

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA



Determinación de Cobre y Plomo en suelo, irrigado con agua residual tratada.

POR

MARÍA GABRIELA VILLA GALINDO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Determinación de Cobre y Plomo en suelo, irrigado con agua residual tratada.

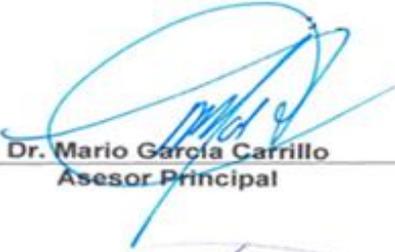
POR

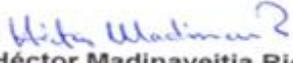
MARÍA GABRIELA VILLA GALINDO

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por:


Dr. Mario García Carrillo
Asesor Principal


Dr. Héctor Madinaveitia Ríos
Coasesor


Dr. Alfredo Ogaz
Coasesor


Ing. Joel Limones Avitia
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras
Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2018



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA

Determinación de Cobre y Plomo en suelo, irrigado con agua residual tratada.

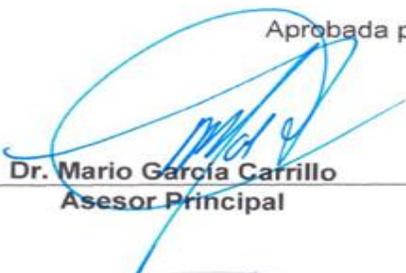
POR

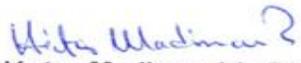
MARÍA GABRIELA VILLA GALINDO

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

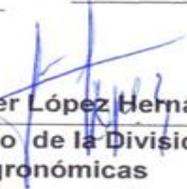
Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Mario García Carrillo
Asesor Principal


Dr. Héctor Madinaveitia Ríos
Coasesor


Dr. Alfredo Ogaz
Coasesor


Ing. Joel Limones Avitia
Coasesor


M.E. Javier López Hernández
Coordinador Interino de la División de Carreras
Agronómicas

Torreón, Coahuila, México
Diciembre 2018



Agradecimientos

Dr. Mario García Carrillo, siendo catedrático excelente, y dándome la oportunidad de pertenecer a su grupo de trabajo con tan buen proyecto.

Dr. Alfredo Ogaz, por haberme orientado dentro de la investigación de igual forma brindado su apoyo para el mejor entendimiento de resultados,

A la Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo por su apoyo, tolerancia y profesionalismo, en cada uno de sus actos por ayudarme a concretarme con éxito los resultados de este proyecto.

Los técnicos José Silverio Alvares, Juan Carlos Mejía Cruz apoyando en resultados de laboratorio.

Dedicatoria

A mi mayor soporte; mi familia.

Sr. Crecencia Galindo Hernández, mi madre agradeciendo su empeño y dedicación por saberme mantener y sobrellevar todas las situaciones con su dulzura y amor.

Sr. Rafael Villa Gallardo, mi padre, que con su dedicación, consejos y admirable firmeza, han contribuido en mi para, tornar la dirección correcta.

Mi hermano, amigo, y segundo padre Sergio Rafael Villa Galindo, que ha estado conmigo, siempre, dándome su total apoyo incondicional y sincero cuando más lo necesito, así como sus consejos siempre buscando mi felicidad y bienestar.

Mi hermana Wendy Villa Galindo, demostrándome la valentía de afrontar los errores con firmeza, ante cualquier adversidad, así como el amor incondicional.

Mis sobrinos Sofí y Dany; llenando de alegría mis días y demostrándome el mayor de los consejos que la vida es un juego interminable.

A mi amigo, compañero, y cómplice que en tan poco tiempo, me ha colmado de su apoyo incondicional. José Guadalupe Razo Tejeda, Creciendo juntos.

Resumen

Debido a la creciente industrialización y desarrollo de nuevas tecnologías para mejorar la producción de los diferentes sectores económicos, se ha intensificado de igual forma la contaminación de diversos ecosistemas. Los Metales Pesados son uno de los contaminantes con mayor importancia debido a su alcance, biodisponibilidad y daños que pueden causar tanto a la salud pública como al medio ambiente. Uno de los sistemas con mayor importancia de investigación hacia esta problemática es el suelo, siendo el responsable para la producción de alimentos. El objetivo de este trabajo fué la determinación de Cobre y Plomo en un suelo irrigado con agua residual tratada. La toma de muestra fue en 4 repeticiones, a las siguientes profundidades: 0-30, 30-60 y 60-90 cm, en un terreno agrícola ubicado en ejido Rancho Alegre, municipio de Torreón, Coahuila. El diseño experimental utilizado fue completamente al azar. La cuantificación se realizó con un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380, dentro de las instalaciones del Laboratorio de Suelos ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Los resultados mostraron que las mayores concentraciones fueron obtenidas en la profundidad 0-30 cm para el Pb con un promedio de 19.725 (mg/kg), para Cobre la profundidad 30-60 cm fue en la que se encontró la mayor concentración con un promedio de 10.7 (mg/kg).

Palabras clave: Toxicidad, Suelo, Metales pesados, Medio ambiente.

Índice General

Agradecimientos	i
Dedicatoria	ii
Resumen	iii
I Introducción	1
1.1 Objetivos.....	2
1.2 Hipótesis.....	2
II Revisión de literatura	3
2.1 Generalidades de metales pesados	3
2.2 Problemática medioambiental de los metales pesados.....	4
2.3 Metales pesados en suelo	7
2.4 Investigaciones sobre metales pesados en suelos	12
2.5 Metales pesados en salud pública	14
2.2.1 Plomo (Pb)	16
2.2.2 Toxicidad del Pb en el ser humano.....	18
2.3. Cobre (Cu).....	20
2.3.1 Toxicidad del cobre en el ser humano.....	20
2.4 Metales pesados en agua.....	22
2.4.1 Aguas residuales tratadas.....	24
2.4.2 Aguas residuales tratadas uso agrícola	26
III Materiales y métodos	28
3.1 Ubicación geográfica de toma de muestras	28
3.2 Muestreo de suelo	29
3.3 Preparación de muestra de suelo	29
3.4 Diseño experimental.....	29
3.5 Determinación de Plomo y Cobre en suelo	29
3.6 Materiales y reactivos	30
3.7 Formulación de soluciones	31
3.8 Procedimiento de extracción de las muestras.....	32
IV Resultados	33

4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo.....	33
4.2 Concentración Pb en relación a la profundidad de muestreo.....	36
4.3 Concentración Cu en relación a la profundidad de muestreo	37
4.4 Relación de porcentajes de Cu y Pb en relación a la profundidad de muestreo	38
4.5 Análisis de varianza para la concentración de metales pesados en suelo	39
4.6 Comparación de medias para la concentración de metales pesados en suelos	40
V Discusión.....	41
VI Conclusión.....	43
VII Bibliografía	44
VIII Anexos	52

Índice de Cuadros

Cuadro 1. Concentraciones de referencias totales.....	9
Cuadro 2. Coordenadas geográficas de punto de muestreo.....	28
Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas del suelo.....	33
Cuadro 4. Coeficiente de correlación más importante para el plomo.....	33
Cuadro 5. Coeficiente de correlación más importante para el cobre.....	34
Cuadro 6. Concentraciones de metales pesados en suelo.....	35
Cuadro 7. Análisis de varianza de Cu y Pb en suelo.....	39
Cuadro 8. Comparación de medias por el método de Tukey para los metales pesados en suelo.....	40
Cuadro 9A Correlación entre las propiedades físicas del suelo y la concentración de los metales pesados.....	52
Cuadro 10A Estadísticas descriptiva de las propiedades físicas y químicas del suelo.....	53

Índice de figuras

Figura 1 Dinámica de metales pesados.....	8
Figura 2. Vías de exposición.....	14
Figura 3. Ubicación geográfica de puntos de muestreo	28

Índice de Graficas

Grafica 1. Concentraciones de Pb en relación a la profundidad de muestreo.	36
Grafica 2. Concentración de Cu en relación a la profundidad de muestreo	37
Grafica 3. Porcentaje de concentración de Cu y Pb de acuerdo a la profundidad de muestreo	38

I Introducción

El desarrollo de nuevas tecnologías dentro de los últimos años ha logrado intensificar diversos procesos en diferentes ramas económicas, gracias a lo que ha servido para alcanzar calidad y productividad en dichos sectores. De forma colateral y a la par se ha visto también elevado de manera exponencial diversos índices de contaminación dentro de los diferentes ecosistemas.

Uno de los mayores problemas ambientales es la contaminación por metales pesados, debido a que puede causar daños significativos al medio ambiente como a la salud pública dependiendo de su grado de exposición. Las principales fuentes de contaminación se encuentran la minería, la metalúrgica, la agricultura, los vehículos automotores y los aportes naturales de ciertos acuíferos.

Dentro del avance en los sectores productivos también se ha intensificado la explotación de recursos naturales, siendo el más afectado el hídrico donde el porcentaje para consumo humano, ha sido distribuido en gran medida a dichos sectores, siendo el de mayor demanda para su producción el agropecuario. De esta forma, en los últimos años se ha tenido gran desarrollo para el aprovechamiento y reutilización de dicho recurso.

Es de suma importancia la investigación y monitoreo de las concentraciones de metales pesados en suelo, cuando se aplica alguna de estas nuevas tecnologías de reutilización de agua para fines de eficiencia en el sector agropecuario, ya que al estar dentro del sistema, pudieran contener trazas de dichos metales ocasionando una bioacumulación o tener movilidad dentro del sistema alimentario.

1.1 Objetivos

Determinar la concentración de metales pesados (Cu y Pb) a tres profundidades de suelo.

Relacionar las propiedades físicas del suelo con las concentraciones de Plomo y Cobre en las profundidades del suelo estudiadas (0-30, 30-60 y 60-90 cm).

1.2 Hipótesis

En la parte superficial del suelo (0 -30 cm.) , se encuentra la mayor concentración de Plomo y Cobre.

Existe una correlación positiva entre la Materia orgánica y la concentración de Pb y Cu en las diferentes profundidades del suelo.

II Revisión de literatura

2.1 Generalidades de metales pesados

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. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Cromo (Cr), Talio (Tl), y Plomo (Pb), entre otros (Moncayo, *et al.*, 2010)

De igual forma se definen como “metales pesados” aquellos elementos químicos que presentan una densidad igual o superior a 5 g cm^{-3} cuando están en forma elemental, o cuyo número atómico es superior a 20 (excluyendo a los metales alcalinos y alcalinotérreos). Su presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%. No obstante, en primer lugar, conviene clarificar que el término “metales pesados” es impreciso. En verdad se pretende indicar con este término aquellos metales que, siendo elementos pesados, son “tóxicos” para la célula. Sin embargo en realidad cualquier elemento que a priori es beneficioso para la célula, en concentraciones excesivas puede llegar a ser tóxico.

Los metales pesados se clasifican en dos grupos:

- Oligoelementos o micronutrientes. Necesarios en pequeñas cantidades para los organismos, pero tóxicos una vez pasado cierto umbral. Incluyen As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn.
- Sin función biológica conocida. Son altamente tóxicos, e incluyen Ba, Cd, Hg, Pb, Sb, Bi. (Navarro - Aviñò, *et al.*, 2007a)

La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables. Una vez emitidos, principalmente debido a la actividad industrial y minera, pueden permanecer en el ambiente durante cientos de años, contaminando el suelo y acumulándose en las plantas y los tejidos orgánicos. Además, su concentración en los seres vivos aumenta a lo largo de la cadena alimentaria (Alarcon, et al., 2006).

2.2 Problemática medioambiental de los metales pesados

La contaminación por metales pesados es un problema que ha ido en aumento debido principalmente a actividades antrópicas. Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran la minería, la metalúrgica, la agricultura, los vehículos automotores y el aporte natural en ciertos acuíferos (Covarrubias y Peña- Cabrales, 2017).

