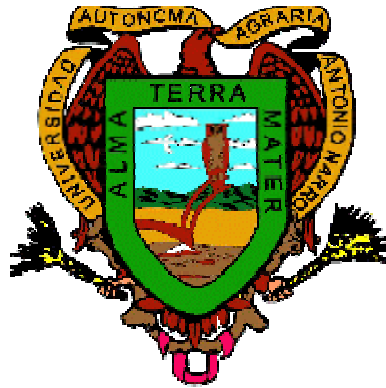


**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES PLANTAS
TRATADORAS CON FINES DE RIEGO**

EDGAR PAUL RAMÍREZ LÓPEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MEXICO

MARZO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

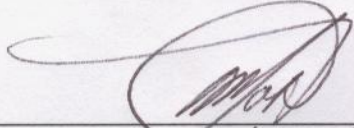
EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES PLANTAS
TRATADORAS CON FINES DE RIEGO

TESIS DEL C. EDGAR PAUL RAMÍREZ LÓPEZ QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ PARTICULAR DE ASESORÍA Y
APROBADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

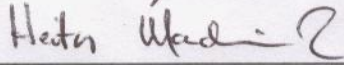
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

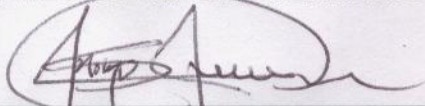
ASESOR PRINCIPAL:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:

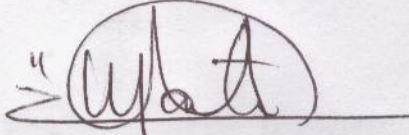

DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:

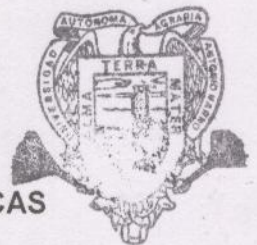

DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

ASESOR:


DR. ALFREDO OGAZ


M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MEXICO

MARZO DE 2010

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD DEL AGUA DE TRES PLANTAS
TRATADORAS CON FINES DE RIEGO

TESIS DEL C. EDGAR PAUL RAMÍREZ LÓPEZ QUE SE SOMETE A LA
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO
PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

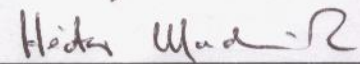
INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR:

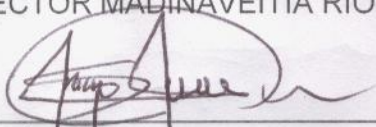
PRESIDENTE:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

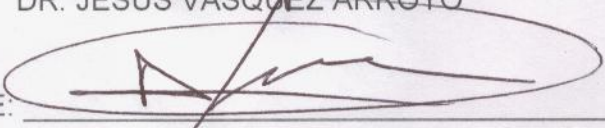
VOCAL:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:


DR. JESÚS VÁSQUEZ ARROYO

VOCAL SUPLENTE:


DR. ALFREDO OGAZ


M.C. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División
de Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MEXICO

MARZO DE 2010

DEDICATORIAS

A MI DIOS

Por ser tan misericordioso, por su protección, por su compañía, por el gran amor que me tiene y por darme la sabiduría necesaria para estar con ÉL. A ti mi SEÑOR JESUS que nunca limitaste tu misericordia, Gracias mí Dios por darme esta linda etapa de mi vida. Llenas mi corazón de gozo y alegría. Fiel a eres TU.

A MI MAMITA PRECIOSA

A ti preciosa dama por ser la persona mas linda y hermosa de esta tierra, nunca habrá otro ser que pueda igualar el amor que tú me das. Te doy las gracias por confiar en mí, eres lo más precioso que tengo en esta vida. Especialmente para mi mamita más hermosa **Ana Lilia López Reyes.**

A MI FAMILIA.

Erika, Santiago, Iris, Josué, Lizbeth y a la pequeñita Fabiola. Gracias por confiar en mí. Los quiero mucho, gracias por ser tan lindos conmigo.

MIS HERMANOS (A).

Gracias a mi Dios por poner en mi camino a personas hermosas como **Hna. Lili, Hna. Julia, Hna. Anita, Hna. Imelda, Hna. Bertha, Hna. Cande, Hna. Agar** que me brindaron su cariño y me abrazaron en tiempos difíciles Gracias.

