

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA**

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**IMPACTO DEL USO DEL AGUA TRATADA EN SUELOS AGRICOLAS DEL
MUNICIPIO DE TORREON COAHUILA.**

Por:

MIGUEL ÁNGEL GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial

Para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México.

Diciembre de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

IMPACTO DEL USO DEL AGUA TRATADA EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL
MUNICIPIO DE TORREÓN COAHUILA

TESIS QUE SE PRESENTA ANTE EL COMITÉ DE ASESORÍA COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

POR:

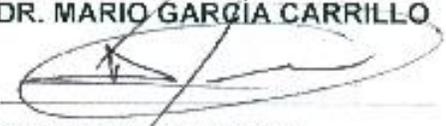
MIGUEL ÁNGEL GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:


DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:


M.C. ISAIÁS LÓPEZ HERNÁNDEZ



DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

IMPACTO DEL USO DEL AGUA TRATADA EN SUELOS AGRÍCOLAS DEL
MUNICIPIO DE TORREÓN COAHUILA

POR:
MIGUEL ÁNGEL GUTIÉRREZ VÁZQUEZ

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

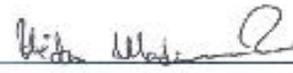
PRESIDENTE:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

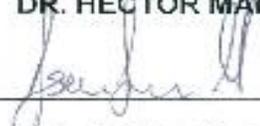
VOCAL:


DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:


DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL SUPLENTE:


M.C. ISAÍAS LÓPEZ HERNÁNDEZ


DRA. MA. TERESA VALDÉS PEREZGASGA
COORDINADORA INTERINA DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA MÉXICO

DICIEMBRE 2014

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi padre Dios y a mi madre la virgen de Guadalupe por darme la vida, por mantenerme firme en este proyecto de vida que hoy se concluye, por darme las fuerzas para salir adelante y superar los obstáculos que se presentaron durante esta carrera.

Así también agradezco por ser tan misericordioso, por su protección, por su compañía, por la sabiduría necesaria que me ha dado en todos estos años de mi vida y por concluir una etapa más de mi vida. Mil gracias Dios.

A mi **ALMA TERRA MATER** por permitirme realizar mis estudios profesionales en este plantel, y la oportunidad de terminar mi carrera como Ing. En Procesos Ambientales así como darme las herramientas necesarias para un mejor futuro, por las atenciones que me brindaron durante todos estos años de mi carrera.

AL DOC. MARIO GARCÍA CARRILLO, por ser mi asesor principal, por su apoyo incondicional, por su paciencia, por compartir su conocimiento en la realización de este proyecto, por su amistad y por sus sabios consejos GRACIAS.

AL DOC. ALFREDO OGAZ, por toda su amistad, por su paciencia y enseñanza durante toda mi carrera, por compartir sus conocimientos en la elaboración de este proyecto y por sus grandes consejos mil gracias.

AL DOC. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS, por su amistad, por su enseñanza durante toda mi carrera y por su participación en la realización de este proyecto.

AL MC. ISAIÁS LÓPEZ HERNÁNDEZ, por su amistad, por su apoyo incondicional y su orientación para la realización de este proyecto.

AL TÉCNICO ACADÉMICO JOSÉ SILVERIO ÁLVAREZ VALADEZ, por su apoyo incondicional en la realización de este proyecto, por su ayuda en la determinación de cada una las parámetros obtenidos en laboratorio y por su amistad.

A MIS AMIGOS

Nora Frede Serrano Juárez, Levi Norberto Espinosa García, Edi Alonso Albores Alfaro, José Palomino López, Verónica Vázquez Bravo, José Alberto Jiménez Aguilar, Adiel Arce Reyes, Raquel López Hernández Javier Moreno Castro. Mil gracias por sus apoyos a todos, en particular los que algún momento me dieron palabras de ánimo GRACIAS a todos.

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

Sr. Octavio Gutiérrez Pérez y Sra. Yolanda Vázquez Nájera; gracias por su apoyo económico y moralmente, por depositar su confianza en mí, por sus palabras de aliento en este trayecto de mi vida, por sus sacrificios y fortaleza hacia mí en todo momento de mi vida gracias por estar ahí siempre, por su amor, comprensión y sabiduría, los amo papas Dios los bendiga hoy y siempre.

A MIS HERMANOS

Maribel, Bernal, Natividad, Gustavo, Ana Luisa, Jorge y Facundo, por ser mi motivación de cada día, para el cumplimiento de una de mis metas propuestas en esta vida lo que es mi carrera profesional, por creer y poner en mí su confianza, hermanos mil gracias por sus sabios consejos Dios me los bendiga los amo.

A MI ABUELA

María Pérez Ruiz, por su apoyo incondicional en toda mi carrera profesional, por depositar su confianza y creer en mí, por sus sabias palabras de aliento en mi vida, Dios te bendiga abuela.

A MI FAMILIA

Especialmente a aquellos que confiaron en mí, y que me apoyaron moralmente para cumplir con mis estudios profesionales, a ti tío Lauro a ti también mama Elida por sus sabios consejos en mi vida por darme esas palabras de motivación en mis momentos de desesperación gracias los quiero Dios los bendiga a todos.

A MI ESPOSA

Eva Limones Gutiérrez, por su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado cuando te necesitaba, por tus hermosas palabras para concluir una etapa más de mi vida que claro también es tuyo, gracias amor por confiar en mí en todo este trayecto de mi vida, Dios te bendiga amor, TE AMO.

INDICE

AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIAS	ii
ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS	vi
RESUMEN	viii
I.- INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVOS	2
Objetivo general.....	2
Objetivos específicos	2
1.2 HIPÓTESIS	3
II.- REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1 El agua.....	4
2.2 Agua dulce	4
2.3 Recurso vital <i>agua</i>	5
2.4 Crisis mundial del agua.....	5
2.6 Contaminación del agua	7
2.7 Tratamiento de aguas	7
2.8 Suelo.....	9
2.9 Metales pesados.....	9
2.10 Plomo como contaminante.....	10
2. 11 Cadmio como contaminante	11
2.12 Cobre como contaminante	12
2.11 Biosolidos.....	13
2.12 Abonos orgánicos.....	14
2.13 Contaminación del suelo por agua residual	14
2.14 Sequias en la Comarca Lagunera	15
3.15 NOM-001-SEMARNAT-1996.....	16
3.16 NOM-002-SEMARNAT-1996.....	16
3.17 NOM-003-SEMARNAT-1996.....	17
III.- MATERIALES Y METODOS	17
3.1 Localización del área de estudio.....	17
3.2 Localización geográfica.	18

3.3 Toma de muestra de agua	18
3.4 Equipo para determinar los metales pesados en agua	18
3.5 Métodos para determinar las características físicas y químicas del agua.	18
3.6 Muestreos de suelos	20
3.7 Métodos para la determinación de metales pesados de suelo.	20
3.8 Métodos para la determinación de las características físicas y químicas de suelo. .	20
3.14 Análisis estadístico	22
IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
4.1 Características físico-químicas del suelo.....	22
4.2 Densidad Aparente (DA).....	23
4.3 Materia orgánica (MO)	24
4.4 pH.....	26
4.5 Conductividad Eléctrica (CE)	27
4.6 Porcentaje de Sodio Intercambiable	28
4.7 Capacidad de Intercambio Catiónico.....	29
4.8 Metales pesados evaluados en el suelo.	30
4.9 Cadmio (Cd)	31
4.10 Cobre (Cu)	32
4.11 Plomo (Pb).....	35
4.12 Análisis físico-químicos del agua tratada	39
4.13 Evaluación de metales pesados.....	39
4.14 Análisis microbiológicos del agua tratada.....	41
V.- CONCLUSIÓN.....	43
VI.- RECOMENDACIONES	44
VII.- LITERATURA CITADA	45

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

Figura 1.Triangulo textural USDA.....	20
cuadro 1 . Resultados obtenidos de las variables estudiadas.....	21
cuadro 2. Algunos valores de referencia, con relación a la textura son los siguientes (Schargel y Delgado, 1990)	22
cuadro 3 .Valores de referencia para clasificar la concentración de materia orgánica en suelos minerales y volcánicos (Nom-021-semarnat-2000).	24
cuadro 4 Criterio de valoración de un suelo con base a su pH (NOM-021-SEMARNAT-2000).....	25
cuadro 5 Interpretación de la conductividad eléctrica NOM-021-SEMARNAT-2000.	26
cuadro 6 Valores de referencia para clasificar la concentración de Capacidad de Intercambio Catiónico según la (Nom-021-semarnat-2000).	28
cuadro 7 Determinación de metales pesados en el suelo	29
cuadro 8 Límites máximos permisibles de contaminantes	30
cuadro 9 Límites máximos permisibles de metales pesados. Tabla holandesa para suelos (Ministerie VROM 1983).....	31
cuadro 10 Consumo diario de cobre recomendado por el Instituto de Medicina de Estados Unidos de Norteamérica.....	32
cuadro 11 Consumo diario máximo seguro de cobre establecido por el Instituto de Medicina de Estados Unidos de Norteamérica.....	33
cuadro 12 Significancia de las variables respuestas estudiadas en las tres profundidades del perfil del suelo regado con agua residual tratada.....	35
cuadro 13 Máximos y mínimos de las medias de cada variable obtenida.	36
cuadro 14 Coeficiente de correlación de Pearson	36

cuadro 15 Resultados de los análisis de metales pesados de la planta tratadora de agua.	38
cuadro 16 Límites máximos permisibles de metales pesados en cuanto al uso de riego agrícola en su promedio mensual de acuerdo a la Nom-001-semarnat-1996.	39
cuadro 17 Análisis microbiológicos	39
cuadro 18 Límites máximos permisibles de contaminantes NOM-003-SEMARNAT-1996.....	40

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar el impacto del uso del agua tratada de la planta tratadora de la Ciudad de Torreón Coahuila sistema municipal de Aguas y Saneamiento (SIMAS) en los terrenos agrícolas del Municipio de Torreón Coahuila. Se tomaron muestras de agua ya tratada para determinar si está en condiciones para fines de riego agrícola, se midieron los metales pesados: plomo, cadmio y cobre así también se determinó coliformes fecales, huevos de helmintos. Asimismo, tomaron muestras de los suelos agrícolas que son regados con estas aguas tratadas de una profundidad de 0-30, 30-60 y 60-90 cm para determinar las características físico-químicas y metales pesados. Los resultados mostraron que la concentración de metales pesados en el agua tratada se encuentra dentro de los límites máximos permisibles que nos especifica la NOM-001-SEMARNAT-1996. En la determinación de coliformes fecales sobre pasa los límites máximos permisibles que establece la NOM-003-SEMARNAT-1997 y al comparar los datos obtenidos con la norma antes mencionada en huevos de helmintos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles. En conclusión la concentración de metales pesados en el suelo se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que establece la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

Palabras claves: Agua residual, agua tratada, contaminación, metales pesados, suelo.

I.- INTRODUCCIÓN

El agua es uno de los más básico y esencial de las necesidades humanas, lo cual no sólo se consume directamente, sino que también lo usan en la producción de alimentos, para el lavado, saneamiento, y para varias conveniencias industriales y domésticos (Plappally y Lienhard, 2012). La calidad de vida del ser humano depende de la calidad de su medio ambiente: suelo, agua y aire no contaminado para desarrollarse sanamente, pero la negligencia humana ha dado lugar a que los procesos tecnológicos contaminen con metales tóxicos.

El ser humano ha hecho uso sistemático y organizado de los recursos naturales desde la revolución neolítica: la extracción de metales minerales se inició hace más de 4000 años en pequeñas porciones y hasta que estuvieron disponibles los combustibles fósiles hubo un crecimiento exponencial y procesamiento de los recursos minerales (Morton-Bermea, 2006). Como resultado de la sociedad ampliamente industrializada de hoy se han contaminado grandes áreas de tierra y agua con metales tóxicos, causando serios problemas ambientales y de salud (Cartaya *et al.*, 2011).

