción con la materia orgánica, en relación con los óxidos e hidróxidos intercambiables, entre otros, estos factores repercuten directamente en síntomas en las características de los suelos, como el color, textura, y cuando se incorpora un cultivo se ve reflejado en el bajo rendimiento del cultivo, debido a la toxicidad del suelos, o deficiencias de minerales en el mismo. (Mancilla, 2012)

2.4.1 Cobre

Es un elemento químico, su símbolo es Cu, con número atómico 29, es un elemento flexible, uno de los más fáciles de encontrar debido a su poca profundidad en la tierra, puede encontrarse en estado puro o mezclado con diferentes elementos como el Plomo y Plata, que son metales preciados para el ámbito económico y en

la actualidad es uno de los elementos más utilizados por el hombre. En la agricultura la contaminación o intoxicación por cobre en suelos agrícolas se genera principalmente por los desechos de las industrias y la agricultura. Es considerado un micro nutriente esencial para las funciones de crecimiento en las plantas. Sin embargo es un problema cuando en los tejidos de las plantas se encuentra concentraciones superiores a 30 m/kg, ya que altera procesos como el de fotosíntesis, el crecimiento vegetativo, y como consecuencia inducir a la muerte celular. (León, 2012)

2.4.2 Toxicidad del Cobre en las plantas

El Cobre en la actualidad está creando verdaderos retos para la agricultura, debido al amplio uso indiscriminado que le están dando las industrias. Se ha determinado en diversos estudios que a altas concentraciones de cobre en las plantas tiene consecuencias muy desfavorables para el óptimo desarrollo las plantas, un factor muy influyente es que a altas concentraciones de cobre el PH del suelo tiene a pasar de neutro a ácido, esto se refleja directamente en la fertilidad del suelo y la disponibilidad de los nutrientes presentes en el mismo. Otro aspecto muy marcado en altos niveles de cobre es el bajo crecimiento de altura de las plantas, esto implica poca estimulación en los ápices de crecimiento de las mismas. (Cartaya, 2017)

Cuando se presenta un exceso de Cobre en el sustrato o bien en el suelo, tiene afectaciones principalmente en la raíz, que dificulta la absorción de los demás nutrientes así como del agua, ocurre un proceso donde se quemas las puntas de la raíz, provocando un crecimiento únicamente lateral y sumamente excesivo. Como consecuencia evita la absorción del Hierro, Zinc y Molibdeno, que se manifiestan en las plantas como deficiencia de estos minerales, provocando una confusión en el productor y no corrigiendo el problema principal que es una intoxicación por Cobre, trae más síntomas con una significativa reducción del follaje en la planta en cuestión, y al final un deterioro que hace que la planta sea capaz de producir los frutos. Un factor que ayuda a la intoxicación por Cobre en los suelos es el pH, donde

se encuentra un pH más bajo es más propenso a presentar síntomas de toxicidad por Cobre. (García, 2010)

2.4.3 Toxicidad del cobre en los seres humanos

El Cobre es un mineral que está ampliamente distribuido en el medio del ser humano, hasta es parte de la dieta en ciertos alimentos, tiene mucha importancia en el sector de la medicina, ya que gracias a él, están elaborados un sin número de medicamentos y es parte fundamental en la agricultura, para una eficiencia producción de alimentos. En el cuerpo humano se encuentra presencia de Cobre debido a la cantidad que se ingiere de este mineral en las distintas comidas, agua potable y al aire que respiramos día con día, aun así es necesario para la salud humana, claramente en concentraciones muy bajas, que en altas concentraciones son contra productivas, causando daños intoxicaciones, daños en la piel y muchos otros daños a la salud. (Rodríguez, 2014.)

Las intoxicaciones por altos niveles de Cobre se pueden dar en personas que aun cuentan con tuberías de cobre, ellos son más propensos ya que el agua a través de la corrosión en la tubería lleva sedimentos de este mineral, otro caso que se puede dar es en el ambiente laboral, aunque cuente con la protección adecuada se puede dar el caso de intoxicación, puedes contraer enfermedades raras como la fiebre del metal por el contacto diario que tienes con estos elementos, las exposiciones a largo plazo, tienen como síntomas, irritación de la nariz, ojos, bocas, dolores en el estómago, y cabeza. Estos son síntomas aunque pueden llegar a causar la muerte en personas. (Torres, 2015)

2.4.4 Cadmio

Elemento químico de símbolo Cd, 48 su número atómico. Es considerado un metal medianamente dúctil, de aspecto blanco azulado. Es un elemento estable e incoloro, no es posible encontrarlo en la naturaleza. Casi el 100 % de producción del Cadmio

es derivado de la fundición de grandes rocas de, Cobre y Zinc, que básicamente es un sub producto, ya que siempre se encuentra en asociación con estos otros minerales, no es comercializado como un metal. Tiene muchas aplicaciones en diferentes industrias como la elaboración de pilas, pigmentos y plásticos. Como este mineral pasa a estado gaseoso en la actualidad se encuentra distribuido en el ambiente, en plantas que es la principal causa de exposición de muchas personas al Cadmio. En general estamos en constante exposición de estos minerales. (Castro, 2007)

2.4.5 Toxicidad del Cadmio en las plantas

El Cadmio es un metal que puede interferir en la asimilación, absorción y transporte de elementos nutricionales para el buen funcionamiento de la planta, una mala distribución de estos inevitablemente provoca un desequilibrio hídrico y nutricionalmente. Un elemento que es bloqueado por la toxicidad del Cadmio, es la asimilación de nitratos, que esto repercute directamente en la fotosíntesis, en la abertura estomática, y por lo tanto no hay una transpiración eficiente de la planta. Una planta que se encuentra en suelos con niveles altos de Cadmio, presenta alteraciones en casi todas las funciones que esta realiza, principalmente en la realización de la fotosíntesis y apertura de estomas, pero sin duda el síntoma más representativo de altos niveles por Cadmio, es la clorosis en follajes de las plantas, se inhibe la síntesis de clorofila y disminuye las actividades en los encimas. (Oliviera, 2003)