A MIS AMIGOS

Paco, Karina, Nayeli, René, Lucia, Rosario, Pacho, Cristian, Marvel, Anita, Polita, Selene. A todos en particular los que en algún momento me dieron palabras de ánimo GRACIAS a todo

AGRADECIMIENTOS.

A mi Dios primeramente por darme la sabiduría necesaria para poder lograr este sueño tan lindo, por su amor y su misericordia que me ha brindado y me brindará por el resto de mi vida.

A mi universidad Autónoma Agraria Antonio Narro por la estancia y la oportunidad de realizar mi carrera como Ing. Procesos Ambientales, por darme las herramientas necesarias para un mejor futuro.

Al Doc. Mario García Carrillo por ser mi asesor principal, por su apoyo incondicional, por su paciencia, por compartir su conocimiento en la realización de este proyecto, por su amistad y por sus grandes consejos
GRACIAS.

A la empresa MET-MEX Peñoles, por ser parte importante de esta investigación al brindarme las herramientas necesarias para el desarrollo de este proyecto.

A la Ing. Amalia Ortega, por su apoyo incondicional y su orientación para este proyecto.

Al Doc. Héctor Madinaveitia Ríos, por toda su amistad, por su enseñanza durante toda mi carrera, por su participación en la realización de este proyecto.

Al Doc. Jesús Vásquez Arroyo. Por su apoyo, confianza y por ser participe de este trabajo.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁG.
ÍNDICE GENERAL	I
ÍNDICE DE CUADRO	IV
RESUMEN	V
I. INTRODUCCION	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 HIPÓTESIS	2
II. REVISION DE LITERATURA	3
2.1 El agua	3
2.2 Principales crisis de agua en México	3
2.2.1 Crisis de la calidad del agua	4
2.3 Principales causas de contaminación del agua en México	4
2.4 Escasez y demanda de agua en México	5
2.5 Escasez y demanda de agua en Torreón Coahuila	5
2.6 Agua de irrigación en México	6
2.7 Uso del agua en Torreón. Coahuila	7
2.8 Contaminación del agua	7
2.9 Principales Fuentes de contaminación	8
2.10. Contaminación de agua por fuente puntual	8
2.11 Contaminación de agua fuentes no puntuales	8
2.12 Fuentes de contaminación del agua en Torreón, Coahuila	9
2.13 Contaminación de Aguas subterráneas	9
2.13.1.- Principales fuentes de contaminación del agua subterránea .	10
2.14 El Agua residual	11
2.14.1 Composición de las aguas residuales	11
2.15 Características químicas del agua residual	12
2.16 Constituyentes inorgánicos	12
2.17 Constituyente orgánicos	12
2.17.1 pH	12
2.17.2 Conductividad eléctrica	13
2.17.3 Demanda bioquímica de oxígeno	13
2.17.4 Oxígeno disuelto	14
2.18 Metales pesados	14
2.19 Tratamientos de aguas residuales	14
2.19.1 Tratamiento primario	15
2.19.2 Tratamiento secundario	15
2.20 Tratamientos biológicos de las aguas residuales	16
2.20.1 proceso aerobio	16
2.20.2 proceso anaerobio	17
2.21 Tratamiento avanzado o terciario	18
2.21.1 Procesos de membrana	18
2.21.2 Intercambio iónico	18