Las diversas actividades generadas por el hombre han provocado una modificación de las características de los recursos hídricos, alcanzando niveles de contaminación que hacen el agua no apta para consumo humano, por esta razón los procesos para tratar el agua son cada vez más complejos. El agua potable debe estar libre de microorganismos patógenos, sustancias tóxicas o nocivas para la salud, y cumplir con las normas bacteriológicas y fisicoquímicas establecidas. El agua es un recurso valioso y escaso, por lo tanto la población debe utilizarla de forma racional (Camacho y Cristina, 2011).

La contaminación del agua debido a los metales pesados tóxicos causados por las industrias y en la agricultura es uno de los más graves problemas ambientales y

públicos (Tian *et al.*, 2010). Metales que se liberan de diversos procesos industriales, agroquímicos y los lodos de depuradora presentan una gran amenaza para el ambiente del suelo. Como resultado, la contaminación del suelo por metales se ha convertido en un problema global que hay que resolver (Wang *et al.*, 2012), la utilización de aguas residuales en áreas agrícolas proviene de los tiempos antiguos en Atenas; sin embargo, la mayor proliferación de sistemas de aplicación de aguas residuales en el suelo ocurrió durante la segunda mitad del siglo XIX, principalmente en países como Alemania, Australia, Estados Unidos, Francia, India, Inglaterra, México y Polonia (Silva *et al.*, 2008).

1.1 OBJETIVOS

Objetivo general

- ❖ Evaluar el impacto del uso de agua tratada en suelos agrícolas del Municipio de Torreón Coahuila.

Objetivos específicos

- ❖ Evaluar la calidad del agua de la planta tratadora de la ciudad de Torreón Coahuila.
- ❖ Evaluación del impacto del agua tratada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.
- ❖ Determinar la concentración de plomo, cadmio y cobre a 0-30, 30-60, y 60-90 cm de profundidad.

1.2 HIPÓTESIS

- La calidad de agua de la planta tratadora de SIMAS es recomendable para riego agrícola.
- El agua tratada afecta a las propiedades físicas y químicas del suelo.
- El contenido de metales pasados en el agua tratada se encuentran en los límites máximos permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-1996.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 El agua

Sin duda que la contaminación del agua es uno de los problemas ambientales más importante a nivel mundial. A ello se agrega el daño irreparable que las aguas residuales no tratadas infligen en el ambiente natural, ríos, lagos, acuíferos degradados irreversiblemente, ecosistemas, especies animales y vegetales desaparecidas; entre otras (Plevich *et al.*, 2012) aunque el 70% de la superficie del mundo está cubierta de agua, solo el 2.5% del volumen total es agua dulce, mientras que el 97.5% es agua salada. Casi el 77% de esa agua dulce está congelada en los casquetes polares y glaciares. Del 23% restante, la mayor parte se presenta como humedad del suelo o se encuentran en profundos acuíferos subterráneos inaccesibles. Menos el 1% de los recursos del agua dulce está al alcance del consumo humano en ríos y lagos (Pontón, 2008).

Las aguas dulces del mundo constituyen un recurso escaso, amenazado y en peligro de acuerdo con los estudios sobre el balance hídrico del planeta, solamente el 0.007% de las aguas dulces se encuentra realmente disponible para todos los usos humanos, de esta pequeñísima porción depende procesos sociales vitales (Toledo y Rodríguez, 2013) el agua es el recurso natural de mayor consumo en el planeta (Morillo *et al.*, 2009).

2.2 Agua dulce

El agua dulce es uno de los recursos estratégicos de este siglo, tanto en la escala local como en la global. Su profusa presencia en todo el planeta contrasta con su desigual distribución, y el hecho de ser un elemento esencial para la vida hace que, en la actualidad, sea el centro de muchos conflictos. Un amplio rango de crisis ecológicas y humanas que enfrenta el mundo está relacionado con el manejo inapropiado de este líquido y de los ecosistemas que lo producen. La

disponibilidad de agua, junto con la degradación del suelo y la pérdida de la biodiversidad, son considerados los principales problemas que amenazan los recursos naturales y la preservación y el buen funcionamiento de los sistemas que soportan la vida (Chávez, 2007)

2.3 Recurso vital *agua*.

Sus características intrínsecas dan al agua un poder simbólico importante dado que forma parte más que otro recurso natural de la cultura de una sociedad. Los actos políticos, económicos y jurídicos relacionados con la gestión del agua responden a contextos geográficos, hídricos y demográficos, así como a la dinámica social, tanto en los ámbitos local, regional, nacional como internacional (Rolland y Vega, 2010).

2.4 Crisis mundial del agua

Asumiendo que un litro de aguas residuales contamina 8 litros de agua dulce, la carga mundial de contaminación puede ascender actualmente a 12,000 km³, pues a diario se vierten dos millones de toneladas de desechos en ríos, lagos y arroyos. Es decir, una cantidad superior a la que contienen en total las diez cuencas fluviales más grandes del mundo en cualquier época del año. Si la contaminación sigue el mismo ritmo de crecimiento que la población, en el año 2050 el mundo habrá perdido efectivamente 18,000 km³ de agua dulce. Como siempre, las poblaciones más pobres resultan las más afectadas, con un 50% de la población de los países en desarrollo expuesta a fuentes de agua contaminadas (Pacheco, 2004) Los recursos hídricos disponibles disminuyen continuamente a causa del crecimiento de la población y de la contaminación. El per cápita de agua era en 1970 de 12,900 m³/año y en el 2000 de 7,100 m³/año. En el pasado siglo XX la población creció algo más de tres veces y el consumo de agua en más de siete veces. La escasez y mala calidad del agua ponen en peligro la salud, el bienestar

social y económico, la seguridad alimentaria y la diversidad biológica (Seguí, 2004).

En México, debido a la insuficiente infraestructura, los altos costos, la falta de mantenimiento y de personal capacitado, sólo 36 % de las aguas residuales generadas reciben tratamiento, lo cual crea la necesidad de desarrollar tecnologías para su depuración. Los humedales artificiales son una alternativa de tratamiento debido a su alta eficiencia de remoción de contaminantes y a su bajo costo de instalación y mantenimiento (Romero *et al.*, 2009).

2.5 Factores principales de crisis de agua.

En México el crecimiento económico no ha tomado en cuenta plenamente las señales de insuficiencia de agua. La concentración de la población y la actividad económica han creado zonas de mucha escasez, no sólo en las regiones de baja precipitación pluvial sino también en áreas donde eso no se percibía como un problema al comenzar el crecimiento urbano o el establecimiento de la agricultura de riego. La competencia por este recurso es ya causa de conflictos de diferente intensidad y escala, y se presenta no sólo entre usuarios de la misma comunidad sino entre distintas comunidades, municipios, estados e incluso en el ámbito transfronterizo (Sainz y Becerra, 2003).

El problema de la escasez del agua en cantidad y calidad es una preocupación mundial. Alrededor de 1,200 millones de personas todavía no tienen acceso al agua potable y 2,400 millones no tienen servicio sanitario adecuados. Cada año mueren acerca de 2 millones de niños a causa de enfermedades ocasionadas por el agua. En los países más pobres, uno de cada cinco niños mueren antes de los 5 años de edad, principalmente por enfermedades infecciosas relacionadas con el agua (Soto *et al.*, 2004).

2.6 Contaminación del agua

La contaminación del agua es producida principalmente por vertimiento de aguas servidas, basura, relaves mineros y productos químicos. En estas condiciones el ciclo del agua ya no tiene la capacidad suficiente para limpiarla, por ello, se requieren diversos procesos para desinfectarla y hacerla apta para consumo humano (Camacho y Cristina, 2011).

2.7 Tratamiento de aguas

En México sólo un bajo porcentaje de aguas residuales urbanas e industriales son tratadas adecuadamente. La mayor parte de las aguas residuales son utilizadas para riego agrícola sin un tratamiento previo, lo que representa un serio peligro para la salud humana y de los animales debido al contenido de materia orgánica e inorgánica contaminante (Bertha *et al.*, 2003). A pesar de que la degradación de las aguas es un problema conocido desde hace tiempo, ha sido en el siglo XX cuando se ha extendido dicho problema a ríos y mares de todo el mundo. Primero fueron los ríos, las zonas portuarias de las grandes ciudades y las zonas industriales, las que se convirtieron en aguas cargadas de productos químicos, espumas y toda clase de contaminantes. Debido a que tan sólo una pequeña porción del agua total del mundo resulta aprovechable para la vida terrestre, es importante optimizar el uso del agua, por ello, es de vital importancia que una vez utilizada deba ser tratada para su reutilización posterior (Jacipt, 2005). 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 (Robledo- Santoyo *et al.*, 2010). El tratamiento de las aguas servidas para reúso, reincorporación a los cuerpos de agua superficiales o infiltración a los mantos freáticos no es una opción generalizada en México. Las plantas de

tratamiento que existen utilizan tecnologías contaminantes, son altas en uso de energía y producen desechos tóxicos como resultado de su operación. Para ir construyendo una infraestructura urbana sustentable, es necesario optar por tecnología alternativa que permita reutilizar los caudales y/o regresarlos a la naturaleza con buena calidad, sin hacer un uso intensivo de energía y sin producir contaminantes (Lahera., 2010).

Uno de los factores principales de crisis urbana de nuestros días tiene que ver con la disposición de agua para la vida diaria en las viviendas, comercios, servicios e industrias. Obtener nuevas fuentes de agua se va haciendo cada día más difícil, dado que la población crece y demanda este recurso en las ciudades y en el campo. A nivel urbano, el desperdicio del vital líquido tanto por los consumidores directamente como en las tuberías dañadas y muebles sanitarios ineficientes o en mal estado, representa solamente una parte del problema; la contaminación de las aguas usadas tanto en los domicilios como en procesos industriales es otra, y la falta de opciones para su disposición cierra el círculo. (Virginia, 2010).

Las aguas residuales son una importante fuente adicional para satisfacer la demanda del recurso, a causa de la disponibilidad limitada de agua potable para cubrir los requerimientos de las poblaciones, los bajos costos, los beneficios para los suelos agrícolas y la disminución del impacto sobre el ambiente. Sin embargo, el predominio del uso de aguas residuales crudas o diluidas con aguas superficiales y el bajo porcentaje de aguas residuales tratadas en Colombia y en los países de América Latina, en general, generan riesgos en la salud pública, en especial cuando se utilizan para riego de cultivos para consumo directo (Alvarado *et al.*, 2008). El tratamiento de las aguas residuales es una cuestión prioritaria a nivel mundial, ya que es importante disponer de agua de calidad y en cantidad suficiente, lo que permitirá una mejora del ambiente, la salud y la calidad de vida (Romero *et al.*, 2009)

2.8 Suelo

A pesar de la importancia para la vida, el suelo no ha recibido de la sociedad la atención que merece. Su degradación es una seria amenaza para el futuro de la humanidad. El adecuado manejo de los conceptos sobre estos temas debe redundar en un mejor manejo de la sostenibilidad del recurso, de la agricultura sostenible y en la toma de decisiones de políticas de uso del suelo. El desarrollo de indicadores de calidad del suelo debería basarse en el uso de este recurso y en la relación entre los indicadores y la función del suelo que se esté evaluando (Angélica *et al.*, 2004).