La contaminación por metales pesados, aspectos que repercuten en la calidad de vida de las poblaciones directa e indirectamente involucradas (Gutiérrez-Agramont, 2009).

Todos los elementos en cierta concentración son tóxicos, dada su persistencia, bioacumulación y la posibilidad de incorporarse a la cadena trófica. (Santos-Bermejo, *et al.*, 2003)

El aprovechamiento de los recursos se da de una manera descontrolada, que dista mucho de las nociones de desarrollo sostenible de los países enmarcado en un proceso de economía transitoria (Quiñones-Bolaños, *et al.*, 2015)

Varios organismos gubernamentales han establecido límites máximos permisibles de dichos contaminantes en aguas potables y residuales para evitar daños al ambiente y riesgos de salud pública (Castillo-Mendoza, *et al.*, 2016).

La introducción repentina de compuestos químicos xenobióticos o la reubicación masiva de materiales naturales en diferentes compartimientos ambientales, con frecuencia puede abatir la capacidad de autolimpieza de los ecosistemas receptores y por lo tanto dar como resultado la acumulación de contaminantes a niveles problemáticos y hasta perjudiciales. Se hace necesario acelerar la eliminación de los contaminantes para remediar los problemas existentes y disminuir el impacto de incidentes futuros mediante el control del ingreso de contaminantes (Cañizares-Villanueva, 2000).

Sin lugar a dudas las explotaciones mineras, la contaminación del suelo, el agua, las plantas y animales por cuenta de la industrialización, los fertilizantes, insecticidas químicos y otras actividades propias del desarrollo de las sociedades actuales han propiciado el aumento exagerado de metales pesados: mercurio (Hg), plomo (Pb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), cromo (Cr), entre otros y como consecuencia directa la contaminación. Además sumado a factores como: el cambio climático, el efecto invernadero, la deforestación, la pérdida de recursos naturales en flora y fauna han aumentado la amenaza de los metales pesados en la naturaleza. (Londoño-Franco, *et al.*, 2015).

Los metales pesados son, por lo tanto, grandes contaminantes que al asociarse con elementos ácidos, aumentan la actividad sinérgica, en su efecto dañino potencial y finalmente pueden acarrear elementos biológicos que van desde pólenes hasta bacterias, hongos y virus (Lerma-Torres, *et al.*, 2016)

Uno de los problemas derivados de la actividad industrial es la alta generación de efluentes residuales, siendo los metales pesados contenidos en estos efluentes, uno de los grupos de contaminantes que mayor atención ha captado debido a los daños que su acumulación produce en los ecosistemas (Tejeda-Benítez, *et al.*, 2014)

El monitoreo de los metales pesados es una herramienta utilizada en muchos países desarrollados para evaluar la calidad de los ecosistemas . (Marín, *et al.*, 2016).

Elevadas concentraciones de Cu y Pb pueden causar efectos de mortalidad y tetratogénicos en aves acuáticas. Por otro lado, se tienen informes de la captación de metales por las plantas acuáticas y que posteriormente, pasan a la biota acuática (Peijnenburg y Jage, 2003).

Los metales pesados asociados con el sedimento vial pueden deteriorar la calidad del aire, del suelo y de la vegetación del entorno cuando son suspendidos por el viento y la turbulencia inducida por el tráfico. Adicionalmente, pueden afectar la calidad del agua de los sistemas fluviales cuando son transportados por la escorrentía (Romero-Barreiro, *et al.*, 2015)

2.3 Metales pesados en suelo

El suelo se describe como material no consolidado, de origen natural, compuesto por partículas inorgánicas, materia orgánica, agua, aire y organismos, que incluye aquél alterado por actividades antropogénicas. (PROFEPA, 2006)

El Suelo se utiliza para fines muy diversos: agricultura, ganadería, pastos y montes, extracción de minerales y de materiales para la construcción, soporte para las edificaciones, eliminación de residuos y actividades de ocio y recreo, entre otros. En este sentido, puede decirse este recurso provee importantes funciones ambientales, dentro de los cuales se destaca ser el sustento de alimento para las plantas, almacenar nutrientes, poseer y albergar materia orgánica proveniente de restos animales y vegetales, ser el hábitat de diversos organismos que transforman la materia orgánica presente en él, entre otros factores que lo hacen ser esencial en el desarrollo de los ecosistemas de los cuales forma parte. (Arroyave, *et al.*, 2009)

El suelo es un sistema vivo, heterogéneo y dinámico que incluye componentes físicos, químicos, biológicos y sus interacciones. Por lo tanto, para evaluar su calidad resulta necesario la medición y descripción de sus propiedades. La definición más completa y mundialmente aceptada define la calidad como la capacidad del suelo para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural o manejado, sustentar la productividad de plantas y animales, mantener o mejorar la calidad del aire y del agua, y sostener la salud humana y el hábitat. (Vallejo-Quintero, 2003)

La valoración de la contaminación del suelo y adopción de valores estándar para niveles de metales pesados son fundamentales para mantener las funciones agrícolas y ecológicas de los suelos (Perez, et al., 2000).

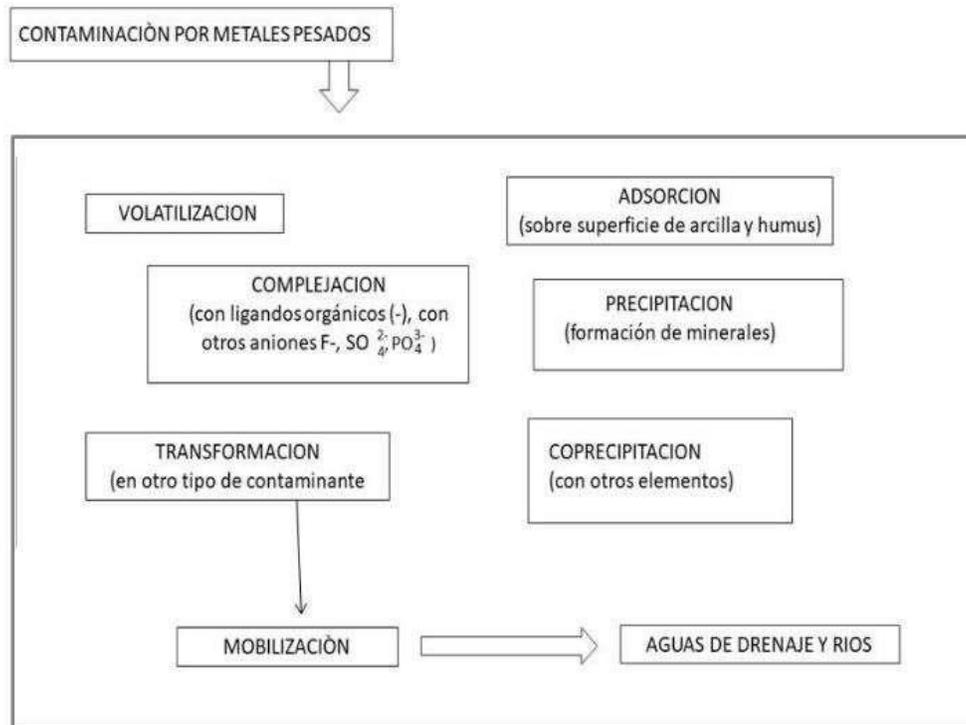


Figura 1 Dinámica de metales pesados

(García, et al., 2002)

La concentración de metales pesados (Cd, Cu, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn etc.) en el suelo es un factor limitante en el uso agrícola del mismo. El problema más relevante es la movilidad de los iones del metal y su disponibilidad para las plantas. La concentración de metales pesados tiene su origen en la meteorización que experimenta el material parental bajo condiciones normales de formación del suelo. Aunque los metales pesados son constituyentes naturales en todos los suelos, su concentración se puede incrementar debido a fuentes antropogénicas. (González, et al., 2010a)

La presencia de los metales pesados en los productos agrícolas por encima de los límites máximos permisibles está generando una gran preocupación a los agricultores (Rodríguez- Sanchez y Trigozo-Rengifo, 2017)

Los metales pesados presentes en los suelos no se comportan como elementos estáticamente inalterables, sino que siguen unas pautas de movilidad generales (Navarro-Aviñó, et al., 2007b).

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

Cuadro 1. Concentraciones de referencia totales.

Concentraciones de referencia totales (CR _T) por tipo de uso de suelo		
Contaminante	Uso agrícola /residencial/comercial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Bario	5 400	67 000
Berilio	150	19 00
Cadmio	37	450
Cromo Hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1 600	20 000
Plata	390	5 100
Plomo	400	800
Selenio	390	5 100
Talio	5,2	67
Vandio	78	1000

(SEMARNAT,2004)

La contaminación del suelo con metales pesados es un grave problema, que plantea riesgos para el ser humano, animales y al ecosistema. La movilidad de los metales pesados y otros contaminantes dentro de los ecosistemas del suelo surge a través de procesos naturales y esto dependen principalmente de la geología de la zona así como las actividades antropogénicas como los residuos sólidos, riego de aguas residuales, aplicación de lodos, emisión de fuentes móviles, minería, urbanización y demás actividades agrícolas y de industrialización.(Khan, *et al.*, 2015).

En los suelos se pueden encontrar diferentes metales, formando parte de los minerales propios; como son silicio (Si), aluminio (Al), hierro (Fe), calcio (Ca), sodio (Na), potasio (K), magnesio (Mg). También puede encontrarse manganeso (Mn), que generalmente se presenta en el suelo como óxido y/o hidróxido, formando concreciones junto con otros elementos metálicos. Algunos de estos metales son esenciales en la nutrición de las plantas, así son requeridos algunos de ellos como el Mn, imprescindible en el fotosistema y activación de algunas enzimas para el metabolismo vegetal. (Moncayo, *et al.*, 2010b)

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, incluido el hombre. En la corteza terrestre existe una similitud entre la distribución de níquel (Ni), cobalto (Co) y hierro (Fe). En los horizontes superficiales del suelo (capa arable), el Ni aparece ligado a formas orgánicas, parte de las cuales pueden encontrarse formando quelatos fácilmente solubles. El níquel (Ni) es también un elemento

esencial para el metabolismo de las plantas, aún cuando éstas requieren menos de 0.001 mg kg^{-1} de peso seco También de forma natural puede encontrarse el zinc (Zn) en los suelos, y es un nutriente requerido por las plantas para su desarrollo (Moncayo, et al., 2010c)

Los metales pesados están presentes en los suelos como componentes naturales del mismo o como consecuencia de las actividades antropogénicas. (Prieto-Méndez, et al., 2009).

La contaminación del agua y suelo por metales, es uno de los problemas ambientales más severos, además de difícil de resolver, y en nuestro país como consecuencia del desarrollo industrial se ha registrado una creciente y preocupante contaminación ambiental. (Balleño, et al., 2016).

Realmente lo que hace tóxico a los metales pesados no son sólo sus características químicas, sino las concentraciones en las que pueden presentarse, y más importante aún el tipo de compuesto o metabolito que forman. (Abrahams, 2002)

Los componentes de la fase sólida del suelo, el pH y el número y accesibilidad de los sitios de absorción, son algunos de los factores que influyen en la especiación del metal en el tiempo. Además, los resultados analíticos se ven afectados por modalidades operativas, tales como la relación suelo/solución, tiempo de extracción, tipo de suelo, temperatura, solución extractora y el tamaño de las partículas del suelo. (González, et al., 2010b).

El crecimiento continuo en la demanda de bienes producidos por las industrias químicas ha generado la acumulación de metales pesados tanto en suelos como en aguas. (Moreno, et al., 2008).

Actualmente, la distribución, movilidad, disponibilidad biológica y toxicidad de los elementos químicos no son funciones de la concentración total de metales, sino de la forma química en la que se encuentren. (Pérez-Argota, 2016).

