

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



Efecto del uso de agua residual tratada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Por:

JESÚS CASTAÑEDA GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Torreón, Coahuila, México
Abril 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA.

Efecto del uso de agua residual tratada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Por:

JESÚS CASTAÑEDA GONZÁLEZ

TESIS

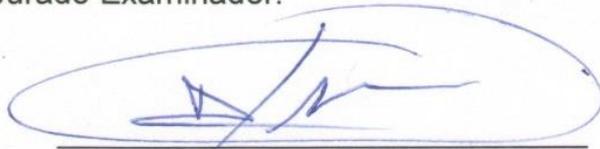
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Jurado Examinador:



Dr. Mario García Carrillo.
Presidente



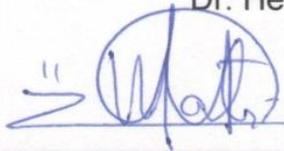
Dr. Alfredo Ogaz.
Vocal



Ing. Joel Limones Avitia.
Vocal



Dr. Héctor Madinaveitia Ríos.
Vocal Suplente



M. E. Víctor Martínez Cueto.
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas



Torreón, Coahuila, México
Abril 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONOMICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGÍA.

Efecto del uso de agua residual tratada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo.

Por:

JESÚS CASTAÑEDA GONZÁLEZ

TESIS

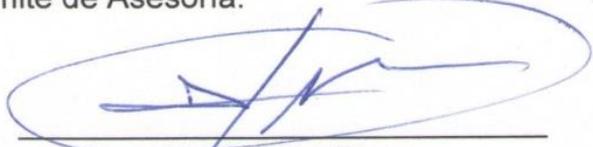
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

Aprobada por el Comité de Asesoría:



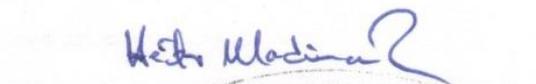
Dr. Mario García Carrillo.
Asesor Principal



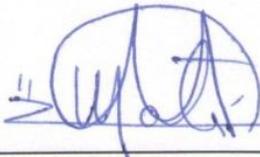
Dr. Alfredo Ogaz.
Coasesor



Ing. Joel Limenes Avitia.
Coasesor



Dr. Héctor Madinaveitia Ríos
Coasesor



M. E. Víctor Martínez Cueto.
Coordinador de la División de Carreras Agronómicas.



Torreón, Coahuila, México
Abril 2018

AGRADECIMIENTOS.

Primeramente, me complace agradecer a mi familia y familiares por todo el apoyo brindado en esta gran etapa maravillosa, llena de lucha y éxitos. A mi querida casa, la Antonio Narro, ese lugar que nos brindó esos momentos que jamás olvidare. A mis grandes acompañantes de laboratorio de suelos, que fueron mi queridos: T.Q. José Silverio Álvarez Valadez, Q.F.B. Norma Lydia Rangel Carrillo y T.Q. Juan Carlos Mejía Cruz.

De manera muy especial, agradezco y felicito al Doc. Mario García Carrillo, asesor de mi tesis, quien desde mi etapa como estudiante, y hasta el día de hoy me ha brindado sus valiosos conocimientos, confianza y apoyo.

A ese maestro que formo parte de mí, desde el día en que llegue a Torreón. Gracias Doc. Vicente de Paul, por esos cuidados y consejos que jamás se olvidaran.

Gracias a mis demás profesores y compañeros, esos que marcaron parte de mi vida con sus conocimientos y apoyo, como lo son: Ing. Limones Avitia, Ing. Miguel Ángel Urbina, Quim. Isabel, Ing. Cueto, etc.

Amigos míos, esos que jamás olvidare. Gracias mi querida Gabriela, Brenda, Priscila, Nereida, Marta, Ricardo, Reyna, etc. Y a esas personas que formaron parte de mí en esta estancia en Torreón: Alfredo Noriz Martínez, el cual ha sido parte de mi impulso en el día a día, y a su apreciable familia. A mis patronas de hamburguesas bufalo: Kikina, Isaura y a mi mamá Magdalena.

DEDICATORIA.

Mi dedicatoria está especialmente dirigida a mi mamá Leonor, por creer en mí y apoyarme en este gran reto que decidí enfrentar, para hoy lograrlo. A mi papá Pascasio y mamá Ana María, que fueron unos de mis motores. A mis hermanos, que deje un día, para otro día regresar hecho una persona profesional, con la cual podrán contar y tener su apoyo absoluto. A mi tía Goya, que sin ninguna necesidad me estuvo apoyando.

Gracias a todos mis demás familiares, que siempre estén donde estén los llevare en mi corazón.

Ahora me declaro casi ganador y vencedor de este gran reto que algún día me propuse terminar. Ahora soy un Ing. El cual, tendrá más retos que vencer y juntos con ello experiencias que contar y recordar.

RESUMEN.

La aplicación al suelo de aguas residuales tratadas (ART) en campos de cultivo puede servir como una forma viable de eliminación de efluentes, y el mantenimiento de la producción agrícola en regiones con escasez de agua dulce.

El presente trabajo se llevó a cabo dentro de las instalaciones de la UAAAN UL durante los meses de junio 2016 - Mayo 2017, con el objetivo de la determinación del efecto del uso del agua residual tratada sobre las propiedades físicas y químicas del suelo. Se determinó: Textura, % de materia orgánica (MO), capacidad de intercambio catiónico (CIC), potencial de Hidrogeno pH, conductividad eléctrica (CE), calcio (Ca), magnesio (Mg), sodio (Na), carbonatos (CO_3), bicarbonatos (HCO_3), cloro (Cl), sulfatos (SO_4), nitratos (NO_3) y densidad aparente (DA). Estas determinaciones se realizaron mediante métodos de análisis de suelos.

El análisis de los datos se realizó mediante un diseño estadístico completamente al azar, utilizando tres tratamientos con cuatro repeticiones a profundidades 0-30,30-60 y 60-90 cm. Una vez obtenidos los resultados estos fueron tratados mediante análisis de varianza y comparación de medias. Los análisis de las muestras de suelo mostraron resultados muy variantes en cuanto a la profundidad, sin embargo, es recomendable llevar un estricto control, para así evitar afectaciones al suelo. Los resultados más relevantes, encontrados en las muestras de suelo regados con aguas residuales tratadas con una antigüedad de 10 años fueron: Buen contenido de materia orgánica, suelo con pH medianamente alcalinos, calcio y magnesio en un rango de muy baja a media, así como las concentraciones más altas de carbonatos, cloro, sulfatos, nitratos, y el porcentaje de sodio intercambiable excedió los límites permisibles establecidos en la clasificación de suelos salinos y sódicos (Donahue *et al.*, 1975).

PALABRAS CLAVE: Tratamiento, agricultura, cultivos, escasez, salud.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	i
DEDICATORIA.....	ii
RESUMEN.....	iii
INDICE GENERAL.....	iv
INDICE DE CUADROS.....	viii
INDICE DE FIGURAS.....	x
I.- INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO:.....	2
HIPOTESIS:.....	2
II.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.- EL AGUA.....	3
2.2.- AGUAS RESIDUALES.....	3
2.3.- AGUAS RESIDUALES TRATADAS (ART).....	5
2.3.1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ART.....	6
2.3.2.- RIEGO CON ART EN REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS.....	7
2.3.3.- PROPIEDADES DEL SUELO.....	8
2.3.4.- RIEGO AGRÍCOLA CON ART.....	9
2.5.3.1.- EFECTO DEL RIEGO CON ART EN SUELOS.....	11
2.5.3.2.- EFECTO DEL RIEGO CON ART EN CULTIVOS.....	12
2.4.- ESCASEZ DE AGUA EN LA AGRICULTURA.....	13
2.4.1.- ART EN MÉXICO.....	15
2.4.2.- LODOS RESULTANTES DEL ART.....	15
2.4.3.- GRASAS Y ACEITES EN ART.....	16
2.5.- PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE Y A LA SALUD HUMANA.....	17
2.5.1.- CALIDAD MICROBIANA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA.....	17
2.5.2.- ADICIÓN DE BIOSOLIDOS AL SUELO.....	19
2.6.- FITO-TOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS.....	19
2.7.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	20
2.7.1.- ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.....	21
2.7.2.- PLANTAS HIPER-ACUMULADORAS.....	21
2.8.- NORMAS OFICIALES EN MATERIA DE ART Y SUELO.....	22

2.8.1.- NOM-003-SEMARNAT-1997.....	22
2.8.2.- NOM-021-SEMARNAT-2000.....	22
III. MATERIALES Y METODOS.	23
3.1.- Ubicación geográfica.	23
3.2.- Procedimientos.....	24
3.2.1.- Muestreo.....	24
3.2.2.- Secado.....	24
3.2.3.- Molienda del suelo.....	24
3.2.4.- Tamizado.....	25
3.2.5.- Elaboración de pastas saturadas.....	25
3.2.6.- Obtención de los extractos del suelo.	25
3.3.- Determinación de propiedades físicas del suelo.	26
3.3.1.- Textura.....	26
3.3.2.- Materia orgánica (MO).	27
3.3.3.- Densidad aparente.	27
3.4.- Determinación de propiedades químicas del suelo.	27
3.4.1.- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).	27
3.4.2.- pH.....	28
3.4.3.- Conductividad eléctrica (CE).....	28
3.4.4.- Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).....	29
3.4.5.- Sodio (Na).	29
3.4.6.- Carbonatos y bicarbonatos.	30
3.4.7.- Cloro (Cl).	30
3.4.8.- Sulfatos (SO ₄).	30
3.4.9.- Nitratos (NO ₃).....	30
3.5.- Análisis estadístico.	31
3.6.- Materiales y reactivos.	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	32
4.1.- Concentración de Materia Orgánica en el suelo.	32
4.2.- Comparación de medias de la MO de las muestras de suelo.	32
4.3.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) presentes en las muestras de.	33
4.4.- Comparación de medias de la CIC en las muestras de suelo.	33

4.5.- Potencial de Hidrogeno (pH) presente en las muestras de suelo regadas con.....	34
4.6.- Comparación de medias para el (pH) de las muestras de suelo	34
4.7.- Análisis de comparación en pH de las muestras regadas con ART.	35
4.8.- Conductividad eléctrica (CE) presente en las muestras de suelo regadas con.....	35
4.9.- Comparación de medias de CE de las muestras de suelo.	36
4.10.- Concentración de Calcio en las muestras de suelo regadas con ART.....	36
4.11.- Comparación de medias para el Ca de las muestras de suelo.	37
4.12.- Análisis de comparación del Ca según SEMARNAT.	37
4.13.- Comparación de medias para el Ca de las muestras de suelo.	38
4.14.- Magnesio (Mg) presente en las muestras de suelo regadas con ART.	38
4.15. Comparación de medias del Magnesio (Mg) de las muestras de suelo.....	39
4.16.- Análisis de comparación de Mg según SEMARNAT.	39
4.17.- Sodio (Na) presente en las muestras de suelo regadas con ART.	40
4.18.- Comparación de medias del Na de las muestras de suelo.	40
4.19.- Carbonatos (CO₃) en las muestras de suelo regadas con ART.	41
4.20. Comparación de medias del CO₃ de las muestras de suelo.	41
4.21.- Bicarbonatos presentes en las muestras de suelo regados con ART.	42
4.22.- Comparación de medias del HCO₃ de las muestras de suelo.	42
4.23.- Cloro presente en las muestras de suelo regadas con ART.	43
4.24.- Comparación de medias de Cl de las muestras de suelo.....	43
4.25.- Sulfatos (SO₄) presentes en las muestras de suelo regadas con ART.	44
4.27.- Nitratos (NO₃) presentes en las muestras de suelo regadas con ART.	45
4.28.- Comparación de medias del NO₃ de las muestras de suelo.	45
4.29.- Relación de adsorción de sodio presentes en las muestras de suelos regados	46
4.30.- Comparación de medias del RAS de las muestras de suelo.	46
4.31.- Porcentaje de sodio intercambiable presentes en las muestras de suelo	47
4.32.- Comparación de medias del porcentaje de sodio intercambiable de las ..	47
4.33.- Densidad aparente (DA) presentes en las muestras de suelo regadas con	48
4.34.- Comparación de medias de la DA de las muestras de suelo.....	48

