



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**

**UNIDAD REGIONAL UNIVERSITARIA DE ZONAS ÁRIDAS**

**CONTAMINANTES MICROBIOLÓGICOS Y METALES  
PESADOS EN CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays L.*)  
IRRIGADO CON AGUAS TRATADAS**

**TESIS**

Que como requisito parcial para

Obtener el título de

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES  
Y MEDIO AMBIENTE EN ZONAS ÁRIDAS**

**PRESENTA**

**DENISSE ANALY MEJÍA NÚÑEZ**

**DIRECTOR DE TESIS**

**DR. JESÚS GUADALUPE ARREOLA ÁVILA**

**DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES**

Bermejillo, Durango. Mayo del 2016.

Tesis realizada por **Denisse Analy Mejía Núñez** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN RECURSOS NATURALES Y MEDIO AMBIENTE**

**EN ZONAS ÁRIDAS**

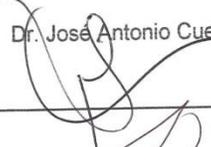
DIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. Jesús Guadalupe Arreola Ávila

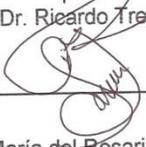
CODIRECTOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. José Antonio Cueto Wong

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. Ricardo Trejo Calzada

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
M.C. María del Rosario Jacobo Salcedo

ASESOR: \_\_\_\_\_

  
Dr. Ricardo Mata-González

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

El presente trabajo fue realizado por Denisse Analy Mejía Núñez, Licenciada en Químico Farmacéutico Biólogo, título obtenido en la Facultad de Ciencias Químicas, perteneciente a la Universidad Juárez del Estado de Durango generación 2007-2012. Los estudios de maestría los realizó en el Programa de Recursos Naturales y Medio Ambiente de Zonas Áridas en URUZA-UACH, generación 2014-2015.

Participó en la publicación del libro titulado: Origen y evolución de la tuberculosis diagnóstico y tratamiento oportuno. Aspectos relevantes, históricos y actuales del desarrollo de la tuberculosis, diagnóstico certero y tratamiento oportuno.

Autores: Martínez Romero Aurora, Ortega Sánchez José Luis, Alba Romero José de Jesús, Díaz Rodríguez Alejandra, Mejía Núñez Denisse Analy, Rodríguez Zárate Sandra Cristina. Año: 2014 Editorial: Académica Española

Y en la publicación de cartel en el X congreso REBIZA URUZA-UACH titulado: Peroxidación de lípidos en *Chenchrus cilliaris* en suelos contaminados con plomo y cadmio.

Participación en proyectos de investigación de hidrología y ciencias forestales en Oregon State University en colaboración con alumnos de la Universidad de Lund en Suecia y de Oregon State en Estados Unidos de América.

## **DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer primeramente a Dios y a mi familia por siempre apoyarme en mi formación académica y estar a mi lado en las decisiones que tomo día con día.

Al CONACYT por el apoyo recibido para el desarrollo de esta maestría así como también de las facilidades prestadas para continuar con este proyecto de tesis.

A la Universidad Autónoma Chapingo por haberme dado la oportunidad de seguirme preparando por medio de la realización de un posgrado de calidad que no solamente me preparó en el área académica si no como una gran experiencia de vida.

A mi comité asesor de los cuales aprendí lecciones valiosas para el desarrollo de esta investigación.

Como instituciones al Instituto Nacional de Investigación Forestal Agrícola y Pecuaria y Oregon State University por las facilidades prestadas para la realización de este proyecto de investigación.

**CONTAMINANTES MICROBIOLÓGICOS Y METALES PESADOS EN CULTIVO DE MAÍZ FORRAJERO (*Zea mays L.*) IRRIGADO CON AGUAS TRATADAS**

**MICROBIOLOGICAL POLLUTANTS AND HEAVY METALS IN FODDER MAIZE (*Zea mays L.*) IRRIGATED WITH TREATED WASTEWATER**

1 Denisse Analy Mejía Núñez

2 Jesús Guadalupe Arreola Ávila

3 José Antonio Cueto Wong

La Comarca Lagunera es una región que se caracteriza por la producción de carne y leche de bovino de alta calidad. Se encuentra dentro de las zonas áridas del país donde el recurso agua es limitado. El 76.6% del agua que se extrae de los mantos freáticos se utiliza para la producción de forrajes. El objetivo del presente estudio, fue evaluar el efecto de la aplicación agua residual tratada y fertilizantes como causantes de la bioacumulación de metales pesados y microorganismos en comparación con el agua de pozo. El contenido de metales pesados en suelo como plomo y cadmio tuvieron mayor acumulación en el estrato superficial del suelo a una profundidad de 0– 15 cm así como también en el agua residual en comparación con el agua de pozo. En planta la mayor concentración de metales pesados fue en raíz y en fruto con una mayor concentración en el tratamiento donde se aplicó agua residual tratada. La calidad del agua residual tratada fue inferior a los estándares debido a la presencia de microorganismos del grupo *Salmonella*, *E.coli*, y del grupo de los coliformes, *Ascaris lumbricoides*, *Taenia spp*, y *Blastocystis hominis*. Los microorganismos presentes en el agua residual tratada no incrementan la bioacumulación en el cultivo, por lo que es importante que en el desarrollo de la investigación se planteara establecer más ciclos de cultivos con la aplicación del mismo tipo y calidad de agua y fertilizantes para observar de manera más clara la dinámica microbiana. Palabras clave: Metales pesados, contaminantes microbiológicos, aguas residuales tratadas

The Comarca Lagunera region is characterized by the production of high-quality bovine meat and milk. It is located within the arid zones of the country where the water is limited. About 76.6% of the water extracted from groundwater is used for fodder production. The objective of this study was to evaluate the effect of applying treated wastewater and fertilizers on bioaccumulation of heavy metals and microorganism compared to well water. The accumulation of heavy metals in the soil, such as lead and cadmium, was greater in the surface layer (0-15 cm) and in the treated wastewater compared to the well water. The highest concentrations of heavy metals were observed in plant roots and fruit, with the highest levels recorded in the wastewater treatment. The quality of the treated wastewater was lower than the standards because of the presence of microorganisms like *Salmonella* and *E.coli*, and coliforms and helminth eggs like *Ascaris lumbricoides*, *Taenia spp*, and *Blastocystis hominis*. The microorganisms contained in treated wastewater do not increase bioaccumulation in the crop. For this reason, it is very important that future research include more growing cycles using the same type and quality of water and fertilizers in order to better analyze microbiological dynamics. Keywords: Heavy metals, microbiological pollutants, treated wastewater.

1 Tesista

2 Director

3 Co Director

## **INDICE**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Objetivo general.....</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Objetivos específicos.....</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Hipotesis.....</b>	<b>3</b>
<b>2 REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 El agua en México.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Distribución en el uso del agua.....</b>	<b>5</b>
<b>2.3 Aguas superficiales y subterráneas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.4 Agua para uso agrícola (estadísticos).....</b>	<b>8</b>
<b>2.5 Aguas residuales.....</b>	<b>8</b>
<b>2.6 Características químicas y microbiológicas del agua.....</b>	<b>11</b>
<b>2.6.1 pH.....</b>	<b>12</b>
<b>2.6.2 Conductividad eléctrica.....</b>	<b>12</b>
<b>2.6.3 Dureza del agua.....</b>	<b>13</b>
<b>2.6.4 Características microbiológicas.....</b>	<b>13</b>
<b>2.7 Tipos de tratamiento.....</b>	<b>14</b>
<b>2.7.1 Primario avanzado.....</b>	<b>14</b>
<b>2.7.2 Lagunas aireadas.....</b>	<b>15</b>
<b>2.7.3 Filtros biológicos.....</b>	<b>16</b>

2.8 Calidad del agua según su uso.....	17
2.8.1 Aguas blancas.....	18
2.8.2 Aguas negras.....	18
2.8.3 Aguas residuales industriales.....	19
2.9 Contaminación química.....	19
2.9.1 Plomo.....	22
2.9.2 Cadmio.....	22
2.9.3 Zinc.....	23
2.11 Contaminación microbiológica.....	24
<b>3 MATERIALES Y METODOS.....</b>	<b>26</b>
3.1 La Comarca Lagunera.....	26
3.2 Ubicación del experimento.....	28
3.3 Diseño experimental.....	29
3.4 Toma de muestras.....	31
3.5 Determinación de coliformes totales, fecales y <i>E.coli</i> .....	31
3.5.1 Incubación y examen.....	32
3.6 Determinación de <i>Salmonella</i> .....	32
3.7 Determinación de huevos de helminto.....	33
3.8 Análisis estadísticos.....	34
<b>4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>34</b>

<b>4.1 Microbiología.....</b>	<b>34</b>
<b>4.2 Metales pesados.....</b>	<b>40</b>
<b>5 CONCLUSIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>6 LITERATURA CITADA.....</b>	<b>52</b>

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidad de agua según origen del tipo de fuente para agricultura...	8
Cuadro 2. Valores de referencias de <i>E. coli</i> y bacterias termotolerantes de acuerdo al departamento de Agua, Saneamiento y Salud de la OMS.....	14
Cuadro 3. Estándares microbiológicos para el agua residual de acuerdo al departamento de Agua, Saneamiento y Salud de la OMS 2008.....	14
Cuadro 4. Dosis de fertilización aplicada de nitrógeno y fósforo a las parcelas experimentales.....	30
Cuadro 5. Microorganismos por tipo de agua empleada en el riego de cultivo de maíz forrajero variedad ocelote.....	35
Cuadro 6. Microorganismos en muestras tomadas en suelo y planta en tres periodos de tiempo (24, 48 y 72 horas) después del riego en maíz forrajero...	39
Cuadro 7. Huevecillos de tres especies de parásitos en muestras de aguas antes del riego en cultivo de maíz forrajero.....	40
Cuadro 8. Nivel de significancia a dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	44
Cuadro 9. Concentración de plomo tejido vegetal de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	45
Cuadro 10 Concentración de cadmio en tejido vegetal de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	46
Cuadro 11 Concentración de zinc en raíz y parte vegetativa de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	46
Cuadro 12. Concentración de plomo en raíz y fruto de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	47
Cuadro 13. Concentración de cadmio en fruto de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	47
Cuadro 14. Nivel de significancias en dosis de fertilización con fosforo creciente (0 a 150 kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno alto (300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	48

Cuadro 15. Concentración media de plomo en diferentes tejidos de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno alto (300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	48
Cuadro 16. Concentración media de cadmio en raíz de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno alto (300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	49
Cuadro 17. Concentración media de zinc en raíz de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno alto (300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	49
Cuadro 18. Concentración media de plomo en raíz de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno alto (300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	50
Cuadro 19. Concentración media de cadmio en fruto con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha <sup>-1</sup> ) y nitrógeno alto (300 kg ha <sup>-1</sup> ).....	50

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Situación general de los mantos acuíferos en el territorio mexicano. Datos proporcionados por CONAGUA 2014 I.....	4
Figura 2. Figura donde se representa el volumen concesionado para los usos consuntivos que abarcan la industria, abastecimiento público y agropecuario...6	6
Figura 3. Distribución del volumen concesionado para usos consuntivos clasificado por origen superficial y subterráneo en cada región hidrológico administrativa. Fuente: CONAGUA 2011.....	7
Figura 4. En esta imagen se muestra el caudal de agua residual generada en los distintos estados de la República Mexicana tomada de datos proporcionados por CONAGUA SEMARNAT 2012.....	9
Figura 5. En este mapa podemos observar el porcentaje de agua residual tratada con respecto al caudal que se genera con datos proporcionados por CONAGUA SEMARNAT 2012.....	10
Figura 6. Elaborado con base en: Boletín de Presa Núm. 140, 2013. Comparativo en la Distribución de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento según el tipo de cuerpo receptor en la Comarca Lagunera (INEGI 2013).....	11
Figura 7. Porcentaje de uso de los distintos tratamientos para tratar caudales de aguas residuales. (CONAGUA, 2014).....	17

Figura 8. Representación esquemática de la intensidad de sequía en el territorio nacional. Datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN 2014).....	27
Figura 9. Imagen Satelital de la ubicación del INIFAP CENID RASPA.....	28
Figura 10. Imagen satelital del terreno donde se estableció el experimento donde se muestran las coordenadas del polígono.....	29
Figura 11. Diseño experimental de las parcelas experimentales y distribución de cada uno de los tratamientos de fertilización.....	30
Figura 12. Microorganismos coliformes totales (Número mas Probable por mililitro) en dos tipos de agua previo al riego de la parcelas experimentales...35	35
Figura 13.- Microorganismos coliformes totales (Número Mas Probable por mililitro) en muestras de suelo regado con agua residual (Suelo AR) en comparación con agua de pozo (Suelo AP).....	37
Figura 14. Gráfica donde se muestran las mediciones de microorganismos del grupo coliforme después de realizar el riego a las 24, 48 y 72 horas.....	38
Figura 15. Cantidad de plomo en suelo a tres profundidades regado con de pozo.....	41
Figura 16. Cantidad de cadmio en suelo a tres profundidades regado con agua de pozo.....	42
Figura 17. Cantidad de plomo en suelo a tres profundidades regado con agua residual.....	43
Figura 18. Cantidad de cadmio en suelo a tres profundidades regado con agua de pozo.....	43

## 1. INTRODUCCIÓN

La Comarca Lagunera es una región localizada dentro de las zonas áridas de México por lo cual el abasto de agua es una problemática que cada vez se ha ido agravando conforme transcurre el tiempo. A pesar de esto, la región Lagunera es una de las zonas catalogadas como la mejor cuenca lechera del país donde se produce carne y leche de bovino de la mejor calidad. Sin embargo, el ganado que se utiliza para la producción necesita de forrajes de calidad para seguir mantenido los altos estándares que la población demanda.

Es por eso que la reutilización de las aguas residuales tratadas ha sido una alternativa muy utilizada por productores de forrajes. Las plantas tratadoras de la Comarca Lagunera funcionan al 76.97% de la capacidad, con un total de 25 plantas tratadoras con una capacidad de 3056.85 L s<sup>-1</sup> de los cuales se tratan 2353.15 L s<sup>-1</sup> y 10 de estas emplean sus efluentes en el riego agrícola (CONAGUA, 2008). Dentro del caudal total tratado por las plantas tratadoras el 44 % del agua residual tratada se emplea en la agricultura.

Debido a la deficiencia en el tratamiento, el contenido de diversos contaminantes como metales pesados y microorganismos de importancia epidemiológica como coliformes totales y fecales, *Salmonella spp*, *E. coli*, *Ascaris lumbricoides*, *Taenia spp*, *Blastocystis hominis* que este tipo de agua contiene demerita su calidad. Así como los fertilizantes utilizados, el sulfato de amonio contiene 135.1 mg kg<sup>-1</sup> de plomo y 83.7 mg kg<sup>-1</sup> cadmio y MAP 17 mg kg<sup>-1</sup> y 5.8 mg kg<sup>-1</sup> respectivamente. Son un problema que genera una fuente de contaminación que afecta a la población en general.

La Comarca Lagunera, se ha distinguido por ser una región de alta prosperidad económica y es una de las cuencas lecheras más importantes de México. En la región se ha generado la necesidad de cultivos forrajeros que aporten la calidad y cantidad de nutrientes necesarios al ganado para una producción eficiente, simultáneamente a la creciente demanda del recurso hídrico. Sin embargo, la localización geográfica de esta región la ubica dentro de las zonas áridas de México donde el recurso hídrico es limitado.