Desde hace algunos años, los metales pesados constituyen un serio peligro para la humanidad, ya que una vez en el suelo, siguen varias vías que conducen a las cadenas tróficas. Mediante la absorción o lavado; dependiendo de la solubilidad, movilidad y volatilización de cada uno de los elementos, pueden llegar a los organismos vivos a través de la piel, las mucosas y el sistema respiratorio produciendo daños agudos e incluso la muerte (Walid, *et al.*, 2009)

2.4 Investigaciones sobre metales pesados en suelos

(Balderas - Plata *et al.*, 2003) Mencionan en sus resultados de investigación enfocado a suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho, donde se manejaron las siguientes profundidades de suelo 0 a 10 y 10 a 30 cm, se tomaron a lo largo de un trayecto a intervalos regulares de 5 m, hasta una distancia de 25 m. Se observó que en el suelo estudiado, los contenidos de Cd, Cu, Cr, Ni, Pb y Zn presentan una distribución homogénea y la concentración más elevada de ellos se tuvo en la capa superficial del suelo (0 a 10 cm), localizada en el punto inicial del trayecto donde se tomaron las muestras. El índice de "Zn equivalente", criterio empleado para determinar el potencial tóxico del suelo, señala que el suelo del sitio, puede considerarse como potencialmente tóxico, por presentar valores de Zn equivalente superiores a $250 \mu\text{g g}^{-1}$. La presencia de Cd, Co, Cr, Fe, Mn, Ni y Zn en el suelo del sitio estudiado, en concentraciones superiores a las

detectadas en el suelo control, indica un aporte de estos elementos a partir del depósito de vehículos de desecho.

(Romero et al., 2008) Investigaron los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa, los elementos encontrados en el análisis geoquímico del relave, se puede deducir que la mineralogía trabajada en la zona corresponde a yacimientos polimetálicos de Cu, Pb, Zn, asociados con Au-Ag, formado dentro de un medio volcánico epitermal de baja temperatura. Los elementos Hg y Sb son elementos volátiles. La asociación mineralógica del relave con el silicio (superior a 80%), permitirá la encapsulación de los metales pesados, de este modo se remedia el relave, puesto que esta encapsulación natural determinará la mitigación de la generación de aguas ácidas que contaminen la cuenca del río Santa.

(Pozo, et al., 2011) Mencionaron en su investigación sobre humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas, midiendo en 26 estaciones de muestreo los metales pesados en suelos, su relación con las propiedades edáficas y su concentración en las plantas de arroz. Se recolectaron muestras de suelo en los 26 sitios, la determinación dio como resultado en mg kg^{-1} Cu 48,8, Fe 8.734, Mn 343, Zn 34, Hg no detectado, Cd 0,15, y Pb 4,4. Se evidenció los niveles de metales pesados en suelos de acuerdo al siguiente orden: Fe > Mn > Cu > Zn > Pb > Cd y Hg no detectado. El plomo medido en los cinco sitios presentó valores promedio de 6,55 - 8,87 mg kg^{-1} en suelos.

En la investigación realizada por (Marin, et al., 2000) las características físico-químicas y el contenido en los metales pesados (Zn, Ni, Cu, Cd, Pb, Mn) en 37 suelos de la Denominación de Origen Calificada Rioja. Mediante técnicas de análisis multivariado se han relacionado las variables edáficas con los metales pesados. Los contenidos en Pb, Mn, y Zn están

asociados entre sí y correlacionados negativamente con el contenido de CaCO_3 del suelo.

2.5 Metales pesados en salud pública

El crecimiento de las ciudades ejerce presión sobre el conocimiento de la calidad del suelo y su asociación como factor de contaminación, debido a que su condición trae efectos a la salud humana, principalmente por la concentración de metales pesados (Alcalà, et al., 2009).



(EPA, 1996)

Figura 2. Vías de exposición

Los metales pesados se han convertido en un tema actual tanto en el campo ambiental como en el de salud pública. Los daños que causan son tan severos, que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo ponen mucha atención en minimizar la exposición de estos elementos tóxicos a la

población, en particular de la población infantil (Perezgasga-Valdés y Morelos-Cabrera, 1999).

La presencia de ciertos elementos químicos en el medio ambiente, como los metales pesados (cadmio, plomo, cobre, mercurio, etc.), son consecuencia de su presencia espontánea en la naturaleza o de la actividad humana que incide directamente en los posibles riesgos químicos que su presencia puede generar para la salud humana. En los alimentos de origen vegetal, estos contaminantes pueden ser incorporados mediante técnicas de tratamientos de los cultivos o de tipo medioambiental, que inciden sobre la seguridad de los mismos. (Céspedes, et al., 2012)

El aumento mundial en la contaminación del agua y alimentos se asocia a riesgos en salud, principalmente por ingesta de contaminantes. Estos riesgos se relacionan con concentración, dosis y tiempo de exposición. Preocupan los posibles efectos a largo plazo por exposición crónica y en bajas concentraciones a metales pesados como plomo, cadmio y mercurio. (Figuroa, et al., 2017)

Se han realizado investigaciones que demuestran los efectos adversos ocasionados por los metales en la salud humana y en el desarrollo de los ecosistemas. (Lu, et al., 2005)

Los metales pesados son especialmente tóxicos debido a la facilidad de unirse a las proteínas e impedir el funcionamiento del Ácido Desoxirribonucleico (Valitutto, et al., 2006)

Los metales pesados son sustancias tóxicas y no biodegradables que presentan una alta persistencia y tienden a acumularse en los organismos vivos, provocando trastornos y en ocasiones la muerte. (Baytak y Turker, 2004)

Los contaminantes pueden abandonar un suelo por volatilización, disolución, lixiviado o erosión, y pasar a los organismos cuando pueden ser asimilables (bioasimilables), lo que normalmente ocurre cuando se encuentran en forma más o menos soluble. En concreto, la posibilidad de que un elemento (contaminante o no) quede libre y pase a disolución en un suelo se llama disponibilidad (Huertos -Galan y Baena-Romero, 2008).

2.2.1 Plomo (Pb)

El plomo es un metal pesado que por años se ha utilizado en la industria con diversos fines, por lo que tiene una amplia distribución en el ambiente. Esto, aunado a su elevada toxicidad, lo ha convertido en uno de los principales contaminantes ambientales con potencial patológico al que está expuesta la población humana. Los principales grupos de riesgo son los niños y los trabajadores de las industrias minera y metalúrgica, y de la elaboración de pinturas y el reciclaje de baterías. Otro grupo de riesgo son las familias que habitan en las áreas donde se asientan dichas industrias. El principal mecanismo tóxico del plomo es la suplantación de cationes polivalentes (esencialmente Calcio y Zinc) en las maquinarias moleculares del organismo, lo cual es posible gracias a una estructura iónica que le permite establecer interacciones muy favorables con los grupos que coordinan los cationes polivalentes en las proteínas, en ocasiones con más afinidad que la del propio ion suplantado. Por medio de este mecanismo afecta las proteínas transportadoras para metales, canales iónicos, proteínas de adhesión celular, diversas enzimas metabólicas y proteínas de unión al ADN, entre otros blancos moleculares. (Garza, *et al.*, 2005a)

El plomo es un metal útil para el trabajo del hombre pero sin ninguna utilidad biológica para nuestro cuerpo por este motivo se considera toxico para la salud. Es utilizado en la industria para la fabricación de acumuladores y baterías, en la

manufactura de cables, en la imprenta, en la composición del vidrio y barro vidriado, en las soldaduras, en la industria del petróleo como aditivo para las gasolinas y anteriormente en la fabricación de pinturas, lápices de colores y crayones. El plomo se emplea en el vidriado del barro, que los alfareros utilizan para darle resistencia térmica, un acabado brillante y una mejor presentación, para incrementar las ventas de dichas artesanías. (Alarcón-Sanchez, *et al.*, 2006)

El plomo se encuentra en metales de Uranio y de Torio, ya que proviene de la división radiactiva. Los minerales comerciales suelen contener poco plomo (3%), lo más común es que sea del (10%). Los minerales antes de fundirse pueden acumular hasta 40% o más de plomo.(Rahimi, 2013).

Se usa como aditivo antidetonante en la gasolina, baterías, en monitores de computadores y pantallas de televisión, joyería, latas de conserva, tintes para el pelo, grifería, pigmentos, aceites, cosmetología, aleaciones, cerámicas, municiones, soldaduras, plumas, armamento, radiación atómica, insecticidas, etc. (Lanphear, *et al.*, 2000)

El metal pesado más importante en la contaminación atmosférica es el plomo (Pb), el cual tiene la capacidad de unirse rápidamente a los compuestos orgánicos. Como característica principal, este elemento puede permanecer durante un largo periodo en los ecosistemas sin degradarse. (Lerma-Torres, *et al.*, 2016).

Las regiones que más resultan afectadas por la contaminación con plomo son las zonas donde se realizan algunas de estas actividades y existen cultivos agrícolas.(Balanta , *et al.*, 2010).

2.2.2 Toxicidad del Pb en el ser humano

El plomo es un metal pesado que no juega ningún papel en la fisiología humana, por lo que el nivel plasmático ideal debería ser cero. En la actualidad es prácticamente imposible encontrar alguna persona en la que no se detecten niveles de plomo en sangre (Ascione, 2001)

El Pb al ser menos soluble que otros metales se retiene en una mayor cantidad en los suelos, los suelos carbonatados son los que retienen en mayor proporción este elemento (casi 100%), los suelos ácidos retienen poco Pb (Calzada, *et al.*, 2006).

Cuando el plomo es ingerido en productos líquidos, el envenenamiento produce dolor abdominal, vómito, diarrea, colapso y coma. De manera crónica, puede producir parálisis de nervios craneales, falta de coordinación, coma y hasta la muerte. Por tal razón, estos compuestos deben ser supervisados con una alta diversidad de metodologías para su cuidadoso análisis. (Iwegbue- Chukwujindu, *et al.*, 2014)

El plomo es un metal pesado, cuya dosis mínima de toxicidad es de 0.5 mg/L (Gagan, *et al.*, 2013)

Aunque el plomo no suele producir intoxicaciones agudas, su acumulación en el organismo hace que la exposición a dosis bajas a largo plazo, en el medio laboral o a través del aire, agua o alimentos, dé lugar a la expresión de una toxicidad crónica. Partiendo de que la exposición a una cierta concentración de plomo es inevitable, se considera que la concentración sanguínea en la población no especialmente expuesta, es de 10 µg/dL como máximo, y que el

nivel a partir del cual hay que tomar medidas en los niños es de 10-14 $\mu\text{g}/\text{dL}$. (Ramos, *et al.*, 2015)

El Pb absorbido pasa al hígado y se excreta en parte por la bilis. Por ello son necesarias mayores cantidades de plomo para causar efectos por ésta vía o bien un mayor período de exposición. A través de la vía respiratoria la absorción es mayor si los polvos inhalados están en un fino estado particulado (partículas de menos de 5 micrones). Los síntomas tienden a desarrollarse más rápidamente por esta vía que por absorción digestiva. La absorción del plomo en el organismo se produce a través del sistema respiratorio o por el tracto gastrointestinal; la absorción percutánea sólo se da en su estado orgánico. Su absorción varía dependiendo del estado nutricional y de la edad. La absorción es mayor en la niñez, siendo en ellos de 30 a 50% mientras que en el adulto es del 10%. La deficiencia de hierro, calcio, así como el incremento de la ingesta de magnesio, fosfato, alcohol y grasa se han asociado a un incremento de la absorción gastrointestinal del plomo. (Garza, *et al.*, 2005b)

Otro problema relacionado con los estudios de los efectos del plomo con base en el coeficiente intelectual es la dificultad para plantear el significado que tiene en la vida del niño una disminución de uno, dos o tres puntos de coeficiente intelectual. Existen, sin embargo, estudios en niños que no presentan los problemas mencionados anteriormente (Azcona-Cruz, *et al.*, 2000)

El metal actúa como sustituto del calcio en varios eventos regulatorios intracelulares, ya que es capaz de activar las fosfodiesterasas dependientes de la calmodulina y las proteínas cinasas independientes de la misma, teniendo efectos, además, sobre los canales de calcio. Estas reacciones moleculares pueden contribuir a bajas dosis del plomo y a efectos sutiles sobre la función cerebral y la de otros sistemas y aparatos. El depósito de plomo en hueso está

influido por prácticamente todos los procesos que afectan el depósito o la movilización del calcio en el mismo, aunque se aclara que, como toda analogía, ésta también tiene sus limitaciones ya que, por ejemplo, la distribución de ambos iones en tejido sanguíneo es muy diferente.(Sanín, *et al.*, 1998).