Al pasar del tiempo y como siempre nos lo ha demostrado la naturaleza, siempre están en proceso de evolución, en este caso en concreto las plantas han desarrollado procesos para evitar la extrema intoxicación por metales pesados, en este caso el Cadmio, pueden generar una cierta tolerancia a los altos niveles, disminuyendo ciertas actividades en el transporte y asimilación de nutrientes y aguas, en la raíz es donde se da el primer fenómeno donde las moléculas inmovilizan las moléculas de Cd en la pared celular, impidiendo la entrada de estos a la fisiología de la planta. Una defensa importante es disminuir significativamente los niveles de Cadmio dentro de la planta son los, ácidos orgánicos, aminoácidos, fitoquelatinas,

que encapsulan las partículas de Cadmio, llevándolas a la vacuola donde no tienen ninguna repercusión en el buen funcionamiento de la planta. (Ramírez, 2002)

2.4.6 Toxicidad del Cadmio en los seres humanos

Para comprender mejor la gran exposición a la que estamos expuestos los seres humanos a grandes cantidades de metales pesados en este caso el Cadmio, debemos identificar plenamente las fuentes de contaminación, que se pueden clasificar en tres grandes grupos, una de las principales son las emisiones atmosféricas, que son producidas por la minería metalúrgica, que es un subproducto de otros metales pesados, que producen, cristales. Los depósitos directos que son ocasionados por la agricultura, cuando se agregan fertilizantes fosfatados, además del Potasio, y Cobre. El otro factor se considera contaminación accidental donde no es considerado que existan grandes cantidades de este metal, ya que este cuenta con una gran movilidad en el ambiente, y son generados principalmente por desechos de las industrias, y la corrosión de metales con derivados de este metal. Esto repercute directamente en el medio del ser humano, donde inevitablemente entra en contacto directo con el Cadmio. (Vázquez, 2005)

Para la ingesta o contaminación de Cadmio en los seres humanos es la alimentación con vegetales, frutas y verduras contaminadas de altos niveles de Cadmio. Otra fuente muy fuerte de contaminación es el de consumir agua con presencia de este metal, que llega gracias a los sedimentos orgánicos del suelo, llegando a los acuíferos, en la salud los síntomas por Cd son muy variados pero pueden llegar a causar la muerte, el Cd se aloja principalmente en los órganos como los riñones y el hígado, donde provoca deficiencias en el proceso respiratorio, otras consecuencias son la causa de esterilidad, fragilidad en los huesos, daños en el sistema inmune, alto riesgo a desarrollar cáncer, hasta desórdenes psicológicos. Indudablemente la exposición a estos metales es mortífero para el sistema inmune para el ser humano. (Ortiz, 2009)

2.4.7 Plomo

Es un elemento químico (Pb), cuenta con número atómico 82, se considera que es un metal pesado, su aspecto es de un color azulado, que en diferentes reacciones adquiere un color gris. Tiene características flexibles, cero elasticidades, puede formar sales de otros metales como el plomo. Tiene una gran importancia en el sector industrial, ya que con el Plomo pueden formarse muchas aleaciones con el Cadmio, Cobre, entre muchos otros que son de importancia en las tuberías y conducción de electricidad. Claramente al ser un metal pesado sus desechos son considerados tóxicos, a lo largo del tiempo se han registrado envenenamientos por no seguir protocolos de seguridad en las industrias. Actualmente se considera que el envenenamiento o intoxicación por Plomo es muy bajo debido a los problemas que este trae al cuerpo humano. (Rubio, 2004)

2.4.8 Toxicidad del Plomo en las plantas

El Plomo definitivamente tiene muchos efectos no deseados en el ámbito de la agricultura en específico en las plantas, en estas puede provocar daños como inhibiciones en el crecimiento de las raíces, hasta elongaciones en tallos y frutos. Se presentan daños en las estructuras, gracias a las partículas de metales pesados dentro del organismo de las plantas, llamados con el nombre de ROS que no es otra cosa más que un estrés en las plantas por la oxidación. Tienen una alta repercusión en las actividades bioquímicas de las plantas, que tiene como consecuencia una disminución en la producción de la clorofila, que a su vez afecta el potencial hídrico en estas, descontrol en el cierre de los estomas, disminuyendo la eficiencia en el aprovechamiento del agua. (Trejo, 2006)

Presencia de altos niveles de metales pesados, en este caso el Plomo se ha comprobado que tiene repercusiones en las semillas, haciendo más lenta la germinación, y hasta puede ocasionar que la semilla nunca germine, esto se debe a que se presentan alteraciones dentro de los embriones, tales como en la

morfología y fisiológicas de las semillas, que en muchos de los casos terminan por extinguirse antes de poder germinar y llegar a convertirse en planta. Cabe resaltar que las plantas han creado ciertos mecanismos de defensa en cuanto detectan la presencia de partículas de metales pesados, una función muy simple pero efectiva para evitar la entrada de estas partículas es la de reducir o bloquear completamente el flujo de agua y nutrientes al sistema de transporte de esta. (Landeros, 2011)

2.4.9 Toxicidad del Plomo en seres humanos

La toxicidad del Plomo ara es un problema grave de salud, a nivel internacional, de acuerdo a fuentes como la Organización Mundial de la Salud ha provocado las condiciones para que se produzca una intoxicación crónica y traen alrededor de 140, 000 víctimas anuales, provocando diferentes complicaciones en el cuerpo gracias al Plomo. Los límites de 10 ug/dL en personas mayores de edad y 5 ug/dL para niños, ya son niveles superiores a los permitidos, estos ya causan afectaciones a nivel renal y en huesos, un edema cerebral concluyendo con la muerte. A lo largo del tiempo se transmite de generación en generación, teniendo efectos como reducción en el coeficiente intelectual, tanto en niños como los mismos adultos, causa hiperactividad, trayendo como consecuencia una actitud antisocial. (Azcona, 2015)