2.9 Metales pesados

La problemática de los metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en el agua residual utilizada para riego, radica principalmente en que pueden ser acumulados en los suelos agrícolas (Mancilla-Villa *et al.*, 2012). Los metales se definen en base a sus propiedades físicas en el estado sólido como son: alta reflectividad, alta conductividad eléctrica, alta conductividad térmica, propiedades mecánicas como fuerza y ductilidad. Una de sus definiciones se basa en la gravedad específica: “metal pesado es aquel metal con gravedad específica mayor a 5 g/cm³”. Los metaloides poseen propiedades físicas semejantes a las de los metales y no metales, éstos son el arsénico, germanio, antimonio, selenio y telurio (Reyes *et al.*, 2011). Dentro de los metales pesados, los denominados oligoelementos, y que pueden servir como micronutrientes para los cultivos, ya que son requeridos en pequeñas cantidades y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital. Pasado cierto umbral se vuelven tóxicos. Como el B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Fe, Se y Zn y el metaloide As (Prieto *et al.*, 2009). Algunos metales como el arsénico, cobalto, germanio, níquel, vanadio y rubidio juegan un importante papel en la vida de muchos organismos, no obstante que algunos metales son esenciales para la

vida, un exceso de éstos puede ser una amenaza para la salud humana y el medio ambiente (Regalado *et al.*, 2004)son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos (Prieto *et al.*, 2009). Entre las sustancias que se incorporan al suelo vía el agua residual, se encuentran los metales pesados, los cuales pueden participar en diversos procesos como incorporación al ciclo del agua, principalmente en la fase relacionada con el suelo y el agua subterránea; también pueden acumularse en el suelo con diversos grados de disponibilidad o en el tejido vegetal, debido a su absorción por las plantas(Vázquez-Alarcón *et al.*, 2005) En las prácticas agrícolas, el uso de químicos para combatir plagas y fertilizar el suelo aportan grandes cantidades de metales pesados como son cobre, cadmio, mercurio, cromo, arsénico, entre otros. Otras actividades son la fabricación de plásticos, recubrimientos anticorrosivos, alimentos, manufactura de plaguicidas, baterías, soldaduras, pigmentos, producción de acero, curtidoras de piel, entre otras (Reyes *et al.*, 2011). Los altos niveles de metales pesados como plomo, níquel, cadmio y manganeso, presentes en suelos y agua negra, utilizada para riego agrícola radican principalmente, que pueden ser acumulados en estos sistemas de suma importancia para la agricultura. Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos (Prieto *et al.*, 2009).

2.10 Plomo como contaminante

Los metales pesados, pueden pasar de la tierra hacia el organismo del hombre , a través de la cadena alimenticia provocando graves problemas de salud (Paredes-Reyes *et al.*, 2001). El plomo es un metal pesado caracterizado por ocasionar efectos tóxicos sobre el tracto gastrointestinal, sobre el sistema renal y sobre el SNC y periférico, así como interferencias con sistemas enzimáticos implicados en la síntesis del grupo hemo. A pesar de que en los últimos diez años, los contenidos de plomo de los productos alimenticios se han reducido sensiblemente

gracias a los esfuerzos realizados para reducir la emisión de plomo en su origen y por los progresos en la garantía de calidad de los análisis químicos, la dieta sigue siendo una fuente importante de exposición de plomo (Rubio *et al.*, 2004). El plomo que atraviesa la piel pasa a través de los folículos pilosos y glándulas sebáceas y sudoríparas directamente al torrente circulatorio. El plomo afecta al sistema reproductor humano, tanto masculino como femenino y además la exposición al plomo es especialmente peligrosa para el neonato, ya que una exposición a este metal de la mujer embarazada puede dar lugar a un nacimiento prematuro, a niños con bajo peso al nacer, e incluso a abortos (Rubio *et al.*, 2004) se consideran como elementos potencialmente tóxicos, dado que en concentraciones relativamente bajas afectan a los seres vivos (Siebe y Cayetano, 2013). Según la EPA, la exposición al plomo en el agua potable puede dar como resultado el retardo en el desarrollo físico o neurológico en los bebés y niños, y puede provocar hipertensión y problemas renales, así como cáncer en los adultos. Es más, un creciente corpus de evidencia sugiere que puede haber efectos adversos sobre la salud incluso a niveles inferiores a 10 en la sangre, el “nivel preocupante” al cual los Centros de Control y Prevención de Enfermedades (CDC) recomiendan la intervención (Renner, 2010) los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación, el consumo por las plantas, la erosión y la deflación (Puga *et al.*, 2006).

2. 11 Cadmio como contaminante

El cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre en una concentración promedio de 0.1 mg/kg; en las rocas sedimentarias las concentraciones son más elevadas. Las condiciones ambientales, como la erosión, causan el transporte de grandes cantidades de cadmio a los océanos, cuyo contenido de este material es alrededor de 0.1 mg/kg. Los sedimentos oceánicos cercanos a las áreas de alta actividad humana puede contener cadmio en concentraciones muy elevadas, asociados con la descarga de desechos biológicos (Saldívar-Osorio *et al.*, 2012).

Una exposición a niveles significativamente altas ocurren cuando la gente fuma. El humo del tabaco transporta el Cadmio a los pulmones. La sangre transportará el Cadmio al resto del cuerpo donde puede incrementar los efectos por potenciación del Cadmio que está ya presente por comer comida rico en Cadmio. Otra alta exposición puede ocurrir con gente que vive cerca de los vertederos de residuos peligrosos o fábricas que liberan Cadmio en el aire y gente que trabaja en las industrias de refinerías del metal. Cuando la gente respira el Cadmio este puede dañar severamente los pulmones. Esto puede incluso causar la muerte. El Cadmio primero es transportado hacia el hígado por la sangre. Allí es unido a proteínas para formar complejos que son transportados hacia los riñones. El Cadmio se acumula en los riñones, donde causa un daño en el mecanismo de filtración. Esto causa la excreción de proteínas esenciales y azúcares del cuerpo y el consecuente daño de los riñones. Lleva bastante tiempo antes de que el Cadmio que ha sido acumulado en los riñones sea excretado del cuerpo humano (Saldívar-Osorio *et al.*, 2012).

2.12 Cobre como contaminante

Se ha comprobado que el cobre es un material de gran beneficio para el hombre a través de la historia. El cobre ha sido moldeado para fabricar muchos instrumentos tales como cazuelas, armas y joyería. En años recientes, se han fabricado cañería y artefactos de plomería con el cobre y sus aleaciones. Aunque estas aplicaciones del cobre a los sistemas de distribución de agua han sido muy beneficiosas para el hombre, el agua puede reaccionar con el cobre y disolver pequeñas cantidades de cobre dentro del suministro de agua. Los individuos que ingieren esta agua pueden ser expuestos a niveles elevados de cobre (Dozier, 2012).

La presencia de excesos de cobre en agua potable puede ocasionar problemas de sabor y color y producir manchas en los artefactos sanitarios y la ropa durante el lavado, además de afectar la salud de las personas por trastornos

gastrointestinales, como náuseas, seguidas de vómitos y diarrea. Debido a su sabor metálico, la ingesta de cobre en concentraciones altas es poco frecuente, por lo que la mayoría de los reportes a este respecto se refieren a ingesta accidental o a intentos suicidas.

La presencia de Cobre en aguas de consumo puede ser de origen natural o antrópico, Este último por efecto de lixiviación/corrosión a causa de las características físico-químicas de la matriz del agua que entra en contacto con los materiales que contienen Cobre. Si bien los metales liberados del material de fontanería, usados dentro del hogar, se consideran responsabilidad del propietario de la casa, la empresa sanitaria o el productor del agua pueden tener una gran responsabilidad en el tema, porque la solubilidad de los metales del sistema de distribución está determinada , principalmente, por la agresividad del agua en la que algunos parámetros que podrían ser controlados en la planta de tratamiento de agua, juegan un rol importante (Sancha, 2011).

2.11 Biosólidos

Los biosólidos son los materiales orgánicos, ricos en nutrientes que resultan del tratamiento de las aguas residuales domésticas en una planta de tratamiento. Son un recurso beneficioso, pues contienen nutrientes esenciales para las plantas y son materia orgánica, que puede ser reciclada para uso como fertilizante y abono, mejorando y conservando las tierras productivas y estimulando el crecimiento de las plantas(Agudelo-Betancur *et al.*, 2005).

Las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) generan diariamente toneladas de lodos (biosólidos), los cuales pueden tener un uso agrícola como fuente de nutrientes y material mejorador del suelo, aunque también pueden ser fuente de contaminación por metales pesados y sales solubles (Robledo- Santoyo *et al.*, 2010).La eliminación de residuos orgánicos urbanos representa en la actualidad una de las problemáticas de mayor interés desde el punto de vista ambiental. Existe, sin embargo, un riesgo a tener en cuenta cuando se utilizan estos residuos como enmienda orgánica, ya que éstos pueden tener elevadas concentraciones de metales pesados que limitan su utilización. Cinc, cadmio,

plomo, níquel, cromo y cobre son los principales metales pesados presentes en los biosólidos y en los RSU y en general se encuentran en concentraciones superiores a las de los suelos pudiéndose acumular en éstos y pasar a las plantas, quedando así incluidos en la cadena trófica con el consiguiente riesgo para los consumidores (Illera *et al.*, 2001). Los biosólidos de origen doméstico presentan un alto contenido de nutrientes y materia orgánica los cuales proveen al suelo nitrógeno y fósforo, así como cantidades trazas de micronutrientes (Ni, Zn, Cu, Mg, entre otros). Su reutilización en agricultura es valiosa no sólo porque representa un costo razonable, sino también, porque mejora la fertilidad del suelo y reduce la necesidad de fertilizantes inorgánicos, optimizando así, la calidad de las cosechas. Sin embargo, su aplicación está condicionada al riesgo relacionado con los microorganismos patógenos presentes en este producto, así como a la presencia de sustancias tóxicas y metales pesados (Guzmán y Campos, 2004).

2.12 Abonos orgánicos

La utilización de abonos orgánicos (AO) de diversos orígenes, como es la compost obtenidos a partir de residuales sólidos urbanos (RSU), en organopónicos de la agricultura urbana, es una alternativa para la producción de alimentos con bajos insumos. Para el uso de estos productos, se requiere una evaluación sistemática de sus contenidos en metales pesados (MP), porque pueden acumularse en los suelos y sustratos, alterar el equilibrio biológico de los mismos y afectar al rendimiento de los cultivos y la salud animal, inclusive la del hombre (Rodríguez *et al.*, 2012).

2.13 Contaminación del suelo por agua residual

Existe preocupación acerca de los cambios que están teniendo lugar en la calidad de los suelos debido al mal manejo de proyectos de desarrollo agrícola bajo riego. La calidad de los suelos también está siendo afectada por el inminente deterioro

de la calidad de las aguas superficiales (Méndez-Romero y Zapata-Navas, 2010). El riego juega un papel de gran importancia, sin embargo la disponibilidad de agua de buena calidad para riego es escasa, situación que exige de fuentes alternativas para estos fines, por lo cual se impone el reusó de aguas residuales urbanas (Montero *et al.*, 2012) el uso de aguas residuales en la agricultura puede aumentar el ingreso de materia orgánica y nutriente a los suelos cultivados lo cual contribuye a mantener e incrementar la fertilidad del mismo, pero también puede traer efectos ambientales nocivos que deterioran la calidad del suelo y del agua. No obstante, su uso sin un tratamiento previo puede ocasionar problemas debido al alto contenido de sales, contaminación con metales pesados y la presencia de algunos microorganismos patógenos al hombre (Zamora *et al.*, 2008). El sector agrícola realiza el mayor consumo de agua en el mundo y por tanto la agricultura irrigada debe ser eficiente para tener sostenibilidad ambiental y económica (Flórez-Tuta *et al.*, 2013). En muchos casos, la calidad del agua aplicada para el cultivo tiene efectos adversos sobre las propiedades del suelo; muy a menudo el agua contiene cantidades elevadas de sales solubles, que se quedan en el suelo debido a la evapotranspiración del cultivo (Polón *et al.*, 2004). El 70% del agua requerida por la población mundial es utilizada para la agricultura y el 30% para otros consumos (Valencia-Granada *et al.*, 2010).

2.14 Sequías en la Comarca Lagunera

Ante la escasez de agua en la Comarca Lagunera, situada en la zona árida del norte de México, se requiere encontrar cultivos que, combinados con tecnologías de ahorro de agua, hagan un uso eficiente de este recurso (Orona-Castillo *et al.*, 2003) en los últimos años, se han presentado sequías en varias regiones del país, principalmente en la parte norte, cuyos efectos han sido significativos en la

producción agrícola de riego. Las presas del noroeste casi llegaron a secarse y en la Región Lagunera se dispuso de sólo 409.1 millones de m³ de agua para el riego de menos de la tercera parte de la superficie que en promedio se ha regado, lo cual obligó a reducir el área autorizada para riego por usuario a sólo 0.6 ha (Mejía-Sáenz *et al.*, 2002). La región semiárida del norte de México se caracteriza por presentar zonas agrícolas de riego altamente productivas, tal es el caso de la Comarca Lagunera, ubicada en el desierto chihuahuense. Sin embargo, en la última década, el área irrigada en el Distrito de Riego 017, dada la escasez de agua, no satisface las necesidades de empleo y fuente de ingresos para la población que habita la zona rural de la Comarca (Orona-Castillo *et al.*, 2003).