2.3. Cobre (Cu)

El cobre (Cu) es maleable y dúctil, un excelente conductor del calor y la electricidad, y su capacidad funcional se altera muy poco con la exposición al aire seco. Si se encuentra en una atmósfera húmeda con anhídrido carbónico, se cubre con una capa verde de carbonato. El cobre es un elemento esencial del metabolismo humano. (Nordberg,2007a)

2.3.1 Toxicidad del cobre en el ser humano

A pesar de que en los trabajos químicos de referencia se indica que las sales de cobre son tóxicas, en la práctica esto sólo es cierto cuando las disoluciones se utilizan de forma incontrolada, con fines suicidas o como tratamiento tópico de áreas con quemaduras graves. Cuando se ingiere sulfato de cobre, también conocido como piedra azul o azul vitriolo, en cantidades del orden de gramos, se producen náuseas, vómitos, diarrea, sudoración, hemólisis intravascular y posible fallo renal; en raras ocasiones, se observan también convulsiones, coma y la muerte. Cuando se beben aguas carbonatadas o zumos de cítricos que han estado en contacto con recipientes, cañerías, grifos o válvulas de cobre se puede producir irritación del tracto gastrointestinal, que pocas veces llega a ser grave. Este tipo de bebidas son suficientemente ácidas para disolver niveles de cobre irritantes. Existe un informe de úlceras corneales e irritación cutánea, con baja toxicidad de otro tipo, en un minero que cayó en un baño electrolítico, aunque la causa pudo haber sido la acidez más que el cobre. En algunos casos en que se utilizaron sales de cobre para el tratamiento de quemaduras, se observaron concentraciones elevadas de cobre sérico y manifestaciones tóxicas. La inhalación de polvos, humos o nieblas de sales de cobre puede

causar congestión nasal y de las mucosas, y ulceración con perforación del tabique nasal. Los humos desprendidos durante el calentamiento del cobre metálico pueden producir fiebre, náuseas, gastralgias y diarrea. Efectos tóxicos crónicos atribuibles al cobre sólo parecen existir en personas que han heredado una pareja específica de genes recesivos autosómicos y que, como consecuencia, desarrollan una degeneración hepatolenticular (enfermedad de Wilson). Es una enfermedad rara. La mayor parte de la alimentación diaria que consume el hombre contiene de 2 a 5 mg de cobre, que prácticamente no se retiene en el organismo. El contenido corporal de cobre en una persona adulta es de 100 a 150 mg y es casi constante. En individuos normales (sin enfermedad de Wilson), casi todo el cobre está presente como parte integrante y funcional de una docena de proteínas y sistemas enzimáticos, como la citocromo oxidasa, la dopa-oxidasa y la ceruloplasmina sérica. En personas que ingieren grandes cantidades de ostras o mariscos de concha, hígado, setas, nueces y chocolate, alimentos todos ellos ricos en cobre, o en mineros que trabajan y comen durante 20 años o más en un ambiente cargado con un 1 ó 2 % de polvo de minerales de cobre, pueden llegar a observarse concentraciones hasta 10 veces superiores a lo normal. Sin embargo, aún no se ha descrito ningún caso de toxicidad crónica primaria por cobre (perfectamente definida a partir de las observaciones de pacientes con toxicosis por cobre crónica heredada la enfermedad de Wilson, como disfunción y lesiones estructurales hepáticas, del sistema nervioso central, de los riñones, los huesos y los ojos) excepto en personas que padecen la enfermedad de Wilson. Sin embargo, los depósitos excesivos de cobre hallados en el hígado de pacientes con cirrosis biliar primaria, colestasis y cirrosis infantil de la India pueden contribuir a la gravedad de la enfermedad hepática característica de estos procesos. (Nordberg,2007b)

2.4 Metales pesados en agua

Desde el punto de vista de la sustentabilidad, la calidad del agua y el tratamiento del agua residual son importantes para el cuidado de la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas (Santoyo et al., 2010).

El agua es el elemento vital para el desarrollo de muchas actividades, y actualmente, la insuficiencia de este elemento limita el adelanto de muchos países del tercer mundo. La mayor parte de las predicciones muestran que la escasez de agua será un problema cada vez más frecuente y creciente, sobre todo en los países que se encuentran en vías de desarrollo (ONU, 2003).

En las últimas décadas, la contaminación por metales pesados en los cuerpos de agua se ha convertido en un problema de preocupación mundial. La mayor parte de los niveles elevados de metales provienen de fuentes culturales (actividades agrícolas, minería, generación de energía, residuos domésticos), aunque una gran parte son introducidos por aportes litogénicos, derivados de los procesos de meteorización de las rocas circundantes. La acumulación por metales pesados representa un grave problema ambiental, los impactos negativos a la salud pública y a los ecosistemas locales y regionales (Hernández-García, *et al.*, 2008)

Desde la década de 1970, diversos estudios epidemiológicos han sugerido una asociación entre los contaminantes químicos con niveles superiores a los admisibles en el agua para consumo humano y la mayor probabilidad de desarrollar algún tipo de cáncer. Además, los niños menores de 2 años representan una subpoblación especialmente vulnerable a las sustancias carcinógenas, ya que su riesgo de desarrollar neoplasias malignas por esta causa es 10 veces mayor que el de los adultos y 3 veces mayor que el de los adolescentes de 3 a 15 años. El agua es un solvente excelente que puede contener en disolución un gran número de sustancias carcinógenas. (Oller-Arlandis y Sanz-Valero, 2012).

La contaminación de ríos y arroyos por contaminantes químicos se ha convertido en uno de los problemas ambientales más graves de nuestra sociedad. El desarrollo cada vez más intenso de los procesos tecnológicos industriales en que se emplean metales y los residuales que se arrojan diariamente hacia los mares, ríos y lagos, contribuyen en gran medida a la contaminación metálica del ambiente, y con ello de los alimentos, que son después consumidos por la población humana.(Moreno-LLechúl *et al.*, 2012).

El efecto tóxico que presentan los metales pesados no se debe solamente a sus características esenciales, sino también a las concentraciones en las que pueden aparecer y, lo más importante, al tipo de especie que forman en un medio concreto.(Alomá-Vicentel, *et al.*, 2013a).

En la actualidad es importante conocer la calidad del agua para el consumo humano, para el riego de los cultivos y uso industrial. (Guerrero-Padilla, 2015)

La disponibilidad del agua potable de buena calidad es un factor importante para preservar la salud de la población y son conocidas las epidemias causadas por la contaminación de aguas, que en el pasado afectaron gravemente la población. Actualmente las instalaciones de depuración existentes en la mayoría de los centros urbanos controlan estos problemas sin embargo, el creciente desarrollo de las sociedades hace aumentar continuamente la cantidad y tipos de fuentes de contaminación ambiental. Numerosos efluentes industriales, plaguicidas y otros químicos utilizados en la agricultura, arrastrados por las lluvias contribuyen al deterioro de la calidad de las aguas. (Pavas-Gil, 2003).

Las secuelas de la tecnificación agrícola son la erosión y la infertilidad de la tierra, debido a la sobreexplotación de mantos acuíferos y al número excesivo de presas, que impiden que los ríos corran con naturalidad y enriquezcan los suelos de las riberas, a lo que se añade la contaminación de suelos y mantos freáticos por el uso incontrolado de agroquímicos. (Castellanos-Villegas, *et al.*, 2009).

2.4.1 Aguas residuales tratadas

El agua es la base de la vida en nuestro planeta. La calidad de la vida depende directamente de la calidad del agua. Una buena calidad del agua sustenta la buena salud de los ecosistemas y, en consecuencia, mejora el bienestar de las personas. Sin embargo, la calidad de los recursos hídricos se ve cada vez más amenazada por la contaminación. (Alomá-Vicentel, *et al.*, 2013b).

Las aguas residuales tratadas constituyen un recurso hídrico abundante en las zonas con alta densidad de población y en las que se presentan problemas de déficit de este recurso (Zamora, *et al.*, 2009).

Los altos niveles de concentración de metales pesados en agua utilizada para riego representan un problema importante para la agricultura y la salud humana, así como para la biodiversidad (Villa, *et al.*, 2012).

La demanda de agua para consumo humano es un problema político, social y económico en el mundo. Las predicciones indican que los problemas seguirán aumentando, debido a que la población humana se incrementa de manera

exponencial y el suministro de agua no aumenta de igual manera y, en algunos casos, se está agotando o se encuentra contaminada. Por lo anterior, es necesario explorar fuentes no convencionales para obtener agua. Siendo este un elemento fundamental para la vida de los seres humanos, está presente en todas las actividades que realizan y hasta hoy no se conoce otra sustancia que pueda sustituirla, por esa razón, se considera que es el recurso que definirá el desarrollo sostenible (Balmaseda-Espinos y García-Hidalgo, 2013)

Actualmente, se disponen de varias alternativas tecnológicas para remover metales pesados en solución acuosa. La precipitación química, intercambio iónico, métodos electroquímicos, evaporación, osmosis inversa y procesos basados en el fenómeno de la sorción se encuentran entre las estrategias de tratamiento disponibles (Wong y Chen, 2008).

El uso de las aguas residuales se presenta como una de las fuentes alternativas para el riego en la agricultura urbana. Esto entraña un conjunto de interrogantes en cuanto a su manejo y las posibles afectaciones que ellas puedan ocasionar a los frutos cosechados, al suelo y al medio ambiente. (Méndez, *et al.*, 2006).

En áreas con problemas económicos, el agua regenerada puede ser una fuente de agua para potenciar el crecimiento económico en una región o aumentar el ingreso de los agricultores. Un suministro de agua sostenible puede permitir que los agricultores se encuentren menos vulnerables a las condiciones climáticas o que cambien a cultivos más rentables. (Winpenny, *et al.*, 2013)

2.4.2 Aguas residuales tratadas uso agrícola

La escasez de agua para uso urbano y la dependencia del riego para la producción agrícola en zonas de rápido crecimiento demográfico, han contribuido a que a nivel internacional aumente el interés en el reusó del agua. Existen riesgos para la salud debido a la presencia de microorganismos y contaminantes como los metales pesados y mutagénicos; los primeros impactan a corto plazo, debido a la contaminación de alimentos que pueden provocar, y los segundos impactan a largo plazo, contribuyendo a la salinización de suelos, lo que determinan la productividad para eventualmente derivar en el abandono de terrenos. El reusó del agua residual en la agricultura se ha convertido en una necesidad, la cual debe ser considerada como una alternativa, aunque no ha sido evaluada en los aspectos de contenido y migración de contaminantes, en particular de metales pesados. Algunos de los metales pesados pueden formar parte natural del suelo en cantidades que no resultan tóxicas para los seres vivos; sin embargo, la industrialización ha provocado un aumento de la presencia de estos en las aguas residuales que se utilizan para riego, con el consecuente riesgo para la salud humana y ambiental. (Guadarrama-Brito y Galván-Fernández, 2015).