V. CONCLUSIÓN.....	49
VI. LITERATURA CITADA.....	50

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo.	23
Cuadro 2. % de M.O en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	32
Cuadro 3. Comparación de medias del % MO por el método DMS.	32
Cuadro 4. Concentración de C.I.C (meq/100g) de las muestras de suelo a diferentes profundidades.	33
Cuadro 5. Comparación de medias de la CIC (meq/100g) por método DMS.	33
Cuadro 6. pH (mo/L)de las muestras de suelo a diferentes profundidades.	34
Cuadro 7. Comparación de medias del pH (mol/L) por método DMS.	34
Cuadro 8. Clasificación de pH (mol/L) para suelos según SEMARNAT.	35
Cuadro 9. Conductividad eléctrica (mS/cm) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	35
Cuadro 10. Comparación de medias de CE (mS/cm) por método DMS.	36
Cuadro 11. Concentración de Calcio (mg/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	36
Cuadro 12. Comparación de medias de Ca (meq/L) por método DMS.	37
Cuadro 13. Clase de suelo con concentraciones de Ca (meq/L).	37
Cuadro 14. Comparación de medias de Ca (meq/L) por método DMS.	38
Cuadro 15. Concentración de Mg (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	38
Cuadro 16. Comparación de medias de Mg (Meq/L) por método DMS.	39
Cuadro 17. Clasificación de Mg (meq/L) según SEMARNAT.	39
Cuadro 18. Concentración de Na (mmhos/cm) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	40
Cuadro 19. Comparación de medias de Na (mmhos/cm) por método DMS.	40
Cuadro 20. Concentración de CO ₃ (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	41
Cuadro 21. Comparación de medias del CO ₃ (meq/L) por método DMS.	41
Cuadro 22. Concentración de HCO ₃ (meq/L) de las muestras de suelo a diferentes profundidades.	42
Cuadro 23. Comparación de medias HCO ₃ (meq/L) por método DMS.	42
Cuadro 24. Concentración de Cl (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	43
Cuadro 25. Comparación de medias de Cl (meq/L) por método DMS.	43
Cuadro 26. Concentración de S ₀ ₄ (mg/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	44
Cuadro 27. Comparación de medias de SO ₄ (mg/L) por método DMS.	44
Cuadro 28. Concentración de NO ₃ (mg/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	45
Cuadro 29. Comparación de medias del NO ₃ (mg/L) por método DMS.	45
Cuadro 30. Relación de adsorción de Sodio (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	46
Cuadro 31. Comparación de medias del RAS (meq/L) por método DMS.	46

Cuadro 32. % De sodio intercambiable (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.	47
Cuadro 33. Comparación de medias de PSI (meq/L) por método DMS.	47
Cuadro 34. DA (gr/ml) de las muestras de suelo a diferentes profundidades.....	48
Cuadro 35. Comparación de medias de la DA (gr/ml) por método DMS.....	48

INDICE DE FIGURAS.

Figura 1 Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.	23
---	----

I.- INTRODUCCIÓN

La escasez del agua dulce se ha convertido en un problema mundial, ya que cada vez esta disminuye su volumen. En nuestro territorio mexicano las zonas más afectadas por la escasez de este vital líquido son las regiones áridas y semiáridas.

Todos sabemos que el agua es un recurso cada vez más escaso y valioso, pero eso no es lo más preocupante, ya que la mala administración del agua dulce está llevando al desarrollo sostenible a un punto en el cual será imposible recuperar las posibilidades del desarrollo humano, agrícola y ambiental.

El sector agrícola es el mayor consumidor de agua dulce en el mundo, ya que con métodos de riego mal planeados ha sido el principal factor de la escasez de agua superficial y subterránea. Es por ello que cada vez se han optado por la utilización de aguas residuales tratadas para riego agrícola. Estas aguas por su rico contenido en materia orgánica son muy benéficas para los cultivos, sin embargo, estas aguas no están libres de consecuencias, ya que no solo contienen elevadas concentraciones de materia orgánica que en conjunto con grandes concentraciones de sales, y otros elementos pueden afectar las características químicas y físicas del suelo.

OBJETIVO:

Determinar el efecto del agua residual tratada, sobre las propiedades físicas y químicas (Materia orgánica, C.I.C, pH, C.E, Ca, Mg, Na, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, D.A) del suelo a tres profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm).

HIPOTESIS:

Las características físicas y químicas (Materia orgánica, C.I.C, pH, C.E, Ca, Mg, Na, CO₃, HCO₃, Cl, SO₄, NO₃, D.A) de los suelos son afectadas por el riego con aguas residuales tratadas.

II.- REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.- EL AGUA.

Es difícil establecer generalizaciones acerca del agua. Aunque se puede afirmar que el agua es uno de los recursos más abundantes de la Tierra, se sabe que la proporción disponible con seguridad para el consumo humano no llega al 1 por ciento del total. El agua es un líquido, en su mayor parte, pero también puede ser un sólido o un vapor. “El agua potable es sin duda indispensable para la supervivencia humana, pero las enfermedades de origen hídrico constituyen la amenaza más frecuente para la salud en el mundo en desarrollo, y se estima que cada día cobran alrededor de 25 000 vidas humanas” (FAO, 1993).

Todos sabemos que el agua es un recurso cada vez más escaso y valioso, pero eso no es lo más preocupante, ya que la mala administración del agua dulce está llevando al desarrollo sostenible a un punto en el cual será imposible recuperar las posibilidades del desarrollo humano, agrícola y ambiental.

Los recursos hídricos de buena calidad disponibles para uso agrícola tienden a disminuir y el crecimiento de la población aumenta el uso del agua doméstica (Nava, 1997). A medida que las poblaciones se expandan y las economías crezcan, la competencia por este escaso recurso se intensificará, y con ella, también los conflictos entre los usuarios del agua. Las actividades humanas generan escasez de agua de tres maneras: por el crecimiento de la población, por la utilización errónea del agua y por la falta de equidad en el acceso a ella (FAO, 1993).

2.2.- AGUAS RESIDUALES.

Volúmenes crecientes de aguas residuales, tanto industriales como municipales, están siendo descargadas en las aguas superficiales: la necesidad del tratamiento de esas aguas residuales y el seguimiento de la calidad del agua son cada vez más necesarias para proteger el ambiente y la salud humana. La optimización de los sistemas y requerimientos municipales para salvaguardar el ambiente y la calidad para la

reutilización son aspectos de preocupación para los planificadores y los tomadores de decisiones sobre recursos hídricos. Aún más, el seguimiento y evaluación también se relacionan con aspectos ambientales del uso de aguas residuales en la agricultura, tales como la salinización de los suelos superficiales, la contaminación del suministro de aguas subterráneas y los flujos de drenaje superficial que descargan en las corrientes de agua (GRID, 2006).

No obstante, su uso sin tratamiento previo puede ocasionar problemas debido al alto contenido de sales, contaminación con metales pesados y la presencia de algunos microorganismos patógenos al hombre. Por ello es necesario evaluar su uso cuantificando su efecto sobre las propiedades químicas del suelo, con el fin de garantizar que su utilización no solo mejore la fertilidad y productividad del suelo, si no que conlleve a mantener la calidad de este recurso, garantizando que no ocasionen problemas ambientales, ni de salud pública (Zamora *et al.*, 2008).

Un tratamiento eficiente de las aguas residuales, tiene un estricto cumplimiento de las normas establecidas por los organismos nacionales e internacionales para su reúso en riego agrícola, así como un adecuado nivel de información técnico sanitario de todos los factores que intervienen en el uso productivo de estas aguas, para así permitir el aprovechamiento seguro de un gran volumen de agua, con un gran valor agronómico (Veliz *et al.*, 2009).

Cuando las aguas residuales se utilizan continuamente como única fuente de agua de riego para cultivos de campo en regiones áridas, la cantidad de nutrientes que se aplican simultáneamente y su acumulación en el suelo puede causar efectos desfavorables en la productividad y calidad de los cultivos, así como del suelo y de las aguas subterráneas por lixiviación en suelos de textura gruesa. Por consiguiente, en manejo de riego con aguas residuales debe considerar el contenido de nutrientes en relación con los requisitos específicos del cultivo y las concentraciones de nutrientes de las plantas en el suelo, y otros parámetros de fertilidad del suelo (Blum *et al.*, 2012).

2.3.- AGUAS RESIDUALES TRATADAS (ART).

La escasez mundial de agua dulce para la agricultura en las zonas áridas es cada vez mayor y los recursos hídricos cada vez más limitados. La reutilización de (ART) para riego tiene un doble beneficio: Reducción directa del consumo de agua dulce para la agricultura, y la transformación de aguas residuales en un recurso renovable (Nadav *et al.*, 2013).

Es importante saber que las aguas residuales tratadas son una buena efluente y una buena alternativa como aguas para riego en nuestros campos, pero más sin embargo ello conlleva ciertas consecuencias, ya que estas aguas no están libres de patógenos y características que alteran las características de los suelos, además de saber que estas aguas llevan disueltas metales pesados, tales como el Cadmio, Plomo y Cobre, etc. Al verse afectado el suelo, también altera su producción, ya que se estará disminuyendo en una medida el rendimiento de los productos sembrados en ese lugar, y por lo tanto se estará invirtiendo más capital a la rehabilitación del suelo (Lado y Ben Hur, 2009). El riego a largo plazo probablemente afectará el perfil del suelo diferencialmente en función de la profundidad (Assouline y Narkis, 2011).

Dentro de los países de la parte meridional del mar Mediterráneo, los recursos hídricos naturales son limitados, mientras que su aumento es constante. Por lo tanto, los recursos hídricos no convencionales se han hecho importantes para satisfacer las diferentes necesidades agrícolas (Klay *et al.*, 2010).

También tienen un impacto negativo, llevando a la acumulación de metales pesados o una mayor salinidad del suelo si la conductividad es relativamente alta. Por lo tanto, es necesario conocer la composición del agua antes de aplicarla en el suelo, para así garantizar un mínimo impacto en términos de contaminación y salinización (Morugán-Coronado *et al.*, 2011).

2.3.1.- CARACTERÍSTICAS DE LAS ART.

Las descargas de las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales se han procesado generalmente a través de sistemas de tratamiento primario y secundario. Mientras que las descargas de las empresas eléctricas son en su mayoría simplemente reutilización o recanalización de agua. Por el contrario, los residuos industriales pueden ser de menor volumen, pero contienen concentraciones mucho más altas de contaminantes. El aceite y la grasa (O & G) son un contaminante común en una amplia gama de industrias, como. Las industrias como el acero, el aluminio, la alimentación, el textil, el cuero, la petroquímica y el metal son algunos que reportan altos niveles de petróleo y Grasa en sus efluentes (Cheryana y Rajagopalanb, 1998).

El plan integrado de reutilización de aguas residuales tratadas y los lodos generados por la PTAR en las principales ciudades de las características cualitativas de las aguas residuales, que incluye: (A) Cargas microbiológicas de aguas residuales tratadas, más específicamente en contenido de (I) bacterias: Salmonella spp., Escherichia coli, Shigella. (ii) protozoos: Entamoeba Histolytica, Giardia lamblia. (lii) helmintos: Ascaris, Necator americanus, Toxocana del perro. (B) Concentraciones de metales pesados en las aguas residuales. El control de las concentraciones máximas de los metales antes de la reutilización de las aguas el suelo, en los cultivos y en diversas instalaciones por lo tanto necesario y beneficioso. (D) Concentraciones de productos químicos orgánicos tales como benceno, aceites, alquitrán, fenólicos, productos derivados del petróleo, aldehídos, etc. Deben ser monitoreados ya que en ciertos niveles y circunstancias son tóxicos para el medio ambiente (Kalavrouziotis y Charis, 2007).

También tienen un impacto negativo, llevando a la acumulación de metales pesados o una mayor salinidad del suelo si la conductividad es relativamente alta. Por lo tanto, es necesario conocer la composición del agua antes de aplicarla en el suelo, para así garantizar un mínimo impacto en términos de contaminación y salinización (Morugán-Coronado *et al.*, 2011).

2.3.2.- RIEGO CON ART EN REGIONES ÁRIDAS Y SEMIÁRIDAS.

Las regiones áridas y semiáridas se caracterizan por evapotranspiración que excede la precipitación durante la mayor parte del año. Por lo tanto, la agricultura en estas regiones depende de la irrigación permitiendo el crecimiento productivo de los cultivos. Al mismo tiempo, uno de los problemas ambientales en estas regiones es una escasez de agua dulce, la cual se espera que sea más grave en el futuro debido a la creciente presión sobre los recursos hídricos. Por lo tanto, en estas regiones, uno de los desafíos frente a la agricultura, que utiliza comúnmente grandes cantidades de agua, es encontrar nuevas fuentes de agua para el riego. Una de las alternativas que se han vuelto más comunes en los últimos años es la de ART para riego (Lado y Ben Hur, 2009).