3.15 NOM-001-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana fue aprobada el 30 de octubre de 1996 donde "establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales" con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos. y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma Oficial Mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes separados de aguas pluviales (NOM-001-SEMARNAT, 1996).

3.16 NOM-002-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana fue aprobada el 9 de diciembre de 1997, que "establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal" con el fin de prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta Norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la

industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado (NOM-002-SEMARNAT, 1996).

3.17 NOM-003-SEMARNAT-1996

Esta Norma Oficial Mexicana fue aprobada el 22 de abril de 1998 donde "establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público", con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, y es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reusó. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente Norma, desde la producción del agua tratada hasta su reusó o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma (NOM-003-SEMARNAT, 1996).

III.- MATERIALES Y METODOS

3.1 Localización del área de estudio.

El presente estudio se realizó en los terrenos agrícolas del ejido rancho alegre del Municipio de Torreón Coahuila de Zaragoza y en el laboratorio del departamento de suelos de la universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, situada en Periférico Raúl López Sánchez km 2 en la Ciudad de Torreón, Coahuila, durante el periodo Mayo-Noviembre del 2014.

3.2 Localización geográfica.

La localización geográfica del área de estudio es:

- ❖ Latitud Norte: 25° 30' 50.3''
- ❖ Longitud Oeste: 103° 19' 16.8''

3.3 Toma de muestra de agua.

La toma de muestra se realizó en la planta tratadora del Sistema Municipal de Aguas y Saneamiento (SIMAS) de la Ciudad de Torreón Coahuila. Donde estas fueron depositadas en recipientes de plástico (Polipropileno) de 800 ml de capacidad e inmediatamente trasladadas al laboratorio de (SIMAS) certificado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA). Para la determinación de metales pesados y los análisis fisicoquímicos se trasladaron al laboratorio de la UAAAN-UL.

3.4 Equipo para determinar los metales pesados en agua

Para la determinación de metales pesados las muestras se trasladaron al laboratorio de SIMAS por la cual se utilizó el equipo de espectrofotómetro de absorción atómica de flama modelo 210 VGP usando lámparas de cátodo huevo.

3.5 Métodos para determinar las características físicas y químicas del agua.

Para las determinaciones de las características físicas y químicas se emplearon los siguientes métodos ocupando 25ml de muestra.

Carbonatos y Bicarbonatos, se utilizó el método de ASTM D 1067-92 propuesta por la sociedad americana de pruebas y materiales. Libro anual de las normas (1994), por el procedimiento volumétrico titulando con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.01 N.

Calcio y Magnesio, se utilizó el método ASTM D 1126-92, propuesto por la sociedad americana de pruebas y materiales. Libro anual de Normas (1994), por el procedimiento volumétrico titulado con EDTA 0.02 N.

Cloruros, se utilizó el método ASTM D 1125-91 propuesta por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Libro anual de Normas (1994), por el procedimiento volumétrico titulado con Nitrato de Plata 0.01 N ($AgNO_3$).

Sulfatos, se utilizó el procedimiento de turbidimetría leídas por el espectrofotómetro a 420 nm, por el método ASTM D 516-90, de acuerdo a la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Libro anual de las Normas (1994).

Nitratos, se empleó el método colorímetro por el procedimiento espectrofotómetro a 420 nm, de acuerdo a la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Libro anual de las Normas (1994).

Sodio, se utilizó el método ASTM D 1125-91 propuesta por la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Libro anual de Normas (1994), por el procedimiento de cálculos aplicando formulas.

Conductividad Eléctrica, se determinó utilizando el Conductivímetro Orión modelo-162.

pH, se determinó por medio del pH metro Orión modelo-420A.

3.6 Muestreos de suelos

Se tomaron muestras de suelo en los terrenos agrícolas del Ejido Rancho Alegre, la toma de la muestra fue en Zig-Zag de forma aleatoria para obtener muestras compuestas, a profundidad de 0-30, 30-60 y 60-90cm, tomando en cuenta la heterogeneidad del suelo.

Las muestras fueron tomadas utilizando barrenas de caja, luego depositadas en bolsas de plástico, etiquetadas e identificadas.

Para la determinación de los análisis metales pesados (Pb, Cd, Cu) los análisis del suelo se realizaron en el laboratorio de (SIMAS) acreditado por la Entidad Mexicana de Acreditación (EMA).

Para determinar las características físicas y químicas de las muestras de suelo fueron trasladadas al laboratorio del departamento de suelo de la UAAAN-UL.

3.7 Métodos para la determinación de metales pesados de suelo.

Una vez que las muestras fueron trasladadas al laboratorio de SIMAS utilizaron el método de espectrofotómetro de absorción atómica de flama modelo 210 VGP usando lámparas de cátodo hueco.

3.8 Métodos para la determinación de las características físicas y químicas de suelo.

Para las determinaciones de las características físicas y químicas se emplearon los siguientes métodos:

3.9 Densidad aparente: Se determinó aplicando el método de los agregados o de la parafina como elemento impermeabilizante.

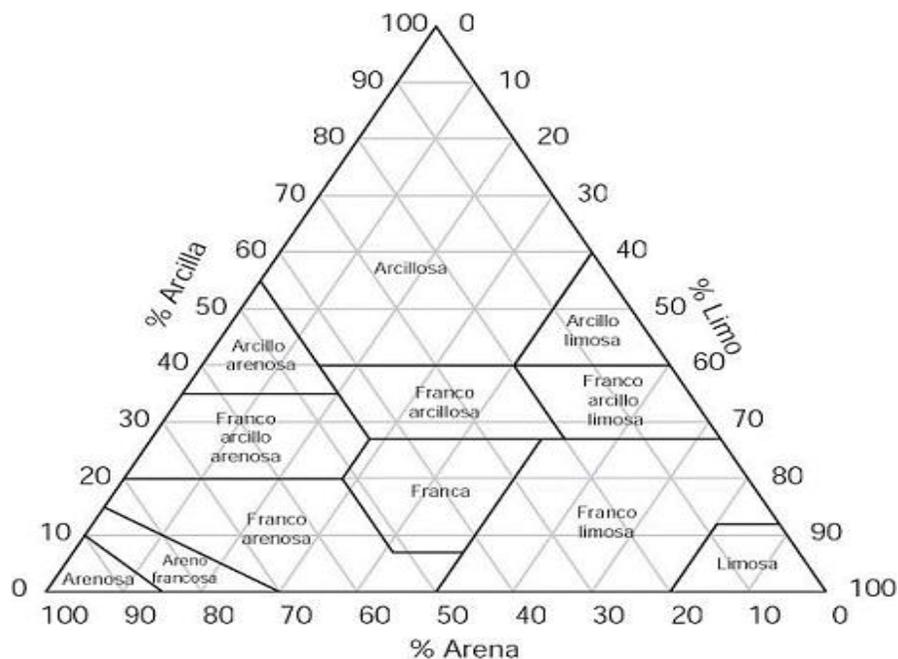
3.10 Materia Orgánica: Las muestras se secaron a temperatura ambiente, y se cernieron con un tamiz de 2mm para homogenizar, para determinar el contenido de materia orgánica se utilizó el método de As-07 de la Nom-021-recnat- 2000 de Walkley y Black descrita por (Nelson y Sommers, 1982).

3.11 Conductividad Eléctrica (C.E): Se determinó por conductivímetro en una solución extraída de la pasta de saturación, Orión 162.

3.12 Textura del suelo: el método para la determinación de la proporción de las partículas minerales (arena, limo y arcilla) en los suelos muestreados se realizó por el procedimiento de (Bouyoucos., 1962).

La textura del suelo en cada sitio muestreado fue determinado por el método del triángulo de textura de suelo (figura 1), establecida por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA, por sus siglas en ingles).

Figura 1. Triangulo textural USDA



3.13 pH: Se determinó al extraer una solución de la pasta de saturación leída con el potenciómetro termo Orión Modelo-420A.

3.14 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó un diseño completamente al azar en el que se determinó un análisis de varianza, utilizando el Microsoft SAS (2001) (Sistema de Análisis Estadístico) con tres tratamientos de cuatro repeticiones cada una.

Con los datos obtenidos en las muestras de suelo se realizó la prueba de comparación de medias de tratamientos por el método de la diferencias mínimas significativas (DMS, $P=0.05$) a las variables que presentaron diferencia significativa.

IV.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Características físico-químicas del suelo

Con los datos obtenidos en las muestras de suelo se realizó la prueba de comparación de medias de tratamientos por el método de la diferencias mínimas significativas (DMS, $P=0.05$) a las variables que presentaron diferencia significativa. Los resultados se presentan en el cuadro 1.

Cuadro 1. Resultados obtenidos de las variables estudiadas.

Propiedades Físico-Químicas del suelo

PROFUNDIDAD DEL SUELO (cm)	Da gr/ml	Mo %	Ph	CE ms/ cm	PSIm eq/10 Ogr	CICmeq/1 00gr	Textura %
----------------------------------	-------------	---------	----	-----------------	----------------------	------------------	-----------

0-30	1.50	1.93	8.62 a	2.45	6.03	18.75 a	Arcilla
30-60	1.32	2.69	8.60 a	2.10	6.67	11.00 b	Arcilla
60-90	1.33	1.60	8.45 b	2.15	6.62	16.00 b a	Arcilla

4.2 Densidad Aparente (DA)

En relación con los resultados obtenidos (cuadro 1) en las muestras se puede decir que en las tres profundidades muestreadas, no se encontró diferencia significativa lo cual la profundidad que presenta el mayor valor numérico fue el de 0-30 cm de con un valor de 1.50 gr/cm³ y el de menor valor fue el de 30-60 cm con un valor de 1.32 gr/cm³.

La densidad aparente del suelo es un buen indicador de ciertas importantes características del suelo, a saber: porosidad, grado de aireación y capacidad de infiltración, el suelo es compacto o poco poroso, que tiene mala aireación, que la infiltración del agua es lenta, lo cual puede provocar anegamiento, y que las raíces tienen dificultades para elongarse y penetrar hasta donde encuentren agua y nutrientes. Los suelos de textura fina, bien estructurados y con altos contenidos de materia orgánica presentan valores más bajos de densidad aparente que los suelos de textura gruesa, poco estructurados y con bajos contenidos de materia orgánica.

(Ingaramo *et al.*, 2003) menciona que la densidad aparente afecta al crecimiento de las plantas debido al efecto que tienen la resistencia y la porosidad del suelo sobre las raíces. Con un incremento de la densidad aparente, la resistencia mecánica tiende a aumentar y la porosidad del suelo tiende a disminuir, con estos cambios limitan el crecimiento de las raíces a valores críticos. Los valores críticos de la densidad aparente para el crecimiento de las raíces, varían según la textura que presenta el suelo y de la especie de que se trate.

Por ejemplo, para suelos arenosos una densidad aparente de 1.759 kg/m³ limita el crecimiento de las raíces de girasol, mientras que en suelos arcillosos, ese valor crítico es de 1.460 a 1630 kg/m³, para la misma especie (Jones, 1983).