La reutilización de aguas residuales es un concepto que ha incrementado su aceptación tanto en países industrializados como en países en desarrollo, debido principalmente al aumento de la población, la contaminación de los cuerpos de agua superficial y subterránea, la distribución desigual del recurso hídrico y los graves períodos secos que obligan a buscar nuevas fuentes de agua como las aguas residuales, principalmente para riego de cultivos. (Silva - Leal, *et al.*, 2013).

Una de las prácticas más comunes de disposición final de las aguas residuales domésticas ha sido el vertimiento directo, sin tratamiento, a los cuerpos hídricos superficiales y al suelo. Sin embargo, la calidad de estas aguas puede generar problemas de salud pública por la alta incidencia de enfermedades infecciosas (Duncan, 1996).

En los países desarrollados y en desarrollo, la rápida urbanización y la consiguiente creciente demanda de agua potable, para uso industrial y/o agrícola supone un serio inconveniente en aquellos donde los recursos hídricos destacan por su insuficiencia. (Pérez-Morales, *et al.*, 2014)

III Materiales y métodos

3.1 Ubicación geográfica de toma de muestras

El muestreo se realizó en un terreno ubicado en el ejido Rancho Alegre municipio de Torreón, Coahuila, México.

En el cuadro 1 se muestran las coordenadas geográficas de los cuatro diferentes puntos de muestreo.

Cuadro 2. Coordenadas geográficas de punto de muestreo

Punto de muestreo	Coordenada Geográfica		Altura S.N.M.
Repetición uno	23°30'41.3"N	103°19'20.2"W	1122 m
Repetición dos	23°30'37.9"N	103°19'20.3"W	1120 m
Repetición tres	23°30'38.8" N	103°19'24.4"W	1123 m
Repetición cuatro	23°30'35.1"N	103°19'24.5"W	1119 m



Figura 3. Ubicación geográfica de puntos de muestreo

3.2 Muestreo de suelo.

Las muestras fueron recolectadas en tres diferentes profundidades, 0-30, 30-60, 60-90 (cm), estas fueron tomadas en zig zag teniendo como referencia una hectárea de terreno, utilizando como herramienta una barrena, colocándolas en bolsas de plástico etiquetándolas con la información correspondiente.

3.3 Preparación de muestras de suelo

Las muestras fueron secadas al sol por 1 día para reducir los niveles de humedad, después se tamizaron en malla de 2 mm, se pesaron 5 gr de suelo dentro de una balanza gravimétrica y posteriormente fueron colocados en botes de plástico identificados, previamente.

3.4 Diseño experimental

Para el análisis de los resultados se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 4 repeticiones, 3 profundidades (tratamientos), así mismo la prueba de medias se realizó por el método de Tukey.

3.5 Determinación de Plomo y Cobre en suelo

La cuantificación de Cobre y Plomo se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna usando un Espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin Elmer modelo 2380.

3.6 Materiales y reactivos

Los materiales y reactivos utilizados en el transcurso del experimento fueron los siguientes:

- Matraz erlenmeyer de 125 ml
- Matraces volumétricos de 25 y 50 ml
- Pipetas de 2, 3 y 5 ml.
- Tapones de hule y cuadrados de film
- Microbureta
- Papel Whatman 5
- Probeta de 25 ml
- Agitador mecánico de acción recíproca
- Espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer modelo 2380
- Lámparas de cátodo hueco de Pb y Cu
- Solución extractora.
- Ácido Clorhídrico a 6N
- Estándar de Pb y Cd

Para la limpieza del material se dejó toda la noche en HCl al 5%, posteriormente se enjuagó con agua del grifo y finalmente con agua destilada y desionizada.

3.7 Formulación de soluciones

Solución extractora

Ácido dietilentriaminopentacético (DTPA) 0.005

Cloruro de calcio ($\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 0.01 m

Trietanolamina (TEA, $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$) 0.01 m

Ajustada a pH 7.3 para 1 lt de esta solución disuelve 1.967 g de DTPA, 1.47g de $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ y 14.92 g ($\rho = 1.12 \text{ g/cm}^3$ se mide 13.3 ml) en aproximadamente 20 ml de agua desionizada; se diluye a 900 ml. Se ajusta el pH a 7.30 ± 0.05 con HCl 6 N, se agita a 1 L con agua de igual calidad, se guardó en frasco de plástico.

Ácido clorhídrico 6 N

Se diluye con agua 5.9 ml de HCl a 37% en un matraz aforado de 10 ml.

3.8 Procedimiento de extracción de las muestras

A los botes que contenían los 5 gr de suelo previamente identificados se les agregó 50 ml de ácido nítrico 4 molar y se marcó el nivel del líquido de los botes, después se dejó en baño María a Temperatura de 70 °C, durante un periodo de 12 horas. Al termino de este periodo se dejó secar a temperatura ambiente de 27 °C y se aforo nuevamente al nivel que se tenía con el ácido nítrico 4 molar, se agito por un lapso de 2 horas dentro del agitador mecánico de acción recíproca a 180 oscilaciones por minuto, después con ayuda de un papel whatman de 5 se filtro para posteriormente proceder a la lectura.

Se pesaron 20 grs se colocándolos en matraces Erlenmeyer de 125 ml, se agregó 40 ml de solución extractora. Se taparon los tubos (se cubren previamente el tapón con la película de plástico para evitar contaminación). Se agitaron durante 2 horas a 180 oscilaciones por minuto, se filtran en papel whatman 5, y se cuantificaron los microelementos en el extracto. Simultáneamente se corrieron los blancos de reactivos.

El Pb y el Cu se determinaron mediante espectrofotometría de absorción atómica y se utiliza llama de aire acetileno. La concentración de la muestra problema se obtiene de las curvas de calibración.

IV Resultados

4.1 Propiedades físicas y químicas del suelo

En el cuadro 3 se muestran los promedios de las propiedades físicas y químicas de las diferentes profundidades.

Cuadro 3. Propiedades físicas y químicas del suelo

Profundidad (cm)	Textura	Materia orgánica (%)	p.H.	Ce (mS/cm)	Ca (Meq/Lt)	Mg (Meq/Lt)	Na (Meq/Lt)	D.a.(gr/cm ³)	R.A.S.	P.S.I.
0 - 30	Franco Arenosa	1.4138	8.1025	2.406	3.1525	0.93	24.987	0.541	17.49	3.624
30 - 60	Franco Arenosa	0.5877	8.28	4.133	3.57	1.565	34.343	0.739	21.437	3.285
60 - 90	Franco Arenosa	0.4034	8.065	5.2825	5.3375	2.08	46.157	0.775	24.04	4.9144

En el cuadro 4 se muestran las correlaciones más importantes obtenidas entre las propiedades físicas y químicas del suelo y el Plomo.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación más importante para el Plomo

Propiedades	R ²	Significancia estadística
Materia orgánica	0.67791	0.01540
Conductividad eléctrica	-0.45246	0.13970
Densidad aparente	-0.82012	0.00110
Sodio	-0.49313	0.10330
R.A.S.	0.78655	0.00240
P.S.I.	-0.82474	0.00100

En el cuadro 4 se observa que la materia orgánica es la propiedad física que presenta una correlación positiva altamente significativa, esto debido a que R^2 presento un valor de 0.67791 con una significancia estadística de 0.01540. La densidad aparente presento una correlación negativa altamente significativa con valor de R^2 de - 0.82012 y una significancia estadística de 0.00110, de igual forma el P.S.I. fue una de las propiedades que obtuvo una correlación negativa altamente significativa con valor de R^2 - 0.82474 una significancia estadística de 0.00100.

En el cuadro 5 se muestran las correlaciones más importantes obtenidas entre las propiedades físicas y químicas del suelo y el Cobre.

Cuadro 5. Coeficiente de correlación más importante para el Cobre

Propiedades	R^2	Significancia estadística
Materia organica	0.1809	0.5737
Conductividad electrica	-0.0102	0.9748
Densidad aparente	-0.0844	0.7941
p.H.	0.2214	0.4892
R.A.S.	0.0659	0.8386
P.S.I	-0.1743	0.5878

En el cuadro 5 se observa que ninguna de las propiedades físicas y químicas del suelo y el cobre, muestran alguna correlación significativa debido a que los resultados de significancia estadística exceden el $P < .05$.

En el cuadro 6 se presentan las concentraciones de metales pesados en suelo por profundidad y repetición.

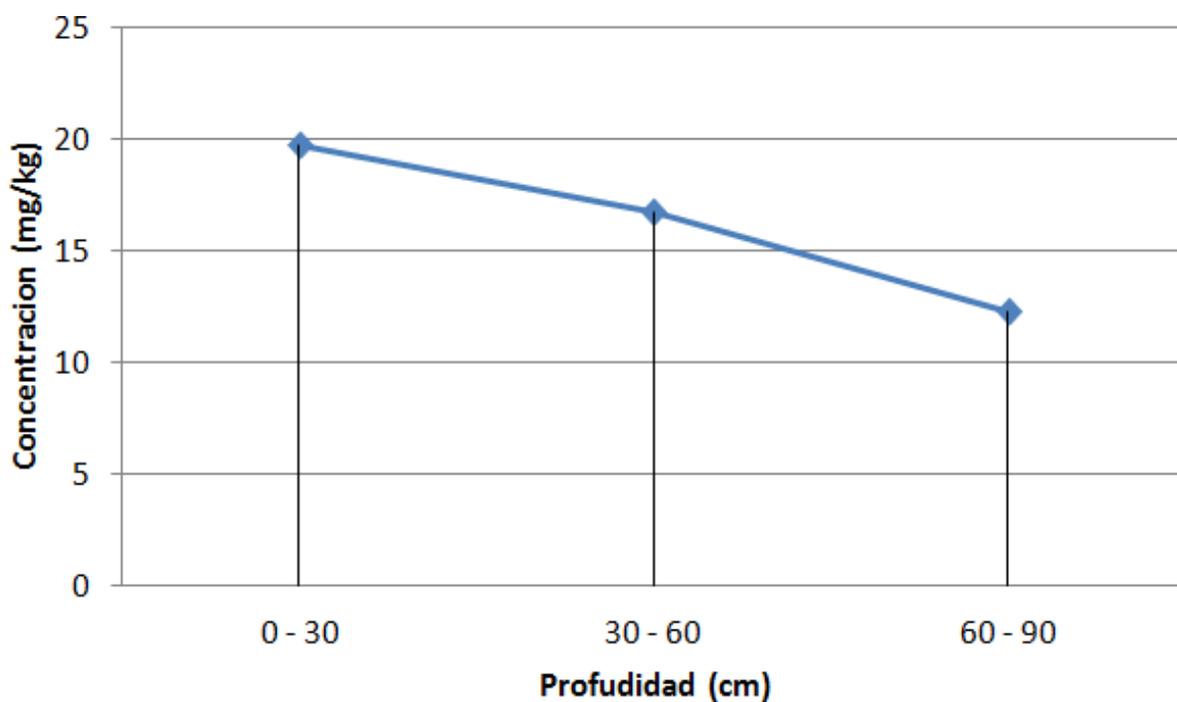
Cuadro 6. Concentraciones de metales pesados en suelo.

Profundidad	Repetición	Concetracion (mg/kg)		Promedio	
		Plomo	Cobre	Plomo	Cobre
1	1	26.00	9.3		
1	2	17.60	8.6	19.72	9.125
1	3	17.40	9.4		
1	4	17.90	9.2		
2	1	18.00	9.5		
2	2	17.20	17	16.725	10.65
2	3	16.20	8.9		
2	4	15.50	7.2		
3	1	13.80	6.8		
3	2	12.00	5.8	12.32	6.375
3	3	11.70	6.7		
3	4	11.80	6.2		

P1= 0-30 cm, P2=30-60cm, P3= 60-90 cm.