2.21.3 Adsorción con carbón activo	19
2.21.4 Procesos de oxidación	19
2.21.5 Precipitación química	19
2.22 Calidad de agua para riego	19
2.23 Clasificación del agua de riego	20
2.24 Salinidad	21
2.25 Principales iones presentes en el agua de riego.....	21
2.26 Legislación para la contaminación del agua en México	23
2.26.1 Normatividad ambiental en materia de contaminación del agua	
2.26.2 NOM-001-SEMARNAT- 1996	23
2.26.3 NOM-002-SEMARNAT- 1996	23
2.26.4 NOM-003-SEMARNAT- 1996	24
III.- MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1.1 Localización del área de estudio	25
3.2 Toma de muestra de agua	25
3.3 Método para determinar los metales pesados en agua	25
3.4 Métodos para determinar las características físicas y químicas del agua	26
3.5 Método para determinar la calidad del agua con fines de riego	27
3.6 Análisis microbiológico. Determinación de Coliformes fecales por la técnica del Numero Mas Probable (NMP)	28
3.7 Muestro de suelo.....	29
3.8 Método para la determinación de metales pesados en suelo	29
3.9 Método para la determinación de las características físicas y químicas del suelo.....	30
3.10 Análisis estadístico.....	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
4.1.1 Evaluación de metales pesados	31
4.1.2 Evaluación de aniones y cationes	34
4.1.3 Determinación de los parámetros para determinar la calidad de agua con fines de riego en la planta tratadora 1	37
4.1.4 Comparación de los resultados obtenidos en la planta tratadora 1 con la metodología propuesta por Palacios y Aceves (1970).....	38
4.1.5 Determinación de los parámetros para determinar la calidad de agua con fines de riego en la planta tratadora 2	41
4.1.6 Comparación de los resultados obtenidos de la planta tratadora 2 con la metodología propuesta por Palacios y Aceves (1970).....	43
4.1.7 Determinación de los parámetros para determinar la calidad de agua con fines de riego en la planta tratadora 3	44
4.1.8 Comparación de los resultados obtenidos en la planta tratadora 3 con la metodología por Palacios y Aceves (1970).....	45
4.1.9 Evaluación de Nitratos	48
4.1.10 Evaluación de Coliformes Totales.....	51

4.2 Variables evaluadas en el suelo del área Verde	53
4.3 Evaluación estadística de los metales pesados en las plantas tratadoras de agua	57
V. CONCLUSIÓN	58
RECOMENDACIÓN	59
LITERATURA CITADA.....	60
APÉNDICE	71

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadros		PÁG.
1	Resultados de los análisis de metales pesados en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos (Mg/l)	33
2	Límites Máximos Permisibles para Metales Pesados en cuanto al uso de riego agrícola y su uso al público urbano en su promedio mensual de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT- 199	34
3	Resultados de los análisis de aniones y cationes en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos (meq/l).....	36
4	Parámetros medios para la determinación de la calidad de agua (Confederación Hidrográfica)	37
5	Resultados de los análisis de Conductividad Eléctrica en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos (μ S/cm).....	40
6	Clasificación del agua con fines de riego para cultivos agrícolas propuesta por Palacios y Aceves en (1970) (meq/l).....	41
7	Clasificación de las aguas, según la salinidad del agua de riego de acuerdo a James et al., (1982).....	47
8	Resultados de la concentración de Nitratos en las tres plantas tratadoras de los siete muestreos (ppm)	48
9	Resultados de los análisis de PH en as tres planta tratadoras en los siete muestreos	50
10	Resultados de los análisis de Coliformes Totales en las tres plantas tratadoras durante los siete muestreos (NMP/100).....	51
11	Resultados de la concentraciones de metales pesados en la muestras de suelo y los limites máximos permisibles (Mg/kg).....	53
12	Resultados del análisis fisicoquímico en las muestras de suelo	55
13	Análisis de Varianza elementos con mayor significancia	57

RESUMEN

La concentración de sales, nitrato, metales pesados así como de coliformes define la calidad del agua de riego. El objetivo de este trabajo fue evaluar la calidad del agua de tres plantas tratadoras de la empresa Met-Mex Peñoles para su uso con fines de riego, se tomaron muestras de agua durante siete meses para determinar las concentraciones de metales pesados, Coliformes totales y sales; se tomaron muestras de suelo del área verde de la empresa Met-Mex Peñoles para determinar las características fisicoquímicas y metales pesados. Los resultados mostraron que la concentración de Cadmio en las plantas tratadoras 1 y 3 esta arriba de la norma NOM-001-SEMARNAT- 1996. En las determinaciones de Coliformes y Nitratos el tipo de agua de las tres plantas tratadoras sobrepasa la norma NOM-003-SEMARNAT- 1996 y la NOM-127-SSA1-1994 respectivamente. De acuerdo a la clasificación de Palacios y Aceves (1970) el de agua de las tres plantas tratadoras se considera inadecuada para su uso como agua de riego. El análisis de varianza mostro que los metales con mayor significancia ($\alpha = 0,05$) fueron: Fierro, Zinc y Cadmio. Los resultados de suelos para metales pesados el Plomo, Arsénico y Cadmio sobrepasan la norma NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004. De acuerdo a lo establecido por Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) el suelo tiene grandes concentraciones de sales.