Algunos valores de referencia, con relación a la textura son los siguientes (Schargel y Delgado, 1990)

Textura	Densidad Aparente
Fina (arcillosos)	1,00-1,30 mg/ml
Media (francos)	1,30-1,50 mg/ml
Gruesa (arenosos)	1,50-1,70 mg/ml

Los resultados obtenidos en las muestras de suelo del Ejido Rancho Alegre del Municipio de Torreón Coahuila son similares comparándolos con (Rubio-Gutiérrez, 2010) quien determino los valores de la densidad aparente del suelo en 27 sitios distribuidos en tres parcelas situadas al norte, centro y sur del Parque Natural de los alcornocales. Los valores obtenidos a partir de los cilindros superficiales (0-4 cm) oscilaron en un amplio rango (entre 0,62 y 1,30 mg/ml, 0,86 mg/ml en promedio) en el conjunto de sitios y cubiertas vegetales estudiados lo cual son similares con los resultados obtenidos en este proyecto.

(Matus *et al.*, 2002) realizaron investigaciones para comparar la densidad aparente por el método del terrón y cilindro en suelos con distintos contenidos de humedad, porcentajes y tipos de arcilla, sometidos a diferentes manejos. Donde muestrearon 17 horizontes Ap (cinco repeticiones) del Valle de Colchagua en tres fechas. Desde la primera fecha hasta la última, la humedad del suelo disminuyó significativamente. Los resultados indicaron que tanto el manejo del suelo como la variación en el contenido de humedad, fueron los factores más significativos. La densidad aparente por terrón, húmedo (humedad natural del suelo) fue en promedio 11 % superior a los valores de cilindro. Cuando el terrón húmedo fue secado al aire, la densidad aparente fue sobrestimada en 24 % los resultados encontrados en este estudio fue de (0,95 y 1,83 Mg m⁻³) lo cual es similar con datos obtenidos.

4.3 Materia orgánica (MO)

En cuanto a la materia orgánica, se puede observar (cuadro 1) que no hay diferencia significativa en las tres profundidades del suelo, el que presenta el mayor valor numérico fue de 30-60 cm con un valor de 2.69% y el de menor valor fue el de 60-90 cm con un valor de 1.60%. Comparando los resultados obtenidos con la NOM-021-SEMARNAT-2000 (cuadro 2) en base a la materia orgánica los suelos agrícolas del municipio de Torreón Coahuila se clasifican como no volcánicos y se observan que se tiene un punto medio de contenido de materia orgánica.

Cuadro 2. Valores de referencia para clasificar la concentración de materia orgánica en suelos minerales y volcánicos (Nom-021-semarnat-2000).

Clase	Materia orgánica %	Suelos no volcánicos suelos volcánicos.
Muy bajo	<4.0	<0.5
Bajo	4.1-6.0	0.6-1.5
Medio	6.1-10.9	1.6-3.5
Alto	11.0-16.0	3.6-6.0
Muy alto	>16.1	>6.0

(Alexander, 1980) manifiesta que en terrenos que no han sido perturbados, el contenido de materia orgánica permanece constante. Por lo tanto este suelo se encuentra en buenas condiciones para los cultivos ya que no ha sido afectado por actividad minera o por cualquier otra actividad. Los resultados son similares con (Vicencio *et al.*, 2010) quienes hicieron una comparación de la calidad química del suelo antes de sembrar y después de la cosecha, donde se evaluó el efecto de un ciclo del cultivo de avena; lo cual ubicaron tres parcelas experimentales, una de ellas con agua tratada, otra con agua residual cruda y la tercera con agua de presa.

(Veliz-Lorenzo *et al.*, 2009) menciona que el uso productivo de las aguas residuales domésticas o municipales pudiera constituir una vía alternativa importante para riego agrícola por sus contenidos de nutrientes y materia orgánica, lo que favorecería el incremento de las cosechas y el mejoramiento de los suelos.

4.4 pH

Para los sitios muestreados, los valores en el pH (cuadro 1) si presenta diferencia significativa de acuerdo al análisis estadístico en las tres profundidades lo cual el que presenta el mayor valor numérico fue el de 0-30 cm con un valor de 8.62 y el de menor valor fue el de 60-90 cm con un valor de 8.45. Comprando los pH obtenidos en la muestra, con la NOM-021-SEMARNAT-2000 (cuadro 3) están clasificados como fuertemente alcalinos según la norma antes mencionada.

Cuadro 3. Criterio de valoración de un suelo con base a su pH (NOM-021-SEMARNAT-2000).

Clasificación	pH
1.-Fuertemente acido	<5. 0
2.-Moderadamente acido	5.1-6.5
3.-Neutro	6.6-7.3
4.-Mediamente alcalino	7.4-8.5
5.-Fuertemente alcalino	>8.5

Un pH fuertemente alcalino la arcilla se dispersa, se destruye la estructura y existen malas condiciones en suelo y en los cultivos.

Los suelos alcalinos pueden nacer naturalmente o por intervención humana.

1.- El origen natural se debe a la presencia de minerales que bajo condiciones climáticas

se descomponen liberando el carbonato de sodio.

2.-La intervención humana consiste en la aplicación de agua de riego con contenido relevante alto de bicarbonato de sodio, de forma que el carbonato se disuelve, por lo tanto este suelo es fuertemente alcalino por la aplicación de aguas residuales tratadas.

(Quero, 2008) menciona que el pH, variable universalmente empleada como parámetro de la calidad del agua y suelo, sus valores permiten predecir la disponibilidad, solubilidad y movilidad de los elementos minerales, necesarios para el crecimiento y productividad de los cultivos.

(Vicencio *et al.*, 2010) realizaron evaluación de la consecuencia en el uso del agua residual tratada en el suelo lo cual consistió en hacer una comparación de la calidad química del suelo antes de sembrar y después de la cosecha, obteniendo un resultado mínimo de 7.8 y una máxima de 8, lo cual es similar con los resultados obtenidos en este proyecto.

4.5 Conductividad Eléctrica (CE)

La conductividad eléctrica (cuadro 1) en los suelos estudiados no se encuentran diferencia significativa en las tres profundidades lo cual el que presenta el mayor valor numérico fue el de 0-30 cm con un valor de $2.45 \mu\text{S cm}^{-1}$ y el de menor valor fue el de 30-60 cm con un valor de $2.10 \mu\text{S cm}^{-1}$. Todos los suelos fértiles contienen por lo menos pequeñas cantidades de sales solubles. La acumulación de sales solubles en el suelo se atribuye principalmente a problemas de drenaje y a la acción de riegos continuados, seguidos de evaporación y sequía.

Cuando un suelo tiene un exceso de sales solubles se le denomina suelo salino. La medida de la conductividad eléctrica (CE) del suelo y de las aguas de riego permite estimar en forma casi cuantitativa la cantidad de sales que contiene. El análisis de la CE en suelos se hace para establecer si las sales solubles se encuentran en cantidades suficientes como para afectar la germinación normal de las semillas, el crecimiento de las plantas o la absorción de agua por parte de las mismas (Rodríguez *et al.*, 2006).

La NOM-021-SEMARNAT-2000 (cuadro 4) establece que cuando la conductividad eléctrica se encuentra en el rango de $2.1-4.0 \mu\text{S cm}^{-1}$ el suelo es moderadamente salino

lo cual índice para estos suelos de acuerdo a los resultados obtenidos.

Cuadro 4. Interpretación de la conductividad eléctrica NOM-021-SEMARNAT-2000.

CE dS m⁻¹ a 25°C	Efectos
<1.0	Efectos despreciables de salinidad
1.1-2.0	Muy ligeramente salino
2.1-4.0	Moderadamente salino
4.1-8.0	Suelo salino
>16.0	Muy fuertemente salino

La mayor concentración de conductividad eléctrica se encuentra en la profundidad 0-30 debido al producto de las pocas lluvias generadas en el norte del país, es por eso que los suelos son moderadamente salinos.

Los resultados obtenidos de las muestras son idénticos con (Rodríguez *et al.*, 2006) quienes evaluaron el comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector Caño San Miguel, municipio Mara, estado Zulia durante un período de dos años, lo cual mencionan uno de los factores que afecta la concentración de sales en el perfil de suelo, es la aplicación de agua de riego.

(Almeida y Gisbert, 2006) realizaron estudios en la evaluación de la variación en la calidad del agua de riego por goteo en un huerto de cítricos y sus consecuencias sobre el suelo y las plantas teniendo como resultado una variación en la conductividad eléctrica de 1.100 a 3.068 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (1,10 a 3,07 dS m⁻¹), y por consiguiente una variación en la clase de salinidad de C3 a C4, habiendo aparecido la clase C4 siendo idénticos con nuestros resultados obtenidos. Como el riego del huerto no se interrumpió en este periodo y además la evapotranspiración es muy alta, el agua que está almacenada en las tuberías de drenaje va disminuyendo de cantidad y por tanto va aumentando su concentración de sales, haciendo más peligroso su uso.

4.6 Porcentaje de Sodio Intercambiable

En los resultados obtenidos (cuadro 1) en las muestras de suelo se puede concluir que en cuanto al PSI no se encuentre diferencia significativa en las tres profundidades lo cual el que presenta el mayor valor numérico fue el de 30-60 cm con un valor de 6.67 meq/100gr y el de menor valor fue el de 0-30 cm con un valor de 6.03 meq/100gr.

(Vicencio *et al.*, 2010) evaluaron la modificación de la calidad química del suelo por el uso del agua tratada donde los resultados mostraron que el suelo de las parcelas regadas con agua tratada y agua residual cruda son sódico no salino, con un porcentaje de sodio intercambiable (PSI) de 29 y 19 y pH de 9.7 y 9.6 respectivamente. El suelo de la parcela testigo es normal, con PSI de 1.2 y pH de 5.8. Donde los datos obtenidos comparándolos son casi similares lo que nos quiere decir que al regar las parcelas con agua tratada el PSI se incrementa por la cantidad de sodio que contiene el agua residual tratada.

Los resultados coinciden con (Gasca *et al.*, 2011) quienes evaluaron los cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) sobre un suelo afectado por sodicidad con severas limitaciones en las condiciones físicas, químicas y biológicas. Donde inicialmente el suelo fluctuaba en el rango de 20 a 50 PSI, lo que afecta de manera desfavorable la adaptación de cultivos, por el alto potencial osmótico en el suelo, reduciéndose hasta 5.4 a 6.0 de PSI.

4.7 Capacidad de Intercambio Catiónico

En los resultados obtenidos de la Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) si hay diferencia significativa en las tres profundidades lo cual el que presenta el mayor valor numérico fue el de 0-30 cm con un valor de 18.75 meq/100gr y el de menor valor fue el de 30-60 cm con un valor de 11.00 meq/100gr Comparando estos resultados según la NOM-021-SEMARNAT-2000 nos dice que los que tienen un rango de 15-25 el suelo tiene una media concentración de capacidad de intercambio catiónico lo cual índice para estos suelos de acuerdo a los resultados obtenidos en la (cuadro 1).

Cuadro 5. Valores de referencia para clasificar la concentración de Capacidad de Intercambio Catiónico según la (Nom-021-semarnat-2000).

Clase	CIC (Cmol(+)kg ⁻¹)
Muy alta	>40
Alta	25-40
Media	15-25
Baja	5-15
Muy baja	<5

La Capacidad de Intercambio Catiónico, es una propiedad química a partir del cual es imposible inferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutrimental y del grado del interperismo de los suelos según la (Nom-021-Semarnat, 2000). Los cationes de mayor importancia con relación al crecimiento de las plantas son el calcio (Ca), magnesio (Mg), potasio (K), amonio (NH⁴⁺), sodio (Na) e hidrógeno (H). Los primeros cuatro son nutrientes y se encuentran involucrados directamente con el crecimiento de las plantas. El sodio y el hidrógeno tienen un pronunciado efecto en la disponibilidad de los nutrientes y la humedad. En los suelos ácidos, una gran parte de los cationes son hidrógeno y aluminio en diversas formas.

Los resultados obtenidos en las muestras son idénticas con (Henríquez *et al.*, 2005) quienes determinaron la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio. A medida que el contenido de arcilla y/o materia orgánica aumentan el suelo en cuestión tendrá mayor CIC (Abrego, 2005). Por lo tanto nuestro suelo muestreados tienen un punto medio de concentración de CIC es porque la concentración de materia orgánica es baja y por otro lado es porque el suelo se clasifica como arcilloso.