4.2 Concentración Pb en relación a la profundidad de muestreo

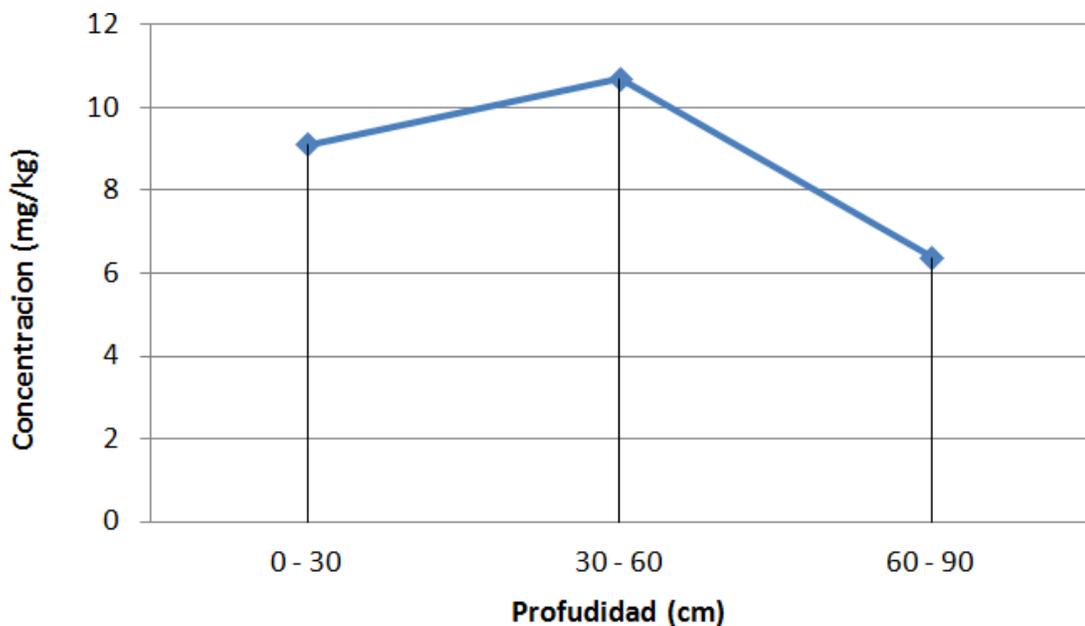
En la gráfica 1 se muestra en el eje de Y las concentraciones de Pb (mg/kg) obtenidas de acuerdo a las lecturas por el equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380, y en el eje X la profundidad en las que fueron obtenidas las muestras y se encuentran interconectadas mediante una línea. Cabe recalcar que los resultados de las concentraciones (mg/kg) se encuentra de manera descendente de acuerdo a la profundidad (cm).



Grafica 1. Concentraciones de Pb en relación a la profundidad de muestreo.

4.3 Concentración Cu en relación a la profundidad de muestreo

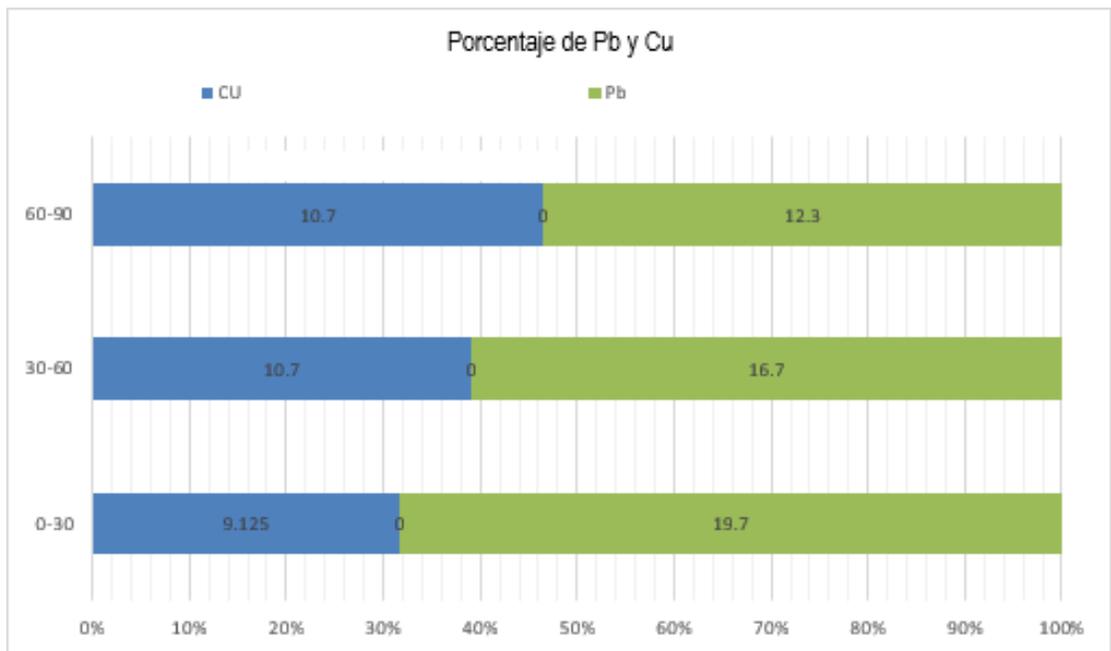
En la gráfica 2. se muestra en el eje de Y las concentraciones de Cu (mg/kg) obtenidas de acuerdo a las lecturas por el equipo de Absorción Atómica Perkin Elmer 2380, y en el eje X la profundidad en las que fueron obtenidas las muestras y se encuentran interconectadas mediante una línea. Cabe destacar que la movilidad de este metal fue completamente contrastante de acuerdo a los resultados obtenidos para el Pb Grafica 1.



Grafica 2. Concentración de Cu en relación a la profundidad de muestreo.

4.4 Relación de porcentajes de Cu y Pb en relación a la profundidad de muestreo.

En la gráfica 3 se muestra como el porcentaje de concentración de plomo es la predominante dentro de las tres profundidades, destacando la profundidad 0-30 cm en la que alcanza la mayor concentración con 19.7 (mg/kg).



Gráfica 3. Porcentaje de concentración de Cu y Pb de acuerdo a la profundidad de muestreo

4.5 Análisis de varianza para la concentración de metales pesados en suelo

En el cuadro 7 se muestran el análisis de varianza de los resultados obtenidos en suelo

Cuadro 7. Análisis de varianza de Cu y Pb en suelo.

Metales pesados	R²	Coefficiente de variación	Valor F	Significancia estadística
Plomo	0.65181	15.77512	8.42	0.0087
Cobre	0.394464	29.03415	2.93	0.1046

En el cuadro 7 se obtuvo el análisis de varianza para el cobre y plomo, en donde este último con valor R² de 0.65181 fue el que más se acerca al valor de 1 y, donde F presentó el valor más alto de 8.42 por lo tanto el efecto de los tratamientos fue mayor, la significancia estadística fue menor a $p < 0.05$ por lo que es altamente significativo en los diferentes tratamientos.

4.6 Comparación de medias para la concentración de metales pesados en suelos.

En el cuadro 8 se observa la comparación de medias obtenidas de los resultados de los análisis en el suelo.

Cuadro 8. Comparación de medias por el método de Tukey para los metales pesados en suelo.

Metales pesados	Media	Numero de muestras	Tratamientos	Significancia estadística
Plomo	19.725	4	1	A
	16.725	4	2	B
	12.325	4	3	B
	10.65	4	2	A
Cobre	9.125	4	1	A
	6.375	4	3	A

Tratamientos con la misma letra son estadísticamente iguales, Tukey $P = 0.05$.

En el cuadro 8 se observa que para el plomo el tratamiento 1 presento la mayor concentración seguido por el tratamiento 2 y finalmente por el 3, entre el tratamiento 1 y 2 existe diferencias debido al mayor contenido de materia orgánica en la profundidad 0 – 30 (cm), para el tratamiento 2 y 3 no se presento significancia estadística. Para el cobre el tratamiento 2 es el que se observa con mayor concentración seguido por el tratamiento 1 y finalmente por el tratamiento 3 dentro de estos tratamientos no se encontró significancia estadística.

V. Discusión

De acuerdo a los resultados, la concentración más alta, es la del plomo en la profundidad 0-30 cm con una concentración promedio de 19.72 mg/kg, siguiendo la profundidad 30-60 cm con un promedio de 16.7 mg/kg y por último, la profundidad 60-90 cm el cual tiene la menor concentración presentando 12.32 mg/kg de esta forma la concentración más significativa se presentó en la profundidad menor, la cual no excede los límites máximos permisibles dentro de normatividad establecida en México por la NOM-147-SSA1-2004 que establece para suelo de uso agrícola es de 400 (mg/kg).

Zamora, et al., (2008), Estudiaron el efecto del riego con aguas residuales sobre las propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, estado Falcón, sus resultados sobre la concentración de Pb fue de 23.30 mg·kg⁻¹ en los suelos bajo riego permanente con aguas residuales, de acuerdo a esto se encuentra similitud en comparación con los resultados que se obtuvieron dentro de la profundidad 0 – 30 cm, para el Pb donde la concentración es de 19.72, esto refleja una diferencia de 3.58 mg/kg.

Asimismo Soto, et al., (2010) determinaron la biotransformación de metales pesados presentes en lodos ribereños de los ríos Bogotá y Tunjuelo de igual forma se identificó suelos y lodos contaminados con metales pesados (Cr, Pb, Hg), en los cuales se tiene un contraste directamente con los resultados obtenidos ya que a profundidad 20 o 30 cm se obtuvo como resultado concentración de Plomo: mayor a 0.049 mg de Pb/L.

De igual forma, al analizar los resultados obtenidos para el Cobre se destaca que la concentración más alta se obtuvo en la profundidad 30-60 donde el promedio alcanzó los 10.65, siguiendo con la profundidad 0 - 30 con un promedio de 9.125 y finalizado con la profundidad 60-90 con un promedio de 6.375 (mg/kg).

Los resultados tienen cierta similitud con los obtenidos por Argón, et al., (2012) dentro de su trabajo Concentración de metales pesados en el suelo y especies vegetales en las que la concentración de Cu, en el foco de contaminación disminuye respecto a la profundidad.

Asimismo de acuerdo a Flores, et al., (2009) en su trabajo estudio de metales pesados y arsénico en los suelos de Olivar de Sierra Mágina, Jaén España, muestra contraste de acuerdo a los resultados en el que el Cu es el único elemento que varía con la profundidad ($p < 0.01$), presentando un valor promedio más elevado entre 0 y 20 cm debido a la aplicación de controles fitosanitarios en los cultivos de la región.

Siebe, (1994) concluye en su trabajo acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, Tula, Hidalgo, México se muestra cierta similitud con los resultados obtenidos en el que los metales pesados que fueron determinados Cd, Pb, Cr y Zn introducidos en los suelos a través del riego con agua residual tienden a acumularse en la capa arable de los suelos, pero después de 80 años solo se encuentran disponibles para las plantas en cantidades moderadas, siendo el Cd el más disponible se observan tendencias al aumento para todos los metales conforme se incrementa el tiempo. Después de 80 años de irrigación con agua residual las cantidades de metales son 3 a 6 veces mayores que en suelos regados con agua de pozo o cultivo de temporal.

Dentro del trabajo de Pulido, et al., (2015) Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari donde supero ampliamente la máxima concentración en la región del Ariari, la cual fue de 17.6 (mg/Kg).

VI. Conclusión

Las concentraciones de Cobre en este estudio puede consideras de bajo riesgo, ya que el promedio más alto es de 10.65 (mg/kg) en la profundidad 30 - 60 (cm).

El Plomo de igual forma puede considerarse de bajo riesgo, debido a las concentraciones en las que se encuentra, el mayor promedio es de 19.7 (mg/kg) en la profundidad 0 - 30 (cm).

Para el Cu no se observo alguna correlación significativa dentro de las propiedades físicas y químicas debido a que los resultados de significancia estadística exceden el $P < 0.05$.

Para el Pb la materia orgánica es la característica que presenta una correlación positiva altamente significativa, esto debido a que R^2 presento un valor de 0.67791 con una significancia estadística de 0.01540.