Para tratar de subsanar las necesidades tanto del sector agrícola como las de la población se han extraído cantidades de agua cada vez mayores de los mantos acuíferos, trayendo como consecuencia el aumento en la sobreexplotación de las reservas de agua subterránea.

El impacto ambiental que se ha generado por la sobre explotación ha motivado a la población a hacer uso del agua residual tratada como una alternativa para mitigar dicho impacto. El agua residual es una opción factible para disminuir esta problemática; sin embargo, existe escasa información sobre los índices contaminantes que la misma posee y que como consecuencia genera problemas de salud debido al manejo inadecuado del agua. La proporción de agua residual que se genera en comparación con la demanda del sector agrícola, el agua residual no posee la capacidad para sustentar estas necesidades; debido a que es un vehículo para la propagación de contaminantes como microorganismos y metales pesados en ello radica la trascendencia del monitoreo y evaluación de la dinámica microbiológica y la propagación de los metales a través de la cadena trófica.

### **1.1 Objetivo general**

Conocer la dinámica de metales pesados y contaminantes microbiológicos en cultivos forrajeros, bajo el uso de agua residual tratada para riego agrícola en comparación con riego tradicional.

### **1.2 Objetivos específicos**

Cuantificar metales pesados en un cultivo de maíz forrajero que fueron regados con aguas residuales tratadas en comparación con agua de pozo.

Evaluar microorganismos de importancia epidemiológica en un cultivo de maíz forrajero que fueron regados con aguas residuales tratadas en comparación con agua de pozo.

### **1.3 Hipótesis**

Las altas concentraciones de metales pesados y los microorganismos presentes en el agua residual tratada no incrementan la bioacumulación en el cultivo.

## **2 REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 El agua en México**

El agua disponible en el mundo es de aproximadamente 1386 millones de km<sup>3</sup> de los cuales solo el 2.5% es agua dulce de los cuales 10.5 millones de km<sup>3</sup> se encuentran disponibles en agua subterránea. Recientemente, en diversas investigaciones se ha reconocido que existe una crisis global en cantidad y calidad de agua dulce, debido al crecimiento poblacional y económico (Oki y Kanae, 2006). En México, el 37% del volumen total concesionado de agua

subterránea es utilizada para usos consuntivos (30.4 miles de millones de m<sup>3</sup> por año al 2013 procede de agua subterránea) (CONAGUA, 2014).

En México llueve un promedio de 1,489 km<sup>3</sup> al año, de los cuales se evapotranspira el 71.6% regresando a la atmósfera, el 22.2% escurre por ríos y arroyos y el 6.2% restante se infiltra el subsuelo y recarga los acuíferos. Al cierre del año 2013 se detectaron un total de 106 acuíferos sobreexplotados de los cuales 15 tuvieron intrusión marina, 31 bajo el fenómeno de salinización de suelos y aguas subterráneas salobres (Figura 1) (CONAGUA, 2014).

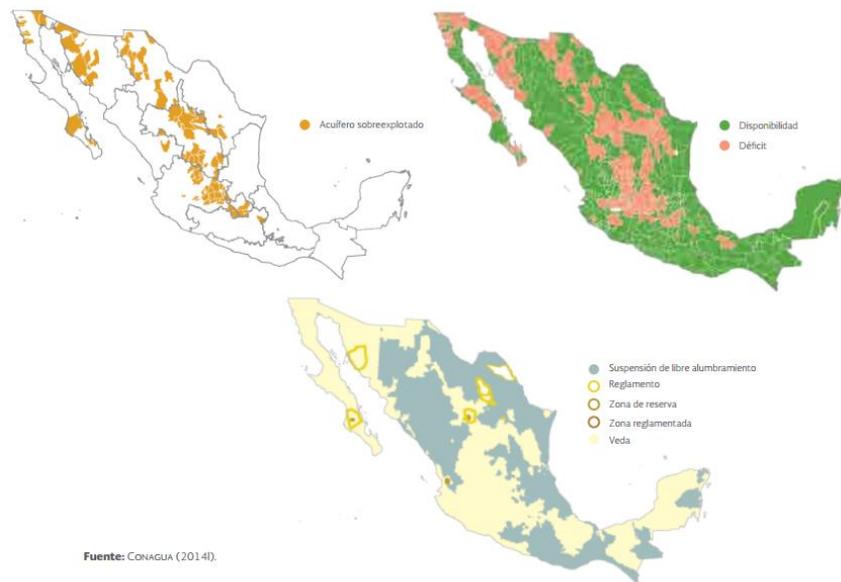


Figura 1. Situación general de los mantos acuíferos en el territorio mexicano. Datos proporcionados por CONAGUA 2014 I.

La mayor parte del territorio nacional alrededor de un 56% se encuentra en condiciones de aridez, los estados del norte abarcan un 50% de la superficie y ahí llueve solo un 25% del total. En un área donde se capta el 20% de la precipitación

del agua en el país se encuentra el 76% de la población, 90% de la irrigación, 70% de la industria, y se genera el 77% del producto interno bruto (Third World Centre for Water Management, 2003).

La región Lagunera presenta una problemática seria en donde se conjugan diversos factores como la escasez de agua debido a que existen zonas de escasa precipitación pluvial, deterioro de la calidad y una creciente demanda para diversos usos principalmente el agrícola. (Rodríguez- García *et al.*, 2014).

## **2.2 Distribución en el uso del agua**

El uso de agua se define como la aplicación del recurso hídrico a una determinada actividad. Cuando existe un consumo, que se entiende como la diferencia entre el *volumen suministrado* y el *volumen descargado*, se trata del uso *consuntivo*. La Distribución del agua para los *usos consuntivos* diferentes entre regiones en función de su disponibilidad, del tipo y capacidad de su industria y agricultura, así como de su población y patrones de consumo (CONAGUA, 2010).

La mayor parte del agua que se extrae en el país se destina a las actividades agropecuarias: En la Figura 2 podemos ver que dentro de las regiones hidrológicas administrativas la VII es el territorio que abarca a la Comarca Lagunera donde se muestra que la mayor parte del volumen concesionado es para actividades agropecuarias (CONAGUA, 2012).

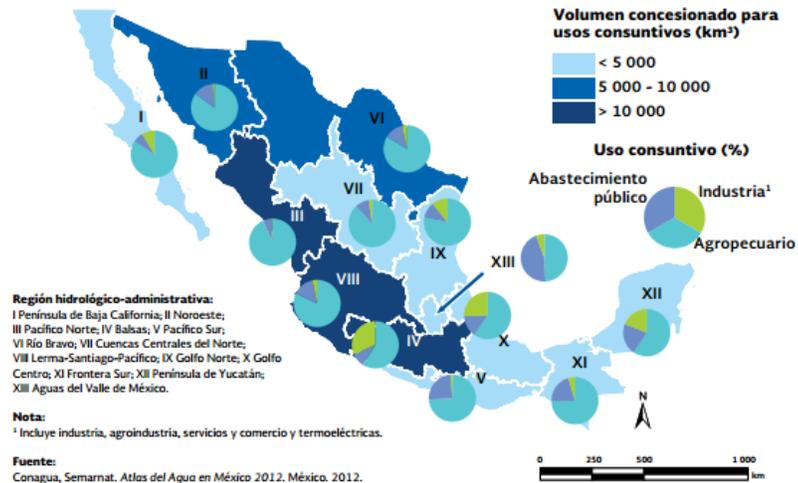


Figura 2. Figura donde se representa el volumen concesionado para los usos consuntivos que abarcan la industria, abastecimiento público y agropecuario.

### 2.3 Aguas superficiales y subterráneas

La fuente principal de aporte a los acuíferos es la lluvia. La precipitación que cae en tierra es el origen de toda el agua dulce, la cual forma parte del ciclo hidrológico formado los cuerpos de agua superficiales y subterráneos (Collazo Caraballo, y Montaña Xavier, 2012).

Los cuerpos de agua superficial son un componente importante de los sistemas de flujo de agua. Las interacciones que estos tienen en conjunto con los cuerpos de agua subterráneos dependen en gran medida de la posición y la abundancia de estos. El agua subterránea es la mayor fuente de agua que se encuentra formando parte del ciclo hidrológico el cual provee agua para consumo humano, agricultura, industria y todos los ecosistemas que tiene alta dependencia del recurso hídrico (Hancock *et al.*, 2005; Treidel *et al.*, 2012).

El agua subterránea fluye a través de los manantiales saturados hacia los niveles más bajos que los de infiltración y puede volver a surgir naturalmente como manantiales y caudal de base de los ríos. La mayoría de estos devuelve el agua a los mares, donde se evapora (Ordoñez-Gálvez, 2012).

Si la infiltración por agua de lluvia es la principal fuente de recarga de los acuíferos, la disminución o ausencia de esta, provoca una disminución importante hacia el subsuelo. Debido a que los cambios de clima y las acciones antropogénicas han disminuido la cantidad y la calidad en la recarga de los manto acuíferos (Collazo-Caraballo y Montaño-Xavier, 2012).

Del volumen total de agua que se concesionó en el país en 2010, casi 56% (44.6 km<sup>3</sup>) correspondió a las regiones Lerma-Santiago-Pacífico (14.6 km<sup>3</sup>, 18%), Balsas (10.4 km<sup>3</sup>, 12.9%), Pacífico Norte (10.4 km<sup>3</sup>, 13%) y Río Bravo (9.3 km<sup>3</sup>, 11.6%); las regiones que menos agua extrajeron fueron Pacífico Sur (1.4 km<sup>3</sup>), Frontera Sur (2.2 km<sup>3</sup>) y Península de Yucatán (2.8 km<sup>3</sup>), que en conjunto representan apenas el 8% del total nacional (Figura 3) (CONAGUA 2012).

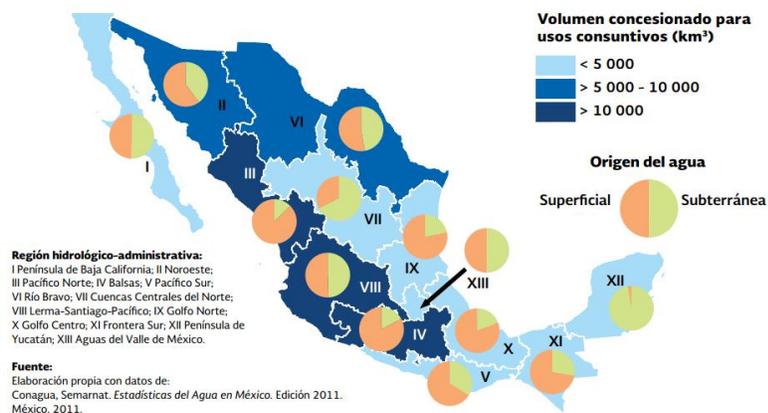


Figura 3. Distribución del volumen concesionado para usos consuntivos clasificado por origen superficial y subterráneo en cada región hidrológico administrativa. Fuente: CONAGUA 2011.

## 2.4 Agua para uso agrícola (estadísticos)

La agricultura es uno de los sectores más vulnerables a los impactos del clima porque tiene una alta dependencia de los recursos naturales que están en el medio donde se desarrolla esta actividad. El agua es un recurso muy importante porque para la producción de alimentos cerca del 70% del volumen de extracción solamente sirve para cubrir la demanda de su producción, sin considerar los demás tipos de cultivos (FAO, 2013).

De acuerdo a datos obtenidos por CONAGUA en el año 2013 el porcentaje de extracción de agua utilizada para la agricultura es de 76.6% (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Cantidad de agua según origen del tipo de fuente para agricultura.**

Origen		Volumen total (mil millones de m <sup>3</sup> )	Porcentaje de extracción
Superficial (mil millones de m <sup>3</sup> )	Subterráneo (mil millones de m <sup>3</sup> )		
41.2	22.2	63.3	76.6

Fuente: CONAGUA. Subdirección General de Administración del Agua. 2013

## 2.5 Aguas residuales

El agua que se utiliza en las actividades diarias contiene una diversidad de sustancias distintas al oxígeno e hidrógeno las cuales son consideradas como contaminantes. A este tipo de agua que contiene diversos tipos de contaminantes que son añadidos por acción antropogénica en combinación por uno dos o más procesos industriales se le denominan aguas residuales o aguas servidas (Corcoran *et al.*, 2010). El caudal de agua que se genera depende del tipo de

proceso industrial que se esté llevando a cabo, en la figura 4 se ilustra los caudales generados en cada uno de los estados de la república mexicana.

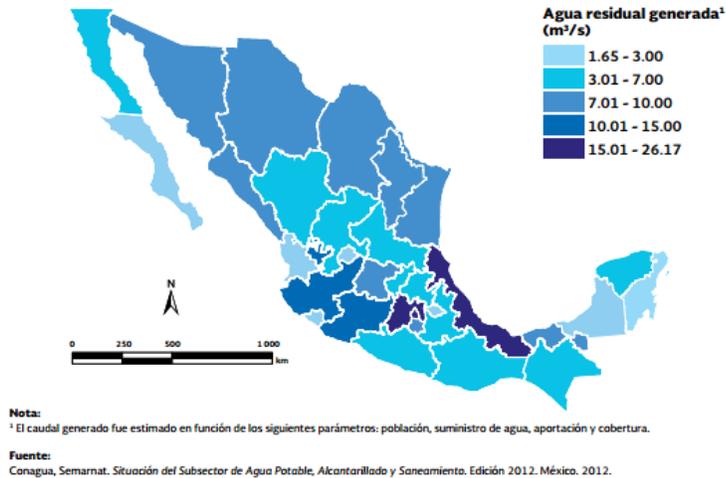


Figura 4. En esta imagen se muestra el caudal de agua residual generada en los distintos estados de la República Mexicana tomada de datos proporcionados por CONAGUA SEMARNAT 2012.

La Comisión Nacional del Agua (CONAGUA), instancia gubernamental encargada de la gestión del agua en el país, reporta que en el año 2008, se trataban alrededor del 35% de las aguas residuales municipales y el 18% de las aguas residuales industriales (Figura 5) (CONAGUA, 2010).

Tratamiento de aguas residuales municipales por entidad federativa, 2011<sup>1</sup>

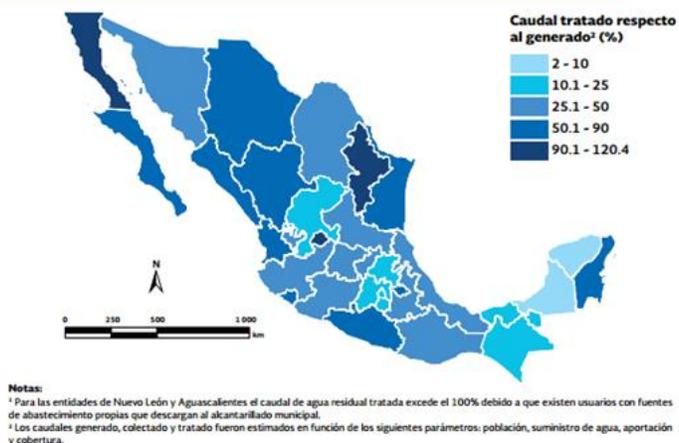


Figura 5. En este mapa podemos observar el porcentaje de agua residual tratada con respecto al caudal que se genera con datos proporcionados por CONAGUA SEMARNAT 2012.