Palabras claves: calidad del agua, salinidad, metales pesados, nitratos, coliformes totales.

I.- INTRODUCCION

La calidad del agua se ha deteriorado rápidamente en muchas regiones del mundo, la contaminación de agua (superficial y subterránea), es ahora un grave problema al medio ambiente y a la salud humana (White y Rasmussen, 1998; Wu, 2005). La mala calidad de las agua superficiales y subterránea son principalmente por los vertimientos de aguas servidas domésticas, residuos industriales líquidos, actividad agrícola que genera la contaminación en el recurso hídrico (Paredes, 2004, Cerqueira *et al.*, 2007).

Hoy en día los cuerpos de agua son un motivo de gran preocupación los cuales están expuestos a las descargas de aguas residuales procedentes de los diferentes sectores. En México solo un bajo porcentaje de aguas residuales son tratadas, la mayor parte de las aguas residuales son utilizados para riego sin un tratamiento previo, lo que representa un serio peligro para la salud humana y al ambiente (Reynolds, 2002).

La Comarca Lagunera es una región en la que el agua es un recurso escaso ya que las precipitaciones son muy bajas y la demanda es mayor que la recarga de los cuerpos de agua de allí su importancia por la reutilización. La concentración de metales pesados y sales contaminantes, ha originado una creciente disminución en la calidad del agua (García, 2007). En este trabajo se analizó el agua de tres plantas tratadoras de la empresa Met-Mex Peñoles, durante siete meses para estimar la calidad de agua de acuerdo a sus propiedades fisicoquímicas, concentraciones de metales y análisis

microbiológicos para su uso con fines de riego considerando las características fisicoquímicas del suelo.

1.1 OBJETIVOS

- # Determinar la calidad física, química y microbiana de tres plantas tratadoras de agua de la empresa Met-Mex Peñoles.

- # Definir la conveniencia de reutilizar el agua para fines de riego de áreas verdes.

1.2 HIPÓTESIS

- # La calidad de agua de las plantas tratadoras de la empresa Met-Mex peñoles es recomendable para riego.

II.- REVISION DE LITERATURA

2.1 El agua

El agua es un compuesto necesario e imprescindible para el ser humano, importante para la vida de la tierra (Rodríguez y Marín, 1999; Bravo, *et al.*, 2008). Toda la biosfera sobrevive gracias a ella (Brooks, 2004; Gutiérrez y Herrera, 2001). El agua es considerada como fuente de vida debido a su función esencial en los procesos biológicos y a su importancia como elemento fundamental del desarrollo (Marín, 2005).

2.2 Principales crisis de agua en México

De mantenerse las tendencias demográficas de México, se espera que para el 2020, la población mexicana ascienda a cerca de 120 millones, de los cuáles, más del 75 % se localizará en comunidades urbanas con ello, crecerá las demandas de bienes y servicios, entre las cuales se encuentra en consumo de agua en el país, mismo que pasará a 98.1 Km³ para el 2020, lo que implica un incremento del 22.5%. Destacando los consumos del sector agrícola y doméstico en el orden del 76.1 y 17 % respectivamente (Bosch-Guha, 2002).

Las demandas de agua para consumo agrícola y doméstico conllevan a un aumento en el volumen de aguas residuales, mismas que se incrementarán para el periodo citado a 26.5 Km³. El tratamiento de las aguas residuales de origen doméstico e industrial (10.1 Km³) requerirán inversiones del orden de los 4,350 millones de dólares y 3,190 en gastos de operación (Bosch-Guha, 2002).

La desigualdad social respecto al acceso y disponibilidad del agua, aunada a la pérdida de la calidad para su utilización directa de la fuente han sido el origen de la crisis del agua en México (Hernandez, *et al.*, 2008).

2.2.1 Crisis de la calidad del agua

La calidad del agua es resultado de la actividad humana, los diferentes procesos industriales, urbanos o agrícolas vierten diversos tipos de sustancias en concentraciones tales que la naturaleza no es capaz de incorporarlos al medio ambiente, este problema ocasiona que el agua aunque esté disponible, no pueda ser utilizada, por lo tanto estas condiciones deterioran el ecosistema (Mulvaney, *et al.*, 2001).