La densidad aparente presento una correlación negativa altamente significativa con valor de R^2 de -0.82012 y una significancia estadística de 0.00110, el P.S.I. obtuvo una correlación negativa altamente significativa con valor de R^2 - 0.82474 y significancia estadística de 0.00100.

Para el Pb los resultados en la prueba de medias, existió diferencia entre el tratamiento 1 y 2 derivado al mayor contenido de materia orgánica en la profundidad 0 – 30 (cm), para el tratamiento 2 y 3 no presento significancia estadística.

Para el cobre ninguno de los tratamientos presento significancia estadística.

VII Bibliografía

- Abrahams, P. 2002. "Soils: their implications to human health." The science of the total environment, Vol. 291, pp. 1-32.
- Alarcón-Sánchez, J., R. Valencia y L. J. Gomez 2006. "Evaluación de riesgo y efectos en la salud de poblaciones" Agencia española de consumo. Disponible en http://www.aecosan.msssi.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/subdetalle/metales_pesados.htm(fecha de obtención 22/Agosto/2018). V Congreso internacional y XI de Ciencia Ambientales.
- Alcalá, J. Sosa, M. Moreno, M. Rodríguez, J. Quintana, C. Terrazas, C. Rivero, O. 2009. "Metales pesados en suelo urbano como un indicador de la calidad ambiental: ciudad de chihuahua, México" Rev. Multequina, N° 18, pp. 53-69.
- Alomá-Vicentel, I.-d. I. C., G. Blázquez-García, M. Calero, M. Á. Martín-Lara, I. L. Rodríguez Ricol y A. Ronda-Gálve. 2013a. "Panorama general en torno a la contaminación del agua por níquel. La biosorción como tecnología de tratamiento." Revista cubana química, Vol. xxv, N°3, pp. 266-280.
- Alomá-Vicentel, I.-d. I. C., G. Blázquez-García, M. Calero, M. Á. Martín-Lara, I. L. Rodríguez Ricol y A. Ronda-Gálve. 2013b. "Panorama general en torno a la contaminación del agua por níquel. La biosorción como tecnología de tratamiento." Revista cubana química, Vol. XXV, N°3, pp. 266-280.
- Arroyave, S., S. Milena y F.-J. Restrepo-Correa 2009. "Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidades de la regulación económica " Revista Facultad de Ciencias Económicas: Investigación y Reflexión, ISSN: 0121-6805, Vol. XVIII, N° 1, pp. 247-267.
- Ascione, I. 2001 "Intoxicación por plomo en pediatría" Archivos de pediatría del Uruguay, ISSN 1688-1249 , vol.72 N°2, pp. 133-138.
- Azcona-Cruz, M. Rothenberg, I. Schnaas-Arrieta, M. Romero-Placeres, E. Perroni-Hernández 2000. "Niveles de Plomo en sangre en niños de 8 a 10 años y su relación con la alteración en el sistema visomotor y del equilibrio." Rev. Salud pública de México, Vol.42, N°4, pp. 279 - 287.

- Balanta, D. Grande, F. Zuluaga 2010. "Extracción, identificación y caracterización de quitosano del micelio de *aspergillus niger* y sus aplicaciones como material bioadsorbente en el tratamiento de aguas." *Revista Iberoamericana de Polímeros*, pp. 297-31
- Balmaseda-Espinos, C. y García-Hidalgo, Y. 2013. "Calidad de las aguas de la cuenca del río Naranjo, municipio Majibacoa, provincia las Tunas para el riego " *Rev. Cultivos tropicales*, Vol. 34, N°. 4, pp.68-73.
- Balleño, A. Ríos, F. Garcia, J. Morales, E. Mendizábal, I. Katime 2016. "Hidrogeles de alginato–quitosano y alginato–sulfato de quitosano para la remoción de iones cobre " *Revista Iberoamerica de Polímeros* Vol. 17, pp.255–265
- Balderas-Plata M., Lenom J. Cajuste, Lugo-de la Fuente J., Vázquez-Alarcón A. 2003. "Suelos agrícolas contaminados por metales pesados provenientes de depósitos de vehículos de desecho" *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, Vol. 21, N°. 4, pp. 449-459.
- Baytak, S. y R.-A. Turker 2004. "The use of agrobacterium tumefaciens immobilized on amberlite XAD-4 as a new biosorbent for the column preconcentration of iron (III),Cobalt,manganese (II) and Chromium (III)" *Talanta*.
- Cañizares-Villanueva, R.-O. 2000. "Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana " *Revista Latinoamericana de Microbiología*, pp. 131- 143.
- Calzada -Trejo, R. Olvera -García, C. Hernández - Flores, J. Avila,- Arreola E. Santamaría, C. Acosta -Gutierrez, G. 2006 "Evaluación de niveles de contaminación con Plomo en suelos de Bermejillo, Dgo" *Revista Chapingo serie zonas áridas*, Vol. V, N°. 2, pp. 225-229.
- Castillo - Mendoza, I. Rincon-Jauregui J. y A. Petriciolet-Bonilla 2016. "Análisis estadístico y modelación de la adsorción multicomponente de metales pesados en agua empleando carbonizado ." *Revista mexicana de ingeniería química*. ISSN: 0123 - 7799, Vol. 18. N°34, pp.109 - 123.
- Céspedes - García, D. Rieumont - Olivares S. Romero - Santana, J. Cazorla - Lima, L. Gutiérrez - Ruiz, L. Peñalver - Calderó, A. Roque- Ávila I. 2012 "Evaluación de riesgos a la salud por exposición a metales pesados en cercanías de sitios potencialmente peligrosos con actividad agrícola." *Revista Cubana de Salud y Trabajo*, pp. 10-8.

- Covarrubias, S.-A. y J.-J. Peña- Cabrales 2017. "Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación." *Revista internacional de contaminación ambiental* DOI: 10.20937/RICA.2017.33.esp01.01, N° 33, pp. 7-21.
- Duncan, M. 1996. "Waste stabilization ponds: effluent quality requirements and implications for process design." *Rev. Pergamon*, pp. 23 - 31.
- Environmental Protection Agency 1996 "Soil Screening Guidance: User's Guide" Office of solid waste and emergency response, pp. 1 - 34.
- Figuroa, R., D. Caicedo, G. Echeverry , M. Peña y F. Méndez 2017. "Condición socioeconómica, patrones de alimentación y exposición a metales pesados en mujeres en edad fértil de Cali, Colombia " *Rev, Instituto nacional de salud*, Vol. 37, Núm. 3, pp. 341- 352.
- Flores - González E. Campante - Tornero M. Castro -Sandoval, E. Magaña - Pérez, A. Martínez-Gordillo A. 2011 "Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal" *Revista internacional de Contaminación ambiental* , Vol. 27, N° 4, pp. 291 - 301.
- Gagan, F., G. Deepesh y T. Archana 2013. "Toxicity of lead: A review with recent updates." *Rev. Interdiscip toxicol.* DOI: 10.2478/v10102-012- 0009-2, pp. 47–58.
- Garcia, C. Moreno, J. Hernandez, T. Polo, A. 2002 "Metales pesados y sus implicaciones", Disponible en: <http://hdl.handle.net/10261/111812>, *Ciencia y medio ambiente*, pp. 125 - 138.
- Garza, A., Chávez Hortencia, R. Vega y E. Soto 2005a. "Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por Plomo." *Medigraphic*. Vol. 28, No. 2, pp 48 - 58.
- Garza, A., Chávez Hortencia, R. Vega y E. Soto 2005b. "Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por Plomo." *Medigraphic*. Vol. 28, No. 2, pp 48 - 58.
- Garza, A., C. Hortencia, R. Vega y E. Soto 2005b. "Mecanismos celulares y moleculares de la neurotoxicidad por Plomo." *Medigraphic*. Vol. 28, No. 2, pp 48 - 58.
- González, C., J. Thompson, M. Yadira y N. Sánchez 2010a. "Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la cuenca del lago de Valencia." *Revista de la facultad de ingeniería*, pp. 73 - 80.

- González, C., J. Thompson, M. Yadira y N. Sánchez 2010b. "Concentración de cadmio en partículas de diferentes tamaños de un suelo de la cuenca del lago de valencia." *Revista de la facultad de ingeniería*, pp. 73 - 80.
- Guadarrama-Brito, M.-E. y A. Galván-Fernández 2015. "Impacto del uso de agua residual en la agricultura " *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, ISSN 2007-9990, Vol. 4, Núm. 7, pp. 1 - 23.
- Guerrero-Padilla, A.-M. 2015. "Demanda hídrica y calidad de agua de uso agrícola de la cuenca del río Jequetepeque, Perú " *Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas*, pp. 5-18.
- Gutiérrez-Agramont, R. 2009. "Las huellas de la investigación sobre contaminación minera en Oruro y Potosí." Vol.12, pp. 51 - 68. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S1990-74512009000200003&ing=es&nrm=iso.ISSN1990-7451.
- Hernández-García, Y., M. Sosa-Cerecedo, M. Moreno, J. Alcalá y S. Puga. 2008. "Evaluación de la contaminación por metales pesados y Arsénico en sedimento en embalses del estado de Chihuahua, México." *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales*, pp. 89-94.
- Huertos - Galan, E. y A. Baena-Romero 2008. "Contaminacion de suelos por metales pesados " *Rev. Sociedad española de mineralogía*, pp. 48-60.
- Iwegbue - Chukwujindu, M.-A., A. L. Ojelum y F. I. Basse 2014. "A survey of metal profiles in some traditional alcoholic beverages in Nigeria " *Food Science and Nutrition*, DOI: 10.1002/fsn3.163, pp. 724–733.
- Khan, A., S. Khan, M.-A. Khan, Z. Qamar y M. Waqar 2015. "Review article: the uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review." *Environ Sci Pollut Research*, Vol. 22, pp.13772 - 13799.
- Lanphear, B.-P., K. Dietrich, A. Peggy C. Cox 2000. "Cognitive deficits associated with blood lead concentrations <10 µg/dl in US children and adolescents." *Rev. Public Health Reports*, pp. 521–529.
- Lerma-Torres, D.-C., M.-J. Puy-Alquiza y C. Rodríguez-Robelo 2016. "Remediación electrocinética del aire de los túneles de la ciudad de Guanajuato." *Revista : Jovenes en la ciencia*, Vol. 2, N°1, pp. 284 - 288.
- Londoño-Franco, L.-F., P.-T. Londoño-Muñoz y F.-G. Muñoz-García 2015. "Los Riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal." *Revista: Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustria*. Vol. 14, N°2, pp.145 - 153.

- Lu, X.-Q., I. Werner y T. M. Young 2005. "Geochemistry and bioavailability of metals in sediments from northern San Francisco." *Environment international*, pp 593-602.
- Marín, A., V.-H. Gonzalez, B. Lapo, E. Molina y M. Lemus 2016. "Niveles de mercurio en sedimentos de la zona costera de El Oro, Ecuador." Disponible en: https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-65382016000200147&lng=es&nrm=iso (fecha de obtención 31/Octubre/2018). *Revista: ciencias de la tierra, ecología y biología medioambiental*, Vol.80,Nº1,pp.147 - 153.
- Marín, J. Martirena, A. Andrades, M. Pizarro. C. 2000. "Contenido de metales pesados en suelos de viñedo de la D.O.Ca. Rioja." *Edafología*. Vol. 7-3, pp. 351 -357
- Moncayo, D., Trejos, A. Mardueña y R. Castros 2010a. "Niveles de Mercurio, Cadmio y Plomo en productos pesqueros de exportación." *Revista ciencias del mar y limnología*. Volumen 4, Nº 1. pp.29-44.
- Moncayo, D., Trejos, A. Mardueña y R. Castros 2010b. "Niveles de Mercurio, Cadmio y Plomo en productos pesqueros de exportación." *Revista ciencias del mar y limnología*. Volumen 4, Nº 1. pp.29-44.
- Moncayo, D., Trejos, A. Mardueña y R. Castros 2010c. "Niveles de Mercurio, Cadmio y Plomo en productos pesqueros de exportación." *Revista ciencias del mar y limnología*. Volumen 4, Nº 1. pp.29-44.
- Moreno, F.- N., C. W. N. Anderson, R.-B. Stewrt y B.-H. Robinson 2008. "Phytofiltration of mercury- contaminated water:volatilisation.and plant -acumulation aspects." *Environment and experimental botany*, Vol. 62, pp. 78 - 85.
- Navarro-Aviñó, J.-P., A.-I. Aguilar y J.-R. López-Moya 2007a. "Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas " *Ecosistemas: Revista científica de ecología y medioa ambiente*. 16. pp 10-25
- Navarro-Aviñó, J.-P., A.-I. Aguilar y J.-R. López-Moya 2007b "Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas " *Ecosistemas: Revista científica de ecología y medioa ambiente*. 16. pp 10-25
- Nordber, G. 2007a. "Metales: propiedades químicas y toxicidad" En *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo*,pp. 63.2 - 63.51.