Los procesos de tratamiento de aguas residuales en la Comarca Lagunera en las 25 plantas tratadoras se proporcionan una alternativa de monitoreo mediante el uso de agua residual con sistemas secundarios. Las plantas tratadoras funcionan al 76.97% de la capacidad, con una capacidad de 3056.85 l s<sup>-1</sup> de los cuales se tratan 2353.15 l s<sup>-1</sup> y 10 de estas emplean sus efluentes en el riego agrícola (CONAGUA, 2008). Dentro del caudal total tratado por las plantas tratadoras el 44 % del agua residual tratada se emplea en la agricultura (Figura 6).

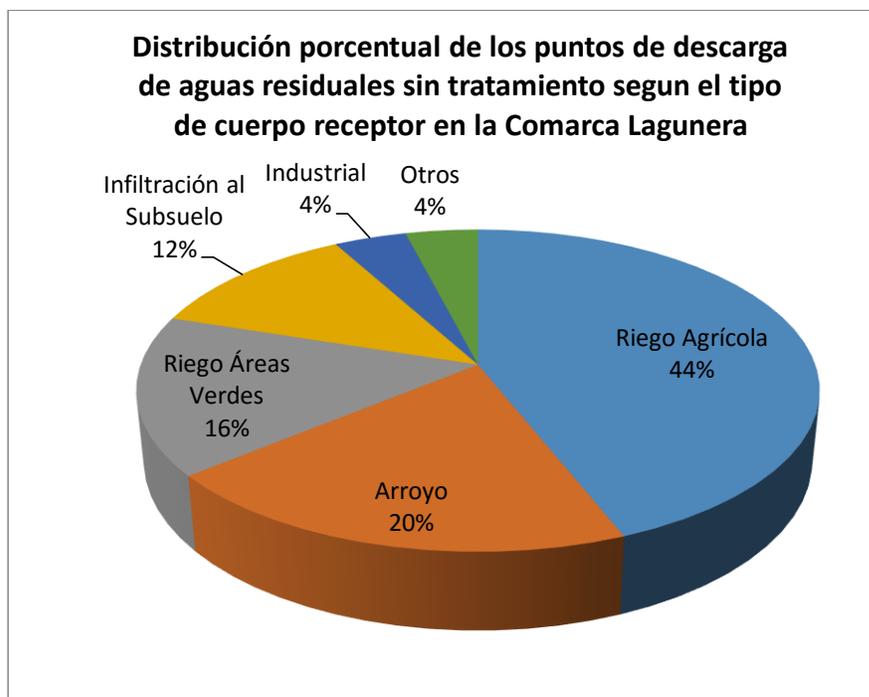


Figura 6. Elaborado con base en: Boletín de Presa Núm. 140, 2013. Comparativo en la Distribución de los puntos de descarga de aguas residuales sin tratamiento según el tipo de cuerpo receptor en la Comarca Lagunera (INEGI 2013).

## 2.6 Características químicas y microbiológicas del agua

El agua es la base de la vida en este planeta, es por eso que debe tener una calidad aceptable para que el ser humano pueda hacer uso de ella. Para que se pueda establecer un criterio estandarizado de la calidad del agua; debe tener ciertas características tanto químicas y microbiológicas que nos puedan dar información de que el tipo de agua que se está utilizando es el adecuado de acuerdo al uso para el que se desee disponer (OMS, 2008).

En el caso de la agricultura, este es un punto vital en el cual estas características pueden ser de gran relevancia en el desarrollo de los cultivos pudiendo afectar la productividad y calidad de estos (FAO, 2003). A continuación se mencionan las características de calidad del agua.

### **2.6.1 pH**

El pH es un parámetro de gran importancia cuando se analizan diversos tipos de muestras. Cuando existen cambios de pH en el agua puede afectar de gran manera a los organismos acuáticos ya sea de manera directa o indirecta. Así mismo, es importante para el funcionamiento efectivo de los procesos de agua y su control de calidad (NMX-AA-008-SCFI-2011).

El agua para el consumo debe tener un pH de 6.5 a 8.5 de acuerdo con norma oficial mexicana NOM-127-SSA1-1994.

### **2.6.2 Conductividad eléctrica**

La conductividad eléctrica es la capacidad de una solución para transportar corriente eléctrica. Esta propiedad del agua está dada por la presencia de iones, de su concentración total, de su movilidad, valencia y concentraciones relativas y temperatura. La determinación de conductividad es de gran importancia pues da una idea del grado de mineralización del agua natural, potable, residual, residual tratada, de proceso o bien del agua para ser usada en el laboratorio en análisis de rutina o para trabajos de investigación. El valor de conductividad es un parámetro regulado por límites máximos permisibles en descargas de aguas residuales al alcantarillado o a cuerpos receptores, también es un parámetro de calidad del agua para usos y actividades agrícolas, para contacto primario y para el consumo humano (NMX-AA-093-1984).

De acuerdo a los parámetros establecidos en Criterios ecológicos CE-CCA-001/89 la conductividad eléctrica debe tener como límite  $1.0 \text{ dSm}^{-1}$ .

### **2.6.3 Dureza del Agua**

La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor. El término dureza se aplicó en principio por representar al agua en la que era difícil (duro) de lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado, en la mayoría de las aguas alcalinas esta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio (NMX-AA-072-2001). El límite máximo permisible es de  $500 \text{ mg l}^{-1}$  de dureza reportado como  $\text{CaCO}_3$ .

### **2.6.4 Características microbiológicas**

El agua es el medio en el cual se propagan enfermedades altamente infecciosas las cuales pueden ser ocasionadas por agentes como bacterias, virus y parásitos (por ejemplo, protozoos y helmintos).

Para observancia de parámetros microbiológicos de calidad en el agua, es de vital importancia establecer límites dentro de los cuales se pueda concluir que el agua es apta para su uso. En el Cuadro 2 se señalan los valores de referencia de acuerdo a los estándares de la OMS (Organización Mundial de la Salud). (OMS, 2008)

**Cuadro 2.-Valores de referencias de *E.coli* y bacterias termotolerantes de acuerdo al departamento de Agua, Saneamiento y Salud de la OMS.**

Microorganismos	Valor de referencia
<b>Toda agua destinada a ser bebida</b>	
<i>E.coli</i> o bacterias termotolerantes	No detectables en ninguna muestra de 100 ml
<b>Agua tratada que alimenta el sistema de Distribución</b>	
<i>E.coli</i> o bacterias termotolerantes	No detectables en ninguna muestra de 100 ml
<b>Agua tratada presente en el sistema de Distribución</b>	
<i>E.coli</i> o bacterias termotolerantes	No detectables en ninguna muestra de 100 ml

En el Cuadro 3 se muestran los estándares de calidad para el agua residual tratada.

**Cuadro 3.- Estándares microbiológicos para el agua residual de acuerdo al departamento de Agua, Saneamiento y Salud de la OMS 2008.**

Condiciones de reuso	Huevos de helminto	Coliformes Fecales en 100 ml
Para irrigación de cultivos que pueden ser ingeridos sin cocción, parques públicos, y campos deportivos	≤1	≤1000
Irrigación de cereales, cultivos industriales, árboles y forrajes	≤1	Uso no recomendado
Irrigación localizada en cultivos sin que pueda haber exposición de trabajadores y público en general	No aplica	No aplica

## 2.7Tipos de tratamiento

### 2.7.1 Primario avanzado

El tratamiento primario avanzado consiste en aplicar la coagulación floculación en el tratamiento de agua residual, utilizando diseños compactos y polímeros de alto peso molecular y elevada densidad de carga. Es un proceso en el cual se añaden reactivos químicos al agua para eliminar sólidos suspendidos,

materia coloidal y orgánica evaluada como DBO total, principalmente (Jiménez Cisneros y Chávez Mejía, 1996).

Esta parte del tratamiento de aguas consiste en diversas etapas listadas a continuación:

El cribado remueve, del agua residual, los contaminantes más voluminosos, ya sean flotantes o suspendidos. Las cribas se clasifican en función del tamaño de la partícula removida, como finas, gruesa o microcribas. La función de los desarenadores es eliminar la arena de las aguas residuales para proteger los equipos mecánicos de la abrasión y el desgaste, evitar la obstrucción de los conductos por la acumulación de las partículas de arena en las tuberías o canales.

El principio del funcionamiento de los sedimentadores es de crear las condiciones de movimiento suave y lento para que las partículas se puedan sedimentar. Permitiendo que los lodos que se producen en esa etapa de la purificación de agua se retiren y se dispongan para otros usos (Calderón Molgora *et al.*, 2007; Cardoso-Vigueros *et al.*, 1999; Gilber *et al.*, 1990; Harleman, 1992).

### **2.7.2 Lagunas aireadas**

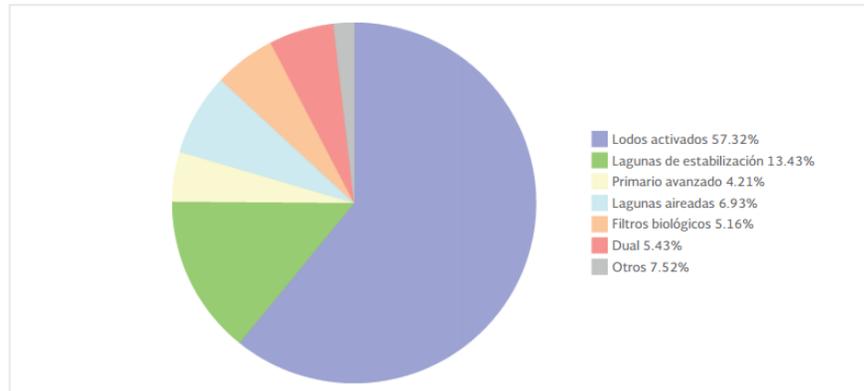
La laguna aireada es un reactor aeróbico que permite la incorporación del oxígeno en el tratamiento de agua para la degradación de la materia orgánica aumentando la remoción de patógenos en el agua; este tipo de tecnología se

adapta a todos los tipos de aguas residuales tanto rurales como urbanas. (Tilley *et al.*, 2014).

Cuando el proceso de aguas residuales los sólidos con mayor peso se sedimentan y forman una capa que contiene microorganismos que anaerobios que fermentan la materia orgánica modificándola a ácido orgánicos y produciendo metano que a su vez produce un olor fétido en este sistema de tratamiento de agua. Estas lagunas tienen un sistema de aireación mecánico como difusores y aireadores los cuales proveen del oxígeno necesario para aumentar los niveles de oxígeno en el agua (Heinke *et al.*, 1991).

### **2.7.3 Filtros biológicos.**

Cuando se emplean estos procesos en el agua residual, anualmente se remueve cerca de 0.6 millones de toneladas de DBO<sub>5</sub> que se colectan del alcantarillado en México, de las 2 millones de toneladas que se general; también son capaces de remover alrededor del 19% de la carga orgánica de las aguas industriales (Figura 7) (CONAGUA, 2011).



Fuente: CONAGUA (2014).

Figura 7. Porcentaje de uso de los distintos tratamientos para tratar caudales de aguas residuales. (CONAGUA, 2014)

## 2.8 Calidad del agua según su uso

Dentro de la categoría de los desechos orgánicos, que demeritan la calidad del agua, se menciona en la literatura que son aquellas sustancias que contienen como elemento principal el carbono y se derivan de organismos vivos por ejemplo: materia vegetal o fecal, grasa, proteínas, azúcares, y papel. Este tipo de desechos pueden causar serios problemas en los cuerpos receptores de agua uno de los más mencionados es la disminución de la cantidad de oxígeno que ocurre cuando las bacterias aerobias utilizan el oxígeno disuelto en el agua para su metabolismo teniendo consecuencias desastrosas para los organismos que viven en ríos y arroyos (CONAGUA, 2014).

Los desechos inorgánicos son aquellos que no contienen carbono y no tienen origen de los organismos vivos incluyen materiales como: metales, minerales, sales, ácidos y bases, en esta clasificación podemos encontrar

sustancias que pueden estar presentes en pequeñas cantidades como medicinas, cosméticos, y agentes de limpieza (OECD, 2012).

Existen diversos tipos de agua que se pueden derivar a raíz de la contaminación con alguno de los agentes mencionados anteriormente, los cuales se mencionarán a continuación.

### **2.8.1 Aguas blancas**

Este tipo de aguas residuales se conforma por las aguas pluviales, que generan grandes aportaciones intermitentes a los caudales de las cuencas hidrológicas. Sin embargo, debido a los procesos de urbanización y alcantarillado las aguas de drenaje son afectadas por distintos tipos de contaminación producida por fugas en las redes de alcantarillado (Hernández, 2000).

Este tipo de agua se compone de diversos contaminantes provenientes de restos de desechos humanos, arenas, residuos vegetales, biocidas y fuentes contaminantes aportadas por fuentes de drenaje (Hernández, 2000).

### **2.8.2 Aguas negras**

Las aguas negras contienen diversos tipos de contaminantes los cuales pueden ser variados como microorganismos, urea, albumina, proteínas, ácido acético y láctico; bases jabonosas y almidones; aceites: animales, vegetales y minerales; hidrocarburos; gases: sulfhídrico, metano, etcétera; sales como bicarbonatos, sulfatos, fosfatos, nitritos, nitratos, etcétera (Hernández, 2000).

### **2.8.3 Aguas residuales industriales**

Las industrias son los mayores motores de movimiento económico es por eso que se requieren que el agua utilizada para dichos procesos sea de alta calidad. Se estima que el uso anual del agua representa un 24% del consumo total del agua. Los principales usos de agua en este sector son: materia prima y parte constitutiva del propio producto, limpieza, calentamiento y enfriamiento, generación de vapor, transporte de sustancias o partículas disueltas, etc. (WHO 1997).

## **2.9 Contaminación química**

La contaminación química del agua es un problema ambiental importante que debido al crecimiento de la población y las carencias de regulaciones ambientales en cuanto a las descargas de desechos provenientes de las industrias ha derivado en la contaminación de las reservas de agua tanto superficiales como subterráneas. El agua contaminada tiene un olor desagradable, color, turbidez y contener numerosas sustancias como pesticidas, aceites, desechos industriales, ácidos, bases, desechos domésticos, metales pesados, entre otros (Changte, 2015).

El riego con aguas residuales tratadas a los cultivos es una práctica que ha ido en aumento en las últimas décadas. Los efectos sobre el beneficio nutrimental en el suelo se limitan por los efectos nocivos de los contaminantes como son metales pesados (Schmidt, J.P 1997).

Los metales pesados son de los mayores problemas de contaminación ambiental de las poblaciones urbanas debido a las altas emisiones al ambiente derivadas de múltiples actividades humanas como la industria, la minera, etc. (Malizia *et al.*, 2012).

Un metal pesado se define como cualquier metal relativamente denso o metaloide el cual es identificado por su toxicidad potencial, específicamente en materia ambiental. Éste término ha sido ampliamente utilizado para metales como cadmio, mercurio, plomo y arsénico los cuales son catalogados por la OMS dentro de los 10 elementos químicos que producen más daño a la población. Otros ejemplos de este tipo de metales incluyen el manganeso, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, selenio, plata, antimonio y talio (Brathwaite y Rabone, 1985; Srivastava y Goyal, 2010; NORD, 2015; WHO, 2015).

Estos elementos tienen una gravedad específica significativamente superior a la del sodio, calcio, y otros metales ligeros. Por otro lado, estos elementos se presentan en diferente estado de oxidación en agua, aire y suelo y presentan diversos grados de reactividad, carga iónica y solubilidad en agua (SEMARNAT, 2009).