La escasez mundial de agua dulce para la agricultura en las zonas áridas es cada vez mayor y los recursos hídricos cada vez más limitados. La reutilización de (ART) para riego tiene un doble beneficio: Reducción directa del consumo de agua dulce para la agricultura, y la transformación de aguas residuales en un recurso renovable (Nadav *et al.*, 2013).

Cuando se utiliza agua residual de forma continua como la única agua de riego en cultivos de campo en las regiones áridas, las cantidades excesivas de nutrientes se aplican de forma simultánea y su acumulación en el suelo pueden causar efectos desfavorables sobre la productividad y la calidad de los cultivos y el suelo, así como las aguas subterráneas por lixiviación en suelos de textura gruesa. En consecuencia, la gestión del riego con agua residual debe considerar el contenido de nutrientes en relación con los requisitos específicos de cultivo y las concentraciones de nutrientes de las plantas en el suelo, y otros parámetros de fertilidad del suelo (Kiziloglu *et al.*, 2008). El uso de aguas residuales en el riego sub-superficial es relativamente nuevo, y poca información es conocida sobre el impacto de las aguas residuales en las propiedades químicas del suelo (Heidarpour *et al.*, 2007).

Las altas temperaturas en el clima producen una rápida oxidación de materia orgánica y debido a la escasez de lluvias, la cobertura vegetal es muy escasa dando lugar a bajos aportes de materia orgánica en el suelo (Morugán-Coronado *et al.*, 2011).

Las aguas residuales municipales, si se tratan adecuadamente, pueden ser utilizadas para irrigación y representan una alternativa atractiva a las aguas convencionales, en los países áridos y semiáridos. Sin embargo, la irrigación de aguas residuales municipales tratadas puede conducir a problemas tanto higiénicos como agronómicos (Lonigroa *et al.*, 2016).

2.3.3.- PROPIEDADES DEL SUELO.

Los efectos al suelo dependen no sólo de la calidad de las aguas de riego, sino también del tipo de suelo, las aguas residuales tratadas utilizadas, la duración del riego y el clima local.

La mayoría de los trabajos Impacto del riego con ART sobre las propiedades del suelo y la movilidad del metal se basan en un conjunto detallado, pero incompleto de datos. Las principales propiedades del suelo son: (CIC, pH, cationes intercambiables y Cloruros, conductividad hidráulica) así como la materia orgánica (Tarchouna *et al.*, 2010).

Las propiedades del suelo pueden variar mucho dependiendo del tipo de suelo, topografía, el clima, la vegetación y las actividades antropogénicas (Shi *et al.*, 2009).

Con respecto a las propiedades hidráulicas del suelo, las diferencias en la calidad del efluente pueden afectar el suelo, ya sea debido a las diferencias de sus composiciones de las soluciones de percolación, o como resultado de cambios en las propiedades químicas y físico-químicas de los suelos regados; cambios que podrían afectar la estructura del suelo (Lado y Ben, 2009).

2.3.4.- RIEGO AGRÍCOLA CON ART.

Como consecuencia del continuo crecimiento de la población, de la contaminación tanto de las aguas superficiales como de las subterráneas, de la desigual distribución de los recursos hídricos y de las sequías periódicas, los responsables de la gestión del agua se han visto obligados a buscar nuevas fuentes de recursos hídricos (Miguel, 2011).

La reutilización en agricultura de las aguas residuales tratadas es una opción que se está estudiando y adoptando cada vez más en regiones con escasez de agua. Muchas regiones del mundo están experimentando crecientes problemas de déficits hídricos. Esto se debe al crecimiento implacable de la demanda de agua frente a unos recursos hídricos estáticos o en disminución y a las periódicas sequías debidas a factores climáticos. Además de estas presiones se estima que un calentamiento global de 2°C, como consecuencia del cambio climático, podría llevar a una situación en la que de uno a dos mil millones de personas no cuenten con agua suficiente para satisfacer sus necesidades de consumo, higiene y alimentarias (Winpenny *et al.*, 2013).

Los recursos hídricos de buena calidad disponibles para uso agrícola tienden a disminuir y el crecimiento de la población aumenta el uso del agua doméstica y, dentro de las próximas cuatro décadas, los efluentes de aguas residuales tratadas se convertirá en la principal fuente de agua para riego en Israel (Nava, 1997).

La agricultura se enfrenta al desafío de utilizar cada vez menos aguas de peor calidad, para regar las tierras que alimentan a la población (Jawad *et al.*, 2010).

El riego agrícola es uno de los principales problemas medioambientales a nivel local y regional en relación con la escasez de agua superficial y subterránea. Esta escasez de agua se podría superar parcialmente mediante la identificación, de nuevas fuentes de agua, como las aguas residuales tratadas. Los efluentes de aguas residuales tratadas pueden utilizarse para el riego bajo condiciones mínimas de riesgos para la salud

derivados de la contaminación patógena y tóxica de la agricultura (Al-Nakshabandi *et al.*, 1997).

La reutilización de (ART) para riego tiene un doble beneficio: Reducción directa del consumo de agua dulce para la agricultura, y la transformación de aguas residuales en un recurso renovable (Nadav *et al.*, 2013).

Las aguas residuales municipales, si se tratan adecuadamente, pueden ser utilizadas para irrigación y representan una alternativa atractiva a las aguas convencionales, en los países áridos y semiáridos. Sin embargo, la irrigación de aguas residuales municipales tratadas puede conducir a problemas tanto higiénicos como agronómicos (Lonigroa *et al.*, 2016).

También tienen un impacto negativo, llevando a la acumulación de metales pesados o una mayor salinidad del suelo si la conductividad es relativamente alta. Por lo tanto, es necesario conocer la composición del agua antes de aplicarla en el suelo, para así garantizar un mínimo impacto en términos de contaminación y salinización (Morugán-Coronado *et al.*, 2011).

Los recursos naturales se han visto gravemente amenazados por deposición de aguas residuales mal controladas y es por ello, que es necesario el tratamiento adecuado de las aguas residuales antes de su reutilización y la redistribución en el medio ambiente (Kivaisi, 2001).

La consideración básica en la búsqueda de posibles aplicaciones para la reutilización segura de aguas residuales municipales tratadas de las plantas de tratamiento es la prevención de los receptores acuáticos (arroyos, ríos, lagos, mar), para razones ambientales (Kalavrouziotis y Apostolopoulos, 2007).

La calidad depende del tratamiento en sí mismo, del mantenimiento y de la operación del sistema de tratamiento y de la calidad del personal operativo en la planta de tratamiento (GRID, 2006).

2.5.3.1.- EFECTO DEL RIEGO CON ART EN SUELOS.

Los efectos al suelo dependen no sólo de la calidad de las aguas de riego, sino también del tipo de suelo, las aguas residuales tratadas utilizadas, la duración del riego y el clima local. La mayoría de los trabajos Impacto del riego con ART sobre las propiedades del suelo y la movilidad del metal se basan en un conjunto detallado, pero incompleto de datos (Tarchouna *et al.*, 2010).

La aplicación al suelo de aguas residuales tratadas (ART) en campos de cultivo puede servir como una forma viable de eliminación de efluentes, y el mantenimiento de la producción agrícola en regiones con escasez de agua dulce. Sin embargo, el riego con ART no está exento de riesgos, tanto para la producción de cultivos y el medio ambiente del suelo. Entre los riesgos potenciales asociados con el riego con ART es la degradación de la estructura del suelo, el deterioro de la estabilidad de agregados, una disminución de la conductividad hidráulica del suelo, el sellado superficial, problemas de escurrimiento y la erosión del suelo, la compactación del suelo, y una disminución en la aireación del mismo, etc (Bhardwaj *et al.*, 2007). Sin embargo, la reutilización segura de Aguas residuales requiere una evaluación adecuada del potencial de riesgos para la salud pública y el medio ambiente, derivados de Microorganismos (Amha *et al.*, 2017)

Se acepta generalmente que el uso de aguas residuales en la agricultura está justificado por razones agronómicas y económicas, pero debe tenerse cuidado debido a los efectos adversos sobre la salud y e impactos al suelo (Jawad *et al.*, 2010).

El riego a largo plazo probablemente afectará el perfil del suelo diferencialmente en función de la profundidad (Assouline y Narkis, 2011).

Por lo tanto, es crucial que los efectos a largo plazo de ART sobre las características hidrológicas del suelo agrícola sean adecuadamente comprendidas y evaluadas antes de su uso para el riego con estas aguas (Gharaibeh *et al.*, 2016).

Las diferencias en la calidad del efluente pueden afectar el suelo, ya sea debido a las diferencias de sus composiciones de las soluciones de percolación, o como resultado de cambios en las propiedades químicas y físico-químicas de los suelos regados; cambios que podrían afectar la estructura del suelo (Lado y Ben, 2009).

La información sobre la repelencia al agua inducida por el riego con ART, Y los consiguientes cambios en la composición química del suelo, es bastante limitada (Nadav *et al.*, 2013).

La adición de materia orgánica es una forma rápida y eficiente de acondicionar los atributos físicos del suelo, especialmente suelos que se desarrollan en un ambiente xérico (Mujdeci *et al.*, 2017).

Por lo tanto, la estructura favorable del suelo y los agregados estables son importantes para mejorar la calidad del suelo, aumentando la productividad agronómica y mejorando la sostenibilidad, la porosidad del suelo y disminuyendo la erodibilidad del suelo (Levy, 2011).

En el futuro, se tendrá que aumentar la producción agrícola sin aumentar los impactos ambientales. Además, en el futuro, las tierras de cultivo deberán servir a múltiples propósitos, como el almacenamiento de la producción de alimentos (Foereid, 2015).

2.5.3.2.- EFECTO DEL RIEGO CON ART EN CULTIVOS.

El tomate es el cultivo de hortalizas número uno de Jordania, y como se menciona en lo anterior que el uso de efluentes de aguas residuales tratadas podría dar lugar a cambios cualitativos y contaminación patógena del producto (Al-Lahhama *et al.*, 2003).

En Israel, el uso a gran escala de ART para riego ha sido aplicado en viñedos de uva de mesa durante los últimos 8 años y una consecuencia, es aumento de salinidad que ha aparecido en las hojas (Netzer *et al.*, 2014).

Aunque el ART se puede usar para el cultivo, se desconoce su impacto sobre la fisiología de la vid y sobre la calidad de la uva para producir vino. Esta escasez de agua impacta negativamente en el desarrollo de la agricultura, incluyendo la viticultura, en Baja California. El ART de Ensenada se podría usar para irrigar cultivos y reducir la extracción de agua del acuífero, pero se debe evaluar el impacto que tendrá sobre la fisiología de las plantas que serán irrigadas (Acosta-Zamorano *et al.*, 2013).

En la agricultura, la transformación microbiana del suelo de amonio en nitratos más solubles y móviles (nitrificación) Es generalmente rápido. El nitrógeno se pierde en los sistemas agrícolas principalmente por lixiviación del nitrato, en cierta medida a través de la lixiviación de las pérdidas de amonio y gaseosas (Foereid, 2015).

2.4.- ESCASEZ DE AGUA EN LA AGRICULTURA.

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

Según aumenta la demanda de agua y se intensifica la competencia entre los distintos sectores que la usan, su escasez se hace aparente de formas muy distintas. Sin embargo, las relaciones entre los entornos hidrológicos locales, los medios de vida de las personas y el desarrollo económico son a menudo difíciles de entender. Hace tiempo que es necesario realizar una valoración objetiva de cómo se espera que la escasez de agua afecte a las rápidas transiciones sociales, económicas y medioambientales de las que somos testigos hoy día. De todos los sectores de la economía, la agricultura es el más sensible a la escasez de agua. A veces el sector agrícola es considerado como un usuario 'residual' del agua, después de los sectores doméstico e industrial, sin embargo supone el 70% de las extracciones globales de agua dulce y más del 90 % del uso consuntivo. La agricultura, y en particular la

agricultura de regadío, está sufriendo cambios muy rápidos y enfrentándose a viejos y a nuevos problemas (FAO, 2013)

Existe una necesidad de encontrar alternativas para satisfacer esta fuerte demanda del recurso agua (Morugán-Coronado *et al.*, 2011).

Debido a la falta de recursos de agua dulce, los rendimientos de los cultivos continúan disminuyendo, el desarrollo económico es lento y el agua para riego es escasa. Si las aguas residuales urbanas locales son tratadas, desinfectadas y reutilizadas para riego, este problema de falta de recursos hídricos puede ser resuelto, y la economía y la sociedad pueden desarrollarse en gran medida (Jun-feng *et al.*, 2007).