Hablando en el funcionamiento o aprovechamiento del cuerpo hacía el Plomo, hasta la actualidad no se ha reconocido alguna función en el cuerpo. Por el contrario puede estar sucediendo lo mismo que en el metabolismo de las plantas, una competencia por la asimilación de otros metales que si son necesarias como el Calcio y el Hierro. Es por eso que la Organización Mundial de la Salud ha dictaminado que para el cuerpo humano no hay concentraciones de Plomo que puedan ser considerables para el ser humano, porque simplemente el cuerpo no lo necesita. (Matte, 2003)

2.6 Normas oficiales mexicanas en materia de aguas residuales

2.6.1 NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta norma tiene mucha importancia, ya que regula los límites establecidos en la cuestión de almacenamiento y uso de suelos para la agricultura. En los metales de más interés son el de Plomo, donde indica que para el uso en la agricultura de estas aguas el nivel es de 0.5 mg/l en almacenamiento y en suelos de 5 mg/l. Para el Cadmio indica que para el uso del suelo en la agricultura es de 0.05 mg/l y en el almacenamiento de aguas es de 0.2 mg/l. Por último en el Cobre es más estable tanto para el almacenamiento que es de 4 mg/l y para el uso en la agricultura consta de 4 mg/l. Que son niveles que establece dicha norma de la SEMARNAT en 1996.

2.7 Normas oficiales mexicanas de la secretaria de salubridad y asistencia

2.7.1 NOM-127-SSA1-1994

Esta es una norma de las importantes ya que establecen los límites para el agua a su potabilización que será reenviada al consumo humano, según esta norma los límites para en Cu es de 2 mg/l, en Cd es de 0.005 mg/l y el Pb de 0.025 mg/l. que al final de cuentas son muy parecidos a los anteriores.

2.7.3 NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

Esta norma establece límites para un grupo de metales pesados, en cuestión de la reutilización de suelos previamente recuperados por envenenamiento de Cadmio, Cromo, Níquel, Plata, Selenio, Vanadio. Dice que los límites para el Cd son de 37 mg/kg, mientras que para el Plomo es de 40 mg/kg.

2.7.6 NOM-247.SSA1-2008

En esta norma nos establece una serie de procedimientos que se deben cumplir tanto para el procedimiento de transporte y almacenamiento, en cuestión de legumbres y cereales, alimentos que tiene una base para elaboración de panes y harinas, para el consumo humano. En esta norma establece los límites de presencia

en diferentes tipos de metales. En Cadmio para es de 0.100 mg/kg, mientras para el Plomo es de 0.500 mg/kg.

2.8 Normas internacionales

2.8.1 CODEX STAN 1993-1995

En esta norma se pueden ver los límites que están establecidos en general para una serie de productos lácteos que son para el consumo humano. Nos dice que para el Cadmio es de 0.100 mg/kg, mientras que para el Plomo es de 0.200 mg/kg.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Localización geográfica

La investigación se realizó en Torreón Coahuila, se llevaron a cabo diferentes muestreos, en distintos campos de cultivo de alfalfa (*Medicago sativa L.*) en la colonia Valle oriente, a los alrededores de la planta de aguas negras.

Se utilizó un GPS para tener la ubicación exacta de cada punto de muestreo. Posteriormente se vaciaron los puntos en un programa geográfico para poder obtener una imagen satelital del área de trabajo.



Tratamiento 1. Agua residual.

Tratamiento 2. Agua de pozo.

Figura 1. Ubicación geográfica puntos de muestreo

Cuadro 3. Localización de puntos de muestreo.

| Tratamientos | Repetición | Latitud N | Longitud W | ASNM |
|---------------|------------|---------------|----------------|------|
| Tratamiento 1 | 1 | 25° 31´ 19.6" | 103° 20´ 27.5" | 1118 |
| | 2 | 25° 31´ 18.9" | 103° 20´ 26.3" | 1122 |
| | 3 | 25° 31´ 18" | 103° 20´ 26.8" | 1118 |
| | 4 | 25° 31´ 17.6" | 103° 20´ 25.7" | 1127 |
| Tratamiento 2 | 1 | 25° 33´ 24.2" | 103° 22´ 24.2" | 1123 |
| | 2 | 25° 33´ 23.3" | 103° 21´ 57.9" | 1124 |
| | 3 | 25° 32´ 22" | 103° 21´ 58.6" | 1124 |
| | 4 | 25° 33´ 21.1" | 103° 21´ 56.8" | 1123 |

Tratamiento 1 = agua negra. Tratamiento 2 = agua de pozo.

3.2 Tipo y diseño de investigación

La presente investigación llevada a cabo es de tipo experimental, utilizando un diseño estadístico completamente al azar, en la investigación se evaluaron las concentraciones de metales pesados (Plomo, Cobre, y Cadmio) que se presentaron en las diferentes partes de la planta (raíz, tallo, hoja) de alfalfa (*Medicago sativa L.*) regadas con aguas negras y de pozo.

3.3.1 Procedimiento

3.3.2 Muestreo

Para cada tratamiento se tomó como referencia la superficie de una hectárea. Cada tratamiento corresponde a un tipo de agua diferente, para el tratamiento 1, corresponde al de aguas negras, mientras que para el tratamiento número 2 corresponde al de agua de pozo.

Se inició trazando un zigzag imaginario, en la superficie predeterminada de 10,000 m², seleccionando cuatro puntos de muestro, tratando siempre de realizar un

muestreo lo más homogéneo posible, posteriormente se trazó un metro cuadrado ya antes pre señalado, con ayuda de un GPS, se tomaron las coordenadas exactas del punto de muestreo. Realizando los pasos anteriores se procedió a extraer la alfalfa que se encuentra dentro del área previamente marcada, cuidando de que se extrajera la mayor cantidad posible de raíz. Estos mismos pasos se realizaron para todos los tratamientos y repeticiones realizadas.

3.3.3 Lavado

Terminado de extraer las muestras en campo, se trasladaron al laboratorio de suelos, donde lo primero fue desinfectar dicho material con el objetivo de que no hubiese ningún tipo de contaminación, con un cepillo se retiró todo el exceso de tierra de las plantas de alfalfa, se utilizó agua de la llave.

Al término del lavado se enjuagaron todas las muestras con agua destilada para poder eliminar cualquier posible resto de tierra o contaminación, y así eliminar cualquier tipo de alteración a la hora de obtener los resultados finales del estudio.