Dentro de las fuentes de contaminación por metales pesados se ha reconocido que la industria minera es una de las más importantes debido a la gran cantidad de desechos y sitios contaminados que se extienden por todo el país. El proceso de creación de una mina conlleva los siguientes procedimientos que pueden causar daños importantes en los ecosistemas (García Vargas *et al.*, 2001).

La actividad industrial prolongada durante más de 100 años, de los cuales 80 fueron operados prácticamente sin control ambiental, así como la falta de legislación al respecto provocó un impacto ambiental muy grave el cual no se estudió hasta el año de 1995, cuando se realizó un muestreo y determinación de plomo en los polvos determinando información contundente sobre la contaminación de suelos en la ciudad (Hashemi, 2012; García Vargas *et al.*, 2001).

Los efectos de los metales que se encuentran en las aguas naturales, potables y residuales sobre la salud humana, pueden ir desde el intervalo de benéficos, causantes de problemas hasta tóxicos, esto es dependiendo de su concentración, por lo que su cuantificación en cuerpos de agua es importante. Algunos metales son esenciales, otros pueden afectar adversamente a los consumidores de agua, sistemas de tratamiento de aguas residuales y cuerpos receptores de agua (NMX-AA-051-SCFI-2001).

La alta solubilidad que se le atribuye a los metales pesados provoca que estos puedan disociarse en los mantos acuíferos afectando lo que provoca que los organismos vivos tengan una mayor bioabsorción, migran por medio de partículas suspendidas. Por consecuencia, cuando se detecta la presencia de los metales pesados en las capas superficiales del suelo pueden darnos parámetros sobre la calidad ambiental de los acuíferos (Assadian *et al.*, 2003; Sawidis *et al.*, 2011; Gallagher *et al.*, 2008; Staszewski *et al.*, 2011).

### **2.9.1 Plomo**

El plomo es un elemento metálico, considerado como un metal pesado, su símbolo químico es Pb, su número atómico es 82 y se encuentra en el grupo IV A de la Cuadro periódica. Tiene un punto de fusión de 328°C y un punto de ebullición de 1740 °C, desprende abundantes vapores a partir de los 600°C. El plomo se encuentra ampliamente distribuido por todo el planeta (Téllez Mosquera y Marlen Bautista 2005).

Las partículas de plomo pueden ser resuspendidas por el viento y la actividad humana. Los niveles de plomo en el suelo pueden tener una influencia importante sobre la salud humana y la animal (Thornton *et al.*, 1990). Sin embargo, no todo el plomo del suelo presenta el mismo grado tanto de movilidad ni biodisponibilidad (Pernia *et al.*, 2008).

Las partículas <10 µm y especialmente las de <2.5 µm, pueden cruzar las defensas del sistema respiratorio y entrar hacia los pulmones. Los estudios llevados a cabo en las cercanías de jales mineros y fundiciones han arrojado evidencia que la inhalación directa de plomo presente en el aire es la principal ruta de absorción en adultos. En los niños la principal ruta de exposición es la ingestión de tierra y polvo contaminado con plomo (Yankel *et al.*, 1977).

### **2.9.2 Cadmio**

El cadmio es un metal que forma parte del grupo IIB de la Cuadro periódica, con un peso atómico de 112.41; la forma iónica del cadmio esta usualmente combinado con oxígeno (óxido de cadmio CdO<sub>2</sub>), cloruro (cloruro de

cadmio  $\text{CdCl}_2$ ) o sulfuros (sulfato de cadmio  $\text{CdSO}_4$ ); se ha estimado que 300 000 toneladas de cadmio son liberadas al medio ambiente cada año de las cuales 4000 a 13000 toneladas son derivadas de las actividades humanas (Faroon, O *et al.*, 2012).

Este metal tóxico obtiene como un subproducto del procesamiento de metales como el zinc (Zn) y el cobre (Cu). Se acumula en el ambiente como resultado de las actividades industriales (Farkas *et al.*, 2007; Pan *et al.*, 2009) que involucran la fabricación de baterías níquel-cadmio, la quema de combustibles, la generación de polvos en la proceso de fabricación de cemento y fertilizantes fosfatados (Moulis y Thévenod 2010).

El cadmio que se genera por las actividades antropogénicas y los ciclos naturales es removido de la atmósfera por deposición de partículas y precipitación, luego por escorrentía y erosión se transporta hacia los mantos acuíferos siendo absorbido por la materia particulada (Salazar y Reyes, 2000). Por consiguiente los ríos que se encuentran contaminados por este mineral puede contaminar tierras cercanas y de esta manera contaminar los suelos por medio de la irrigación o por la deposición de sedimentos dragados (Henson y Chedrese, 2004; Maruthi *et al.*, 2005).

### **2.9.3 Zinc**

El zinc es un elemento esencial para el metabolismo de las plantas en cantidades de  $20 \text{ mg kg}^{-1}$  de peso seco (Salisbury y Ross, 1991) y es utilizado

por la planta en diversas reacciones metabólicas formado parte de diversos transportadores y factores de transcripción (Grotz *et al.*, 1998; Takatsuji, 1998).

El de este metal en los galvanizados y diversos procesos industriales ha contribuido a sobremanera en la contaminación de los suelos, así como en la industria metalúrgica. Los síntomas de toxicidad en las plantas son el enanismo, clorosis, y una reducción en la producción de biomasa (Ivanov *et al.*, 2003).

### **2.10 Contaminación microbiológica**

El agua puede contener una gran variedad de microorganismos patógenos, bacterias, virus, protozoos, huevos de helminto, etc. El principal origen de estos microorganismos patógenos son las heces humanas y de otros mamíferos de sangre caliente. Estos microorganismos se introducen en los ambientes de agua dulce, principalmente mediante la liberación de efluentes de aguas residuales, las aguas superficiales de escorrentía y la lixiviación de suelos. La contaminación microbiana de los suministros de agua potable puede tener graves consecuencias para la salud humana (Prats *et al.*, 2008).

Los microorganismos indicadores para la calidad del agua, se encuentran las bacterias del grupo coliforme, que son patógenos de transmisión fecal- oral perteneciendo a este grupo especies como *E. coli*. La contaminación fecal ha sido y siguen siendo el primer riesgo sanitario en el agua. Por esta razón es muy importante el control sanitario de riesgos microbiológicos es tan importante y constituye una medida sanitaria básico a para mantener un grado de salud en la población (Marín *et al.*, 2004).

La presencia y extensión de contaminación fecal es un factor importante en la determinación de la calidad de un cuerpo de agua. Las heces contienen una variedad de microorganismos y formas de resistencia de los mismos, involucrando organismos patógenos, los cuales son un riesgo para la salud pública al estar en contacto con el ser humano. El examen de muestras de agua para determinar la presencia de microorganismos del grupo coliforme que habitan normalmente en el intestino humano y de otros animales de sangre caliente, da una indicación sensible de dicho tipo de contaminación fecal. Dada la limitada capacidad de algunos miembros del grupo de organismos coliformes para sobrevivir en agua; sus números también pueden emplearse para estimar el grado de contaminación fecal (NMX-AA-042-SCFI-1987).

Ante la escasez de recursos hídricos, la explosión demográfica y el desarrollo industrial, la utilización de aguas residuales tratadas es una importante alternativa como fuente adicional de suministro, particularmente para riego agrícola. Sin embargo, dicha actividad tiene implicaciones negativas desde el punto de vista sanitario, ya que representa un riesgo a la salud de los trabajadores agrícolas y de los consumidores de los productos, en especial cuando se trata de aquellos que se consumen crudos (sin procesos de cocción) como las hortalizas. Los helmintos representan un elevado riesgo a la salud humana debido a que sus diversos estadios infecciosos (huevos embrionados o larvas) son altamente persistentes en el agua contaminada. Así, el agua constituye un vehículo directo o indirecto de diseminación de helmintos, aun cuando se encuentren en bajas concentraciones, dando lugar a enfermedades

gastrointestinales, sobre todo cuando ésta se emplea para el riego de cultivos forrajeros (NMX-AA-113-SCFI-2012).

Es por eso que la necesidad de cultivos forrajeros de calidad ha ido en aumento desembocando en una alta demanda del recurso hídrico y un aumento en el uso de las aguas residuales tratadas para los cultivos destinados al forraje en la Región Lagunera.

### **3 MATERIALES Y METODOS**

#### **3.1 La Comarca Lagunera**

La Comarca Lagunera es una región que se ha caracterizado a nivel nacional por ser la cuenca lechera más importante del país, representa el 0.03 % del territorio mexicano, la cual cuenta con aproximadamente 430,000 cabezas de ganado aportando un total de 21.3% de la producción lechera nacional (Vázquez Arroyo *et al.*, 2012; Caravantes Díaz *et al.*, 2013; OMS, 2015).

Sin embargo, la situación geográfica de la región provoca que esta se encuentre localizada dentro de las zonas del territorio nacional con sequía extrema donde el agua es un recurso limitado (Figura 8).

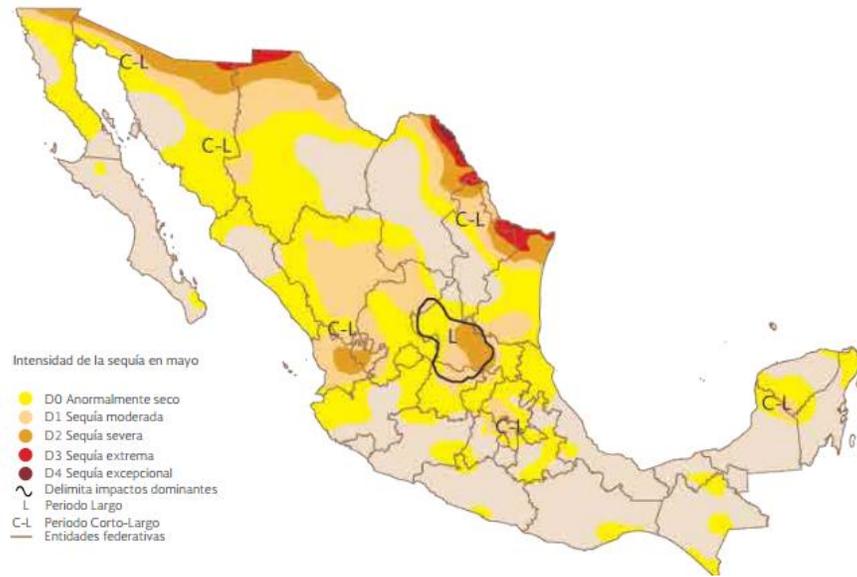


Figura 8. Representación esquemática de la intensidad de sequía en el territorio nacional. Datos proporcionados por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN 2014).

La Comarca Lagunera es una región que se ubica en el centro norte de México, conformada por municipios de los estados de Coahuila y Durango y debe su nombre a los cuerpos de agua anteriormente existentes. Eran trece lagunas en el área dentro de las que destacan la Laguna de Mayrán que se alimentaba por dos ríos el Nazas y Agua Naval (Anaya Nevarez *et al.*, 2010).

Se encuentra ubicada en las coordenadas geográficas 26°00´y 26°10´N y 104°10´y 103°20´O, con una altitud de 1119m. El clima es desértico con lluvias en verano e invierno fresco. La temperatura media anual varía de 19 a 21°C con una precipitación promedio anual de 215.5mm (SEMARNAT, 2009). Esta posición de su latitud y situación de altura son factores determinantes en el comportamiento climático de la zona (Anaya Nevarez *et al.*, 2010).

Fisiográficamente esta región se encuentra localizada en la meseta del norte, con relieves planos de lomeríos bajos y sierras de altura regular, que dan lugar a valles intermontañosos que por sus características favorecen a las actividades agropecuarias (ITEPSA, 1999).

### 3.2 Ubicación del experimento

El trabajo se estableció en terrenos del INIFAP; CENID-RASPA, localizados en el Km 6.5 margen derecho del Canal Sacramento 35140 Gómez Palacio, Durango con la siguiente ubicación 25°35'24.4" N, 103° 27'12.3"W (Figura 9):

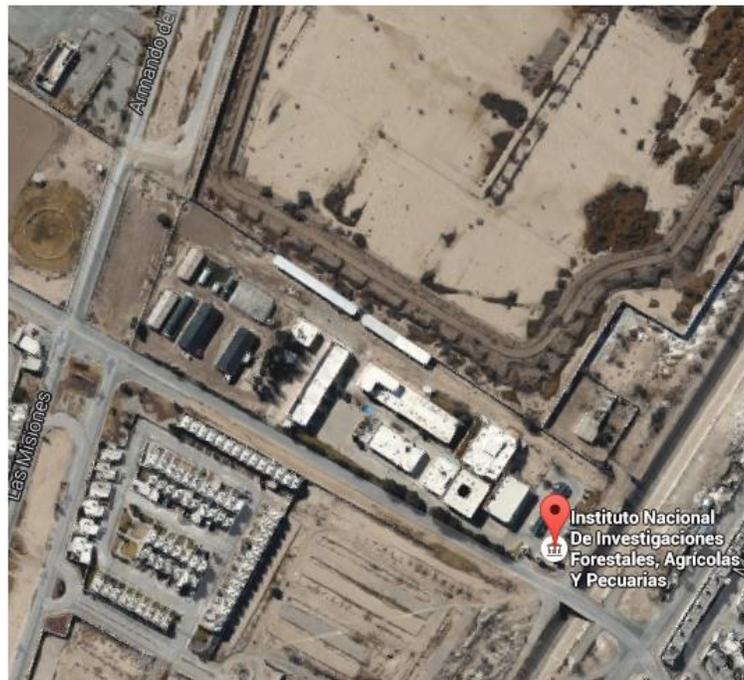


Figura 9. Imagen Satelital de la ubicación del INIFAP CENID RASPA.

Se establecieron 700 m<sup>2</sup> con cultivo de maíz variedad ocelote de la casa Asgrow.

El Maíz se sembró el 25 de julio del 2014 en surcos a una distancia de 80cm con una distancia entre plantas de 20 cm. Cada parcela experimental constó de 5 surcos de 5.0 m de largo con 5 plantas por metro, para tener una población de 62500 plantas por hectárea. La parcela útil estuvo conformada por los dos surcos centrales (Figura 10).

Dimensiones de cada tratamiento 5 m largo X 4 m ancho.

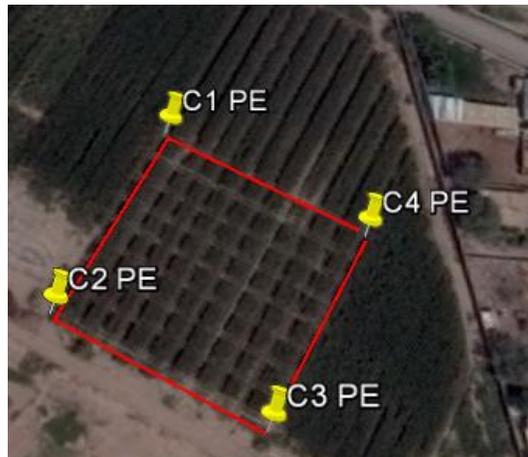


Figura 10. Imagen satelital del terreno donde se estableció el experimento donde se muestran las coordenadas del polígono.

### 3.3 Diseño experimental

Se hizo una distribución en dos áreas tratadas con agua residual y de pozo respectivamente bajo un diseño en bloques al azar con factorial incompleto (Figura 11).

AGUA POZO					AGUA RESIDUAL			
R1	R2	R3	R4		R1	R2	R3	R4
8	8	8	8		8	8	8	8
6	5	2	6		6	1	4	1
5	1	7	3		2	3	6	2
1	3	4	1		4	6	2	6
3	6	5	7		7	5	3	4
2	7	3	5		5	7	5	7
4	2	1	4		1	4	1	3
7	4	6	2		3	2	7	5

Figura 11. Diseño experimental de las parcelas experimentales y distribución de cada uno de los tratamientos de fertilización.