El riego agrícola es uno de los principales problemas medioambientales a nivel local y regional en relación con la escasez de agua superficial y subterránea. Esta escasez de agua se podría superar parcialmente mediante la identificación, de nuevas fuentes de agua, tales como las aguas residuales tratadas. Los efluentes de aguas residuales tratadas pueden utilizarse para el riego bajo condiciones mínimas de riesgos para la salud derivados de la contaminación patógena y tóxica de la agricultura (Al-Nakshabandi *et al.*, 1997).

Como todos sabemos, en la agricultura es donde se emplea el vital líquido, el cual es el agua dulce. Por lo tanto, en estas regiones, es uno de los retos de la agricultura, ya que comúnmente en ella se utiliza grandes cantidades de agua, y el reto es encontrar nuevas herramientas y tecnologías. Una de las alternativas que se han vuelto más común en los últimos años es la reutilización de las aguas residuales domésticas tratadas para el riego (Lado y Ben, 2009).

2.4.1.- ART EN MÉXICO.

En nuestro país para cuantificar el grado de contaminación y poder establecer el sistema de tratamiento más adecuado, en el cual se utilizan varios parámetros expresados en la normatividad oficial vigente, contenidas principalmente en las normas oficiales mexicanas: NOM-001-SEMARNAT-1996, NOM-002-SEMARNAT-1996, NOM-003-SEMARNAT-1997 y NOM-004-SEMARNAT-2002. En México el 58% de las aguas residuales generadas son colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipales, estimándose en más de 208 metros cúbicos por segundo, de los cuales sólo el 40.2% (83.6 m³/s) reciben algún tipo de tratamiento, adicionalmente se generan 190 m³/s de aguas residuales de uso no municipal incluyendo a la industria, de las cuales únicamente se tratan 33.7 m³/s (17.7%) (Castañeda *et al.*, 2014).

El nuevo orden económico internacional, caracterizado por una mayor apertura económica y mayor competitividad comercial, además de la privatización en todos los sectores de la economía, ha llevado a los países a la adopción de normas de eficiencia y calidad. En el caso del agua, México ha realizado cambios de fondo en sus leyes, en sus instituciones y en sus esquemas para la administración y comercialización de este recurso (Fortis y Alhers, 2002).

2.4.2.- LODOS RESULTANTES DEL ART.

La adición de bio-sólidos al suelo conlleva una alteración de las propiedades físicas tales como la porosidad y tamaño de poro, y de los químicos como la materia orgánica y el contenido de metal pesado. Especialmente importante, sin embargo, es su efecto sobre las propiedades microbiológicas de suelo, incluyendo las cantidades de bacterias y hongos presentes, como lodo, contiene normalmente de 100 a 1.000 veces más microorganismos, mientras que la interacción suelo-lodos tiene una influencia considerable sobre la actividad microbiana. El tipo de suelo puede ayudar o dificultar esta actividad: arcillas, por ejemplo, influyen en la actividad microbiana cambiando las características físicas y químicas del hábitat microbiano (Estrada *et al.*, 2004).

El plan integrado para la reutilización de aguas residuales tratadas y lodos generados por PTAR en las principales ciudades requiere un seguimiento de las características cualitativas de aguas residuales, la cual incluye: (A) Potenciales de microbios de aguas residuales tratadas, más concretamente, de su contenido (i) Bacterias: *Salmonella* spp, *Escherichia coli*, *Shigella* spp; (ii) Los protozoos: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*; (iii) Los helmintos: *Ascaris* spp, *Necator americanus*, *Toxocanacanis*. (B) La concentración de metales pesados en las aguas residuales. (D) Concentración de los productos químicos orgánicos, tales como benzoilo, aceites, alquitrán, fenoles, productos derivados del petróleo, aldehídos, etc. debe controlarse ya que en ciertos niveles y circunstancias son tóxicos para el medio ambiente (Kalavrouziotis y Apostolopoulos , 2007).

El monitoreo químico indica claramente que el tratamiento de aguas residuales, es incapaz de eliminar los micro contaminantes orgánicos de los lodos activados (Ternes *et al.*, 2017).

2.4.3.- GRASAS Y ACEITES EN ART.

Las descargas de las plantas municipales de tratamiento de aguas residuales se han procesado generalmente a través de sistemas de tratamiento primario y secundario Mientras que las descargas de las empresas eléctricas son en su mayoría simplemente reutilización o recanalización de agua. Por el contrario, los residuos industriales pueden ser de menor volumen, pero contienen concentraciones mucho más altas de contaminantes. El aceite y la grasa (O & G) son un contaminante común en una amplia gama de industrias. Las industrias como el acero, el aluminio, la alimentación, el textil, el cuero, la petroquímica y el metal son algunos que reportan altos niveles de petróleo y Grasa en sus efluentes (Cheryana y Rajagopalanb, 1998).

2.5.- PROTECCIÓN AL MEDIO AMBIENTE Y A LA SALUD HUMANA.

Volúmenes crecientes de aguas residuales, tanto industriales como municipales, están siendo descargadas en las aguas superficiales: la necesidad del tratamiento de esas aguas residuales y el seguimiento de la calidad del agua son cada vez más necesarias para proteger el ambiente y la salud humana. La optimización de los sistemas y requerimientos municipales para salvaguardar el ambiente y la calidad para la reutilización son aspectos de preocupación para los planificadores y los tomadores de decisiones sobre recursos hídricos (GRID, 2006).

El estrés hídrico también se produce por las aguas residuales y la escorrentía de las ciudades, por los excesos de fertilizantes agrícolas y por otras causas de contaminación hídrica. Esta contaminación produce, entre otras cosas, la eutrofización de las aguas superficiales trayendo consigo la proliferación de algas. Además, la contaminación del agua empeora la escasez al reducir la cantidad de agua segura para el consumo humano. Los mismos factores provocan hipoxia (agotamiento del oxígeno) en los estuarios y aguas costeras, lo que afecta a la pesca y al resto de vida acuática e impactan de manera negativa en la integridad del ecosistema. Éste es un problema tanto para el medioambiente como para las economías locales que dependen del turismo y de la pesca. La escasez de agua tiene altos costos económicos, sociales y políticos (Winpenny *et al.*, 2013).

El tratamiento y mejora de las aguas residuales son minimizar los riesgos para la salud y el medio ambiente y elevar la utilización de las aguas residuales como una solución a los problemas de escasez de agua (Orona *et al.*, 1999).

2.5.1.- CALIDAD MICROBIANA Y SUS EFECTOS EN LA SALUD HUMANA.

La reutilización segura de aguas residuales requiere una evaluación adecuada del potencial de riesgos para la salud pública y el medio ambiente, derivados de Microorganismos (Amha *et al.*, 2017).

Entre las especies irrigadas con aguas residuales municipales, los cultivos hortícolas son el mayor riesgo de infección, ya que muchas veces se consumen crudas. De hecho, los seres humanos adquieren los patógenos de muchas maneras: consumo de hortalizas, principalmente crudas; consumo de carne por el ganado alimentado con productos regados con aguas residuales; contacto bacteriano directo durante el riego. La virulencia, que es la capacidad de un organismo para inducir la infección, la cual depende de muchos factores ambientales, en donde uno de ellos es representado por la concentración de microorganismos en el medio ambiente (Rubino y Lonigro, 2008).

Las aguas residuales han estado implicadas como una fuente importante de riesgo a la salud para las enfermedades gastrointestinales de bajo grado y crónicas, así como brotes de enfermedades más agudas como el cólera y la tifoidea (Zurita *et al.*, 2015).

La calidad microbiana del agua conduce a brotes de enfermedades transmitidas por el agua y cuanto antes se identifique esto, más rápido podrá ser controlado (Xu *et al.*, 2010).

(Kalavrouziotis y Apostolopoulos, 2007) El plan integrado de reutilización de aguas residuales tratadas y los lodos generados por la PTAR en las principales ciudades de las características cualitativas de las aguas residuales, que incluye: (A) Cargas microbiológicas de aguas residuales tratadas, más específicamente en contenido de (I) bacterias: *Salmonella* spp., *Escherichia coli*, *Shigella*. (li) protozoos: *Entamoeba histolytica*, *Giardia lamblia*. (lii) helmintos: *Ascaris*, *Necator americanus*, *Toxocana* del perro. (B) Concentraciones de metales pesados en las aguas residuales.

Las Normas microbiológicas para efluentes de PTAR utilizados para el riego se limitan a la cuantificación de Coliformes, y no se ocupan de posibles propagadores de bacterias resistentes a los antibióticos o concentraciones residuales de compuestos de antibióticos (Negreanu *et al.*, 2012).

Las normas de calidad del agua subrayan la necesidad de Métodos de laboratorio fiables y sensibles para detectar y enumerar a *E. coli* en el agua. Dado que en los

municipios las aguas residuales tratadas se utilizan cada vez más para el riego de actividades recreativas, áreas públicas y campos de juego (McLain *et al.*, 2011).

El tratamiento de las aguas residuales y su mejoramiento, son minimizar los riesgos para la salud y el medio ambiente y elevar la utilización de las aguas residuales como una solución a los problemas de escasez de agua (Orona *et al.*, 1999).

2.5.2.- ADICIÓN DE BIOSOLIDOS AL SUELO.

La adición de biosólidos al suelo implica una alteración de las propiedades físicas, tales como porosidad y tamaño de poro (Estrada *et al.*, 2004).

Los sólidos en suspensión puede bloquear los poros conductores de agua en el suelo y, además, el riego de efluentes puede cambiar las características químicas y biológicas del suelo. Propiedades, como porcentaje de sodio intercambiable, salinidad, contenido y calidad de la materia orgánica y actividad de los microorganismos, todo lo cual puede afectar la estabilidad de la estructura del suelo y los poros del suelo. Los componentes orgánicos aplicados con el efluente pueden también aumentar la repelencia al agua del suelo. Estos efectos del efluente en las propiedades hidráulicas del suelo se pueden clasificar en dos principales tipos: (i) efectos directos - cambios en las propiedades hidráulicas del suelo que ocurren durante el movimiento del efluente a través del suelo; Y (ii) efectos indirectos: cambios en las propiedades hidráulicas del suelo que ocurren después del riego con efluentes, cuando los suelos son lixiviados con lluvia o agua de riego que no sea efluente (Lado y Ben, 2009).

2.6.- FITO-TOXICIDAD EN PLANTAS POR METALES PESADOS.

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de éstos en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen en primera instancia del movimiento (movilidad de las especies) de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta (Prieto *et al.*, 2009).

La concentración de metales en los efluentes tratados es generalmente bastante baja (Xu *et al.*, 2010).

2.7.- TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

La sostenibilidad ambiental es uno de los desafíos más críticos que enfrentamos actualmente. Para mantener un medio ambiente sostenible se requieren tecnologías eficaces y avanzadas de gestión de residuos y aguas residuales que no solo eliminen los contaminantes, sino que también sean de alta eficiencia energética con la capacidad de recuperar recursos útiles de residuos y aguas residuales (Chang, 2014).

El mayor reto en la implementación es la estrategia de adopción de tecnologías con medidas de bajo costo en tratamiento de aguas residuales y garantizar el cumplimiento de todas las Normas de salud y seguridad relativas a los efluentes de aguas residuales tratadas (Bdoura *et al.*, 2009).

Lo que indica que se requiere de mayor infraestructura y recursos humanos para mejorar la calidad de este bien, además de propuestas innovadoras que permitan implementar el tratamiento en diferentes condiciones ambientales y socioeconómicas (Romero-Aguilar *et al.*, 2009).

Un tratamiento eficiente de las aguas residuales, tiene un estricto cumplimiento de las normas establecidas por los organismos nacionales e internacionales para su reúso en riego agrícola, así como un adecuado nivel de información técnico sanitario de todos los factores que intervienen en el uso productivo de estas aguas, para así permitir el aprovechamiento seguro de un gran volumen de agua, con un gran valor agronómico (Veliz *et al.*, 2009).

2.7.1.- ETAPAS DEL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES.

En México el 58% de las aguas residuales generadas son colectadas en los sistemas formales de alcantarillado municipales, estimándose en más de 208 metros cúbicos por segundo, de los cuales sólo el 40.2% (83.6 m³/s) reciben algún tipo de tratamiento. Por lo general en el tratamiento de aguas residuales se pueden distinguir hasta cuatro etapas que comprenden procesos químicos, físicos y biológicos: 1. Tratamiento preliminar destinado a la eliminación de residuos fácilmente separables y en algunos casos conlleva un proceso de pre-aireación; 2. Tratamiento primario que comprende procesos de sedimentación y tamizado; 3. Tratamiento secundario que comprende procesos biológicos aerobios y anaerobios y físico-químicos (floculación) y 4. Tratamiento terciario que está dirigido a la reducción final de la DBO; metales pesados y/o contaminantes químicos específicos y la eliminación de patógenos y parásitos (Castañeda y Flores, 2014).