3.3.4 Secado

Al termino del lavado, las muestras se extendieron en las mesas del laboratorio de suelos, de la UAAAN, UL, sobre las mesas se colocó papel secante, posteriormente las muestras, estas se deshidrataron a temperatura ambiente, aproximadamente una semana, con una temperatura promedio de 31 °c.

3.3.5 Disección de la planta

Después de a ver transcurrido el tiempo correspondiente al secado de la planta, se comenzó con la separación, está fue en tres partes, cada una correspondiente a la raíz, tallo, y hoja. Terminada la disección, cada parte de la planta se colocó en bolsas diferentes, siempre cuidando que no hubiera contaminación con los demás tratamientos.

3.3.6 Elaboración de digestiones

Cuando se terminó con la debida separación y la identificación correcta de cada repetición y tratamiento en bolsas de papel, se procedió a colocarlos en una estufa

especial, para terminar de extraer toda el agua que aún tenían, estas se mantuvieron durante 24 horas, con una temperatura promedio de 60°C.

Después se procedió dar paso a la molienda de las muestras, con ayuda del molino que cuenta el departamento de suelos, se consiguió una textura polvosa, además de que al terminó las muestras eran pasadas por una criba de 0.05 milímetros, para evitar partículas grandes, de cada muestra se colectaron alrededor de 100 gramos.

Todas las muestras se colectaron en bolsas que estaban previamente identificadas con su tratamiento y repeticiones correspondientes, para evitar cualquier confusión.

Al terminar de moler las muestras, en seguida se dio pasó a preparar las digestiones, se realizaron muestras, guardando 50 gramos de cada una de las repeticiones, las muestras se colocaron en un matraz, agregándole dos mililitros de agua oxigenada y seis mililitros de ácido nítrico, los matraces fueron sellados con una llave especial. Terminado este proceso se colocaron en el equipo one microwave digestion system, con este instrumento se consigue que las muestras estén girando durante 50 minutos, con una temperatura de 250 grados centígrados.

El resultado se vierte en frascos, donde será aforado con 100 mililitros de agua destilada.

3.4 Determinación de metales pesados

En cuanto la cuantificación para determinar los metales pesados, se realizó con el equipo llamado espectrofotómetro de absorción atómica, Perkin Elmer modelo AANALYST200, para calibrar la curva se utilizó un estándar de 1000 ppm de cada elemento a cuantificar. Todo este procedimiento se llevó a cabo en Laboratorio de Suelos, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna.

3.5 Análisis estadístico

En este caso se utilizó un diseño completamente al azar, se evaluaron dos tratamientos, el tratamiento uno correspondiente al de aguas negras y el dos a aguas de pozo, con cuatro repeticiones correspondientes a cada tratamiento, ocho en total, con tres niveles de resultados en raíz, tallo, y hoja.

La prueba de medias se llevó a cabo por el método Tuckey's usando el programa analítico SAS.

3.6 Materiales y reactivos

En el transcurso de toda la investigación todos los materiales empleados son los siguientes:

Palas truper, bolsas negras, cinta masking, GPS, agua destiladas, cepillo de trastes, navaja, molino, estufa, compresor de aire, agua oxigenada, ácido nítrico, one microwave digestion system, matraz, frascos de plástico. Estándares de Cobre, Plomo, y Cadmio, en una concentración de 1000 ppm.

IV. RESULTADOS

4.1 Concentración de metales pesados en raíz

En el cuadro cuatro aparecen los resultados de los metales (Cobre, Cadmio, Plomo) evaluados en la raíz de alfalfa.

Cuadro 4. Concentración de metales pesados en raíz.

| Tratamiento | Repetición | Concentración (mg/kg) | | |
|-------------|------------|-----------------------|-------|-------|
| | | Cadmio | Cobre | Plomo |
| 1 | 1 | ND. | 0.07 | 0.17 |
| 1 | 2 | 0.03 | 0.13 | 0.13 |
| 1 | 3 | 0.02 | 0.17 | 0.18 |
| 1 | 4 | 0.01 | 0.14 | 0.25 |
| 2 | 1 | 0.02 | 0.08 | NP |
| 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 negra. Tratamiento 2 = agua de pozo. ND= No detectado.

4.1.1 Análisis de varianza para la concentración de metales pesados en raíz.

En el cuadro cinco se observan los resultados del análisis de varianza, donde no se encontró diferencia estadística significativa entre los tratamientos.

Cuadro 5. Resultados del análisis de varianza en raíz.

| Metales pesados | R² | Coefficiente de variación | Valor de F | Significancia estadística |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Cadmio | 0.257143 | 53.52582 | 2.08 | 0.1996 |
| Cobre | 0.010239 | 34.40280 | 0.06 | 0.8116 |
| Plomo | 0.374028 | 30.86383 | 3.59 | 0.1071 |

Si $Pr > F$ es menor o igual que 0.05, entonces hay diferencia estadística significancia entre tratamientos.

Si $Pr > F$ es mayor que 0.05, entonces no hay diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Si $Pr > F$ es menor que 0.01, entonces hay diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos.

4.1.2 Comparación de medias para la concentración de metales pesados en raíz.

En el cuadro seis, se presentan las comparaciones de medias del análisis en raíz.

Cuadro 6. Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en raíz.

| Metales pesados | Media | Numero de muestras | Tratamiento | Significancia |
|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| | 0.03500 | 4 | 1 | A |
| Cadmio | 0.02000 | 4 | 2 | A |
| | 0.12750 | 4 | 1 | A |
| Cobre | 0.12000 | 4 | 2 | A |
| | 0.18250 | 4 | 1 | A |
| Plomo | 0.12000 | 4 | 2 | A |

Letras iguales no tienen significancia, letras diferentes tienen significancia.

Como se puede observar ningún tratamiento tuvo significancia, en ninguna de las medias de los metales analizados.

4.2 Concentraciones de metales pesados en hoja

En el cuadro siete se presentan las concentraciones de los metales (Cadmio, Cobre, Plomo) encontrados en la hoja de la alfalfa.