Se aplicaron siete tratamientos de fertilización y un testigo sin fertilizar. Los tratamientos de fertilización fueron aplicados en dosis de nitrógeno y fósforo de la siguiente manera:

**Cuadro 4. Dosis de fertilización aplicada de nitrógeno y fósforo a las parcelas experimentales**

Tratamiento	Nitrógeno	Fósforo
	Kg ha <sup>-1</sup>	
1	0	50
2	100	50
3	200	50
4	300	50
5	300	100
6	300	150
7	300	0
8	0	0

### **3.4 Toma de muestras**

Se tomó una muestra de suelo a tres profundidades (0-15cm, 15-30cm, 30-60 cm) para los tratamientos con agua residual y agua de pozo.

Se tomó una planta como unidad experimental del surco central por cada uno de los bloques. La planta se separó en raíz, parte vegetativa, y fruto para determinar la concentración de metales pesados.

Las plantas seleccionadas se enjuagaron con agua corriente hasta dejarla libre de cualquier impureza que pudiera interferir en el análisis. Se lavaron con una solución de ácido nítrico al 1%, posteriormente con agua destilada dejando secar al ambiente por un día, para después proceder al secado en estufa a una temperatura de 65°C por 6 días.

Posterior a la molienda se realizó una digestión ácida con HNO<sub>3</sub> y HClO<sub>4</sub> 60:20 durante 24 h a una temperatura de 150°C.

Para el procesamiento de las muestras para análisis microbiológico se utilizaron las siguientes técnicas:

### **3.5 Determinación de coliformes totales, fecales y *E.coli***

Se procedió a la determinación de las bacterias coliformes totales, fecales y *E.coli* de acuerdo a la NMX-AA-042-SCFI-1987.

Los tubos inoculados se incubaron a 35°C -37 °C durante 48 h. Los cultivos se examinaron después de un periodo de incubación de 18 a 24 horas y se

registraron como resultados positivos aquellos que mostraron turbidez debido al crecimiento bacteriano y formación de gas en los tubos internos invertidos (Tipo Durham). Los tubos en los que no se detectó algún cambio fueron reincubados para examinarlos nuevamente y registrar reacciones positivas a las 48 horas.

### **3.5.1 Incubación y examen**

Para confirmar la presencia de organismos coliformes, se incubó un tubo de caldo Bilis Lactosa Verde Brillante a 37 °C y examino para ver si hay producción de gas dentro de un periodo de 48 horas. Para confirmar la presencia de organismos coliformes fecales (termotolerantes), se incubó otro tubo de caldo EC a 44.0°C ± 1 °C durante 24 h para ver si hay producción de gas. Para confirmar la presencia de *E. coli* presuntiva, se incubó un tubo de agua de triptona para detectar la formación de indol a 44.0°C ± 1 °C durante 24 h. Después se añadió 0.3 ml de reactivo de Kovacs al tubo de agua de triptona; el desarrollo de un anillo de color rojo después que se agitó suavemente denota la presencia de indol.

### **3.6 Determinación de *Salmonella***

La *Salmonella* se determinó de acuerdo a la NOM-114-SSA1-1994

Se tomaron las muestras y se depositaron en un medio de pre-enriquecimiento y se agitaron para transferir 1 ml de la mezcla a un tubo con 10 ml de tetratiónato y otro que con 10 ml de caldo selenito cistina. Se incubaron 24 horas a 35°C.

Se mezcló el tubo con caldo selenito cistina y estriar en agar xilosa lisina desoxicolato (XLD), agar verde brillante (VB) y una tercera caja con cualquiera de los medios selectivos adicionales (agar entérico Hektoen, agar Sulfito de Bismuto o Agar SS).Efectuar el mismo procedimiento para el caldo tetrionato. Incubar las placas 24 h a 35°C.

Se seleccionaron al menos dos colonias típicas de cada medio selectivo, que se encuentren bien aisladas. Se inocularon dos tubos, uno con agar triple azúcar hierro (TSI) y otro con agar hierro lisina (LIA), por estría en la superficie inclinada y por punción en el fondo. Incubar por 24 ± 2 h a 35 °C. Se almacenó en refrigeración de 5 a 8°C las placas con medios selectivos por si es necesario retomar más colonias. Se procedió a realizar la interpretación de los resultados.

### **3.7 Determinación de huevos de helminto**

La determinación de huevos de helminto se realizó de acuerdo a la norma NMX-AA-113-SCFI-1999. Se dejaron reposar las muestras toda la noche y se centrifugó a 400 g de 3 a 5 minutos en tubos cónicos de 25 ml. Después se decantaron las muestras y se desechó el sobrenadante. Se recuperó el sedimento y se vació en frascos de vidrio de 2 lts de capacidad etiquetados previamente. Después se dejaron reposar las muestras toda la noche y se procedió a centrifugar a 400g de 3 a 5 minutos, se enjuagaron los recipientes de vidrio con agua destilada, el líquido resultante del frasco se centrifugó nuevamente. La pastilla resultante de la centrifugación se vació al frasco de vidrio y se añadió una solución de sulfato de zinc. Una vez más se centrifugó la muestra a 400g de 3 a 5

minutos recuperando el sobrenadante y se diluyó en el frasco con un litro de agua destilada dejando reposar las muestras toda la noche. Se recuperó el sobrenadante y se resuspendió el sedimento y se centrifugó a 480g durante 3 minutos. Se decantó nuevamente el sobrenadante y se resuspendió la pastilla con agua destilada. Y se centrifugó nuevamente a 480 g durante 3 minutos. Se decantó el sobrenadante y se resuspendió la pastilla en 15 ml de la solución alcohol-ácido por medio de agitación y agregar 10 ml de éter, se agitó y se dejó escapar el gas por último se centrifugó a 660g por 3 minutos y se dejó las pastilla para su cuantificación

### **3.8 Análisis estadísticos**

El paquete estadístico utilizado para la interpretación de los resultados fue SAS versión 9.3 utilizando pruebas de tukey con un  $\alpha$  de 0.05 y análisis de varianza para resultados de plomo, cadmio y zinc. Y para el contenido de microorganismos se realizó un cálculo con logaritmo base 10 para la representación de las diferencias en las gráficas.

## **4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 Microbiología**

Un estudio realizado por Rizzo y colaboradores en 2013 recalca la importancia sobre la contaminación de aguas residuales por microorganismos del tipo coliforme. En la Figura 12 se observa una importante cantidad, expresada en número más probable de microorganismos del tipo coliforme (NMP ml<sup>-1</sup>) en las

muestras de agua residual tratada analizadas, no observándose presencia de estos microorganismos en el agua de pozo utilizada para regar las parcelas.

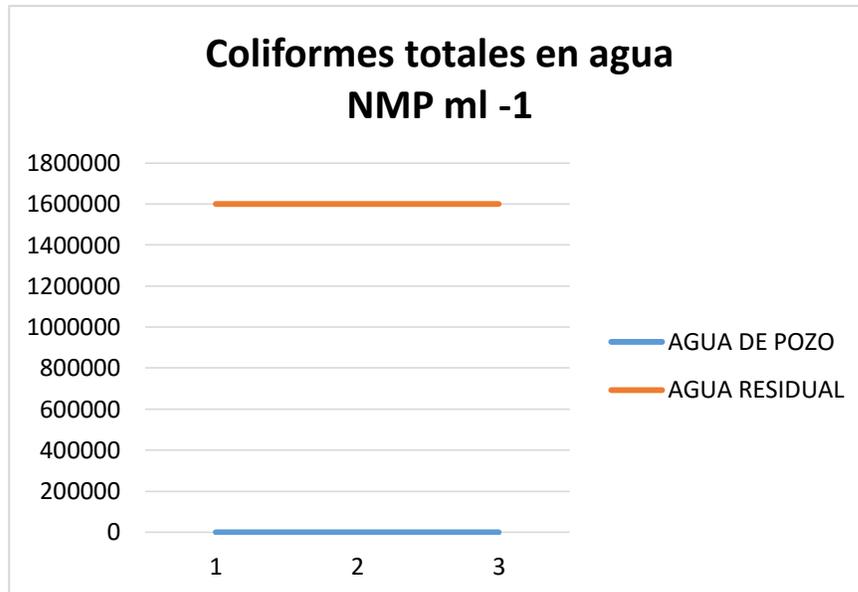


Figura 12. Microorganismos coliformes totales (Número mas Probable por mililitro) en dos tipos de agua previo al riego de la parcelas experimentales.

El agua residual tratada puede reutilizarse en regiones áridas. Estudios realizados por Cirelli y colaboradores en el 2012 concluyeron que este tipo de agua puede contener una alta positividad a pruebas de *E.coli*. Los resultados mostrados en el Cuadro 5 muestran que los microorganismos causantes de enfermedades gastrointestinales como son los del género *Salmonella spp*, coliformes fecales y *E.colise* encontraron en el agua de tipo residual. Esta presencia disminuye la calidad, lo cual no se observó en el agua de pozo.

**Cuadro 5. Microorganismos por tipo de agua empleada en el riego de cultivo de maíz forrajero variedad ocelote.**

	<i>Salmonella spp.</i>	Coliformes fecales	<i>E.coli</i>
Agua residual	POSITIVO	POSITIVO	POSITIVO

---

Agua de pozo	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
--------------	----------	----------	----------

---

El grupo de microorganismos coliformes totales puede encontrarse en el medio ambiente tanto en suelo como en plantas, en estos casos este tipo de microorganismos no son nocivos solamente si estos llegan a entrar a algún otro sistema biológico (The Microbiology of Drinking Water, 2002).

El comportamiento típico de la curva de crecimiento bacteriano consiste en una fase inicial la cual se denomina fase logarítmica en donde no es posible detectar una fase de crecimiento como tal, seguida de esta etapa se presenta una fase exponencial de crecimiento la cual es seguida por una fase estacionaria y una fase de muerte (Peleg y Corradini, 2011). En este estudio se encontró que, a las 24 horas la carga microbiana es considerablemente mayor y conforme el tiempo transcurre va disminuyendo y a las 72 horas en ambos tipos de agua el crecimiento se mostró nulo (Figura 13).

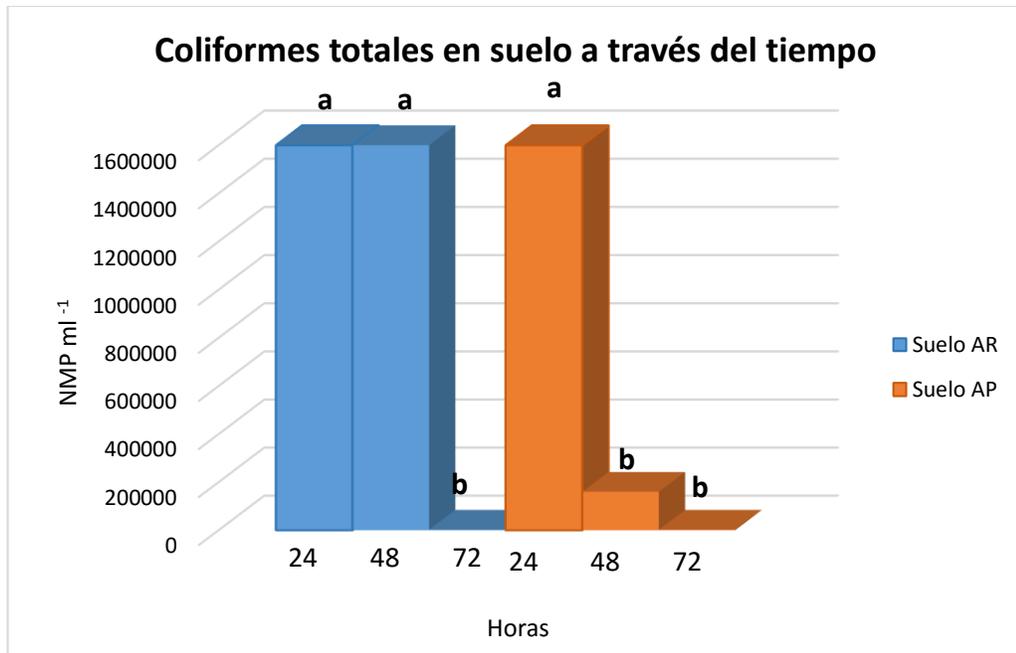


Figura 13.- Microorganismos coliformes totales (Número Mas Probable por mililitro) en muestras de suelo regado con agua residual (Suelo AR) en comparación con agua de pozo (Suelo AP).

Los microorganismos del tipo coliforme han sido el principal indicador de contaminación fecal indicado que el material en el que se encuentren se encuentran contaminados con heces humanas este tipo de microorganismos pueden representar un riesgo a la salud. Los coliformes totales se encuentran en el medio ambiente en este caso este tipo de microorganismos es vulnerable a las condiciones ambientales (Figura 14).

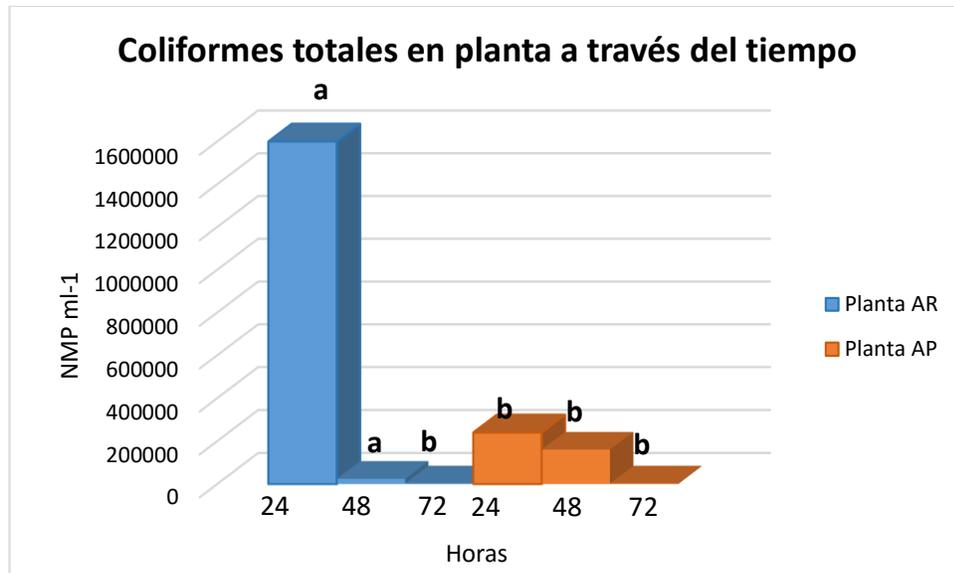


Figura 14. Gráfica donde se muestran las mediciones de microorganismos del grupo coliforme después de realizar el riego a las 24, 48 y 72 horas.

*Salmonella* es un grupo de microorganismos que entra al medio ambiente por contaminación de heces de animales. Los animales pueden contaminar de manera directa el agua utilizada para irrigación. En especial este microorganismo puede adaptarse a diversas condiciones como pH bajo o altas temperaturas permitiéndole vivir fuera del organismo así mismo tiene la capacidad de adherirse a las superficie de las plantas permitiendo la colonización de sus diferentes órganos, así como también la supresión del sistema inmune vegetal, las plantas son un hospedero alternativo para la transmisión de este patógeno (Heaton y Jones, 2008; Samelis *et al.*, 2003; Semenov *et al.*, 2007; Schikora *et al.*, 2011; Klerks *et al.*, 2007a; Gu *et al.*, 2011).