2.7.2.- PLANTAS HIPER-ACUMULADORAS.

En situaciones apropiadas, la fitorremediación puede ser una alternativa a las tecnologías de incineración, vaporización térmica, lavado de disolventes u otras técnicas de lavado de suelos, mucho más severas, que destruyen esencialmente el componente biológico del suelo y pueden alterar drásticamente sus características químicas y físicas, creando un residuo sólido relativamente no viable. La fitorremediación beneficia realmente al suelo, dejando un ecosistema de suelo funcional y probado a costos estimados en aproximadamente una décima parte de las tecnologías actualmente adoptadas (Abdel-Sabour, 2014).

2.8.- NORMAS OFICIALES EN MATERIA DE ART Y SUELO.

2.8.1.- NOM-003-SEMARNAT-1997.

Que establece que los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. 1.-(A) Los servicios al público con contacto directo son de: coliformes fecales NMP/100ml (240), huevos de helminto h/l (≤ 1), grasas y aceites mg/l (15), DBOs mg/l (20) y SST mg/l (20). (B) Servicios al público con contacto indirecto u ocasional: coliformes fecales NMP/100ml (1000), huevos de helminto h/l (≤ 5), grasas y aceites mg/l (15), DBOs mg/l (30) y SST mg/l (30). 2.- La materia flotante debe de estar ausente según la NMX-AA-006. 3.- No deberá de contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles (SEMARNAT, 1997).

2.8.2.- NOM-021-SEMARNAT-2000.

Establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis.

III. MATERIALES Y METODOS.

3.1.- Ubicación geográfica.

Las muestras de suelo de este trabajo fueron recolectadas en un terreno agrícola, que se encuentra en una de las partes laterales de la planta tratadora de aguas residuales de Torreón, llamado rancho alegre. Con la ayuda de un GPS se tomó la ubicación exacta de cada punto de muestreo. Después de esto se utilizó un programa Geográfico para vaciar los puntos recolectados y así poder obtener una imagen satelital de su ubicación.

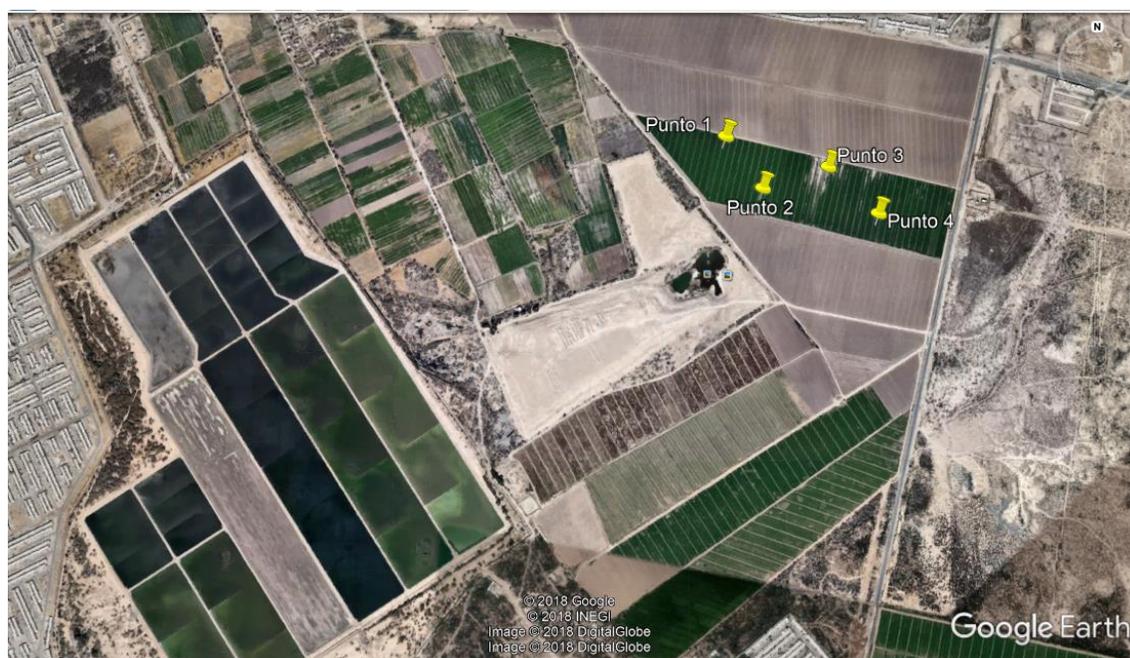


Figura 1. Ubicación geográfica de los puntos de muestreo.

Cuadro 1. Ubicación de los puntos de muestreo.

Ubicación de los sitios de muestreo.			
Punto	Latitud	Longitud	Altitud
1	23°30'41.3" N	103°19'20.2"O	1122msnm
2	23°30'37.9"N	103°19'20.3"O	1120msnm
3	23°30'38.8"N	103°19'24.4"O	1123msnm
4	23°30'35.1" N	103°19'24.5"O	1119msnm

3.2.- Procedimientos.

3.2.1.- Muestreo.

El muestreo de suelos es un procedimiento para la obtención de una o más muestras representativas en un terreno. El muestreo se realiza con base en los parámetros a ser evaluados. Mediante el muestreo la heterogeneidad de los parámetros del suelo al ser evaluados pueden ser estimados en su valor promedio, colectando un determinado número de muestras o de muestras compuestas derivadas de submuestras.

En el muestreo se tomó como referencia una superficie de aproximadamente una hectárea del terreno. El primer paso fue ubicar cuatro puntos al azar, en de forma zig-zag. Ya una vez ubicados los puntos tomamos latitud, altitud y longitud en cada uno de ellos.

Después de ubicar nuestros puntos, procedimos a la extracción de la muestra con una barrena, a una profundidad de 0-30, 30-60 y 60-90 cm. Esto se realizó en cada punto de muestreo. Y al final colocamos las muestras recolectadas en papel periódico y posteriormente en bolsas plásticas para identificarlas.

3.2.2.- Secado.

Las muestras se extendieron por separado en papel periódico, bajos los rayos directos del sol. El periodo de secado fue durante un día. Cabe mencionar que de las muestras obtenidas, fueron seleccionados algunos terrones que posteriormente servirían para la determinación de la densidad aparente.

El secado se realiza con el propósito de facilitar el manejo de la muestra, mejorar la homogeneización y disminuir los cambios químicos indeseables (SEMARNAT, 2002).

3.2.3.- Molienda del suelo.

Las muestras de suelo fueron desintegradas en un mortero, de tal forma que se convirtiera en polvo fino para los posteriores procedimientos.

3.2.4.- Tamizado.

El suelo molido se hizo pasar por un tamiz con aberturas de dos mm de diámetro de acero inoxidable. Este grado de fineza es conveniente para la mayoría de los análisis requeridos con el propósito de diagnosticar la fertilidad del suelo (SEMARNAT, 2002).

3.2.5.- Elaboración de pastas saturadas.

La elaboración de estas pastas consiste en tomar 250 gr de muestra de suelo, previamente tamizada, colocarlo en un recipiente especial, agregarle agua destilada y posteriormente mezclar hasta obtener una consistencia pastosa, con una superficie tipo espejo y dejar reposar nuestras pastas por 24 horas.

Éste método se aplica para la obtención del extracto de saturación de la muestra de suelo. El termino "Extracto de saturación" se usa en este método para designar al extracto acuoso que se obtiene por la filtración al vacío de una pasta de suelo saturado hecha con agua destilada (SEMARNAT, 2002).

3.2.6.- Obtención de los extractos del suelo.

Un vez de haber transcurrido las 24 horas de reposo en nuestras muestras, se procedió a la extracción. Este consiste en colocar un papel filtro whatman sobre una bomba al vacío, y sobre él, la pasta, quedándose ahí hasta obtener la mayor cantidad de extracto posible.

Lo obtenido se coloca en tubos de ensayo, con su respectiva tapadera e identificación y por último, los colocamos en el refrigerador para posteriormente ser utilizarlo.

3.3.- Determinación de propiedades físicas del suelo.

3.3.1.- Textura.

La textura del suelo se define como la proporción relativa de grupos dimensionales de partículas. Proporciona una idea general de las propiedades físicas del suelo. Su medición es rápida y aproximada (SEMARNAT, 2002).

Las cuatro denominaciones – arena, limo, arcilla y migajón – se combinan de varias maneras para designar doce diferentes clases texturales. Además, las texturas arenosas suelen clasificarse según el tamaño dominante de las partículas arenosas, tales como texturas de “migajón arenoso grueso” o “migajón arenoso fino” (G. Palmer y R. Troeh, 1977).

El método utilizado para la determinación de textura fue el método del hidrómetro (G. Palmer y R. Troeh, 1977). Una vez obtenidos los resultados procedimos a la sustitución de unas fórmulas para la obtención de cantidad de arena, limo y arcilla. Al obtener los resultados, trabajamos con un triángulo de textura. Como resultado al realizar todos los procedimientos, obtuvimos un suelo de tipo franco arenoso.

3.3.2.- Materia orgánica (MO).

La cantidad de materia orgánica se estima a partir del color y se verifica con un posterior análisis en laboratorio (Porta *et al.*, 2003).

Con este método se estima el contenido de carbono orgánico total de una muestra de suelo, completo o de alguna de sus fracciones. Nuestro procedimiento fue el método de Walkley y Black, y para obtenerlo, primero tamizamos en una malla de 2 mm, pesamos 2 gramos de suelo en la báscula gran-ataría y colocamos la muestra en un matraz Erlenmeyer de 250 ml. Ya estando la muestra en el matraz, añadimos 5 ml de dicromato de potasio y 10 ml de ácido sulfúrico, agitamos y dejamos enfriar (Zamora *et al.*, 2008).

3.3.3.- Densidad aparente.

La densidad aparente de una muestra de suelo es calculada a partir del conocimiento de dos parámetros: la masa del suelo y el volumen total, es decir el volumen de los sólidos y el volumen ocupado por el espacio poroso. (SEMARNAT, 2002).

El método utilizado para la determinación de la densidad aparente de nuestro suelo fue el de la parafina.

Este método de volumen es determinado recubriendo el terrón con una substancia repelente al agua como la parafina; luego se pesa primero en el aire y después otra vez sumergido en un líquido cuya densidad es conocida (León, 1991).

3.4.- Determinación de propiedades químicas del suelo.

3.4.1.- Capacidad de intercambio catiónico (CIC).

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una propiedad química a partir de la cual es posible interferir acerca del tipo de arcilla presente, de la magnitud de la reserva nutrimental y del grado de intemperismo de los suelos. El resultado numérico de la

determinación sirve además como base en el cálculo del porcentaje de saturación de bases que es un dato ampliamente usado en los estudios pedológicos y de fertilidad. Para inferir sobre los minerales arcillosos presentes en los suelos hay que considerar la medición hecha por Grim (1953) en los silicatos laminares del tipo 1:1 y 2:1 empleando acetato de amonio 1N, pH 7.0 (SEMARNAT, 2002).

La manera para la determinación de CIC del suelo, fue por titulación EDTA (G. Palmer y R. Troeh, 1977).

3.4.2.- pH.

La determinación del pH se obtuvo mediante un potenciómetro, que se encuentra dentro del laboratorio de suelos de la misma Universidad. Para poder hacer una determinación correcta, se calibro el aparato y posteriormente se determinó el pH de cada extracto de las muestras.

La evaluación electrométrica del pH se basa en la determinación de la actividad del ion H mediante el uso de un electrodo cuya membrana es sensitiva al H. en el caso de los suelos el pH se mide potenciométricamente en la suspensión sobrenadante de una mezcla de relación suelo: agua (SEMARNAT, 2002).

3.4.3.- Conductividad eléctrica (CE).

La conductividad eléctrica de una solución es el recíproco de la resistencia específica de una corriente alterna medida entre las caras opuestas de un centímetro cúbico de una solución acuosa a una temperatura específica. Esta conductividad es una medida de la capacidad de un material para transportar la corriente eléctrica. Una solución acuosa que contiene iones tiene esa habilidad. La conductividad de una solución electrolítica depende de la concentración total de iones presentes en agua, de la movilidad de cada uno de los iones disueltos, su valencia y de la temperatura a la que se hace la determinación (SEMARNAT, 2002).