2.3 Principales causas de contaminación del agua en México

Las causas de contaminación microbiológica por desechos de aguas municipales no tratadas; por sustancias químicas de desechos industriales; por fertilizantes y pesticidas; por intrusión salina. Lo que provoca que el agua de las fuentes contaminadas no pueda ser utilizada para fines humanos y que las especies que viven en los cuerpos de agua en esas condiciones se estén extinguiendo, afectando el ciclo hidrológico (García y Martínez 2009).

La contaminación, que en la mayoría de los casos es un subproducto del desarrollo y del crecimiento económico, trae consigo problemas de salud a la sociedad al inducir todo tipo de enfermedades causadas, ya sea por un agente agresor o como enfermedades del tipo crónico degenerativo, donde lamentablemente el sector marginado es el que menos medios tiene para defenderse de tales circunstancias (Toledo, 2002).

En la medida en que aumentan los niveles de contaminación en el agua, se va perdiendo la capacidad de utilizarla en actividades de uso humano, por otra parte, desde el punto de vista ambiental, la contaminación se traduce en deterioro de los ecosistemas que a su vez provoca cambios evidentes en el ciclo hidrológico repercutiendo en la disponibilidad (CNA, 2007).

2.4 Escasez y demanda de agua en México

El uso del agua aumentará en función del crecimiento e intensidad de las actividades económicas del país, el crecimiento demográfico, industrialización y urbanización, están agotando y contaminando los lagos, ríos y acuíferos de forma irreversible. Los posibles escenarios de demanda permiten perfilar políticas de manejo y prever estrategias institucionales para enfrentar necesidades cada vez mayores, bajo presiones de sobreexplotación de fuentes y escasez recurrente del líquido (Brook, 2004).

En las regiones árida a semi-árida de norte de México se encuentran las ciudades más grandes del país, así como las principales concentraciones de actividad industrial y agrícola la distribución espacio-temporal del agua es cada vez más limitada para los diversos usos. (Rosas, *et al.*, 2009).

2.5 Escasez y demanda de agua en Torreón Coahuila

En la Comarca Lagunera los mantos freáticos, el agua captada y almacenada en las presas en los últimos años ha tenido gran sobreexplotación, lejos de resolverse, ha crecido una mayor demanda de agua (García, 2007). Lo cual ha generado un recurso no sustentable, pues la extracción es mayor que la capacidad de recarga (Soria, *et al.*, 2006).

La disponibilidad efectiva del agua se ha reducido por los desequilibrios que ocasiona el crecimiento de la demanda, uso ineficiente y el aumento de los niveles de contaminación (IMTA, 2003). En la Comarca Lagunera existe competencia por el agua entre los diferentes consumidores. Dicha competencia es determinada por la baja disponibilidad del recurso y la existencia de diferentes usuarios como la agricultura de riego por bombeo y de gravedad, el sector residencial, ganadería y la industria (Soria, *et al.*, 2006).

2.6 Agua de irrigación en México

México se considera uno de los primeros países del mundo con necesidades de irrigar las zonas de cultivo (CNA, 2006). El rápido crecimiento de la población, ha hecho que el empleo eficiente del agua de riego sea de importancia vital, particularmente en los países más pobres donde el mayor potencial para aumentar la producción alimentaria y los ingresos rurales se encuentra frecuentemente en las zonas de riego (Rojas, 2000)

Las pérdidas en la actividad de riego son muy altas, sobre todo en el proceso de extracción, 35% se desperdicia por evaporación o por fallas durante la conducción (CNA, 2003). También existen desperdicios y mal aprovechamiento en donde se emplea el riego por inundación sin control y además ocasiona salinización en los suelos (Pérez, 2006).

2.7 Uso del agua en Torreón. Coahuila

En la Comarca Lagunera las altas demandas de consumo de agua para el uso urbano e industrial han generado la necesidad de investigar y adoptar nuevas tecnologías que permitan un mejor aprovechamiento de este recurso (Aguirre, *et al.*, 2000).

El uso urbano proviene del crecimiento de la población, con 1249 millones de personas y 289 mil viviendas en el año 2009. La demanda de agua para uso industrial proviene del crecimiento de la industria, compuesta de 15 parques y más de 871 empresas. El crecimiento de estos sectores ha disminuido el agua para uso agrícola, por lo que la superficie actual depende de la disponibilidad de agua rodada (Salazar, *et al.*, 2006).