En el Cuadro 6 Se puede observar que *E.coli* se encuentra positivo a las 24, 48 y 72 horas tanto en suelo como en planta en el caso de *Salmonella spp*

sólo se encontró en suelo y los coliformes fecales positivos en planta a las 72 horas.

**Cuadro 6. Microorganismos en muestras tomadas en suelo y planta en tres periodos de tiempo (24, 48 y 72 horas) después del riego en maíz forrajero.**

	<i>Salmonella spp.</i>	Coliformes fecales	<i>E.coli</i>
Suelo 24 hrs	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Planta 24 hrs	NEGATIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Suelo 48 hrs	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Planta 48 hrs	NEGATIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Suelo 72 hrs	POSITIVO	NEGATIVO	POSITIVO
Planta 72 hrs	NEGATIVO	POSITIVO	POSITIVO

Los helmintos son gusanos parásitos de vida libre que tienen un alto poder infectante cuando se les encuentra en forma de huevos (Jiménez 2007). Esta forma infectante es muy resistente a las condiciones ambientales debido a que está formado de tres capas que protegen al parásito (David y Lindquist, 1982). En muchas ocasiones los tratamientos en los que se somete el agua residual pueden no ser tan efectivos cuando de eliminar estos organismos se trata. En la Cuadro 7 podemos observar que el agua residual contiene una cantidad de huevos de helminto que sobre pasa la Norma Oficial Mexicana  $\leq$  a 5 HL (huevos por litro). (NOM-003-SEMARNAT-1997). Dentro de las muestras analizadas de agua se encontró *Blastocystis hominis* en forma de quiste la cual es su forma infectante. Este no puede catalogarse como huevo del helminto. Sin embargo, es un parásito

de alta importancia clínica causante de enfermedades gastrointestinales y de alto potencial infeccioso (Parija y Jeremiah. 2013; Scanlan. 2012) (Cuadro 7).

**Cuadro 7. Huevecillos de tres especies de parásitos en muestras de aguas antes del riego en cultivo de maíz forrajero.**

	<i>Ascaris lumbricoides</i>	<i>Taenia spp</i>	<i>Blastocistis hominis</i>
Agua llave	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Experimento pozo	NEGATIVO	NEGATIVO	NEGATIVO
Experimento AR	41 HL	5 HL	6HL

#### 4.2 Metales pesados

La contaminación de suelos por metales pesados se ha incrementado debido a las actividades industriales. Ello es de particular importancia para los suelos que se emplean en la agricultura. Un exceso en el uso de fertilizantes, irrigación con aguas residuales y una disposición inadecuada de los desechos que proviene de diversas fuentes contaminantes ha provocado que esta problemática ambiental sea cada vez más preocupante (Hargreaves *et al.*, 2008; Muchuweti *et al.*, 2006; Nicholson *et al.*, 2003). De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, los niveles aceptables de metales pesados para plomo son 5 mg kg<sup>-1</sup> promedio mensual y 10 mg kg<sup>-1</sup> promedio diario; y de cadmio promedio mensual de 0.05 mg kg<sup>-1</sup> y de promedio diario 0.1 mg kg<sup>-1</sup> para suelos en uso agrícola. Los resultados de este trabajo demuestran

que en los diversos estratos de suelo la cantidad de metales pesados sobrepasa los límites establecidos en la norma (Figura 15).

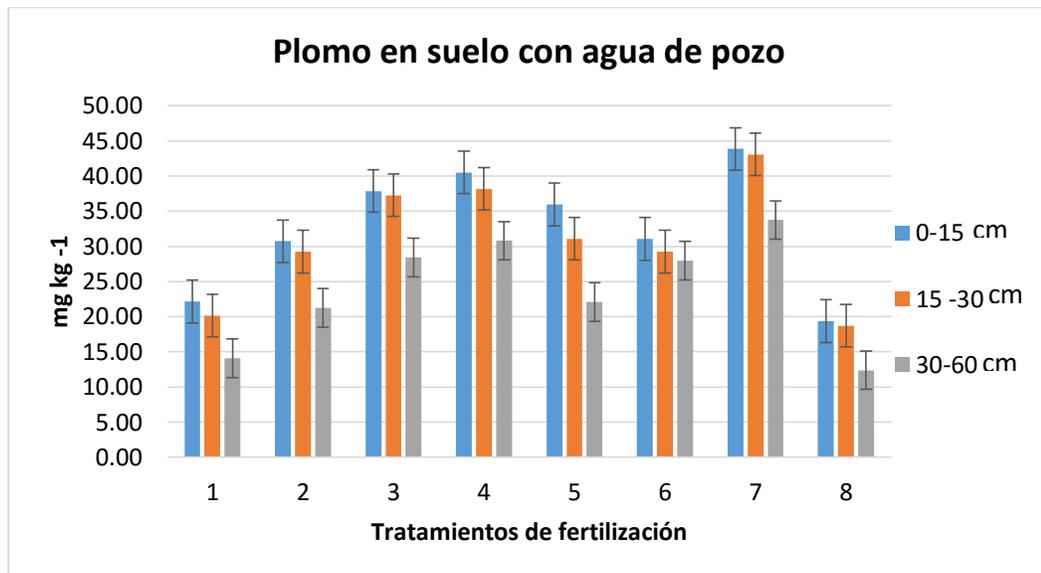


Figura 15. Cantidad de plomo en suelo a tres profundidades regado con agua de pozo. Las barras verticales indican el error estándar, las medias representan el valor de cuatro observaciones para cada uno de los tratamientos de fertilización.

El cadmio es uno de los metales pesados más peligrosos que pueden ser liberados al medio ambiente. Una vez liberado en el medio ambiente este metal entra al ciclo biogeoquímico y si tiende a acumular en el suelo y los sedimentos el cual tiene una alta disponibilidad para las plantas con raíces profundas (Luptakova y Kusnierova, 2005), este metal pesado es depositado en los suelos destinados a la agricultura por medio de fertilizantes orgánicos e inorgánicos (Cordell *et al.*, 2011). En esta gráfica se puede observar que la concentración de cadmio aumento de manera significativa en el tratamiento 7 el cual contiene dosis de fertilización de 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y 0 Kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Figura 16).

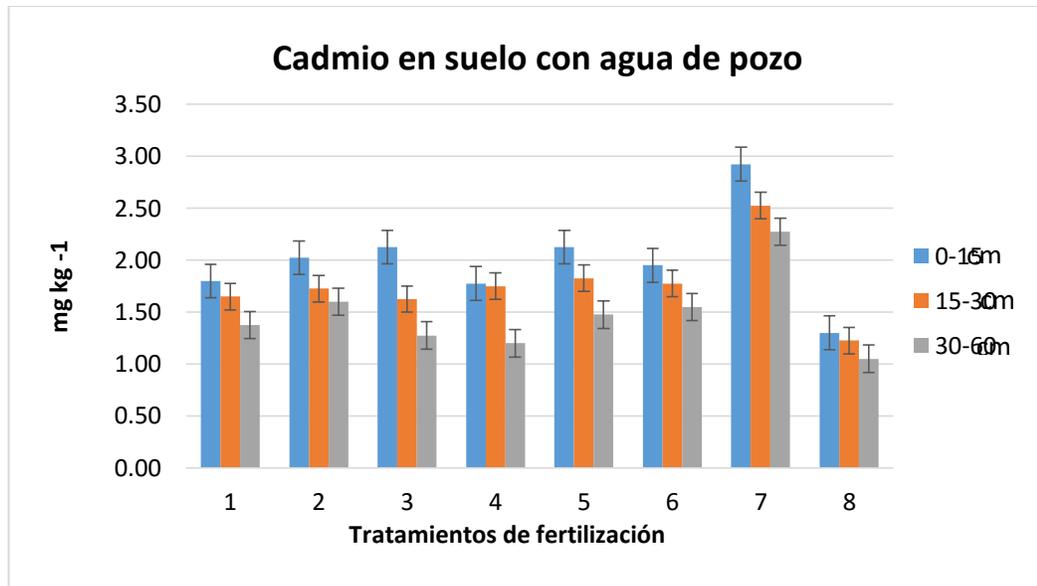


Figura 16. Cantidad de cadmio en suelo a tres profundidades regado con agua de pozo. Las barras verticales indican el error estándar, las medias representan el valor de cuatro observaciones para cada uno de los tratamientos de fertilización.

En el caso de suelos regados con agua residual observamos que la mayor cantidad de plomo se observa en los tratamientos 4 y 5 de fertilización los testigos siempre con una cantidad menor. Lo que apoya la hipótesis que de acuerdo a las mediciones realizadas en los fertilizantes el sulfato de amonio contiene  $135.1 \text{ mg kg}^{-1}$  de plomo y  $83.7 \text{ mg kg}^{-1}$  y el fertilizante MAP  $17 \text{ mg kg}^{-1}$  y  $5.8 \text{ mg kg}^{-1}$  respectivamente (Figura 17).

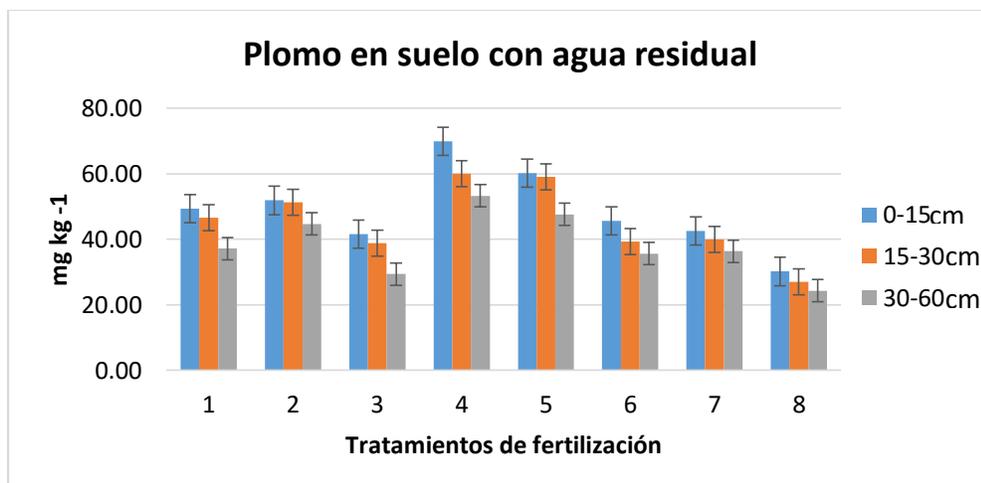


Figura 17. Cantidad de plomo en suelo a tres profundidades regado con agua residual. Las barras verticales indican el error estándar, las medias representan el valor de cuatro observaciones para cada uno de los tratamientos de fertilización.

Las principales fuentes para deposición de cadmio en el suelo son las actividades antropogénicas como el uso de efluentes de aguas residuales y fertilizantes que contengan fósforo (Kabata-Pendias, 2010). Las dosis más elevadas de cadmio se observaron el tratamiento 4 el cual contienen dosis de fertilización de 300 kg ha<sup>-1</sup> de nitrógeno y 50 kg ha<sup>-1</sup> de fósforo (Figura 18).

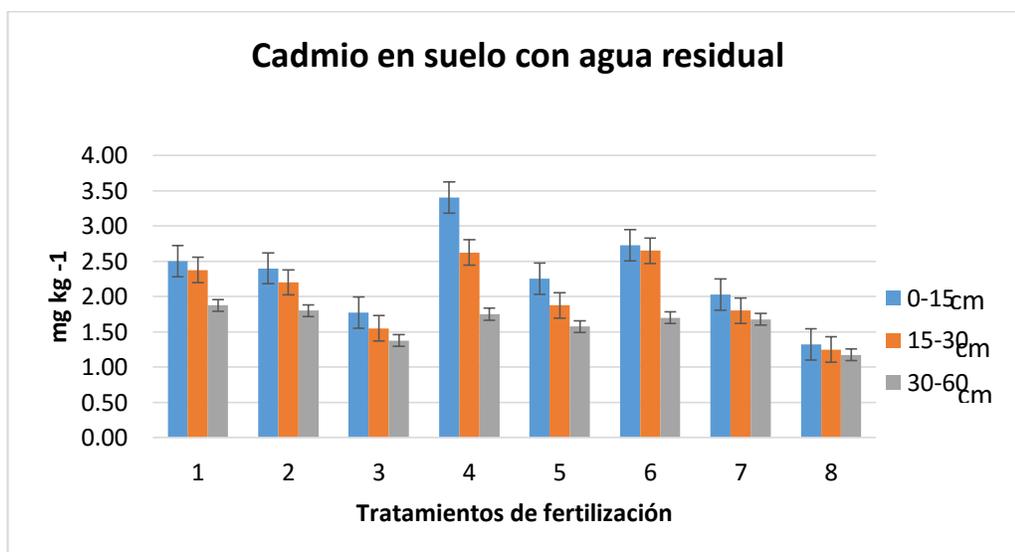


Figura 18. Cantidad de cadmio en suelo a tres profundidades regado con agua de pozo. Las barras verticales indican el error estándar, las medias representan el valor de cuatro observaciones para cada uno de los tratamientos de fertilización.

Es mencionado en diversos estudios que el maíz es una planta que ha mostrado una alta afinidad y tolerancia a los metales pesados (Schmidt 2003; Pereira *et al.* 2007; Wang *et al.* 2007; Kimenyu *et al.*, 2009; Mojiri 2010). El maíz es una planta capaz de acumular metales pesados especialmente cadmio y zinc teniendo la capacidad de una fitoextracción continua translocando estos contaminantes de la raíz a la parte vegetativa de la planta (Nascimento and Xing, 2006).

En el Cuadro 8 se presenta el nivel de significancia en tejido vegetal a excepción de la concentración de zinc no significativa en los tejidos vegetales, correspondientes a los tratamientos de tipo de agua y fertilizantes, el plomo y cadmio en raíz parte aérea y fruto fueron significativamente afectados por dichos tratamientos.

**Cuadro 8. Nivel de significancia a dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Característica		Tipo de agua	Fertilizante	T agua * Fertilizante
Plomo	Raíz	0.0001	0.0010	0.0004
	Aérea	0.0001	0.3608	0.0086
	Fruto	0.0001	0.0014	0.3671
Cadmio	Raíz	0.0085	0.2980	0.4240
	Aérea	0.0021	0.0505	0.0664
	Fruto	0.0001	0.0001	0.0545
Zinc	Raíz	0.0336	0.2381	0.4365
	Aérea	0.4368	0.1837	0.7172

Fruto	0.1850	0.3755	0.3554
-------	--------	--------	--------

En el Cuadro 9 la mayor concentración de plomo se observó en fruto, raíz y parte aérea de las plantas regadas con agua residual. Esto se debe posiblemente a la mayor presencia de este metal pesado en agua residual, aunque este metal también se pudo encontrar en los fertilizantes utilizados.