4.8 Metales pesados evaluados en el suelo.

Se realizó la prueba de comparación de medias de tratamientos por el método de la diferencias mínimas significativas (DMS, P=0.05) a las variables que presentaron

diferencia significativa en los metales pesados lo cual se muestra en la cuadro 6.

Cuadro 6. Determinación de metales pesados en el suelo

Metales pesados determinados en el suelo				
Profundidad (cm)	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Pb mg/kg	
0-30	0.10	1.46 a	2.16 a	
30-60	0.10	1.33 b a	1.93 b a	
60-90	0.10	1.29 b	1.39 b	

4.9 Cadmio (Cd)

En cuanto a la determinación de cadmio (cuadro 6) obtenido en los suelos del ejido rancho alegre no se encuentre diferencia significativa en las tres profundidades lo cual presentan el mismo valor en ambas profundidades de 0.10 mg/kg. Comparando los datos obtenido con la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (cuadro 7) se encuentran muy por debajo de los límites máximos permisibles para uso agrícola/residencial lo que la establece la norma antes mencionada.

Cuadro 7. Límites máximos permisibles de contaminantes

Límites máximos permisibles según la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004	
Uso agrícola/	Uso industrial (mg/kg)

Contaminante	residencial/comercial	
	(mg/kg)	
Cadmio	37	450
Plomo	400	800
Arsénico	22	260
Mercurio	23	310

(Mclaughlin y Singh, 1999) mencionan que en los últimos años, la presencia de Cd en los suelos y el riesgo de ingreso de este elemento a la cadena alimenticia, ha generado mundialmente una preocupación creciente, debido al efecto tóxico de este elemento en humanos y animales.

Los resultados obtenidos en estos suelos son similares a los de (Bonomelli *et al.*, 2003) quienes evaluaron los efectos de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile siendo similares con los resultados obtenidos en nuestras muestras. En suelos agrícolas, las principales fuentes de Cd provienen de la fertilización fosforada, uso de lodos y residuos industriales (Alloway, 1990).

Los resultados concluidos en las muestras son similares con (Olivares-Rieumont *et al.*, 2013) quienes estudiaron 17 fincas dedicadas a la agricultura urbana en un área de dos kilómetros alrededor del vertedero de “Calle 100” durante los años 2006 y 2007 donde tomaron muestras de suelo y de todas las hortalizas listas para cosechar. Los niveles de los metales pesados en los suelos de cultivo variaron en los siguientes rangos: Cd (0.24-2.1 mg/kg), los cuales comparando con nuestros resultados son muy similares.

4.10 Cobre (Cu)

En relación con los valores obtenidos (cuadro 6) de cobre en las muestras podemos decir que si hay diferencia significativa en las tres profundidades lo cual el que presenta el mayor valor numérico fue el de 0-30 cm de profundidad con un valor de 1.46 g/cm³ y el de menor valor fue el de 60-90 cm con un valor de 1.29 g/cm³.

Los resultados obtenidos de la muestra fue comparada con la Norma Holandesa (tabla 9) (Ministerie VROM 1983) donde se puede observar que está muy por debajo de los

Límites Máximos Permisibles que nos marca la norma antes mencionada.

Cuadro 8. Límites máximos permisibles de metales pesados. Tabla holandesa para suelos (Ministerie VROM 1983)

Límites Máximos Permisibles			
Contaminantes	Pb (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)
L.M.P.	600	500	3000
Puntos muestreados	23	23	23
Puntos que exceden	15	8	14

(Roca *et al.*, 2007) menciona que el Cobre, hierro, manganeso y zinc son 4 metales esenciales para el crecimiento vegetal. A pesar de las pequeñas cantidades requeridas por las plantas, los suelos agrícolas suelen ser deficitarios en uno o más micronutrientes de forma que su concentración en los tejidos de estudios sobre los parámetros que controlan su solubilidad en el suelo.

(Olivares-Rieumont *et al.*, 2013) estudiaron los niveles de Cu, Pb, Cd y Zn en suelos y hortalizas cultivadas de una zona altamente urbanizada de la ciudad de la Habana, donde los niveles de los metales pesados en los suelos de cultivo variaron en los siguientes rangos Cu (38.4-81.3 mg/kg), si comparamos con nuestros resultados podemos decir que están muy concentrados.

El instituto de medicina de Estados Unidos de Norteamérica da una recomendación del consumo diario de cobre (cuadro 9).

Cuadro 9. Consumo diario de cobre recomendado por el Instituto de Medicina de Estados Unidos de Norteamérica.

Grupo	Recomendación (mg/día)
1-3 años	0.34
4-8 años	0.44
9-13 años	0.70
14-18 años	0.89
Mayores de 18 años	0.90
Embarazada	1.00
Nodriza	1.30

Cuadro 10. Consumo diario máximo seguro de cobre establecido por el Instituto de Medicina de Estados Unidos de Norteamérica.

Grupo	Recomendación (mg/día)
1-3 años	1
4-8 años	3
9-13 años	5
14-18 años	8
Mayores 18 años	10
Embarazada < 18 años	8
Embarazada * 18 años	10
Nodriza < 18 años	8
Nodriza * 18 años	10

(Garcés, 2012) menciona que el cobre es una sustancia común que se encuentra en la naturaleza y se extiende en el ambiente a través de fenómenos naturales. La producción de cobre se ha incrementado en las últimas décadas y debido a esto, las cantidades de cobre en el ambiente se han expandido. El cobre puede ser encontrado en las comidas diarias, en el agua potable y en el aire. Debido a que absorbemos una cantidad eminente de cobre cada día por la comida, bebida y respiración, debemos manejar la concentración de cobre necesaria en nuestro organismo. Aunque los humanos pueden manejar concentraciones de cobre proporcionalmente altas, mucho cobre incide en la salud.

Los resultados obtenidos en las muestras de suelo son casi similares con (Buffa y Ratto, 2009) quienes determinaron el contenido pseudototal de Cu, Zn, Fe y Mn en suelos de la llanura chaco-pampeana de Córdoba, Argentina, mediante una extracción multielemental con HNO³, los resultados obtenidos en promedio fueron: 11,3 a 19,2 mg Cu kg⁻¹; 29,4 a 61,5 mg Zn kg⁻¹; 285 a 626 mg Mn kg⁻¹ y 9 a 19,9 g Fe kg⁻¹ en la profundidad 0-60 cm de los suelos.

4.11 Plomo (Pb)

En relación a los valores obtenidos (cuadro 6) de plomo en los suelos del Ejido Rancho Alegre del Municipio de Torreón Coahuila, la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 (cuadro 7) establece como límites de referencia 400 mg/kg⁻¹ para uso agrícola/residencial/comercial. Comparando los resultados obtenidos con norma, podemos decir que se encuentra por debajo de los límites máximos permisibles, lo cual indican que no hay riesgo para la salud humana.

Con los resultados obtenidos de plomo se encontró diferencia significativa en las tres profundidades lo cual el que presenta el mayor valor numérico fue el de 0-30 cm con un valor de 2.16 mg/kg y el de menor valor fue el de 60-90 cm con un valor de 1.39 mg/kg.

El plomo (Pb) es un metal no esencial para los seres humanos que se distribuye con amplitud en el ambiente; se considera un contaminante ecotoxicológico ya que su uso provoca contaminación ambiental y exposición en humanos (Manzanares-Acuña *et al.*, 2006). Las fuentes antropogénicas de las que provienen los metales pesados contenidos

en la capa superficial del suelo, están dadas por deposiciones atmosféricas, escorrentía de aguas contaminadas, riego con aguas residuales, acumulación de desechos y basuras y el uso inadecuado en la agricultura de fertilizantes, plaguicidas y productos similares. Debido a su fuerte sorción a la materia sólida, estos elementos se acumulan fácilmente y muchas veces sus niveles tóxicos son alcanzados y en algunos casos excedidos (Reyes-Guzmán y Avendaño-Prieto, 2012).

Los resultados obtenidos fue comparado con (Reyes-Guzmán y Avendaño-Prieto, 2012) donde estudiaron qué parte del plomo contenido en el suelo podría introducirse en la cadena alimenticia, existiendo un riesgo ecológico potencial para el normal desarrollo de la flora, la fauna y en especial para la población humana que consume productos agrícolas cultivados en estos suelos. Midieron las concentraciones de plomo en diferentes muestras de suelo y se encontró que aproximadamente el 27% del plomo contenido en los suelos tiene el riesgo de movilizarse fácilmente y afectar negativamente el ecosistema. Determinaron que el contenido pseudototal de Pb está entre 8,00 y 44,00 mg/kg, con un promedio de 18,61 mg/kg incluyendo todas las muestras.

Cuadro 11 Significancia de las variables respuestas estudiadas en las tres profundidades del perfil del suelo regado con agua residual tratada.

VARIABLES	R-SQUARE	COEFF VAR (%)	PR>F	SIGNIFICANCIA
Da	0.32	9.83	0.1760	NS
Mo	0.1812	53.81	0.4065	NS
pH	0.6564	0.7542	0.0082	**
CE	0.0569	32.4472	0.7681	NS
PSI	0.0033	88.5541	0.9849	NS
CIC	0.4782	25.3730	0.0535	*

Cu	0.4520	6.9531	0.0667	NS
Pb	0.4274	23.6931	0.0813	NS

NS = NO SIGNIFICATIVO * =SIGNIFICATIVO ** = ALTAMENTE SIGNIFICATIVO

En los valores obtenidos de las variables respuestas estudiadas se puede observar que hay una alta significancia en relación con el pH ($Pr > F=0.0082$) y una significancia en relación con CIC con un ($Pr > F=0.0535$) por lo tanto en las demás variables respuestas no se encontró significancia.

Cuadro 12. Máximos y mínimos de las medias de cada variable obtenida.

VARIABLE	MINIMUN	MAXIMUN
Da	1.2500	1.7200
Mo	1.3000	5.4700
pH	8.4000	8.700
CE	1.6100	3.9200
PSI	0.2300	15.2300
CIC	7.0000	22.0000
Cd	0.1000	0.1000
Cu	1.1900	1.6400
Pb	1.1400	2.8700

Cuadro 13. Coeficiente de correlación de Pearson

COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON			
CUADRO DE RELACION	COEFICIENTE DE CORRELACION	PR>F	SIGNIFICANCIA
Da-Mo	-0.29892	0.3453	NS
Da-pH	0.11541	0.7210	NS
Da-CE	-0.18884	0.5567	NS
Da-PSI	-0.31319	0.3216	NS
Da-CIC	0.23363	0.4649	NS
Da-Cu	-0.07652	0.8132	NS
Da-Pb	0.45210	0.1401	NS
Mo-pH	0.15276	0.6355	NS
Mo-CE	0.06944	0.8302	NS
Mo-PSI	-0.17023	0.5969	NS
Mo-CIC	-0.09003	0.7808	NS
Mo-Cu	0.17351	0.5897	NS
Mo-Pb	-0.14933	0.6432	NS
pH-CE	-0.18458	0.5658	NS
pH-PSI	-0.19893	0.5354	NS
pH-CIC	0.11771	0.7156	NS
pH-Cu	0.45916	0.1332	NS
pH-Pb	0.32865	0.2969	NS

NS = NO SIGNIFICATIVO * =SIGNIFICATIVO ** = ALTAMENTE SIGNIFICATIVO

COEFICIENTE DE CORRELACION DE PEARSON			
CE-PSI	0.75837	0.0043	**
CE-CIC	0.11191	0.7291	NS
CE-Cu	0.24151	0.4495	NS
CE-Pb	0.09339	0.7728	NS
PSI-CIC	-0.17231	0.5923	NS
PSI-Cu	0.05753	0.8591	NS
PSI-Pb	0.08548	0.7917	NS
CIC-Cu	0.31319	0.3216	NS
CIC-Pb	-0.00669	0.9835	NS
Cu-Pb	0.45267	0.1395	NS

NS = NO SIGNIFICATIVO * =SIGNIFICATIVO ** = ALTAMENTE SIGNIFICATIVO

En el análisis de correlación se encontró una correlación directa alta mente significativa ($P < F=0.0043$) en la relación CE-PSI, esto significa que al incrementar en el suelo el valor del PSI tiene un incremento en el valor de la CE.