2.8 Contaminación del agua

La contaminación del agua, es el resultado de la descarga incontrolada de aguas residuales sobre las corrientes o masas de aguas. Las actividades agrícolas e industriales y la urbanización han provocado un aumento de la demanda y una contaminación de los recursos hídricos (Jeevanandam, 2006).

Los diseños inadecuados, la mala planificación, la mala administración y el funcionamiento incorrecto de los sistemas de riego son las razones principales para el deterioro la calidad del agua, en particular en zonas áridas y semiáridas (Yesilnacar y Gulluoglu, 2007).

2.9 Principales fuentes de contaminación

Las mayores fuentes de contaminación del agua son los desechos de agua doméstica, los escurrimientos industriales, el escurrimiento de la tierra labrada, la depositación atmosférica, la filtración de las operaciones de minas y los rellenos sanitarios las cuales se dividen en fuente puntual y fuente no puntual (Olmos, *et al.*, 2002).

2.10 Contaminación de agua por fuente puntual

Es claro que los problemas de contaminación en los cuerpos de agua, se deben principalmente a las descargas puntuales que son vertidas sin previo tratamiento, y a las que pasan por algún proceso de tratamiento remueven ligeramente los contaminantes, debido a una baja eficiencia de remoción, o que el sistema de tratamiento no es el adecuado para el tipo de compuestos que se descargan (Favela, 2001).

Las fuentes puntuales descargan contaminantes en localizaciones específicas a través de tuberías o alcantarillas a cuerpos de agua superficial (Nebel y Wright, 1996).

2.11 Contaminación de agua fuentes no puntuales

Son grandes áreas de terreno que descargan contaminantes al agua superficial y subterránea sobre una región extensa, y partes de la atmósfera donde los contaminantes son depositados en las aguas superficiales (CONAGUA, 2004).

La contaminación de los mantos de aguas superficiales puede ocurrir por fuentes no puntuales y por fuentes puntuales, la principal fuente no puntual de contaminación del agua es la agricultura (Romero, *et al.*, 2009).

2.12 Fuentes de contaminación del agua en Torreón, Coahuila

En Torreón, Coahuila las fuentes relacionadas con la contaminación del agua están en relación con el uso de químicos, la agricultura, el incremento de la población, la industria minera. Como consecuencia, mayor volumen de aguas residuales que contienen microorganismos patógenos, compuestos orgánicos e inorgánicos tóxicos, metales pesados y solventes, residuos sólidos municipales e industriales, que tienen gran incidencia en la calidad del agua, (Fuente, 2009).

La sobreexplotación de los acuíferos, y la calidad del agua es cada vez más baja. La disponibilidad efectiva del agua se ha reducido por los desequilibrios que ocasiona el crecimiento de la demanda, uso ineficiente y el aumento de los niveles de contaminación (IMTA, 2003).

2.13 Contaminación de aguas subterráneas

La degradación de la calidad de las aguas subterráneas y el riesgo de contaminación cada vez se convierte en el principal problema (Ascencio y Santiago, 2002). Ésta se presenta cuando hay una gran diversidad de usos y no hay un control en las fuentes contaminantes, como lo son la agricultura, la urbanización y la industrialización (Aguilar, 2009).

La explotación intensiva de las aguas subterráneas ha provocado una serie de contaminación de diversa índole en los acuíferos (Andreu, 2008). La sobreexplotación y contaminación de las aguas subterránea, la demanda de

agua subterránea pone de relieve la importancia que adquiere conocer si la calidad del agua subterránea está siendo alterada, pues esto que puede repercutir a mediano y largo plazo en la salud de la población abastecida (Huaiquilaf, 2009).

La explotación del agua subterránea en la Comarca Lagunera, ha provocado el descenso progresivo de los niveles piezométricos y esto a su vez, la migración de aguas subterráneas con concentraciones de arsénico superiores a la establecida por la Norma Oficial Mexicana vigente (NOM-127-SSA1-1994) para uso y consumo humano (Flores, *et al.*, 2008).

2.13.1 Principales fuentes de contaminación del agua subterránea

Los diferentes usos del suelo, sobre todo la agricultura, la urbanización y las industrias son fuentes principales de contaminación del agua subterránea, por lo que el uso no controlado de agroquímicos y la disposición inadecuada de los desechos son las principales fuentes de contaminación, (Perdomo, *et al.*, 2005).