**Cuadro 9. Concentración de plomo tejido vegetal de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Tipo de agua	Concentración media de plomo ± ee (mg kg <sup>-1</sup> )		
	Fruto	Raíz	Parte vegetativa
<b>Agua residual</b>	27.74±0.78 <sup>a</sup>	30.75±0.92 <sup>a</sup>	16.88±0.66 <sup>a</sup>
<b>Agua de pozo</b>	13.70±0.78 <sup>b</sup>	14.42±0.92 <sup>b</sup>	7.14±0.66 <sup>b</sup>

\* (P<0.05, Tukey) Medias con las mismas letras son efectos iguales cada valor medio está representado por cuatro observaciones

El tipo de agua tuvo un efecto significativo en la concentración de cadmio en raíz (Cuadro 10). El cadmio es un metal que se absorbe de manera rápida por las plantas y se transloca de manera relativamente fácil. Este metal se transporta a través de la corteza de la raíz hacia el xilema de la parte vegetativa, aunque también de manera conjunta el floema está implicado en el transporte de este contaminante (Tudoreanu y Phillips, 2004). El maíz es considerada una de las plantas relativamente tolerante al cadmio lo que significa que muchos de las síntomas causados debido a su toxicidad se presentarán cuando se excedan los niveles permitidos de este metal (Pál *et al.*, 2006). La Organización Mundial de la Salud señala que el límite permitido de cadmio para plantas de maíz es de 0.5 mg kg<sup>-1</sup>(WHO 1996).

**Cuadro 10. Concentración de cadmio en tejido vegetal de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (100 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Tipo de agua	Fruto	Concentración media de cadmio ± ee (mg kg <sup>-1</sup> )	
		Raíz	Parte vegetativa
<b>Agua residual</b>	16.21±0.36 <sup>a</sup>	28.93±0.95 <sup>a</sup>	2.30±0.10 <sup>a</sup>
<b>Agua de pozo</b>	8.28±0.36 <sup>b</sup>	25.04±0.95 <sup>b</sup>	1.80±0.10 <sup>b</sup>

(P<0.05, Tukey) Medias con las mismas letras son efectos iguales cada valor medio está representado por cuatro observaciones

En el cuadro 11 se muestra la concentración de zinc en raíz, cabe mencionar que en fruto y parte aérea de la planta el tipo de agua no presentó efectos significativos. La concentración de zinc fue mayor en un 12 % en las raíces de plantas regadas con agua residual en relación a las regadas con agua de pozo. Esta tendencia pudo ser debido a la presencia de zinc en el agua residual.

**Cuadro 11 Concentración de zinc en raíz y parte vegetativa de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Tipo de agua	Concentración media de zinc ± ee (mg kg <sup>-1</sup> )
	Raíz
<b>Agua residual</b>	36.3±1.11a
<b>Agua de pozo</b>	32.73±1.11b

(P<0.05, Tukey) Medias con las mismas letras son efectos iguales cada valor medio está representado por cuatro observaciones

Los efectos que se observaron por las dosis de fertilización en las concentraciones medias de plomo se tiene una mayor concentración en el tratamiento 5 de fertilización fosforada donde se aplicó la dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup>,

mostrando efecto distinto en comparación con al tratamiento donde no se aplicó fósforo (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Concentración de plomo en raíz y fruto de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Dosis de fertilización		Concentración media de plomo en raíz $\pm$ ee (mg kg <sup>-1</sup> )	Concentración media de plomo en fruto $\pm$ ee (mg kg <sup>-1</sup> )
N (kg ha <sup>-1</sup> )	P(kg ha <sup>-1</sup> )		
0	50	29.16 $\pm$ 1.45 <sup>b</sup>	23.62 $\pm$ 1.11 <sup>a</sup>
100	50	37.18 $\pm$ 1.45 <sup>a</sup>	17.40 $\pm$ 1.11 <sup>c</sup>
200	50	35 $\pm$ 1.45 <sup>a</sup>	19.1 $\pm$ 1.11 <sup>bc</sup>
300	50	36.35 $\pm$ 1.45 <sup>a</sup>	22.76 $\pm$ 1.11 <sup>ab</sup>

La concentración media de cadmio tuvo efectos distintos en cada uno de los tratamientos, podemos observar que la mayor concentración de cadmio en parte fruto se obtuvo en la dosis de fertilización de 0 kg ha<sup>-1</sup> aplicados de fósforo (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Concentración de cadmio en fruto de plantas regadas con dos tipos de agua y con dosis de fertilización con fósforo fijo (50 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno creciente (0 a 300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Dosis de fertilización		Concentración media de cadmio en fruto $\pm$ ee (mg kg <sup>-1</sup> )
N (kg ha <sup>-1</sup> )	P(kg ha <sup>-1</sup> )	
0	50	14.35 $\pm$ 0.51 <sup>a</sup>
100	50	12.07 $\pm$ 0.51 <sup>bc</sup>
200	50	10.23 $\pm$ 0.51 <sup>c</sup>
300	50	12.35 $\pm$ 0.51 <sup>ab</sup>

El cuadro 14 muestra los niveles de significancia en fertilizaciones de fósforo creciente y nitrógeno alto se realizaron para poder sustentar estadísticamente la bioadsorción de los metales pesados por la planta que de acuerdo a los resultados se puede mostrar lo siguiente:

**Cuadro 14. Nivel de significancias en dosis de fertilización con fosforo creciente (0 a 150 kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno alto (300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Característica	Tipo de agua	Fertilizante	T agua * Fertilizante	
<b>Plomo</b>	Raíz	0.0038	0.0028	0.3264
	Aérea	0.0001	0.7588	0.5539
	Fruto	0.0001	0.1189	0.5608
<b>Cadmio</b>	Raíz	0.0002	0.4512	0.0759
	Aérea	0.1727	0.0523	0.0357
	Fruto	0.0001	0.0001	0.0327
<b>Zinc</b>	Raíz	0.0041	0.1037	0.1718
	Aérea	0.2545	0.2091	0.4285
	Fruto	0.2003	0.3581	0.3383

En el cuadro 15 se muestra la concentración media de plomo en diferentes tejidos de la planta bajo dos tipos de agua. Se observó que la concentración de plomo fue mayor en raíz regada con agua residual en comparación con agua de pozo. Sin embargo, la parte vegetativa mostró una concentración menor con respecto al fruto.

**Cuadro 15. Concentración media de plomo en diferentes tejidos de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno alto (300 kg ha<sup>-1</sup>)**

Concentración media de plomo ± ee (mg kg <sup>-1</sup> )			
Tipo de agua	Raíz	Fruto	Parte vegetativa
<b>Agua residual</b>	36.75±1.02 <sup>a</sup>	27.35±0.76 <sup>a</sup>	18.45±0.73 <sup>a</sup>
<b>Agua de pozo</b>	32.09±1.02 <sup>b</sup>	15.40±0.76 <sup>b</sup>	5.7±0.73 <sup>b</sup>

\* (P<0.05, Tukey) Medias con las mismas letras son efectos iguales cada valor medio está representado por cuatro observaciones.

El Cuadro 16 muestra el efecto del tipo de agua sobre la concentración de cadmio en raíz. En esta parte de los resultados podemos distinguir un efecto distinto por el tipo de agua aplicado en raíz que de acuerdo con la Cuadro de nivel de significancia tuvieron un efecto significativo en este órgano de la planta para cadmio.

**Cuadro 16. Concentración media de cadmio en raíz de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno alto (300 kg ha<sup>-1</sup>)**

Tipo de agua	Concentración media de cadmio ± ee (mg kg <sup>-1</sup> )	
	Raíz	Fruto
Agua residual	31.01±0.59 <sup>a</sup>	19.22±0.31 <sup>a</sup>
Agua de pozo	27.32±0.59 <sup>b</sup>	12.65±0.31 <sup>b</sup>

\* (P<0.05, Tukey) Medias con las mismas letras son efectos iguales cada valor medio está representado por cuatro observaciones

El zinc es un metal que se aprovecha como cofactor en las plantas para realizar diversas reacciones enzimáticas que permiten su crecimiento y desarrollo. El riego con agua residual incrementó considerablemente la concentración de zinc en raíz bajo fertilización creciente de fósforo y nitrógeno alto debido (Cuadro 17).

**Cuadro 17. Concentración media de zinc en raíz de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno alto (300 kg ha<sup>-1</sup>)**

Tipo de agua	Concentración media de zinc ± ee mg kg <sup>-1</sup>
	Raíz
Agua residual	37.94±1.42 <sup>a</sup>
Agua de pozo	31.55±1.42 <sup>b</sup>

\* (P<0.05, Tukey) Medias con las mismas letras son efectos iguales cada valor medio está representado por cuatro observaciones.

Los efectos que se observaron por las dosis de fertilización en las concentraciones medias de plomo se tiene una mayor concentración en el tratamiento 5 donde se aplicó la dosis de 50 kg ha<sup>-1</sup>, mostrando efecto distinto en comparación con al tratamiento donde no se aplicó fósforo (Cuadro 18).

**Cuadro 18. Concentración media de plomo en raíz de la planta tratada con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno alto (300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Dosis de fertilización		Concentración media de plomo en raíz ± ee (mg kg <sup>-1</sup> )
N (kg ha <sup>-1</sup> )	P (kg ha <sup>-1</sup> )	
300	0	29.16±1.45 <sup>b</sup>
300	50	37.18±1.45 <sup>a</sup>
300	100	35±1.45 <sup>a</sup>
300	150	36.35±1.45 <sup>a</sup>

La concentración media de cadmio en fruto no tuvo efectos distintos en cada uno de los tratamientos, podemos observar que la mayor concentración de cadmio en parte vegetativa se obtuvo en la dosis de fertilización de 100 kg ha<sup>-1</sup> aplicados de fósforo (Cuadro 19).

**Cuadro 19. Concentración media de cadmio en fruto con dosis crecientes de fósforo (0 a 150kg ha<sup>-1</sup>) y nitrógeno alto (300 kg ha<sup>-1</sup>).**

Dosis de fertilización		Concentración media de cadmio en fruto ±ee (mg kg <sup>-1</sup> )
N (kg ha <sup>-1</sup> )	P (kg ha <sup>-1</sup> )	
300	0	14.35±0.44 <sup>b</sup>
300	50	14.76±0.44 <sup>b</sup>
300	100	16.63±0.44 <sup>a</sup>
300	150	18.01±0.44 <sup>a</sup>

## 5 CONCLUSIONES

El agua residual tratada utilizada en este estudio contiene una cantidad de microorganismos como *E. coli* y *Salmonella spp*, huevos de helmintos y coliformes totales que sobrepasa considerablemente los límites establecidos, por las normas oficiales Mexicanas.

El contenido de plomo y cadmio en el suelo tratado con agua de residual y pozo respectivamente fue mayor en la capa superficial del suelo (0-15 cm); mostrando una tendencia hacia el decremento independientemente de los tratamientos de fertilización llevados a cabo.

La mayor concentración de plomo, cadmio y zinc se observó en el agua residual.

La concentración de plomo, cadmio y zinc en los tejidos vegetales, raíz, fruto y parte aérea fue mayor para maíz regado con agua residual.

Los contaminantes microbiológicos presentes en el agua residual tratada comprometen la inocuidad del cultivo, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Las altas concentraciones de metales pesados y microorganismos presentes en el agua residual tratada, incrementaron la acumulación de plomo, cadmio, zinc, *E.coli*, *Samonella spp*, coliformes totales, coliformes fecales y huevecillos en el cultivo, por lo que se rechaza la hipótesis nula.

Debido a esto es importante que se pueda dar continuidad al experimento por más ciclos de cultivo para poder verificar la acumulación de patógenos y observar de manera más clara la dinámica microbiana.

## 6 LITERATURA CITADA

Anaya N.E., JG Antonio P., R Banda M., R Barrios C., E Blanco C., MA Blanco C., H Fuentes., JJ García V., V González S., FS Gutiérrez P., C Hernández Y., H Landa F., M Loya L., PE Martínez P., R Martínez V., M Maynes A., E Molina G., CE Muñoz H., MA Puente Z., NM Ramírez C., O Lidia V., A Villalobos J. (2010) Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015.

Assadian, N.W., C.V Zhuping Sheng., U.V Figueroa., M Palomo. (2003). Heavy Metal Distribution in Open Canals and Drains in the Upper Rio Grande Basin. *Soil and Sediment Contamination*, 12(3), 306.

Brathwaite, RL y SDC Rabone (1985). "Heavy Metal Sulphide Deposits and Geochemical Surveys for Heavy Metals in New Zealand". *Journal of the Royal Society of New Zealand* 15 (4): 363–370. doi:10.1080/03036758.1985.10421713.

Calderón Molgora C., V Escalante E., MB Arreortúa C., L Rivera Ch. (2007). Serie autodidáctica de medición de la calidad del agua. Identificación y descripción de sistemas primarios para el tratamiento de aguas residuales. México, D.F.: Comisión Nacional del Agua.

Caravantes Díaz R.E., LC Bravo P., L.C Alatorre C., E Sánchez F. (2013). Presión antropogénica sobre el agua subterránea en México: una aproximación geográfica Anthropogenic pressure on groundwater in Mexico: a geographical approach. *Investigaciones Geográficas*, 82 (54), 93–103. doi: 0188-4611

Cardoso-Vigueros L., G Moeller-Ch., V Escalante-E., E Ramírez-C., y L Lambarri-B. (1999). Diagnóstico sobre el manejo de lodos en la planta de aguas residuales Aguas Blancas en Acapulco, Gro. Informe. Tratamiento de aguas residuales Municipales. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua.

CE-CCA-001/89 ACUERDO por el que se establecen los Criterios Ecológicos de Calidad del Agua. Secretaría de Gobernación (SEGOB) publicado en el diario oficial de la federación.

Change, M.K. (2015) Water Pollution in India: Causes and Remedies. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SCIENTIFIC RESEARCH* 4(8) 130-131. ISBN 2277-8179.

Collazo Caraballo, M.P y J Montaña X. (2012) Manual de agua subterránea. Ministerio de ganadería agricultura y pesca. Dirección General de Desarrollo Rural. Producción Responsable. ISBN: 978-9974-594-09-8.

CONAGUA (2008) Programa Nacional Hídrico 2007-2012. ISBN 968-817-836-5 ISBN 978-968-817-836-2.

CONAGUA (2010) Estadísticas del Agua en México. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

CONAGUA. (2011). Estadísticas del Agua en México, Comisión Nacional del Agua, recuperado el 27 de noviembre de 2011. *CONAGUA (2011a)*. Retrieved from [www.conagua.gob.mx](http://www.conagua.gob.mx)

CONAGUA. (2012) *Atlas del Agua en México 2012*. Comisión Nacional del Agua.

CONAGUA SEMARNAT (2012) Situación del subsector de Agua Potable, Alcantarillado y Saneamiento. Edición 20120. México 2012.

CONAGUA (2013) Estadísticas del agua en México edición 2013. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

CONAGUA (2014) Situación de los recursos hídricos. Sistema Nacional de Información del Agua (SINA). Estadísticas del Agua en México 2014.

CONAGUA (2014 I) Subdirección General Técnica.

Corcoran, E., C Nelleman ., E Baker., R Bos., D Osborn., H Savelli. (2010). Sick water? The central role of wastewater management in sustainable development. A Rapid Response Assessment. *UNEP/UNHABITAT*.

Cordell, D., A Rosemarin., J.J Schröder., A.L. Smit (2011) Towards global phosphorus security: a systems framework for phosphorus recovery and reuse options. *Chemosphere* 84, 747-758.

David, E.D. and W.D Lindquist. (1982). Determination of the specific gravity of certain helminth eggs using sucrose density gradient centrifugation. *J. Parasitol.*, 68(5), 916–919.

FAO (2003) *Unlocking the Water Potential of Agriculture*. Produced by: Natural Resources Management and Environment Department.

FAO (2013) *Reutilización del agua en la agricultura: ¿Beneficios para todos?* Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura Roma 2013.