Cuadro 7. Concentración de metales pesados en hoja.

| Tratamiento | Repetición | Concentración (mg/kg) | | |
|-------------|------------|-----------------------|-------|-------|
| | | Cadmio | Cobre | Plomo |
| 1 | 1 | 0.03 | 0.17 | 0.56 |
| 1 | 2 | 0.04 | ND | 0.31 |
| 1 | 3 | 0.05 | 0.23 | 0.51 |
| 1 | 4 | 0.08 | 0.16 | 0.17 |
| 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 negra. Tratamiento 2 = agua de pozo. ND= No detectado

4.2.1 Análisis de varianza para las concentraciones de metales pesados en hoja.

En el cuadro ocho, hay diferencia significativa en el análisis de varianza en los metales correspondientes al Cobre y Cadmio, mientras que en Plomo no se encuentra diferencia significativa entre los tratamientos.

Cuadro 8. Resultados del análisis de varianza en hoja.

| Metales pesados | R² | Coefficiente de variación | Valor de F | Significancia estadística |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Cadmio | 0.474510 | 46.0918 | 5.42 | 0.0588 |
| Cobre | 0.510346 | 22.6986 | 6.25 | 0.0465 |
| Plomo | 0.413315 | 46.2527 | 4.23 | 0.0855 |

Si $Pr > F$ es menor o igual que 0.05, entonces hay diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Si $Pr > F$ es mayor que 0.05, entonces no hay diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Si $Pr > F$ es menor que 0.01, entonces hay diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos.

4.2.2 Comparación de medias para las concentraciones de metales pesados en hoja.

Cuadro 9. Comparación de medias por el método de Tukey´s para los metales en hoja.

| Metales pesados | Media | Numero de muestras | Tratamiento | Significancia |
|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| | 0.05000 | 4 | 1 | A |
| Cadmio | 0.02250 | 4 | 2 | A |
| | 0.17500 | 4 | 1 | A |
| Cobre | 0.11650 | 4 | 2 | B |
| | 0.38750 | 4 | 1 | A |
| Plomo | 0.19250 | 4 | 2 | A |

Letras iguales no tienen significancia, letras diferentes tiene significancia.

En el cuadro nueve se puede observar que para el caso del Cobre, en el tratamiento uno y dos, tienen significancia, puesto que el tratamiento uno cuenta con una media de 0.17500 mg/kg mientras el tratamiento dos tiene una media de 0.11650 mg/kg. Siendo el tratamiento dos con menor concentración y el que tiene significancia.

Para el caso del Cadmio y Plomo no se encuentra ninguna significancia, puesto que sus medias están muy igualadas. Siendo el Cobre que se encontró en mayor concentración en el análisis correspondiente al análisis de la hoja.

4.3 Concentraciones de metales pesados en el tallo.

En el cuadro 10 se pueden observar las concentraciones de metales (Cadmio, Cobre, Plomo) encontrados en el tallo de la alfalfa.

Cuadro 10. Concentración de metales pesados en tallo.

| Tratamiento | Repetición | Concentración (mg/kg) | | |
|-------------|------------|-----------------------|-------|-------|
| | | Cadmio | Cobre | Plomo |
| 1 | 1 | 0.05 | 0.14 | 0.24 |
| 1 | 2 | ND | 0.18 | 0.31 |
| 1 | 3 | 0.03 | 0.17 | 0.14 |
| 1 | 4 | 0.05 | 0.20 | 0.12 |
| 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 | NP | 0.21 |

Tratamiento 1 = agua negra. Tratamiento 2 = agua de pozo. ND= No detectado

4.3.1 Análisis de varianza para las concentraciones de metales pesados en el tallo.

En el cuadro 11 se muestran los resultados del análisis de varianza en el tallo, donde el Cobre, muestra diferencia significativa, mientras que para el caso del Cadmio y Plomo no se presenta diferencia estadística significativa entre los tratamientos analizados.

Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza en tallo.

| Metales pesados | R² | Coefficiente de variación | Valor de F | Significancia estadística |
|------------------------|----------------------|----------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Cadmio | 0.067304 | 47.76139 | 0.43 | 0.5350 |
| Cobre | 0.649877 | 11.47056 | 11.14 | 0.0157 |
| Plomo | 0.042808 | 35.92210 | 0.27 | 0.6230 |

Si $Pr > F$ es menor o igual que 0.05, entonces hay diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Si $Pr > F$ es mayor que 0.05, entonces no hay diferencia estadística significativa entre tratamientos.

Si $Pr > F$ es menor que 0.01, entonces hay diferencia estadística altamente significativa entre tratamientos.

4.3.2 Comparación de medias para las concentraciones de metales pesados en el tallo.

En el cuadro 12 se pueden observar la comparación de medias en el análisis, realizadas por el método de Tukey's para los metales pesados en el tallo de la alfalfa.

Cuadro 12. Comparación de medias por el método de Tukey's para los metales en tallo.

| Metales pesados | Media | Numero de muestras | Tratamiento | Significancia |
|------------------------|----------------|---------------------------|--------------------|----------------------|
| | 0.04630 | 4 | 1 | A |
| Cadmio | 0.03250 | 4 | 2 | A |
| | 0.22650 | 4 | 1 | A |
| Cobre | 0.17250 | 4 | 2 | B |
| | 0.20250 | 4 | 1 | A |
| Plomo | 0.17750 | 4 | 2 | A |

Letras iguales no tienen significancia, letras diferentes tiene significancia.

Como se aprecia en el cuadro 12, en el Cobre se presenta significancia entre las medias, en el tratamiento uno tiene una media de 0.22650 mg/kg y el tratamiento dos una de 0.17250 mg/kg, siendo este el que presenta menor concentración de cobre en el tallo de la alfalfa.

Mientras que para las medias correspondientes al análisis de Cadmio, y Plomo no se encuentra significancia entre los tratamientos analizados.

V. DISCUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos de la investigación se comprobó que para las concentraciones de Cadmio en este caso, no existió alguna variación significativa en los tratamientos analizados, contrariamente a lo esperado se obtuvieron valores muy parecidos en los dos tratamientos. Con bases en la siguiente norma y lineamientos del CODEX STAN 1993-1995, NOM-247.SSA1-2008, estas dicen que los niveles permitidos son de 0.100 mg/kg. Mientras que en los resultados colectados las cantidades oscilan entre 0.022 y 0.350 mg/kg, estos se encuentran entre los límites permitidos, estos mismos no presentan ningún riesgo para el suelo, la salud humana y de los animales. Oliviera, (2003) dice que la principal fuente de intoxicación de Cadmio es la alimentación con vegetales, frutas y verduras contaminadas con altos niveles de Cadmio. Ortiz, (2009) confirma que otra fuente muy fuerte de contaminación es el de consumo de agua con presencia de este metal, se transporta gracias a los sedimentos orgánicos del suelo, llegando a los acuíferos, en la salud los síntomas por Cd son muy variados pero pueden llegar a causar la muerte, el Cd se aloja principalmente el órganos como los riñones y el hígado, donde provoca deficiencias en el proceso respiratorio.

En lo correspondiente para las concentraciones de Plomo y según los resultados en los tratamientos 1 (aguas negras) y 2 (agua de pozo), donde se encontró la mayor concentración de este metal fue en la hoja del tratamiento 1, con valores de 0.387 mg/kg, y en el tallo del tratamiento 1, con un valor de 0.202 mg/kg, valores que no sobre pasan los niveles permitidos por la NOM-247.SSA1-2008 que es de 0.500 mg/kg. Mientras que para los resultados del tratamiento 2, todos los valores obtenidos son permisibles de acuerdo a la NOM-247.SSA1-2008, ya mencionados en el párrafo anterior. De acuerdo con Matte, (2003) y basándose en estas comparaciones, se observan cantidades suficientemente altas de Plomo como para causar posibles enfermedades como, el cáncer, deficiencia al respirar por daños en los pulmones, ya que este metal se aloja en los principales órganos del ser humano.

Azcona, (2015) dice que para los animales también sugiere un riesgo, ya que el Plomo se aloja en el tejido adiposo de animales vacunos, que lo usen de alimento, como para los humanos, que lleguen a ingerir estos alimentos de manera directa o indirecta.

Mientras las comparaciones correspondientes al Cobre arrojan resultados de medias, donde las concentraciones más altas se encontraron en los tallos del tratamiento 1, indican valores de 0.226 mg/kg y el tratamiento 2, muestra valores de 0.177 mg/kg. Los valores de medias de ambos tratamiento con valores más bajos se registraron en la raíz, correspondientes al tratamiento 1 y 2, registraron valores de 0.127 y 0.120 mg/kg. Aun así estos valores no son superiores a los límites permisibles por la NOM-247.SSA1-2008, que dice que para el Cobre los niveles permitidos son de 0.600 mg/kg. Estos valores no tienen repercusiones a nivel estructural de la planta. Torres, 2015 señala que en el cuerpo humano se encuentra presencia de Cobre debido a pequeñas cantidades que se ingieren de este mineral en la distintas comidas, agua potable y al aire que respiramos día con día. Rodríguez, 2014 dice que aun así es necesario para la salud humana, claramente en concentraciones muy bajas, las altas concentraciones son contra producentes, causando daños intoxicaciones, daños en la piel y muchos otros daños a la salud.

Con base a lo señalado, al pasar del tiempo se han creado una serie de normas que evitan o regulan la calidad del producto. Para que el consumidor tenga garantía de que es un producto confiable, entre las más relevantes están las normas y el CODEX STAN 1993-1995. Donde se presentan los límites que están establecidos en general para una serie de productos lácteos que son para el consumo humano. Nos dice que para el Cadmio es de 0.100 mg/kg, mientras que para el Plomo es de 0.200 mg/kg. En la norma establece los procedimientos que se deben cumplir tanto para el de transporte y almacenamiento, en cuestión de legumbres y cereales. Los límites para el Cadmio son de 0.100 mg/kg, mientras para el Plomo es de 0.500 mg/kg.

VI. CONCLUSIONES

Para el caso del Cadmio, es el metal que se encontró en menor cantidad, tanto en hoja como en raíz, para el tratamiento 2, correspondiente a agua de pozo, los resultados obtenidos están dentro de los que permiten las normas Mexicanas. Concluyendo que el Cadmio encontrado en la alfalfa no causan ningún daño a la salud de seres vivos y estructura de la alfalfa.

Para el Cobre, este es un metal que se encontró en mayores cantidades, principalmente en el tratamiento 1, correspondiente a aguas negras, donde según las Normas Mexicanas lo que permiten es 0.500 mg/kg, y encontrando valores superiores a los 0.200 mg/kg, es decir que ya existe un riesgo, consumir muy a menudo este tipo de productos con niveles considerables de Cobre. Concluyendo así que consumir la alfalfa es un riesgo para la salud de los seres humanos.

El Plomo, sin duda es un metal de lo más preocupante, los resultados arrojan que está por debajo de lo permitido por las Normas Mexicanas, de igual manera que el Cobre tienen valores considerables a los 0.500 mg/kg, es decir que el Plomo supone un riesgo potencial para la salud humana, debido a lo perjudicial que es para el organismo, ya que se ha señalado que el cuerpo humano, no necesita ni una cantidad de Plomo, siendo así, cualquier cantidad de Plomo en el cuerpo es dañina para la salud de los seres humanos.

En el tallo y raíz del tratamiento 1 y 2, fue donde se encontraron las mayores concentraciones de Cadmio, Cobre y Plomo, siendo el Cobre el que registro los más altos valores.