En las correlaciones de pH-Cu, Cu-Pb y Da-Pb se encontró correlación directa aunque no en forma significativa ($P < F=0.1332, 0.1395$ y 0.1401) donde se observa la tendencia que al incrementar el pH, incrementa el Cu, al incrementar el Cu incrementa Pb y al incrementar la Da se incrementa el Pb. Por lo tanto en los demás valores no se encontró correlación significativa.

4.12 Análisis físico-químicos del agua tratada

4.13 Evaluación de metales pesados

Los resultados del análisis de los metales pesados en el agua tratada: cadmio, cobre y plomo se pueden observar en la tabla 15.

Cuadro 14. Resultados de los análisis de metales pesados de la planta tratadora de agua.

Metales pesados	Resultados del análisis (mg/l)
Cadmio	<0.1
Cobre	<0.5
Plomo	<0.2

Comparando los datos obtenidos de las muestras de agua con la Nom-001-semarnat-1996 (cuadro16) se puede concluir que las concentraciones de dichos elementos se encuentran dentro de los límites máximos permisibles que nos especifica la norma antes mencionada, por lo tanto el agua de la planta tratadora de la Ciudad de Torreón Coahuila es apta para riego agrícola lo cual no hay ningún problema en los metales pesados.

Cuadro 15. Límites máximos permisibles de metales pesados en cuanto al uso de riego agrícola en su promedio mensual de acuerdo a la Nom-001-semarnat-1996.

Metales pesados	Uso en riego agrícola
Cadmio	0.05
Cobre	4
plomo	5

Los resultados obtenidos de metales pesados en las muestras de agua concuerdan con (Soto *et al.*, 2006) quienes determinaron las concentraciones de metales pesados en las aguas residuales tratadas de industria galvánica, donde obtuvieron las concentraciones de cadmio 0.01, cobre 0.6 y plomo 0.4.

4.14 Análisis microbiológicos del agua tratada

Los análisis microbiológicos obtenidos en los análisis del agua tratada se presentan en la tabla 17. Donde los parámetros que son: Solidos Suspendidos totales, Solidos Sedimentables, DQO, DBO, Nitrógeno Total y Fosforo Total no son aplicables según la Nom-001-semarnat-1996 en el uso de en riego agrícola.

Cuadro 16. Análisis microbiológicos

Parámetros	Resultados
Solidos Suspendidos totales	74.04 mg/l
Solidos Sedimentables	0.1 mg/l
DQO	258.3 mg/l
DBO	143.50 mg/l
Nitrógeno Total	34.52 mg/l
Fosforo Total	7.05 mg/l
Grasas y Aceites	11.17 mg/l
Coliformes Fecales	7405 NMP/100ml
Huevos de Helminto	4 Huevos/ L

En relación con las grasas y aceites la Nom-001-semarnat-1996 establece como límites máximos permisibles, en uso de riego agrícola 15 mg/l donde los datos obtenidos en la planta tratadora de la Ciudad de Torreón Coahuila es de 11.17 mg/l lo cual están dentro de los límites máximos permisibles.

Los análisis de coliformes fecales al comparar con la NOM-003-SEMARNAT-1996 (tabla 18) estas fuera de los límites máximos permisibles en ambos tipos de reusó.

Cuadro 17. Límites máximos permisibles de contaminantes NOM-003-SEMARNAT-1996.

Tipo de reusó	Coliformes fecales NMP/100ml	Huevos de helminto huevos/L
Servicio al público con contacto directo	240	1
Servicio al público con contacto indirecto u ocasional	1, 000	5

(Mc Feters, 2006) señalan que la cantidad de Coliforme es un indicador de Salmonella, razón por la cual menciona que en la mayoría de los casos en los cuales el agua no contenga Coliformes estará libre de bacterias productoras de enfermedades, así mismo (Grunnet, 2005) señalan que en concentraciones mayores de 1,000 Coliformes fecales/ml hay un 50 % de probabilidad de encontrar Salmonella.

(Palacios *et al.*, 1999) determinaron que este género bacteriano es capaz de sobrevivir tanto en suelo como en plantas cuando los suelos han sido regados con agua residual, Se detectaron bacterias a profundidades de 15 y 45 cm, 15 días después del riego, lo cual este tipo de bacterias puede llegar a contaminar los mantos freáticos y con probabilidad de sobrevivir por más tiempo que aquéllas próximas a la superficie.

En relación con los análisis obtenidos en las muestras de agua en cuanto huevos de helminto (tabla 17) al comparar los datos con la NOM-003-SEMARNAT-1996 (tabla 18) esto se encuentra dentro de los límites máximos permisibles en cuanto servicio al público con contacto indirecto u ocasional y fuera de los límites máximos permisibles en servicio al público con contacto directo. Aunque los parásitos de Helminto no son estudiados generalmente por los microbiólogos, su presencia en aguas residuales es no obstante de gran preocupación con respecto a la salud humana.

Los datos obtenidos en los análisis son casi similares con (Ortiz *et al.*,

2012) quienes determinar la prevalencia de huevos de helmintos en lodos, agua residual cruda y tratada, provenientes de un sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio el Rosal, Cundinamarca. El 90 % de las aguas residuales tratadas fueron positivas para la presencia de huevos, encontrándose que el 70 % presentaba al menos 1 huevo viable. Todas las muestras de agua residual cruda que se vierten directamente a la quebrada, fueron positivas a helmintos, igual situación se encontró al momento de realizar la prueba de viabilidad. Todos los lodos fueron positivos para helmintos, encontrándose que en el 100 % de estos, al menos un huevo fue viable siendo *Áscaris* sp el parásito más predominante.

V.- CONCLUSIÓN

En base a las condiciones en que se realizó el presente trabajo y los resultados obtenidos podemos concluir lo siguiente.

- ❖ Las concentraciones de metales pesados en el agua están dentro de los límites máximos permisibles que establece la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso con fines de riego.
- ❖ Los resultados del análisis de coliformes fecales exceden los límites máximos permisibles según la NOM-001-SEMARNAT-1996.
- ❖ Las concentraciones de metales pesados en el suelo están dentro de los límites máximos permisibles que nos especifica la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.

- ❖ El contenido de materia orgánica, se clasifica como media y en cuanto a la conductividad eléctrica es moderadamente salino.
- ❖ En relación con el pH el suelo es fuertemente alcalino.

VI.- RECOMENDACIONES

- ❖ Darle seguimiento a este estudio para ver al paso de los años como los metales pesados presentes en el agua tratada se van acumulando en el suelo.
- ❖ Analizar los forrajes que se cultivan en los terrenos agrícolas para ver si no están contaminados con coliformes fecales ya que se pueden incorporar a la cadena alimenticia.
- ❖ Mantener monitoreos constantes en el pH del suelo ya que es fuertemente alcalino y afecta en la disponibilidad de los nutrientes en los cultivos.
- ❖ Para disminuir el problema de la alcalinidad del suelo se recomienda, agregar azufre (en polvo o molido).

VII.- LITERATURA CITADA

- Abrego, F. L. 2005. "Calidad ambiental de suelos. Determinación de la Capacidad de Intercambio Catiónico." *Ciencia y educación para el desarrollo regional* 1: 1-25.
- Agudelo-Betancur, L. M., k. Macías-Mazo, I. y A. J. Suárez-Mendoza 2005. "Fitorremediación: la alternativa para absorber metales pesados de los biosólidos." *Venezuela*, 2: 57-60.
- Alexander, M. 1980. "Introducción a la microbiología del suelo." AGT Editor, S.A. México: 491.
- Almeida, O. A. y J. M. Gisbert 2006. "Variación en la calidad del agua de riego en un huerto de cítricos." *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 10: 64–69.
- Alvarado, J., Patricia; T y C. M. 2008. "Tratamiento de aguas residuales en México " *México*, 26: 347-359.
- Alloway, B. J. 1990. "Heavy metals in soils " New York 339.
- Angélica, B. C., E. B. Jorge, R. F. y C. G. 2004. "La calidad del suelo y sus indicadores." *México*, 13: 1132-6344.
- Bertha, A., G. Rivas; L, V. Nevárez-Moorillón, R. G., M. Bautista, A. Pérez-Hernández y R. Saucedo-Terán 2003. "Tratamiento de aguas residuales de uso agrícola en un biorreactor de lecho fijo." *Agrociencia* 37: 1-11.
- Bonomelli, C., C. Bonilla y A. Valenzuela 2003. "Efecto de la fertilización fosforada sobre el contenido de cadmio en cuatro suelos de Chile." *Pesq. agropec. bras., Brasília* 38: 1179-1186.

- Bouyoucos., G. 1962. "Hydrometer method improved for making particle of soils." *agron.* 54: 456-465.
- Buffa, E. V. y S. E. Ratto 2009. "Contenido pseudototal de Cobre, Cinc, Hierro y Manganeso como estimador del fondo geoquímico en suelos de la Llanura Chaco-Pampeana de Córdoba, Argentina." *Ciencia del suelo* 27: 1-14.
- Camacho, C. y N. Cristina 2011. "Tratamiento de agua para consumo humano." Lima, Perú,: 153-170.
- Cartaya, O. E., I. Reynaldo, C. Peniche y M. L. Garrido 2011. "Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados." *México*, 1: 41-46.
- Chávez, C. M. M. 2007. "Usos y abusos de recurso agua." *Ciencias*, 2: 1-7.
- Dozier, C. M. 2012. "Problemas del agua potable: El cobre." Instituto de Recursos de Agua de Texas.
- Flórez-Tuta, N., I. Zution-Gonçalves, R.-C. F. D., E. A. Agnellos-Barbosa, F. Ponciano-de Deus, M. Diego-Ribeiro y E. Eiji-Matsura 2013. "Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión." *Centro de Investigación del Agua*, 47: 107-119.
- Garcés, I. 2012. "Cobre en la salud." Universidad de Antofagasta Chile: 1-9.
- Gasca, C. A., J. C. Menjivar y T.-T. A. 2011. "Cambios en el porcentaje de sodio intercambiable (PSI) y la relación de absorción de sodio (RAS) de un suelo y su influencia en la actividad y biomasa microbiana." *Acta agronomica* 6: 27-38.
- Grunnet, K. 2005. "Selected Microorganisms for Coastal Pollution." *Studies and coastal pollution control*: 59-75.
- Guzmán, C. y C. Campos 2004. "Indicadores de contaminación fecal en biosólidos aplicados en agricultura." *Ambiental*, 1: 59-67.
- Henríquez, M., J. Pérez, J. M. Gascó y O. Rodríguez 2005. "Determinación de la capacidad de intercambio catiónico en arena y caolín usando acetato de amonio, acetato de sodio y cloruro de amonio." *Universidad Centroccidental Lisandro Alvarado Venezuela* 17: 59-62.
- Illera, V., I. Walter y V. Cala 2001. "Niveles de metales pesados en *Thymus zygis* desarrollado en suelos enmendados con residuos orgánicos urbanos." *México*, 17: 179-186.
- Ingaramo, O. E., A. Paz-González y M. Dugo-Paton 2003. "Evaluación de la densidad aparente en diferentes sistemas de laboreos de suelo, en el