Farkas, A., C Erratico., L Viganó. (2007). Assessment of the environmental significance of heavy metal pollution in surficial sediments of the River Po. *Chemosphere.*, 68, 761–768.

Faroon, O., A Ashizawa., S Wright., P Tucker., K Jenkins., L Ingerman., C Rudisill (2012). Toxicological profile for cadmium. Atlanta, Georgia: U.S. Department of Health and Human Services. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (US).

Gallagher, FJ ., I Pechmann ., JD Bogden., J Grabosky., P Weis. (2008). Soil metal concentrations and vegetative assemblage structure in an urban brownfield. *EnvironPollut*, 153(2), 351–61.

García Vargas GG., M Rubio A., LM Del R., V Borjan A., E Vera A, y M. Cebrian, (2001). Lead exposure in children living in a smelter community in Region Lagunera, México. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 417–429.

Gilberg, L., L Eger y E. S. Jepsen, (1990). The effect of five coagulants on the concentration and distribution of small particles in sewage water. Chemical Water and Wastewater Treatment Proceedings of the 4th GothemburgSymposium. Ed. H. H. Hahn y R. Klute. Springer Verlag.

Grotz, N., T Fox., E Connolly., W Park., M Guerinot. (1998). Identification of a family of zinc transporter genes from Arabidopsis that respond to zinc deficiency. *ProcNatlAcadSci USA*, 95, 7220–7224.

Gu, G., J Hu., J. M Cevallos-Cevallos., S. M Richardson., J. A Bartz., and A. H. van B. (2011). Internal colonization of *Salmonella enterica* sero var *typhimurium* in tomato plants. *PLoS ONE* 6:e27340. doi: 10.1371/journal.pone.0027340

Hadi, F., A Bano., Fuller MP (2010) The improved phytoextraction of lead (Pb) and the growth of maize (*Zea mays* L.): the role of plant growth regulators (GA3 and IAA) and EDTA alone and in combinations. *Chemosphere*80, 457-462. doi: 10.1016/j.chemosphere.2010.04.020.

Hancock, P.J., A.J Boulton., W Humphreys. (2005). Aquifers and hyporheic zones: towards an ecological understanding of groundwater. *Hydrogeology Journal*, 13, 98–111.

Hargreaves, J.C., M.S Adl., P.R Warman. (2008) A review of the use of composted municipal solid waste in agriculture. *Agric. Ecosyst. Environ.* 123, 1-14.

Harleman, B. (1992). *Chemically enhanced primary treatment for municipal wastewater. Proceeding of the 65th Annual Conference and Exposition.* Herndon, Virginia, USA.

Hashemi, SA. (2012) Phytoremediation of lead in urban polluted soils in the North of Iran. *Toxicology and Industrial Health* 28: 470–473.

Heaton, J. C and K. Jones (2008). Microbial contamination of fruit and vegetables and the behaviour of enteropathogens in the phyllosphere: a review. *J. Appl. Microbiol.* 104, 613–626. doi: 10.1111/j.1365-2672.2007.03587.x

Heinke, G.W., D.W Smith., G.R Finch. (1991) Guidelines for planning of wastewater lagoon systems in cold climates. *Can. J. Civ. Eng.* 18, 556-567.

Henson, MC., P Chedrese. (2004). Endocrine Disruption by Cadmium, a Common Environmental Toxicant with Paradoxical Effects on Reproduction. *Exp. Biol. Med.*, 229, 383–392.

Hernández, A. (2000). *Manual de depuración Uralita*. España: Thompson Learning.

INEGI (2013) Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática. Boletín de Presa Núm. 140.

ITEPSA, C. (1999). Lineamientos regionales Cuencas Centrales del Norte.

Ivanov, VB., El Bystrova., I Seregin. (2003). Comparative impacts of heavy metals on root growth as related to their specificity and selectivity. *Russian J Plant Physiol*, 50, 398–406.

Jiménez, B. (2007) Helminth ova control in sludge: a review. *Water Science and Technology*. (56) 9 pp 147-155.

Jiménez Cisneros, B y A Chávez M. (1996). Tratamiento Primario Avanzado. Universidad Nacional Autónoma de México.

JP, S. (1997). Understanding phytotoxicity threshold for trace elements in land-applied sewage sludge. *J. Environ. Qual.*, 26, 4–10.

Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press.

Kimenyu, PN, N Oyaró., JS Chacha., MK Tsanuo. (2009) The potential of *Commelina bengalensis*, *Amaranthus hybridus*, *Zea mays* for phytoremediation of heavy metals from contaminated soils. *Sains Malaysiana* 38(1): 61 – 68.

Klerks, M. M., E Franz., M van Gent-Pelzer., C Zijlstra., and A. H. C van Bruggen. (2007a). Differential interaction of *Salmonella enterica* sero vars with lettuce cultivars and plant-microbe factors influencing the colonization efficiency. *ISME J.* 1, 620–631. doi: 10.1038/ismej.2007.82

Luptakova, A y M Kusnierova. (2005) Bioremediation of acid mine drainage contaminated by SRB. *Hydrometallurgy* 77, 97–102.

Malizia, D., A Giuliano ., G Ortaggi., A Masotti. (2012). Common plants as alternative analytical tools to monitor heavy metals in soil. *Chemistry Central Journal*, 6, 26–29.

Marín, B., JA Gray., G Ramírez., J Betancourt., W Troncoso., M Gómez (2004). *Diagnóstico y evaluación de la calidad ambiental marina en el Caribe y Pacífico colombiano red de vigilancia para la conservación y protección de las aguas marinas y costeras de Colombia. Diagnóstico Nacional y Regional. INVEMAR.*

Maruthi, BBS., SV Dile., FX Han., DL Monts., Y Su. (2005). Anatomical changes due to uptake and accumulation of Zn and Cd in Indian mustard (*Brassica juncea*). *Env. Exp. Bot.*, 54, 131–141.

Mojiri, A. (2011) The Potential of Corn (*Zea mays*) for Phytoremediation of Soil Contaminated with Cadmium and Lead. *J BIOL ENVIRON SCI* 5(13):17–22.

Téllez Mosquera J. y M Marlen B (2005). Exposición ocupacional a plomo: aspectos toxicológicos. *Avances En Enfermería*, 23(1), 1–14.

Mouli, J.M y F Thévenod. (2010). New perspectives in cadmium toxicity: an introduction. *Biometals.*, 23(5), 763–768.

Muchuweti, A., J.W Birkett., E Chinyanga., R Zvauya., M.D Scrimshaw., J.N Lester. (2006) Heavy metal content of vegetables irrigated with mixtures of wastewater and sewage sludge in Zimbabwe: implications for human health. *Agric. Ecosyst. Environ.* 112, 41-48.

Nascimento, CWA., Xing B (2006) Phytoextraction: A review on enhanced metal availability and plant accumulation. *SciAgric* (Piracicaba, Braz) 63(3):299–311.

Nicholson, F.A., S.R Smith., B.J Alloway., C Carlton-Smith., B.J Chambers. (2003) An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Sci. Total Environ.* 311, 205e219.

NMX-AA-093-SCFI-2000 CDU: 631.879 Cancela a la NMX-AA-093-1984 DGN Análisis de agua - Determinación de la conductividad electrolítica - Método de prueba.

NMX-AA-072-SCFI-2001 CDU: 543.3:543.32:543.062 CANCELA A LA NMX-AA-072-1981 Análisis de agua - Determinación de dureza total en aguas naturales, residuales y residuales tratadas - Método de prueba

NMX-AA-113-SCFI-2012 Análisis de agua – Medición del número de huevos de helminto en aguas residuales y residuales tratadas por observación microscópica - Método de prueba (CANCELA A LA NMX-AA-113-SCFI-1999).

NOM-001-SEMARNAT-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

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

NMX-AA-051-SCFI-2001 Análisis de agua - Determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - Método de prueba.

NMX-AA-42-1987 Calidad del agua determinación del número más probable (NMP) de coliformes totales, Coliformes fecales (Termotolerantes) Y *Escherichiacolipresuntiva*.

NORD (2015) Heavy Metal Poisoning. National Organization for Rare Disorders (NORD).

Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2011 Análisis de agua.- Determinación del ph.- Método de prueba.

OECD (2012) Water quality and agriculture-meeting the policy challenge. OECD Publishing.

Oki, T y S Kanae. (2006). "Global hydrological cycles and world water resources." *Science*, 313(5790), 1068–1072.

OMS (2015) Agua, saneamiento y salud (ASS) La salud en el desarrollo de los recursos hídricos.

OMS (2008) Agua, saneamiento y salud (ASS) Guías para la calidad del agua potable, tercera edición. Cap 5 y7. ISBN 92 4 92 4 154696 4.

Ordoñez Gálvez, J. (2012) Aguas subterráneas y acuíferos 2011. Lima Perú.

Pan, J., J.A Plant., N Voulvoulis., C.J Oates., C Ihlenfeld. (2009). Cadmium levels in Europe: implications for human health. *Environ Geochem Health*. 32, 1–12.

Parija, SC, S S Jeremiah (2013) Blastocystis: Taxonomy, biology and virulence. *Trop Parasitol* 3:17-25.

Peleg, M y MG Corradini. (2011) Microbial growth curves: what the models tell us and what they cannot. *Crit Rev Food Sci Nutr* 51:917–945. doi:10.1080/10408398.2011.570463.

Pereira, BFF., CA Abreu., S Romeiro., AMMA Lagoa., A Paz-G. (2007) Pb Phytoextraction by maize in a Pb-EDTA treated oxisol. *SciAgric (Piracicaba, Braz)* 64(1):52–60.

Pernía B., A De S., R Reyes y M Castrillo. (2008). Biomarcadores de contaminación por cadmio en las plantas beatriz. *Interciencia*, 33(2), 112–119.

Piechalak, A., B Tomaszewska., D Baralkiewicks., A Malecka. (2002) Accumulation and detoxification of lead ions in legumes. *Phytochemistry* 60: 153-162.

Prats, J., T Garcia-A., J Larrea., P Servais. (2008). Comparison of culture-based methods to enumerate *Escherichia coli* in tropical and temperate freshwaters. *The Society for Applied Microbiology*, 46, 243–248.

Rodríguez- García F, D. C. G. J. y H. R. J. (2014). *Estudio de estabilización del acuífero principal en la Región Lagunera. Congreso Nacional de Hidráulica Puerto Vallarta, Jalisco, México.* Puerto Vallarta, Jalisco, México.

Salazar, R y R Reyes. (2000). Efectos tóxicos y mecanismos de tolerancia al cadmio en los seres vivos. *Universidad, Ciencia Y Tecnología*, 13, 17–22.

Salisbury, F y C Ross. (1991). *Plant Physiology*. In John Wiley and Sons. (Ed.), (3rd ed., p. 656). New York NY.

Samelis, J., J. S Ikeda., and J. N Sofos. (2003). Evaluation of the pHdependent, stationary-phase acid tolerance in *Listeria monocytogenes* and *Salmonella typhimurium* DT104 induced by culturing in media with 1% glucose: a comparative study with *Escherichia coli* O157:H7. *J. Appl. Microbiol.* 95, 563–575. doi: 10.1046/j.1365-2672.2003.02013.x

Sawidis, T., J Breuste., M Mitrovic., P Pavlovic., K Tsigaridas. (2011). Trees as bioindicator of heavy metal pollution in three European cities. *Environ Pollut*, 159 (12), 3560–70.

Semenov, A. V., A. H van Bruggen., L van Overbeek., A. J Termorshuizen., and A. M Semenov. (2007). Influence of temperature fluctuations on *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* serovar *typhimurium* in cow manure. *FEMS Microbiol. Ecol.* 60, 419–428. doi: 10.1111/j.1574-6941.2007.00306.x

Scanlan P.D. (2012) Blastocystis: past pitfalls and future perspectives. *Trends Parasitol* 28: 327–334.

Schikora, A., I Virlogeux-Payant., E Bueso., A. V. Garcia., A Charrier *et al.*, (2011). Conservation of *Salmonella* infection mechanisms in plants and animals. *PLoS ONE* 6:e24112. doi: 10.1371/journal.pone.0024112

Schmidt, J.P. (1997) Understanding phytotoxicity thresholds for trace elements in land-applied sewage-sludge. *Journal of Environmental Quality*, (26) 4-10.

Schmidt, U. (2003) Enhancing phytoextraction: the effect of chemical soil manipulation on mobility, plant accumulation and leaching of heavy metals. *J. Environ. Qual* 32:1939–1954.

SEMARNAT (2009) Programa para Mejorar la Calidad del Aire en la Región de la Comarca Lagunera 2010-2015

SEMARNAT (2009) Metales pesados. INSTITUTO NACIONAL DE ECOLOGÍA Y CAMBIO CLIMÁTICO, MÉXICO.

SMN (2014) Monitor de sequía en México (MSM) del Servicio Meteorológico Nacional

Seregin, IV., LK Shpigun., VB Ivanov. (2004) Distribution and toxic effects of cadmium and lead on maize roots. *Russian Journal of Plant Physiology* 51, 525–533

Srivastava, S y P Goyal. (2010). Novel Biomaterials: Decontamination of Toxic Metals from Wastewater. *Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-11329-1.*

Staszewski, T., W Lukasik., P Kubiesa. (2011). Contamination of Polish national parks with heavy metals. *Environ Monit Assess.*

Takatsuji, H. (1998). Zinc-finger transcription factors in plants. *CMLS, Cell. Mol. Life Sci.*, 54, 582–596.

The Microbiology of Drinking Water (2002) – Part 1 -(h2o) Water Quality and Public Health; Department of the Environment.

Third World Centre for Water Management. (2003). *El recurso hídrico en México: Análisis de la situación actual y perspectivas futuras.* México, D.F: Miguel Ángel Porrúa.

Thornton, I., D.J.A Davies., W. J. M. y Q. M. J. (1990). Lead exposure in young children from dust and soil in the United Kingdom. *Environ. Health Perspect.*, 89, 55–60.

Tilley, E., L Ulrich., C Luethi., P Reymond., C Zurbruegg. (2014). Aerated pond. Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology), Dorothee Spuhler (see con international gmbh).

Treidel, H., J.J Martin-Bordes., J. J Gurdak. (2012). *Climate Change Effects on Groundwater Resources: A Global Synthesis of Findings and Recommendations. International Association of Hydrogeologists (IAH) – International Contributions to Hydrogeology. Taylor & Francis publishing.*

Tudoreanu, L y CJC Phillips. (2004) Modelling cadmium uptake and accumulation in plants. *Adv.Agron*84:121-157.

Vázquez Arroyo J., M Quantin., B Roy., A Moreno R. (2012). Emisión de metano causado por el ganado y el estiércol en la Comarca Lagunera: Impactos ambientales y oportunidades para la producción de biogas. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 11, 45–50.

Verma, S and Dubey, R.S. (2003) Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science* 164, 645-655.

Wang, FY., XG Lin., R Yin. (2007) Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Inoculation on Heavy Metal Accumulation of Maize Grown in Naturally Contaminated Soil. *International Journal of Phytoremediation* 9 (4):345–353.

WHO (1997) Water pollution control. A guide to the use of water quality management principles. Pp 526. ISBN 0419229108.

WHO (2015) Ten Chemicals of Major Public Health Concern. International Programme on Chemical Safety.

Yankel, AJ., IH von Lindern., S Walter. (1977). The Silver Valley lead study: the relationship between childhood blood lead levels and environmental exposure. *J Air Pollut Control Assoc.*, 27 (8), 736–67.