La contaminación de suelos puede poner en riesgo especialmente la calidad de las aguas subterráneas por el proceso conocido como lixiviación y que consiste en el drenado y filtración de contaminantes a través del suelo hasta la tabla de agua (Aguilar, 2009). El deterioro de los mantos acuíferos ha comenzado a afectar la producción del norte de México.

En la Comarca Lagunera el agua es un recurso escaso, debido a la extracción del agua de los mantos freáticos es mayor a la recarga, lo cual ha generado una sobreexplotación de los acuíferos (CNA, 2006). La explotación

intensiva del acuífero principal de la Región Lagunera, Coahuila ha provocado en las últimas décadas el avance de los frentes de arsénico, la reducción de los niveles de bombeo y la disminución de los caudales de extracción, en especial en la zona donde se abastece de agua a la población (Ojeda y Flores, 2004).

2.14 El Agua residual

Las Aguas residuales tienen una composición variada proveniente de las descargas de usos municipales, industriales, comerciales, agrícolas, pecuarios, domésticos y similares, así como la mezcla de ellas (NMX-AA-079-SCFI-2001). La composición del agua puede ser muy variada según su origen, las impurezas que predominan pueden ser arenas, grasas, materia orgánica suelta, materia inorgánica, metales pesados y microorganismos. La contaminación es provocada por la presencia en el ambiente de uno o más contaminantes o cualquier combinación de ellos que perjudiquen o resulten nocivos a la vida, la flora o la fauna, o que degrade la calidad del agua y suelo (Olmos, *et al.*, 2002).

2.14.1 Composición de las aguas residuales

Para determinar la composición de las aguas residuales se realizan diversas medidas físicas, químicas y biológicas, entre las que se incluyen la determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO), la demanda química de oxígeno (DQO), el pH, el nitrógeno total, los sólidos suspendidos totales, los organismos coliformes totales y los organismos coliformes fecales (Torres, *et al.*, 2006).

2.15 Características químicas del agua residual

Los contaminantes en las aguas residuales son normalmente un mezcla completa de compuestos orgánicos e inorgánicos (varila, 2008). En cuanto a su composición química, la materia orgánica presenta entre el 55 y 60 % del total de sólidos presentes y de inorgánico entre el 40 y 45 %, esta importante producción de materia orgánica representa una fuente de energía disponible aprovechable para muchos organismos en condiciones aerobias o anaerobias (Zhao, *et al.*, 2006).

2.16 Constituyentes inorgánicos

Los constituyentes inorgánicos incluyen elementos de diversos productos disueltos o dispersos en el agua que provienen de descargas domésticas, agrícolas e industriales o de la erosión del suelo. Los principales son cloruros, sulfatos, nitratos, carbonatos, sulfatos y metales pesados (Crites, *et al.*, 2002).

2.16 Constituyentes orgánicos

Los constituyentes orgánicos son agregados que comprenden gran cantidad de compuestos que no pueden ser distinguidos en forma separada, de gran interés en el tratamiento, vertido y reutilización del agua residual igual que los constituyentes orgánicos específicos (Crites, *et al.*, 2002).

2.16.1 pH

El pH de las soluciones acuosas es de importancia en la industria para definir la calidad de agua. El control de esta variable es en general difícil de realizar debido a la dependencia altamente no lineal entre los reactivos que

ingresan al sistema y el pH que se establece. Esta no linealidad ya aparece en la definición, puesto que

$$pH = -\log(H^+) \text{ (Amaya, 2004).}$$

El valor de pH 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-008-SCFI-2000).

2.17.2 Conductividad eléctrica

Ésta sirve para conocer rápidamente las variaciones de las concentraciones de los minerales disueltos en las muestras de aguas crudas o de desechos (Acevedo, *et al.*, 2004).

El valor de la 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-SCFI-2000).

2.17.3 Demanda bioquímica de oxígeno

Es una estimación de la cantidad de oxígeno que requiere una población microbiana heterogénea para oxidar la materia orgánica. Se basa en medir el oxígeno consumido por una población microbiana en condiciones en las que se ha inhibido los procesos fotosintéticos de producción de oxígeno en

condiciones que favorecen el desarrollo de los microorganismos (NMX-AA-028-SCFI-2001).