El método empleado para la determinación de la conductividad es haciendo uso del conductímetro, el cual se debe de calibrar con una solución estándar de 7230 PPM de NaCl, la que debe de marcar una C.E. de 12.90 mS/cm (G. Palmer y R. Troeh, 1977).

3.4.4.- Calcio (Ca) y Magnesio (Mg).

El Ca evita los efectos tóxicos de otros iones o bien de los metabolitos y aun que es secundario, se ha observado su influencia en la dureza de la pared celular, pero cuando este es muy elevado (100 a 1000 veces mayor) en la células (por ejemplo en los hipocotíleos de girasol) se inhibe la elongación celular (León Arteta, 1991).

El magnesio es un constituyente de los pigmentos a y b de la clorofila. Así, su deficiencia provoca una decoloración o clorosis. En los cítricos es mayor que en otras plantas, sobre todo en hojas viejas, pero aun en estados críticos, las hojas aparecen normales en los primeros meses, debido a su alta movilidad (León Arteta, 1991).

El método utilizado para la determinación del Ca en el extracto de nuestra muestra fue por método de titulación EDTA (Catamarca., 2010).

3.4.5.- Sodio (Na).

Los suelos que contienen suficiente sodio intercambiable para que afecte adversamente la producción de los cultivos y la estructura en la mayoría de los suelos, se denominan suelos sódicos. Los suelos que tienen sales más solubles que el yeso y sodio intercambiable se conocen como suelos salino-sódico.

La conductividad eléctrica de un extracto de pasta saturada mide la salinidad de una muestra en condiciones de saturación de agua.

Para preparar el extracto se añade agua desmineralizada a una muestra seca y tamizada, hasta conseguir que se forme una pasta, con suficiente agua para poder considerar que está saturada y sin que aparezcan dos fases por exceso de agua. Se deja equilibrar la pasta y después se extrae el líquido filtrando con un embudo buchner al vacío (Porta *et al.*, 1986).

3.4.6.- Carbonatos y bicarbonatos.

El método que se utilizó determinar carbonatos y bicarbonatos fue el de titulación por volumetría. Los aniones que se encuentran principalmente en extractos acuosos de suelos (aniones solubles) son los carbonatos, bicarbonatos, sulfatos y cloruros (SEMARNAT, 2002).

3.4.7.- Cloro (Cl).

La determinación de los cloruros se realizó por volumetría utilizando el método de Mohr. Cuando un extracto de suelo que contenga cloruros se valora con una solución de nitrato de plata en presencia de iones cromato, solamente se produce momentáneamente, un precipitado rojo de cromato de plata mientras haya algo de iones en la solución (Melgratti y Valenzuela, 2005).

3.4.8.- Sulfatos (SO₄).

La determinación del ion sulfato en aguas es una de las metodologías analíticas más discutidas que se conoce en el ámbito científico del análisis de aguas, principalmente, por las desventajas que presentan los métodos aceptados internacionalmente (gravimétrico, turbidimetro y cromatografico (Severiche y González, 2012) .

3.4.9.- Nitratos (NO₃).

El nitrato es una de las formas del nitrógeno de mayor interés en las aguas naturales, residuales y residuales tratadas, se presenta generalmente a nivel de trazas en el agua de superficie, pero puede alcanzar niveles elevados en las subterráneas.

El método utilizado para la determinación de nitratos en nuestro extracto de la muestra fue por medio del uso del espectrofotómetro (SEMARNAT, 2001).

3.5.- Análisis estadístico.

Para el análisis estadístico se utilizó un diseño completamente al azar, evaluando cuatro puntos de muestreo a tres diferentes profundidades (0-30, 30-60 y 60-90 cm), así mismo la prueba de medias se realizó por el método DMS.

3.6.- Materiales y reactivos.

Los materiales utilizados en el transcurso del experimento fueron los siguientes: barrenas, cinta masking tape, bolsas de plástico, GPS, cinta métrica, tijera, agua destilada, cepillo para materiales de laboratorio, esponja para lavado de recipientes, bomba al vacío, papel filtro whatman, matraces, vasos de precipitado, potenciómetro, balanza granataria, balanza volumétrica, espectrofotómetro, pipetas volumétricas, ácido nítrico, ácido sulfúrico, fenolftaleína, anaranjado de metilo, cromato de potasio, nitrato de plata, cloruro de bario, sulfato de potasio.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

4.1.- Concentración de Materia Orgánica en el suelo.

En el cuadro 2 se muestran los porcentajes de materia orgánica de las profundidades por cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 2. % de M.O en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	1.3472	1.3472	1.6136	1.3472
30 – 60	0.5378	0.5378	0.6723	0.6072
60- 90	0.4034	0.4034	0.4034	0.4034

4.2.- Comparación de medias de la MO de las muestras de suelo.

Cuadro 3. Comparación de medias del % MO por el método DMS.

Profundidad	Comparación de medias
0 – 30	1.414 a
30 – 60	0.589 b
60 – 90	0.403 c

Los promedios acompañados por la misma letra son iguales entre sí ($P \leq .05$).

De acuerdo a los datos obtenidos en la comparación de medias, se puede apreciar en el cuadro 3, una representación de las concentraciones de materia orgánica, la cual expresa que los niveles más altos los encontramos en la superficie, y conforme aumenta la profundidad, se observa menor porcentaje de esta. Esto posiblemente se deba a que exista una pendiente en el terreno, así como una acumulación materia orgánica.

(Porta *et al.*, 2003) Concluyen que la materia orgánica o biomasa muerta se encuentra en la superficie, ya que esta procede principalmente de plantas, animales y microorganismos.

Este aspecto parece importante desde el punto de vista agrícola, ya que los incrementos de carbono orgánico, fósforo y nitrógeno pueden mejorar la fertilidad del suelo (Zamora *et al.*, 2008).

4.3.- Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) presentes en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 4 se muestra la capacidad de intercambio catiónico de cada una de las muestras recolectadas a diferentes profundidades y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 4. Concentración de C.I.C (meq/100g) de las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	N.D.	8.0	4.0	8.0
30 – 60	4.0	N.D.	4.0	8.0
60- 90	N.D.	N.D.	N.D.	20.0

N.D.= No detectable.

En el cuadro 4 se pueden observar resultados N.D, ya que la determinación no fue detectable por los aparatos de laboratorio.

4.4.- Comparación de medias de la CIC en las muestras de suelo.

Cuadro 5. Comparación de medias de la CIC (meq/100g) por método DMS.

Profundidad	Capacidad de Intercambio Catiónico.
0 – 30	5.0 NS
30 – 60	4.0 NS
60 - 90	5.0 NS

NS = No Significativa.

En el cuadro 5 se muestra que los resultados de capacidad de intercambio catiónico (CIC) de las muestras de suelo regadas con ART, no son significativas, ya que los resultados no tienen una relación de acuerdo a la profundidad del suelo.

La capacidad de intercambio catiónico tiene una fuerte relación con la materia orgánica que se encuentra en el suelo, ya que esta proporciona mayor capacidad de retención de nutrientes, es decir, posee mayor capacidad de intercambio catiónico que las propias partículas de arcilla.

4.5.- Potencial de Hidrogeno (pH) presente en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 6 se muestran las concentraciones de pH, por profundidad en cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 6. pH de las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	7.82	8.19	8.21	8.19
30 – 60	8.31	8.30	8.23	8.23
60- 90	7.49	7.92	8.62	8.18

4.6.- Comparación de medias para el (pH) de las muestras de suelo

Cuadro 7. Comparación de medias del pH por método DMS.

Profundidad	Potencial de hidrogeno
0 – 30	8.103 NS
30 – 60	8.268 NS
60 - 90	8.053 NS

NS = No Significativa.

En el cuadro 7 se observa que los resultados de las muestras, las cuales no son significativas, ya que no tienen una relación con la profundidad.

4.7.- Análisis de comparación en pH de las muestras regadas con ART.

En el cuadro 8 se muestra un cuadro con clasificaciones de pH, para poder realizar una comparación con nuestras muestras de suelo regadas con ART.

Cuadro 8. Clasificación de pH para suelos según SEMARNAT.

Clasificación	pH
Fuertemente ácido	< 5.0
Moderadamente ácido	5.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Medianamente alcalino	7.4 - 8.5
Fuertemente alcalino	> 8.5

(SEMARNAT, 2002)

Como se observa en el cuadro 8 la clasificación de los pH de acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000 y haciendo una comparación entre los resultados obtenidos en el muestreo, con un mínimo de 7.49 y un máximo de 8.62 de potencial de hidrogeno, se muestra la clasificación, la cual sería de suelos medianamente alcalinos. Esto quiere decir que el suelo podría tratar de neutralizarse con la aplicación de sustancias medianamente ácidos.

4.8.- Conductividad eléctrica (CE) presente en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 9 se muestra la conductividad eléctrica por profundidad, por cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 9. Conductividad eléctrica (mS/cm) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	3.68	1.77	8.33	1.77
30 – 60	2.31	6.06	7.56	4.03
60- 90	4.00	6.78	7.82	6.73

4.9.- Comparación de medias de CE de las muestras de suelo.

Cuadro 10. Comparación de medias de CE (mS/cm) por método DMS.

Profundidad	Conductividad Eléctrica (CE)
0 – 30	3.888 NS
30 – 60	4.990 NS
60 – 90	6.333 NS

NS = No Significativa.

De acuerdo a los datos obtenidos, en el cuadro 10 se observa que las muestras no son significativas, ya que según la comparación de medias, la profundidad no tiene una relación con la CE en el suelo. Aunque se puede apreciar que los datos más elevados se encuentran en la profundidad 60 - 90 cm, esto quiere decir a mayor profundidad, mayor CE debido a la movilidad de las sales.

La conductividad eléctrica del extracto que es removido por presión o succión se mide en miliohms por centímetro. Si es menor de 4 miliohms/cm, el suelo no es salino (Donahue *et al.*, 1975).

4.10.- Concentración de Calcio en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 11 se muestra la concentración de calcio por profundidad, por cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 11. Concentración de Calcio (mg/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	4.19	3.94	0.54	3.94
30 – 60	2.34	5.90	0.75	5.29
60- 90	3.84	7.08	1.30	9.13

4.11.- Comparación de medias para el Ca de las muestras de suelo.

Cuadro 12. Comparación de medias de Ca (meq/L) por método DMS..

Profundidad	Calcio (Ca)
0 – 30	3.153 NS
30 – 60	3.570 NS
60 – 90	5.338 NS

NS = No Significativa.

De acuerdo al cuadro 12, se aprecia que las muestras de suelo no son significativas, ya que no se encuentra una relación entre los resultados de los análisis y la profundidad del suelo.

En el artículo (Heidarpour *et al.*, 2007), no se encuentra una relación entre los resultados obtenidos. Al igual que en los resultados de nuestras muestras, no se encuentra una relación entre las profundidades.

4.12.- Análisis de comparación del Ca según SEMARNAT.

En el cuadro 13 se muestra la clasificación de la clase de suelos con una concentración de Ca, para poder así hacer una comparación con los datos obtenidos del cuadro 11.

Cuadro 13. Clase de suelo con concentraciones de Ca (meq/L).

CLASE	Ca
Muy baja	menor - 2
Baja	2 - 5
Media	5 - 10
Alta	mayor - 10

(SEMARNAT, 2002)

De acuerdo a los resultados del cuadro 12, en comparación con el cuadro 13, se observa que el cuadro de los resultados no se encuentran en una sola clasificación, ya que se obtuvo datos muy variados, más sin embargo, haciendo uso de los promedios

de las muestras por repetición, se observa que las muestras de suelo se encuentran en un rango de suelo clase muy baja a media en concentraciones de Ca.

El encontrar grandes concentraciones de Ca en suelos, hace referencia a la presencia de piedra caliza en el lugar, además de que esto nos presenta una neutralización del suelo, ya que el Ca disminuye la acidez de los suelos.

4.13.- Comparación de medias para el Ca de las muestras de suelo.

Cuadro 14. Comparación de medias de Ca (meq/L) por método DMS.

Profundidad	Calcio (Ca)
0 – 30	3.153 NS
30 – 60	3.570 NS
60 – 90	5.338 NS

NS = No Significativa.

De acuerdo al cuadro 14, se aprecia que las muestras de suelo no son significativas, ya que no se encuentra una relación entre los resultados de los análisis y la profundidad del suelo.

En el artículo (Heidarpour *et al.*, 2007), no se encuentra una relación entre los resultados obtenidos. Al igual que en los resultados de nuestras muestras, no se encuentra una relación entre las profundidades.