VII. LITERATURA CITADA

- Acosta, D., Macías, V., Mendoza, L., Cabello, A. 2013. Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides tempranillo (*Vitis vinifera*) en baja california, México. Colegio de Postgraduados Texcoco, México. Vol. 47, núm. 8.
- Azcona, M., Ramírez, R., Vicente, G. 2015. Efectos tóxicos del plomo. Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado México. Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas, vol. 20, núm. 1, pp. 72-77.
- Barberis, N., Odorizzi, A., Álvarez, C., Basigalup, D., & Arolfo, V. 1 INTA-EEA Manfredi. 2012. Evaluación económica de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) para henificación en el centro de la provincia de Córdoba. Grupo Economía. INTA-EEA Manfredi. Mejoramiento genético de alfalfa.
- Bazán, V., Graciela, Y., Coronado, L., & Fuentes, N. 2017. Comportamiento productivo de la alfalfa (*Medicago sativa* L.) en diferentes variedades, sometidas al pastoreo en Valle de Huaral. Revista de investigación del Perú. pp 43-749
- Becerra, M., Sainz, S., & Muños, C. 2006. Los conflictos por agua en México. Diagnóstico y análisis. Centro de investigación y Docencias Económicas. Distrito Federal, México. Vol. XV, núm. 1. pp. 111-143
- Cantú, L. 2008. Libro Científico Anual Agricultura, Ganadería y Ciencia Forestal UAAAN. Agricultura sustentable. Digestibilidad In vitro y características de Alfalfa (*Medicago sativa* L.). Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. pp. 2-11.
- Cartaya, O., Guridi, F., Cabrera, A., Moreno, A, y Hernández, Y. 2017. Efecto de la aplicación foliar de oligogalacturónidos a plántulas de tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la Fito extracción de cobre de suelo contaminado. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba. pp. 142-147

- Castañeda, A., & Flores, H. 2013. Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México. *Revista de Tecnología y Sociedad*. Universidad de Guadalajara, México
- Castro, C., Bauer, L., Trinidad, A., Carrillo, R. 2007. Cadmio, plomo, níquel y zinc en suelos del Parque Desierto de los Leones. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, Mexicana*. Vol. 25, núm. 2, pp. 95-103
- CODEX STAN 1993-1995. Establece los límites para productos lácteos de consumo humano.
- Conagua, Semarnat. 2014. *Estadísticas del Agua en México*. Edición 2013. México.
- Cortes, F., Betancourt, F., & Medrano, J. 2010. Flujos Control Inicial en la Descarga de Aguas Residuales Industriales y Comerciales *Conciencia Tecnológica*. Instituto Tecnológico de Aguascalientes, México. pp. 43-49
- Díaz, E., Alvarado, A., & Camacho, K. 2012. El tratamiento de agua residual doméstica para el desarrollo local sostenible, San Miguel Almaya, México *Quivera*. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México vol. 14, núm. 1, pp. 78-97.
- Foro de captación de demandas del cultivo de alfalfa. 2003. Tlahuelilpan; Hidalgo. Recuperado el 12 de Febrero del 2018, de <https://www.cofupro.org.mx/cofupro/Publicacion/Archivos/penit3.pdf>.
- García, M., García, G., Grisaly, M. 2010. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, daño oxidativo y concentración foliar de metabolitos secundarios en dos variedades de caraota (*Phaseolus vulgaris* L. *Asociación Interciencia Caracas, Venezuela Interciencia*, Vol. 35, núm. 11, pp. 840-846.
- Hernández, E., Quiñones, E., Cristóbal, D., & Rubiños, E. 2014 Calidad biológica de aguas residuales utilizadas para riego de cultivos forrajeros en tulancingo, hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, vol. 20, núm. 1, pp. 89-100.

- INFO-RURAL Junio del 2012. Recuperado el 20 de febrero del 2018, de <https://www.inforural.com.mx/alfalfa-produccion-nacional/>
- Izazola, H. 2001. Agua y sustentabilidad en la Ciudad de México Estudios Demográficos y Urbanos. El Colegio de México, A.C. Distrito Federal, México. , núm. 47, pp. 285-320.
- Jiménez C., Durán, J. & Méndez C. 2010. Calidad. En: Jiménez C., M.L. Torregrosa y L. Aboites (Eds.). El Agua en México: cauces y encauces. AMC-Conagua. México.
- Landeros, O., Trejo, R., Reveles, M., Valdez, R., Arreola, J., Pedroza, A., Ruíz, J. 2011. Uso potencial del huizache (*Acacia farnesiana* L. Willd.) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo. Universidad Autónoma Chapingo, México. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 12, pp. 11-20
- Lecca, E., & Ruiz, E. 2014. Caracterización de las aguas residuales y la demanda bioquímica de oxígeno Industrial Data. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú. Vol. 17, núm. 1. pp. 71-80
- León, M & Sepúlveda, J. 2012. El daño por oxidación causado por cobre y la respuesta antioxidante de las plantas. Asociación Interciencia, Caracas. pp 805-811
- Mancilla, O., Ortega, H., Ramírez, C., Uscanga, E., Ramos, R., Reyes, L. 2012 Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México. Revista internacional de contaminación ambiental. Universidad Nacional Autónoma de México. Vol. 28, pp. 39-48
- Marcano, K., & Delvasto, P. 2016 Contaminación de suelos por metales pesados debido a la presencia de pilas gastadas. Revista de Investigación. Universidad Pedagógica Experimental Libertador Caracas, Venezuela. Vol. 40, pp. 78-104

- Márquez, O., & García, E. 2003. Evaluación de 22 cultivares de alfalfa en la Comarca Lagunera. Cotejado de informes de investigación en forrajes. CELALA-CIRNOC-INIFAP.
- Martínez, R., Nebot, E., María, J., Kapravelou, A., Talbi, B., Eulogio, J., & López, M., 2015. Medicago sativa L.: Mejora y nuevos aspectos de su valor nutritivo y funcional por inoculación bacteriana *Nutrición Hospitalaria*, vol. 32, núm. 6., Grupo Aula Médica Madrid, España., pp. 2741-2748
- Matte, Thomas. 2003. Efectos del plomo en la salud de la niñez. Instituto Nacional de Salud Pública Cuernavaca, México. Vol. 45, pp. 220-224
- Medina, E., & Gómez, A. 2009. Tratamiento de aguas residuales mediante irradiación gamma. Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México. Vol. 11, núm. 1, pp. 12-21
- Méndez, F., Marcial, A., Ricardo, C., Martha, P., Pérez, P., Hernández, C., & Campos, O. 2006. Uso de las aguas residuales para el riego de cultivos agrícolas, en la agricultura urbana. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 15, núm. 3, pp. 17-21.
- Méndez, T., Rodríguez, L., & Palacios, S. 2000. Impacto del riego con aguas contaminadas, evaluado a través de la presencia de metales pesados en suelos. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México, vol. 18, núm. 4. pp. 277-288
- Montemayor, A., Reza, J., Munguía, J., Román, A., & Segura, A. 2012. Producción de alfalfa (*Medicago sativa* L.). Cultivada con riego sub-superficial y diferentes niveles de fósforo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 3. pp 1321-1334.
- Montero, S., García, R., Pérez, J., Calzadilla, M., & Herrera, P. 2009. Riego con aguas residuales a los cultivos del sorgo y maíz como alternativa para la producción de alimento animal *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, vol. 18, núm. 4, pp. 44-48