- Nordber, G. 2007b. "Metales: propiedades químicas y toxicidad" En Enciclopedia de Salud y Seguridad en el trabajo.,pp. 63.2 - 63.51.
- Oller-Arlandis, V. y J. Sanz-Valero 2012. "Cáncer por contaminación química del agua de consumo humano en menores de 19 años: una revisión sistemática." Revista Panamericana de Salud Pública, pp. 435–43.
- Pavas- Gil, E. 2003. "Remocion y recuperacion de metales pesados de aguas residuales industriales " Revista facultad de ingeniería universidad de Antiquia, pp. 38 - 47.
- Peijnenburg, W. J. G. M. y T. Jage 2003. "Monitoring approaches to assess bioaccessibility and bioavailability of metals: Matrix issues " Ecotoxicology and Environmental Safety,pp.63 - 77.
- Pérez-Argota, G. 2016. "Evaluación ecotoxicológica por disponibilidad a metales pesados durante periodo de lluvia en el ecosistema San Juan, Santiago de Cuba - Cuba." Repositorio académico San Martin de Porres, ISSN:1812 - 6049, Vol. 21, N° 21, pp. 25-36.
- Pérez, L. Moreno, M. Gonzalez, J. 2000. "Valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados" Edafología. Vol. 7-3, pp,113-120.
- Pérez-Morales, A., E. Gil-Meseguer y J.-M. Gómez -Espín 2014. "Las aguas residuales regeneradas como recurso para los regadíos de la demarcación hidrográfica del segura, España." Boletín de la asociacion de geografos españoles, ISSN: 0212-9426, N° 64, pp. 151 - 175.
- Perezgasga-Valdés, F. y M. V. Morelos-Cabrera 1999. "Contaminacion por metales pesados en Torreon,Coahuila." Texas center policy studies, pp. 1 -46.
- Pozo , W. , Teófile, S. , Gloria, C. 2011. "Metales pesados en humedales de arroz en la cuenca baja del río Guayas" Rev. Maskana, Vol. 2, No. 1,pp.17 - 30.
- Prieto-Méndez, J., C.-A. González-Ramírez, A.-D. Román-Gutiérrez y F. Prieto-García 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua " Tropical and Subtropical Agroecosystems,Vol. 10, N° 1,, pp. 29-44.
- PROFEPA 2006. "NMX-AA-132-SCFI-2006 muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra " pp 4 - 29.

- Quiñones-Bolaños, E., D.-C. Chalá-Díaz, Z.-K. Romero-Benítez, P.-E. Bonfante-Alvarez y D.-V. Villadiego-Malluk 2015. "Estudio de transporte de contaminantes en la cuenca media del río San Jorge, Córdoba" *Revista ciencias ambientales: Iberoamérica* ISBN: 978-958-9244-64-7. pp.101 - 105.
- Ramos, W., L. Muniver, A. Milena, M. Calderón, I. Gonzales y Y. Nuñez. 2015. "Intoxicación plúmbica crónica: una revisión de la problemática ambiental en el Perú" *Rev. Perú. Epidemiol.* Vol 13, No 2, pp. 1 - 8.
- Rodríguez- Sánchez, M. y J.-P. Trigozo-Rengifo 2017. "Evaluación de contenido de metales pesados (Cd y Pb) en diferentes edades fenológicas del cultivo de cacao en dos zonas del alto Huallaga, Huánuco (Perú)." *Revista de investigación de agroproducción sustentable*, Vol.1,Nº 1.
- Romero, A., Flores, S., Medina, R. 2008. "Estudio de los metales pesados en el relave abandonado de Ticapampa" *Revista del Instituto de Investigaciones* "ISSN: 1628 - 8097, Vol. 11, Nº22, pp.13 - 16.
- Romero-Barreiro, M.-d. P., R.-D. Pinilla-Castañeda y C.-A. Zafra-Mejía 2015. "Evaluación temporal de la concentración de metales pesados (Pb y Cu) asociada con el sedimento vial: Fontibón-Barrios Unidos (Bogotá D. C., Colombia)." *Revista: Javeriana*, DOI: 10.11144, Vol. 19, Nº 2, pp.315 - 333.
- Sanín, L. H., T. González-Cossío, I. Romieu y M. Hernández-Avila 1998. "Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud." *Salud pública México*, pp. 359 - 368.
- Santos-Bermejo, J.-C., R. Beltran y J.-L. Gomez-Ariza 2003. "Spatial variations of heavy metals contamination in sediments from Odiel river (Southwest Spain)." *Environment international* 29 (2003) pp. 69 – 77.
- SEMARNAT2004."NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 Establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelo por arsénico, bario, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plata, plomo, selenio, talio y/o vanadio. *Diario oficial*, p.8.
- Silva-Leal, J.-A., P. Torres-Lozada y C.-A. Madera-Parra 2013. "Reutilización de aguas residuales tratadas en la agricultura: una oportunidad para el sector cañero" *Investigación, innovación, ingeniería*, Nº 2, pp. 11 - 24.
- Santoyo - Robledo, Hernández - Espinosa, V. Torres - Maldonado, R. Panta - Rubiños, J. Acosta - Hernández, E. Trejo - Ojeda, E. Chee, L. 2010 "Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos" *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol. 16, Nº. 2, pp. 241-251.

- Tejeda-Benítez, L., C. Tejeda-Tovar, W. Marimón-Bolívar y Á. Villabona-Ortiz 2014. "Estudio de modificación química y física de biomasa (*Citrus sinensis* Y *Musa paradisiaca*) para la adsorción de metales pesados en solución." Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttex&pid=S1909-24742014000200008&ing=en&nrm=iso. Revista Luna azul, N° 39, pp.124 - 142.
- ONU. 2003. "Agua para todos agua para toda la vida, informe de las naciones unidas sobre el desarrollo de los recursos hidricos en el mundo." United National Educational, Scientific and Cultural Organization, pp. 1 - 36.
- Valitutto, R.-S., S. M. Sella, S. Filho, E. V, R. Guimarañes- Pereira y N. Miekeley 2006. "Accumulation of metals in macrophytes from water reservoirs of a power supply plant, Rio de Janeiro State, Brazil " Vol. 178, pp. 89–102
- Vallejo-Quintero, V. 2003. "Importancia y utilidad de la evaluación de la calidad de suelos mediante el componente microbiano: experiencias en sistemas silvopastoriles " Revista Colombia forestal, Vol.16, N°. 1, pp.83-99.
- Villa - Mancilla, O. Escobar - Ortega, H. Ayala - Ramírez, C. Mortera - Uscanga, e. Bello - Ramos, R. Ortigoza - Reyes, A. 2012 "Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México" , Revista internacional de contaminación ambiental, Vol. 28, N° 1, pp. 39-48.
- Walid, B.-A., G. Noureddine, L. Abdelbasset y D.-L. Gijs 2009. "Effects of 5-years application of municipal soils waste compost on the distribution and mobility of heavy metals in a Tunisian calcareous soil." Agriculture, Ecosystems and environment, Vol.130, pp. 156 - 163.
- Winpenny, J., I. Heinz, S. Koo-Oshima, M. Salgot, J. Collado, F. Hernández y R. Torricelli 2013. "Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?" Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, , ISSN 1020-1556, pp. 35 - 123.
- Wong, J. y C. Chen 2008. "Biosorbents for heavy metals removal and their future." Rev. Biotechnology Advances, pp. 195-226.
- Zamora, F. Guevara - Rodríguez, J. Rodríguez -Torres, D. Colina - Yendis, J. 2009 "Uso de agua residual y contenido de materia orgánica y biomasa microbiana en suelos de la llanura de Coro, Venezuela" Revista Agricultura técnica en México, Vol. 35, N°. 2, pp.211-218.

VIII Anexos

Cuadro 9A. Correlación entre las propiedades físicas del suelo y la concentración de los metales pesados.

		Pb	Cu	MO	pH	C.E.	Ca
Pb	R ²		0.43190	0.67791	-0.19024	-0.45246	-0.24522
	Pr > F	1.00000	0.1609	0.0154	0.5537	0.1397	0.4424
Cu	R ²	0.4319		0.1809	0.2214	-0.01052	-0.07797
	Pr > F	0.1609	1.0000	0.5737	0.4892	0.9748	0.8097
MO	R ²	0.67791	0.1809		-0.03106	-0.6604	-0.36069
	Pr > F	0.0154	0.5737	1.00000	0.9237	0.018	0.2494
pH	R ²	-0.19024	0.2214	-0.03106		-0.15178	-0.2818
	Pr > F	0.5537	0.4892	0.9237	1.00000	0.6377	0.3749
C.E.	R ²	-0.45246	-0.01025	-0.66604	-0.15178		0.702445
	Pr > F	0.1397	0.9748	0.018	0.6377	1.00000	0.0109
Ca	R ²	-0.24522	-0.07797	-0.36069	-0.2818	0.70245	
	Pr > F	0.4424	0.8097	0.2494	0.3749	0.0109	1.00000
Mg	R ²	-0.30002	-0.02757	-0.49498	-0.1784	0.78458	0.96922
	Pr > F	0.3434	0.9322	0.1018	0.5791	0.0025	< .0001
Na	R ²	-0.49313	-0.01813	-0.36636	-0.13058	0.85182	0.73426
	Pr > F	0.1033	0.9554	0.2415	0.6858	0.0004	0.0065
D. a.	R ²	-0.82012	-0.08447	-0.46361	0.31388	0.23238	0.19938
	Pr > F	0.0011	0.7941	0.129	0.3205	0.4674	0.5344
R.A.S.	R ²	0.786555	0.06596	0.38008	-0.34827	-0.06125	0.00328
	Pr > F	0.0024	0.8386	0.2229	0.3673	0.8500	0.9919
P.S.I.	R ²	-0.82474	-0.17435	-0.49063	0.16938	0.39497	0.41828
	Pr > F	0.001	0.5878	0.1053	0.5987	0.2038	0.176

Cuadro 10A. Estadísticas descriptivas de las propiedades físicas y químicas del suelo.

Variables	Media	Desviacion estandar	Suma	Minimo	Maximo
M.O.	0.80167	0.46630	9.62000	0.4000	1.61000
pH	8.14500	0.28558	97.74000	7.49000	8.62000
C.E.	3.94000	1.78397	47.28000	1.77000	6.78000
Ca	4.02000	2.58881	48.24000	0.54000	9.13000
Mg	1.52417	1.06235	18.29000	0.10000	3.79000
Na	37.93417	11.5208	455.21000	19.77000	61.25000
D. a.	0.68500	0.21035	8.22000	0.05000	0.88000
R.A.S.	23.74583	43.84168	284.95000	9.25000	162.92000
P.S.I.	0.06333	0.02387	0.76000	0	0.1000