4.14.- Magnesio (Mg) presente en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 15 se presenta la concentración de Mg por profundidad, por cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 15. Concentración de Mg (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	1.48	1.07	0.10	1.07
30 – 60	0.99	2.55	0.41	2.30
60- 90	1.40	2.47	0.66	3.79

4.15. Comparación de medias del Magnesio (Mg) de las muestras de suelo.

Cuadro 16. Comparación de medias de Mg (Meq/L) por método DMS.

Profundidad	Magnesio (Mg)
0 – 30	0.930 NS
30 – 60	1.550 NS
60 – 90	2.080 NS

NS = No Significativa.

Como se observa en el cuadro 16, las muestras no son significativas, ya que no se encuentra una relación de los datos con la profundidad del muestreo, pero más sin embargo se aprecia que a mayor profundidad, es mayor la concentración de Magnesio.

4.16.- Análisis de comparación de Mg según SEMARNAT.

En el cuadro 17 se observa la clasificación de las concentraciones de Mg en suelos según la NOM-021-SEMARNAT-2000.

Cuadro 17. Clasificación SEMARNAT.

CLASE	Mg Cmol (+) Kg⁻¹
Muy baja	menor - 0.5
Baja	0.5 - 1.3
Media	1.3 - 3.0
Alta	mayor - 3.0

de Mg (meq/L) según

(SEMARNAT, 2002)

De acuerdo a los datos del cuadro 16 en comparación al cuadro 17, se aprecia que no se tiene una sola clase, ya que los datos son muy variados. Pero más sin embargo se puede observar que las muestras de suelo se encuentran en un rango de Mg de muy baja a media.

4.17.- Sodio (Na) presente en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 18 se presenta la concentración de Na por profundidad, por cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 18. Concentración de Na (mmhos/cm) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	31.13	34.39	33.30	34.39
30 - 60	19.77	50.55	34.34	32.71
60- 90	34.76	61.25	34.24	54.38

4.18.- Comparación de medias del Na de las muestras de suelo.

Cuadro 19. Comparación de medias de Na (mmhos/cm) por método DMS.

Profundidad	Sodio (Na)
0 – 30	33.303 NS
30 – 60	34.343 NS
60 - 90	46.158 NS

En el cuadro 19 se observa que las muestras no son significativas en cuanto a la profundidad, pero más sin embargo se deduce que a mayor profundidad se encuentra mayor cantidad de sodio. Esto puede ocasionado por la movilidad de sales por la filtración de las aguas de riego.

4.19.- Carbonatos (CO₃) en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 20 se muestra la concentración de Carbonatos por profundidad, por cada punto de muestreo y por repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 20. Concentración de CO₃ (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	1.0	0.6	0.8	0.4
30 - 60	0.4	0.6	N.D.	N.D.
60- 90	0.4	N.D.	0.4	N.D.

N.D.= No detectable.

4.20. Comparación de medias del CO₃ de las muestras de suelo.

Cuadro 21. Comparación de medias del CO₃ (meq/L) por método DMS.

Profundidad	Carbonatos (CO ₃)
0 – 30	0.700 a
30 – 60	0.250 b
60 - 90	0.200 b

Los promedios acompañados por la misma letra son iguales entre sí (P ≤ .05).

En la comparación de medias del cuadro 21, se muestra que existe una similitud entre la profundidad 2 y 3 en cuanto a concentración de carbonatos presentes en la muestra de suelo.

4.21.- Bicarbonatos presentes en las muestras de suelo regados con ART.

En el cuadro 22 se muestra la concentración de bicarbonatos presentes en cada una de las muestras recolectadas a diferentes profundidades y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 22. Concentración de HCO_3 (meq/L) de las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	9.2	9.0	6.4	5.2
30 - 60	6.8	5.4	0.4	6.2
60- 90	5.2	2.8	6.0	1.2
Promedio	7.06	5.73	4.26	4.20

En el cuadro 22, se muestra que la mayor concentración de bicarbonatos se encuentra en la repetición 1, pero más sin embargo la concentración no presenta ninguna consecuencia para el suelo.

4.22.- Comparación de medias del HCO_3 de las muestras de suelo.

Cuadro 23. Comparación de medias HCO_3 (meq/L) por método DMS.

Profundidad	Bicarbonatos (HCO_3)
0 – 30	7.450 NS
30 – 60	6.133 NS
60 – 90	4.665 NS

Como se observa en el cuadro 23, las muestras de suelos no son significativas, ya que no presentan una relación de HCO_3 con la profundidad del suelo. Sin embargo la concentración mayor de bicarbonatos presente en las muestras de suelo se encuentran en la parte superficial.

4.23.- Cloro presente en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 24 se muestran las concentraciones de cloro, por profundidad en cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 24. Concentración de Cl (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	3.60	6.80	2.20	2.40
30 – 60	10.80	22.8	4.20	10.0
60- 90	14.0	30.0	6.60	22.40

4.24.- Comparación de medias de Cl de las muestras de suelo.

Cuadro 25. Comparación de medias de Cl (meq/L) por método DMS.

Profundidad	Cloro (Cl)
0 – 30	18.25 a
30 – 60	11.95 a
60 - 90	3.75 b

Los promedios acompañados por la misma letra son iguales entre sí ($P \leq .05$).

De acuerdo a los datos obtenidos en la comparación de medias utilizando el método DMS, existe una similitud entre las concentraciones de las muestras a una profundidad 0 – 30 con mayor concentración y 30 – 60 cm como segunda cantidad de Cl.

4.25.- Sulfatos (SO₄) presentes en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 26 se muestran la concentraciones de sulfatos de cada una de las muestras recolectadas a diferentes profundidades y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 26. Concentración de SO₄ (mg/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	100.5	154.5	63.50	120.5
30 – 60	145.5	422.5	154.5	200.0
60- 90	193.0	765.0	161.0	604.5

4.26.- Comparación de medias de SO₄ en las muestras de suelo.

Cuadro 27. Comparación de medias de SO₄ (mg/L) por método DMS.

Profundidad	Sulfatos (SO ₄)
60 – 90	430.875 a
30 – 60	230. 625 ab
0 – 30	109.750 b

Los promedios acompañados por la misma letra son iguales entre sí ($P \leq .05$).

De acuerdo a los datos de comparación de medias utilizando el método DMS, en el cuadro 27 se aprecia que la comparación de medias en relación a la profundidad 60 -90 cm tiene similitud con la 30 - 60 cm, y que la 30 – 60 tiene similitud con la 0 – 30 cm. La concentración más baja se encuentra en la superficie.

4.27.- Nitratos (NO_3) presentes en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 28 se muestran las concentraciones de Nitratos, por profundidad en cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 28. Concentración de NO_3 (mg/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	114.78	88.37	144.85	184.22
30 – 60	15.78	24.21	55.61	8.42
60- 90	2.10	9.47	29.27	26.31

4.28.- Comparación de medias del NO_3 de las muestras de suelo.

Cuadro 29. Comparación de medias del NO_3 (mg/L) por método DMS.

Profundidad	Nitratos (NO_3)
0 – 30	133.055 NS
30 – 60	26.005 NS
60 – 90	16.788 NS

Como se muestra en el cuadro 29, no se encuentra una significancia en la relación de las muestras con la profundidad del suelo, pero más sin embargo se muestra que las mayores concentraciones de nitratos se encuentran en la parte superficial de las muestras de suelo regadas con las aguas.

Los nitratos se encuentran en mayores concentraciones en las superficies de los suelos. Esto es debido a que el nitrógeno es aportado por los restos de materia orgánica presentes en el área o bien por los sedimentos contenidos en las aguas de riego.

4.29.- Relación de adsorción de sodio presentes en las muestras de suelos regados con ART.

En el cuadro 30 se muestran la relación de adsorción de sodio, por profundidad en cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 30. Relación de adsorción de Sodio (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	18.49	21.73	20.64	21.72
30 – 60	15.32	24.59	18.90	16.79
60- 90	21.47	28.14	34.58	21.39

Al observar los promedios de los resultados de la relación que existe en la adsorción de sodio en las muestras de suelo, podemos darnos cuenta que existe una mayor relación en la repetición 2 y 3, las cuales su mayor concentración se encuentra en la profundidad 60 – 90.

4.30.- Comparación de medias del RAS de las muestras de suelo.

Cuadro 31. Comparación de medias del RAS (meq/L) por método DMS.

Profundidad	Relación de adsorción de sodio (RAS)
0 – 30	20.645 NS
30 – 60	18.900 NS
60 – 90	26.395 NS

Como se muestra en el cuadro 31, se puede apreciar que no existe una significancia entre los datos obtenidos y la profundidad, pero se puede deducir que las mayores concentraciones encontradas se obtuvieron en la profundidad 60 – 90 cm.

4.31.- Porcentaje de sodio intercambiable presentes en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 32 se muestra el porcentaje de sodio intercambiable en las muestras de suelo, por profundidad en cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 32. % De sodio intercambiable (meq/L) en las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	26.29	31.12	29.50	31.10
30 – 60	21.57	35.38	26.90	23.76
60- 90	30.73	40.67	50.26	30.61

4.32.- Comparación de medias del porcentaje de sodio intercambiable de las muestras de suelo.

Cuadro 33. Comparación de medias de PSI (meq/L) por método DMS.

Profundidad	Porcentaje de sodio intercambiable (PSI)
0 – 30	29.503 NS
30 – 60	26.903 NS
60 - 90	38.068 NS

Como se observa en el cuadro 33, los datos de las muestras no son significativas, ya que no se encuentra una relación del porcentaje de sodio intercambiable con la profundidad del suelo. Basándose en la tabla (Donahue *et al.*, 1975) se deduce que en la profundidad 0-30 son suelos sódicos y en la profundidad 30-60 y 60-90 cm son suelos salino-sódicos. (Donahue *et al.*, 1975) El porcentaje de sodio intercambiable es mayor a 15, los suelos se caracterizan como suelos salinos sódicos.

Estos dos tipos de suelos al secarse presentan daños en su estructura, reducción de infiltración de agua y con ello disminución de la productividad de las plantas.

4.33.- Densidad aparente (DA) presentes en las muestras de suelo regadas con ART.

En el cuadro 34 se muestra la densidad aparente de cada una de las muestras, por profundidad en cada punto de muestreo y por su repetición en el predio regado con aguas residuales tratadas.

Cuadro 34. DA (gr/ml) de las muestras de suelo a diferentes profundidades.

Profundidad (cm)	Rep. 1	Rep. 2	Rep. 3	Rep. 4
0 -30	0.048	0.622	0.689	0.805
30 - 60	0.712	0.770	0.707	0.768
60- 90	0.731	0.773	0.710	0.884

4.34.- Comparación de medias de la DA de las muestras de suelo.

Cuadro 35. Comparación de medias de la DA (gr/ml) por método DMS.

Profundidad	Densidad Aparente (DA)
0 – 30	0.705 NS
30 – 60	0.739 NS
60 – 90	0.775 NS

Como se muestra en los datos del cuadro 35, las muestras no tienen una significancia en relación a las concentraciones y la profundidad del suelo, pero más sin embargo se deduce que a mayor profundidad se encuentra una mayor densidad aparente, ya que como se sabe en la profundidad 0-30 cm se encuentra mayor cantidad de materia orgánica, y esta proporciona mejor cantidad de aire presente en el suelo.

V. CONCLUSIÓN.

- Las mayores concentraciones de materia orgánica se presentaron en la profundidad 0 – 30 cm del suelo con una media de 1.414% y los más bajos en la profundidad 60 – 90 cm con una media de 0.403%.
- Los resultados de pH arrojaron el conocimiento de que los suelos son medianamente alcalinos. Esto quiere decir que este problema no es grave, sin embargo requiere de una estricta vigilancia para que la alcalinidad no sea mayor.
- La conductividad eléctrica y el contenido de Sodio representaron las características más afectadas, ya que los resultados arrojaron que estos suelos se encuentran en el nivel sódico y salino-sódico. Esto puede presentar un riesgo de productividad para el productor.
- Se presentaron altos porcentajes de sodio intercambiable, el cual tiene efectos en el crecimiento de las plantas y estructura del suelo.
- Las mayores concentraciones de carbonatos y nitratos se encontraron en las muestras superficiales, a la profundidad de 30 – 60 cm.
- Los cloruros se concentraron en dos profundidades, las cuales son 0 – 30 y 30 – 60 cm.
- En el caso de los sulfatos las mayores concentraciones se encontraron en la profundidad 0 – 30 cm y las menores en la profundidad 60 – 90 cm.

Las aguas residuales tratadas son buen efluente para regadíos de suelos agrícolas de zonas áridas, siempre y cuando tengan un tratamiento bajo el cumplimiento de normatividad.