- Morton, O. 2006. Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México. *Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*, vol. 9, núm. 1, pp. 45-47.
- NOM-001-SEMARNAT-1996. (s.f.) Regula límites establecidos para el almacenamiento y uso de suelos para la agricultura en cuestión de aguas residuales.
- NOM-127-SSA1-1994. Establece los límites establecidos para la potabilización del agua.
- NOM-147.SEMARNAT/SSA1-2004. Establece los límites para reutilizar suelos, que anteriormente tuvieron contaminación con metales pesados.
- NOM-247-SSA1-2008. Establece procedimientos en el transporte y almacenamiento de legumbres y cereales.
- Oliveira, C., Amaral, N., Mazur, N., Soares, F. 2003. Solubilidad de cadmio y zinc en suelos agrícolas tratados con lodo residual enriquecido. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo*. Vol. 21, núm. 3, pp 351-363.
- Ortiz, H., Trejo, R., Valdez, R., Arreola, J., Flores, A. 2009. Fito extracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Universidad Autónoma Chapingo, México. Revista de horticultura*, vol. 9. pp. 161-168.
- Pérez, O. 2002. Efecto de la aplicación de aguas residuales industriales en las propiedades físicas y químicas del suelo. *Agro ciencia*, vol. 36, núm. 3. Colegio de Postgraduados Texcoco, México
- Prieto, J., González, C., Román, A., & Prieto, F. 2009. Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua Tropical. *Universidad Autónoma de Yucatán Mérida, Yucatán, México*. Vol. 10, núm. 1, pp. 29-44

- Ramírez, A. 2002. Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. Universidad Nacional Mayor de San Marcos Lima, Perú. Vol. 63, núm. 1, pp. 51-64
- Rodríguez, A., Suárez, S., & Palacio, D. 2014. Efectos de los plaguicidas sobre el ambiente y la salud. Instituto Nacional de Higiene, Epidemiología y Microbiología Ciudad de La Habana, Cuba. Vol. 52, Núm. 3, Pp. 372-387
- Romero, K., & Hernández P. 2009. Contaminación por metales pesados. Revista Científica Ciencia Médica. Universidad Mayor de San Simón Cochabamba, Bolivia. Vol. 12, pp. 45-46
- Romero, M., Colín, A., Sánchez, E., & Ortiz, L. 2009. Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales: evaluación de la remoción de la carga orgánica. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, vol. 25, núm. 3, pp. 157-167
- Rubio, A., Gutiérrez, R., Martín, C., Revert, G., Lozano, A. 2004. El plomo como contaminante alimentario. Asociación Española de Toxicología España Revista de Toxicología, Vol. 21, núm. 2-3, pp. 72-80.
- Sánchez, J. 2005. Rendimiento y calidad de la alfalfa mediante la aplicación de fosforo y riego por goteo superficial. Tesis. Doctorado. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.
- Santamaría, C., et al. 2000. Producción y utilización de la alfalfa en la zona norte de México, establecimiento de la alfalfa. Libro técnico No.2. Impreso en México. INIFAF. CIRNOC. CELALA. pp. 7-10.
- Silva. J., Torres, P., & Madero, C. 2006. Reusó de aguas residuales domésticas en agricultura. Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal.
- Sobrinho, N., González, J., López, R & Guedes, J. 2013. Contenido natural de metales pesados en suelos de regiones ganaderas de las provincias de

- Mayabeque y Artemisa en Cuba. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, vol. 47, núm. 2, pp 209-216.
- Toledo, A. 2002. El agua en México y el mundo *Gaceta Ecológica*, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales Distrito Federal, México. núm. 64. pp. 9-18.
- Torres, J., & Durán, S. 2015. Cobre: propiedades y efectos sobre la salud. Grupo Aula Médica Madrid, España vol. 31, núm. 1, pp. 76-83
- Trejo, L., García, E., Meneses, C., & Velásquez, M. 2003. Programa estratégico de investigación y transferencia de tecnología del estado de Hidalgo. Documento en CD.INIFAP-Universidad Autónoma de Hidalgo.
- Trejo, R., García, N., Flores, A., Arreola, J., Santamaría, E., Gutiérrez, G. 2006 Evaluación de niveles de contaminación con plomo en suelos de bermejillo, Durango. Universidad Autónoma Chapingo Durango, México. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, vol. V, núm. 2, pp. 225-229.
- Vázquez, A., Cajuste, J., Carrillo, R., Zamudio, B., Álvarez, E., Castellanos, J. 2005. Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del mezquital, Hidalgo. *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo*, México. Vol. 23, núm. 4, pp. 447-455
- Vázquez, C., García, J., Salazar, E., Murillo, B., Orona, I., Zuñiga, R., Rueda, E., & Preciado, P., 2010. Rendimiento y valor nutritivo de forraje de alfalfa (*Medicago sativa*) con diferentes dosis de estiércol bovino. *Revista mexicana de ciencias pecuarias*. pp. 363-372.
- Zamora, F., Rodríguez, N., Torres, D., & Yendis, H. 2008. Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, estado Falcón. Universidad Centro occidental Lisandro Alvarado Barquisimeto, Venezuela. *Bioagro*, vol. 20, núm. 3, pp. 193-199

Zurita, F., Castellanos, A., & Rodríguez, A. 2011. El tratamiento de las aguas residuales municipales en las comunidades rurales de México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, pp. 139-150.