- NO de la Península Ibérica." Comunicaciones Científicas y Tecnológicas: 1-4.
- Jacipt, A. R. 2005. "Tratamiento de aguas residuales urbanas utilizando la depuración simbiótica." Universidad de Pamplona Colombia, 3: 26-33.
- Jones, C. A. 1983. "Effect of soil texture on critical bulk density for root growth." *oil Sci. Soc. Am* 1.208 - 1.211: 47.
- Lahera., R. V. 2010. "Infraestructura sustentable: plantas de tratamientos de aguas residuales." *Quivera*, 12: 58-69.
- Mancilla-Villa, Ó. R., H. M. Ortega-Escobar, C. Ramirez-Ayala, E. Uscanga-Mortera, R. Ramos-Bello y A. L. Reyes-Ortigoza 2012. "Metales pesados totales y arsénicos en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México." *Distrito Federal, México*, 28: 39-48.
- Manzanares-Acuña, E., H. Vega-Carrillo, R., M. A. Salas-Luévano, V. M. Hernández-Dávila, C. Letechipía-de León y R. Bañuelos-Valenzuela 2006. "Niveles de plomo en la población de alto riesgo y su entorno en San Ignacio, Fresnillo, Zacatecas, México." *Salud pública de México* 48: 1-8.
- Matus, F., A. Osorio, A. Acevedo, S. Ortega y R. Cazanga 2002. "Efecto del manejo y algunas propiedades del suelo sobre la densidad aparente." *Universidad de Talca, Facultad de Ciencias Agrarias*. 2: 7-15.
- Mc Feters, G. A. 2006. "Comparative survival of indicator bacteria and enteric pathogen in well water." *Applied Environmental Microbiology*: 23-49.
- Mclaughlin, M. J. y Singh 1999. "Cadmium in soils and plants: a global perspective." *Dordrecht: Kluwer Academic*: 1-19.
- Mejía-Sáenz, E., E. Palacios-Vélez, A. Exebio-García y A. L. Santos-Hernández 2002. "Problemas operativos en el manejo del agua en distritos de riego." *Centro de Investigación del Agua*, 20: 217-225.
- Méndez-Romero, F. y F. Zapata-Navas 2010. "Variabilidad especial de la salinidad en suelos regados con aguas residuales del sistema de riego Taiguaiguay, Venezuela." *Venezuela*, 35: 357-362.
- Montero, L., R. Cun, J. Pérez, M. P. Ricardo y J. Herrera 2012. "Riego con aguas residuales en la producción sostenible de granos para alimento animal." *La Habana, Cuba*. 21: 48-52.
- Morillo, G., R. Monsalve, J. Mendoza, D. Isea, I. Araujo, L. Vargas y N. Angulo 2009. "Chemical and microbiological evaluation of cucumber (*Cucumis sativus* L.) using wastewaters irrigation." *Centro de Investigación del Agua*, 32: 68 - 76.

- Morton-Bermea, O. 2006. "Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la Ciudad de México." México, 9: 45-47.
- Nelson, D. W. y L. E. Sommers 1982. "Total carbon, organic carbon, and organic matter." Methods of soil analysis. II: 539-577.
- NOM-001-SEMARNAT 1996. "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales." (Consultada el 01 de noviembre del 2014). (En línea): <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3290/1/NOM-001-SEMARNAT-1996.pdf>.
- NOM-002-SEMARNAT 1996. "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal." (Consultada el 01 de noviembre del 2014). (En línea): <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/ecol002.pdf>.
- NOM-003-SEMARNAT 1996. "Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se re usen en servicios al público." (Consultada el 01 de noviembre del 2014) (En línea) <http://legismex.mty.itesm.mx/normas/ecol/ecol003.pdf>.
- Nom-021-Semarnat 2000. "Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificacion de suelos, estudio, muestreo y analisis." (Consultada el 27 de noviembre del 2014) (En línea) <http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3335/1/nom-021-semarnat-2000.pdf>.
- Olivares-Rieumont, S., D. García-Céspedes, L. Lima-Cazorla, I. Saborit-Sánchez, A. Llizo-Casals y P. Pérez-Álvares 2013. "NIVELES DE CADMIO, PLOMO, COBRE Y ZINC EN HORTALIZAS CULTIVADAS EN UNA ZONA ALTAMENTE URBANIZADA DE LA CIUDAD DE LA HABANA, CUBA." Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas 29: 285-294.
- Orona-Castillo, I., A. Flores-Hernández, M. Rivera-González, J. Guillermo-Martínez y E.-A. J. d. J. 2003. "Productividad del agua en el cultivo de nopal con riego por goteo en la comarca lagunera." México, 21: 195-201.
- Ortiz, C., M. C. López y F. A. Rivas 2012. "Prevalencia de helmintos en la planta de aguas residuales del municipio El Rosal, Cundinamarca." Salud pública 14: 296-304.
- Pacheco, S. J. 2004. "La crisis mundial del agua: una mirada desde Cuba." Cuba, 1: 33-37.

- Palacios, P., L. E., D. N. A., P. F y M. Rodriguez 1999. "Primeros resultados del estudio de la resistencia de salmonella en la zona no saturada del suelo agrícola." IV jornadas sobre investigadores de la zona no saturada del suelo. Canarias.: 4.
- Paredes-Reyes, S. R., J. Aguilar-Nieto, A. y P. Navarro-Quintero 2001. "Determinación de Metales Pesados y Sales Solubles en Suelos de Cultivo Acondicionados con Lodos Residuales." México, 2: 1-6.
- Plappally, A., K. y V. Lienhard 2012. "Energy requirements for water production, treatment, end use, reclamation, and disposal " Water 4818-4848.
- Plevich, O. J., A. R. S., C. Delgado, J. Saroff, R. J. Tarico, O. Crespi y Barotto. 2012. "El cultivo de alfalfa utilizando agua de perforación, agua residual urbana y precipitaciones." Agriambi, 16: 1-6.
- Polón, R., R. I. Castro, M. A. Ramírez, A. Miranda y N. Pérez 2004. "Estudio comparativo del manejo de agua en dos sistemas de riego y su efecto en la conductividad eléctrica del extracto de saturación del suelo y rendimiento del cultivo de arroz (*Oryza sativa* L.)." Cuba, 25: 91-93.
- Pontón, R. T. 2008. "El valor del agua." México, 11: 7-14.
- Prieto, M. J., R. C. A. César A. González, G. A. D. Román y G. F. Prieto 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua." Universidad Autónoma de Yucatán México. 10: 29-44.
- Puga, S., M. Sosa, T. Lebgue, C. Quintana y A. Campos 2006. "Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera." Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú. 5: 149-155.
- Quero, E. 2008. "El pH y su importancia en el manejo de la producción agrícola." Portal de silicio en los sistemas biológicos: 2.
- Regalado, S. E., R. T. Lozano, C. J. M. Barbarin y R. M. Alcala 2004. "Remoción de metales pesados en agua residual mediante agentes químicos." Ingeniería Investigación y Tecnología, VII: 46-51.
- Renner, R. 2010. "Algo no está a plomo. Cuando el tratamiento del agua causa contaminación con plomo." Instituto Nacional de Salud Pública, México. 52: 170-177.
- Reyes-Guzmán, M. y G. Avendaño-Prieto 2012. "Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo." Bogotá: 66-75.

- Reyes, N., M. G., A. Alvarado-de la Peña, D. Antuna, A. García- Vargas, L. González-Valdez, S. y E. Vázquez -Alarcón 2011 "Metales pesados: Importancia y analisis." Durango 3: 1-5.
- Robledo- Santoyo, E., V. Espinosa-Hernández, R. Maldonado-Torres, J. E. Rubiños-Panta, E. Hernández-Acosta, E. Ojeda-Trejo y C.-C. L. 2010. "Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos." Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 16: 241-251.
- Roca, N., M. S. Pazos y J. Jaume- Bech 2007. "Disponibilidad de cobre, hierro, manganeso, zin en suelos del no argentino." Argentina 25: 31-42.
- Rodríguez, A. M., U. O. Muñiz, M. B. Calero, Á. A. Montero, R. F. Martínez, J. T. Limeres, M. M. Orphee y A. A. M. de Aguilar 2012. "Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos." Canadá, 33: 5-12.
- Rodríguez, R., J. Moreno, J. Díaz y M. Larreal 2006. "Comportamiento de la conductividad eléctrica en dos series de suelo del sector Caño San Miguel, municipio Mara, estado Zulia durante un período de dos años." Facultad de Agronomía, Departamento de Edafología, Maracaibo estado Zulia 23: 23.
- Rolland, L. y C. Y. Vega 2010. "La gestion de agua en Mexico." Investigación y Análisis Sociopolítico y Psicosocial. 6: 1-35.
- Romero, A., M., A. Colin-Cruz, E. Sánchez-Salinas y M. L. Ortiz-Hernández 2009. "Tratamiento de aguas residuales por un sistema piloto de humedales artificiales. Evaluación de la remoción de la carga orgánica." Ambiental 2: 157-167.
- Rubio-Gutiérrez, A. M. 2010 "La densidad aparente en suelos forestales del parque natural los alcoronales." Instituto de recursos naturales y agrobiológicas de Sevilla: 1-88.
- Rubio, C., A.J. Gutiérrez, R.E. Martín-Izquierdo, C. Revert, G. Lozano y A. Hardisson 2004. "El plomo como contaminante alimentario." Ambiental, 21: 72-80.
- Sainz, S. J. y P. M. Becerra 2003. "Los conflictos por el agua en México." México, 2: 61-68.
- Saldívar-Osorio, L., A. Tovar-Tovar y T. Fortoul van der Goes 2012. "Cadmio." Ambiental.
- Sancha, A. M. 2011. "Presencia de Cobre en aguas de consumo humano: causas, efectos y soluciones " Universidad de Chile
- Schargel, R. y F. Delgado 1990. "Características y manejo de los suelos utilizados en la producción de carne en Venezuela. ." Maracay 187-220.

- Seguí, J., P: 2004. "La crisis mundial del agua: una mirada desde Cuba." Cuba, 1: 33-37.
- Siebe, C. y M. Cayetano 2013. "Normatividad en México para regular concentraciones de metales pesados en biosólidos, agua para riego y suelo." Ambiental 2: 1-29.
- Silva, P., P. Torres y C. Madera 2008. "Reuso de aguas residuales domésticas en agricultura. Una revisión Agronomía Colombiana." Colombia, 26.
- Soto, E., R. d. C. Miranda, C. A. Sosa y J. A. Loredó 2006. "Metales Pesados de Agua Residual de la Industria Galvánica por Precipitación Química." Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Químicas 17: 33-42.
- Soto, R., E., R. T. Lozano, C. Barbarín, J. M. y R. Alcalá, M. 2004. "Remoción de metales pesados en aguas residuales mediante agentes químicos." Departamento de Ingeniería Química de la Facultad de Ciencias Químicas, UANL. VII: 46-51.
- Tian, Y., M. Wub, R. Liua, c. Yanxiang L, C. Wanga, D., c. Tana, J., r. Wue y Y. Huang 2010. "Electrospun membrane of cellulose acetate for heavy metal ion adsorption in water treatment." Water treatment: 743-748.
- Toledo, M. A. y V. R. Rodríguez 2013. "In situ biosurfactant production and hydrocarbon removal by *Pseudomonas putida* CB-100 in bioaugmented and biostimulated oil-contaminated soil." Brazilian: 595-605.
- Valencia-Granada, E., J. Romero-Cuéllar y R. A. Aragón-Calderón 2010. "Esquema metodológico para la reutilización de aguas residuales domésticas tratadas en riego." Ambiental, : 55-59.
- Vázquez-Alarcón, A., L. J. Cajuste, R. Carrillo-González, B. Zamudio-González, E. Álvarez-Sánchez y J. Z. Castellanos-Ramos 2005. "Límites permisibles de acumulación de cadmio, níquel y plomo en suelos del valle del Mezquital, Hidalgo." México 23: 447-455.
- Veliz-Lorenzo, E., J. G. Llanes-Ocaña, L. Asela-Fernández y M. Bataller-Venta 2009. "Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica." Ciencias Biológicas 40: 1-10.
- Vicencio, M. G., C. I. López y E. Medina 2010. "Modificación de la calidad química del suelo por uso del agua tratada." Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Durango. 1: 1.
- Virginia, L., R. 2010. "Infraestructura sustentable: las plantas de tratamiento de aguas residuales." Centro de Investigación del Agua, 12: 58-69.

- Wang, C., Y. Zhao y Y. Pei 2012. "Investigation on reusing water treatment residuals to remedy soil contaminated with multiple metals in Baiyin, China." *Water treatment residuals*: 240-246.
- Zamora, F., N. Rodríguez, D. Torres y H. Yendis 2008. "Efecto del riego con aguas residuales sobre propiedades químicas de suelos de la planicie de Coro, estado Falcón." *Venezuela* 20: 193-199.