VI. LITERATURA CITADA.

- Abdel-Sabour, M. F. 2014. "Wetland an economical solution for wastewater rehabilitation." *Open Access Library Journal* 1.
- Acosta-Zamorano, D., V. Macías-Carranza, L. Mendoza-Espinosa y A. Cabello-Pasini 2013. "Efecto de las aguas residuales tratadas sobre el crecimiento, fotosíntesis y rendimiento en vides tempranillo (*Vitis vinifera*) en Baja California, México." *Agrociencia* 47: 753-766.
- Al-Lahhama, O., N. M. El Assib y M. M. Fayyad 2003. "Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit." *Agricultural Water Management* 61: 51-62.
- Al-Nakshabandi, G. A., M. M. Saqqar, M. R. Shatanawi, M. Fayyad y H. Al-Horani 1997. "Some environmental problems associated with the use of treated wastewater for irrigation in Jordan." *Agricultural Water Management* 34: 81-94.
- Amha, Y. M., M. Zohaib Anwar, R. Kumaraswamy, A. Henschel y F. Ahmad 2017. "Mycobacteria in municipal wastewater treatment and reuse: Microbial diversity for screening the occurrence of clinically and environmentally relevant species in arid regions." *Environ. Sci. Technol.* 51: 3048–3056.
- Assouline, S. y K. Narkis 2011. "Effects of long-term irrigation with treated wastewater on the hydraulic properties of a clayey soil." *Water resources research* 47.
- Bdoura, A. N., M. R. Hamdib y Z. Tarawneha 2009. "Perspectives on sustainable wastewater treatment technologies and reuse options in the urban areas of the Mediterranean region." *Desalination* 237: 162–174.
- Bhardwaj, A. K., D. Goldstein, A. Azenkot y G. J. Levy 2007. "Irrigation with treated wastewater under two different irrigation methods: Effects on hydraulic conductivity of a clay soil." *Geoderma* 140: 199-206.
- Blum, J., U. Herpin, A. J. Melfi y C. R. Montes 2012. "Soil properties in a sugarcane plantation after the application of treated sewage effluent and phosphogypsum in Brazil." *Agricultural Water Management* 115: 203-216.
- Castañeda Villanueva, A. A. y H. E. Flores López 2014. "Tratamiento de aguas residuales domésticas mediante plantas macrófitas típicas en Los Altos de Jalisco, México."

- Catamarca., U. N. d. 2010. "Determinación de Calcio y Magnesio en agua, titulación con EDTA." Guía de trabajos prácticos de química.: 50-51.
- Chang, S. 2014. "Anaerobic membrane bioreactors (AnMBR) for wastewater treatment." *Advances in Chemical Engineering and Science*, 4: 56-61.
- Cheryana, M. y N. Rajagopalanb 1998. "Membrane processing of oily streams. Wastewater treatment and waste reduction." *Journal of Membrane Science* 51: 13-28.
- Donahue, R. y L. 1975. "Introducción a los suelos y al crecimiento de las plantas: 262-283"
- Estrada, I. B., A. Aller, F. Aller, X. Gomez y A. Moran 2004. "The survival of *Escherichia coli*, faecal coliforms and enterobacteriaceae in general in soil treated with sludge from wastewater treatment plants." *Bioresource Technology* 93: 191-198.
- FAO 1993. "El estado mundial de la agricultura y la alimentación (en línea)." Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: 231-234 (<http://www.fao.org/docrep/003/t0800s/t0800s09.htm>) (consulta: 24 de mayo 2017).
- FAO 2013. "Afrontar la escasez de agua-Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria."
- Foereid, B. 2015. "Biochar in nutrient recycling—The effect and its use in wastewater treatment." *Open Journal of Soil Science* 5: 39-44.
- Fortis Hernández, M. y R. Alhers 2002. "Naturaleza y extensión del mercado del agua en el D.R. 017 de la Comarca Lagunera, México." Instituto Internacional del Manejo del Agua 10.
- G. Palmer, R. y F. R. Troeh 1977. "Introducción a la ciencia del suelo (Manual de Laboratorio). ." The Iowa University Press: 34-35.
- Gharaibeh, M. A., T. A. Ghezzehei, A. A. Albalasmeh y M. i. Z. Alghzawi 2016. "Alteration of physical and chemical characteristics of clayey soils by irrigation with treated waste water." *Geoderma* 276: 33-40.
- González González, M. I. y S. Chiroles Rubalcaba 2011. "Uso seguro y riesgos microbiológicos del agua residual para la agricultura." *Revista Cubana de Salud Pública* 37: 61-73.

- GRID 2006. "Seguimiento de las perspectivas de las aguas residuales tratadas para riego (En línea)." Programa Internacional de Investigación y Tecnología de Riego y Drenaje (GRID) - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación (FAO): 17-18 (<ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/009/a0409s/a0409s00.pdf>) (Consulta: 8 de abril del 2017).
- Heidarpour, M., B. Mostafazadeh Fard, J. Abedi Koupai y R. Malekian 2007. "The effects of treated wastewater on soil chemical properties using subsurface and surface irrigation methods." *Agricultural water management* 90: 87-94.
- Jawad Alobaidy, A. H. M., M. A. Al-Sameraiy, A. J. Kadhem y A. Abdul Majeed 2010. "Evaluation of treated municipal wastewater quality for irrigation." *Journal of Environmental Protection* 1: 216-225.
- Jun-feng, W., W. Gen-xu y W. Hua 2007. "Treated wastewater irrigation effect on soil, crop and environment: Wastewater recycling in the loess area of China." *Journal of Environmental Sciences* 19: 1093-1099.
- Kalavrouziotis, I. K. y A. Apostolopoulos Charis 2007. "An integrated environmental plan for the reuse of treated wastewater effluents from WWTP in urban areas." *Building and Environment* 42: 1862–1868.
- Kivaisi, A. K. 2001. "The potential for constructed wetlands for wastewater treatment and reuse in developing countries: a review." *Ecological Engineering* 16: 545–560.
- Kiziloglu, F. M., M. Turan, U. Sahin, Y. Kuslu y A. Dursun 2008. "Effects of untreated and treated wastewater irrigation on some chemical properties of cauliflower (*Brassica oleracea* L. var. botrytis) and red cabbage (*Brassica oleracea* L. var. rubra) grown on calcareous soil in Turkey." *agricultural water management* 95: 716-724.
- Klay, S., A. Charef, L. Ayed, B. Houman y F. Rezgui 2010. "Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia)." *Desalination* 253: 180-187.
- Lado, M. y M. Ben Hur 2009. "Treated domestic sewage irrigation effects on soil hydraulic properties in arid and semiarid zones: A review." *Soil & Tillage Research* 106: 152-163.

- León Arteta, R. 1991. "Nueva edafología - Regiones tropicales y áreas templadas de México." *Gaceta*: 65.
- Levy, G. J. 2011. "Impact of long-term irrigation with treated wastewater on soil-structure stability—The Israeli experience." *Israel Journal of Plant Sciences* 59: 95–104.
- Lonigroa, A., P. Rubinoa, V. Lacasella y N. Montemurro 2016. "Faecal pollution on vegetables and soil drip irrigated with treatedmunicipal wastewaters." *Agricultural Water Management* 174: 66-73.
- McLain, J. E. T., C. M. Rock, K. Lohse y J. Walworth 2011. "False-positive identification of *Escherichia coli* in treated municipal wastewater and wastewaterirrigated soils." *Can. J. Microbiol.* 57: 775–784.
- Melgratti, M. R. y A. M. Valenzuela 2005. "Procedimientos analíticos para suelos normales y salinos." *INTA*: 26.
- Miguel, G. P. J. 2011. "Reutilización de aguas residuales para riego en agricultura." *Sustratos, manejo del clima, automatización y control en sistemas de cultivo sin suelo.*: 127-151.
- Morugán-Coronado, A., F. García-Orenes, J. Mataix-Solera, V. Arcenegui y J. Mataix-Beneyto 2011. "Short-term effects of treated wastewater irrigation on Mediterranean calcareous soil." *Soil & Tillage Research* 112: 18-26.
- Mujdeci, M., A. A. Isildar, V. Uygur, P. Alaboz, H. Unlu y H. Senol 2017. "Cooperative effects of field traffic and organic matter treatments on some compaction-related soil properties." *Solid Earth* 8: 189–198.
- Nadav, I., J. Tarchitzky, A. Lowengart-Aycicegi y Y. Chen 2013. "Soil surface water repellency induced by treated wastewater irrigation: physico-chemical characterization and quantification." *Irrig Sci* 31: 49–58.
- Nava, H. 1997. "Agricultural reuse of wastewater: nation-wide cost-benefit analysis." *Agriculture, Ecosystems and Environment* 66: 113-119.
- Negreanu, Y., Z. Pasternak, E. Jurkevitch y E. Cytryn 2012. "Impact of treated wastewater irrigation on antibiotic resistance in agricultural soils." *Environ. Sci. Technol.* 46: 4800–4808.

- Netzer, Y., M. Shenker y A. Schwartz 2014. "Effects of irrigation using treated wastewater on table grape vineyards: dynamics of sodium accumulation in soil and plant." *Irrig Sci* 32: 283–294.
- Orona, G., C. Camposb, L. Gillermana y M. Salgotb 1999. "Wastewater treatment, renovation and reuse for agricultural irrigation in small communities." *Agricultural Water Management* 38: 223-234.
- Porta, J., M. López-Acevedo y R. Rodríguez 1986. "Técnicas y experimentos en edafología." A.E.A.C. Barcelona.
- Porta, J., M. López-Acevedo y C. Roquero 2003. "Edafología para la agricultura y el medio ambiente." Ediciones Mundi-Prensa: 51.
- Prieto Méndez, J., C. A. González Ramírez, A. D. Román Gutiérrez y F. Prieto García 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua." *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 10: 29 - 44.
- Romero-Aguilar, M., A. Colín-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." *Rev. Int. Contam. Ambient.* 25: 157-167.
- Rubino, P. y A. Lonigro 2008. "Municipal treated wastewater irrigation: microbiological risk evaluation." *Ital. J. Agron. / Riv. Agron.*, 2: 119-124.
- SEMARNAT 1997. "Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público. (En línea)." Procuraduría Federal de Protección al Ambiente:
(<http://www.profepa.gob.mx/innovaportal/file/3297/1/nom-003-semarnat-1997.pdf>)
(consulta: 12 de marzo del 2017).
- SEMARNAT 2001. "Análisis de aguas-Determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y tratadas." SEMARNAT: 7-8.
- SEMARNAT 2002. "Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000, Que establece las especificaciones de fertilidad, salinidad, y clasificación de suelos, estudio, muestreo y análisis. (En línea)." Diario Oficial:

<http://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/libros2009/DO2280n.pdf> (Consulta: 3 de junio del 2017).

- Severiche, C. A. y H. González 2012. "Evaluación analítica para la determinación de sulfatos en aguas por metodo turbidimétrico modificado." USBMed. 3.
- Shi, W., J. Liu, Z. Du, Y. Song, C. Chen y T. Yue 2009. "Surface modelling of soil pH." *Geoderma* 150: 113-119.
- Tarchouna, L., P. Merdy, M. Raynaud, P. Hans Rudolf y L. Yves 2010. "Effects of long-term irrigation with treated wastewater. Part I: Evolution of soil physico-chemical properties." *Applied Geochemistry* 25: 1703-1710.
- Ternes, T. A., C. Prasse, C. L. t. Eversloh, G. Knopp, P. Cornel, U. Schulte-Oehlmann, T. Schwartz, J. Alexander, W. Seitz, A. Coors y J. r. Oehlmann 2017. "Integrated evaluation concept to assess the efficacy of advanced wastewater treatment processes for the elimination of micropollutants and pathogens." *Environ. Sci. Technol.* 51: 308-319.
- Veliz, L. E., J. G. Llanes Ocaña, L. Asela Fernández y M. Bataller Venta 2009. "Reúso de aguas residuales domésticas para riego agrícola. Valoración crítica." *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 40.
- Winpenny, J., I. Heinz y S. Koo-Oshima 2013. "Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?" Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación: 1.
- Xu, J., L. Wu, A. C. Chang y Y. Zhang 2010. "Impact of long-term reclaimed wastewater irrigation on agricultural soils: A preliminary assessment." *Journal of Hazardous Materials* 183: 780-786.
- 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." *Bioagro* 20: 193-199.
- Zurita Martínez, F., D. Rojas Bravo, A. Carreón-Álvarez y M. Gutiérrez-Lomelí 2015. "Wastewater disinfection in three hybrid constructed wetlands." 40.