2.17.4 Oxígeno disuelto

El oxígeno disuelto en aguas residuales depende de las actividades químicas, físicas y bioquímicas en los cuerpos de aguas (NMX-AA-012-SCFI-2001).

2.17 Metales pesados

Los metales pesados son de importancia en el medio ambiente por su trascendencia en la contaminación de suelos, cuando sus concentraciones son mayores a su composición geoquímica, la contaminación se origina por el resultado de las actividades del hombre por actividades industrial, minería y agrícola. Los metales pesados son de gran peligrosidad y pueden ocasionar daños a la salud humana con una leve exposición (Loiácono, *et al.*, 2005).

Dentro de los más importante podemos destacar Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cromo (Cr), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Níquel (Ni), Plomo (Pb), Zinc (Zn) (AIDIS, 2002).

2.19 Tratamientos de aguas residuales

Es el proceso por el cual los sólidos que contienen los líquidos son separados parcialmente, siendo que el resto de los sólidos orgánicos complejos queden convertidos en sólidos minerales o en sólidos orgánicos relativamente estables, la magnitud de este cambio depende del tipo de tratamiento empleado.

Una vez completado el proceso del tratamiento es necesario disponer los líquidos y sólidos que se hayan separados. El proceso empleado en las plantas de tratamiento suelen clasificarse como: tratamiento primario, secundario y terciario (Reynolds, 2002; Rigiola, 1999).

Un tratamiento de desinfección para la eliminación de coliformes fecales y microorganismos patógenos persistentes después del tratamiento secundario son: Cloración, rayos Ultravioleta y Ozonización (Palacios, 2009).

2.19.1 Tratamiento primario

Este tratamiento consiste en la eliminación por medio de operaciones físicas como la filtración, cribado, neutralización, sedimentación, floculación, desarenado y desaceitado. Con el objetivo de la eliminación de sólidos en suspensión, coloides, metales pesados, aceites y grasas que se encuentran en el agua residual, este tratamiento es básicamente la remoción de los sólidos suspendidos y DBO en las aguas residuales, mediante el proceso físico de asentamiento (Ortiz y Casas, 2007).

El tratamiento primario actúa, fundamentalmente, sobre los sólidos suspendidos presentes en el agua residual, no así sobre los sólidos disueltos. Estos sólidos orgánicos contaminantes, al ser microscópicos, solo pueden ser removidos a través de acción biológica o tratamiento secundario.

2.19.2 Tratamiento secundario

En este proceso de tratamiento, se realiza la reducción de la carga orgánica, reflejada en la Demanda Bioquímica de Oxígeno, mediante la acción de las bacterias o microorganismos que son los encargados de degradar la

materia orgánica presente en el agua residual después del tratamiento primario, mediante la acción de una biomasa activa, especialmente bacterias que actúa a través de procesos de absorción biológica, mecanismo que efectúan las bacterias a través de su membrana citoplásmica, con reacciones bioquímicas catalizadas por enzimas, que permiten utilizar los sólidos disueltos como fuente de energía, de tal manera que una vez aprovechados, son transformados en sólidos mineralizados o estabilizados, permitiendo la preparación del agua para su posible tratamiento terciario o avanzado (Manuel y López, 2005).

2.20 Tratamientos biológicos de las aguas residuales

Los tratamientos secundarios son procesos biológicos, en los que la depuración de la materia orgánica biodegradable del agua residual se efectúa por la actuación de microorganismos (fundamentalmente bacterias), que se mantienen en suspensión en el agua o bien se adhieren a un soporte sólido formando una capa de crecimiento.

Los procesos biológicos pueden ser de dos tipos principales: aerobios y anaerobios (en ausencia de aire), en estos procesos las variables a controlar son temperatura (en anaerobios esencialmente), oxígeno disuelto, el pH, nutrientes, sales y la presencia de inhibidores de las reacciones (Eco, 2007).

2.20.1 Proceso aerobio

Los más empleados son el de lodos activados y tratamientos de bajo costo: los filtros percoladores, biodiscos, biocilindros, lechos de turba, filtros verdes y lagunas (este sistema se puede considerar como “mixto”, ya que se

dan tanto en procesos aerobios como anaerobios, dependiendo de la profundidad).

La zona aerobia tiene como función principal la de oxidar la materia orgánica, oxidar amoníaco a nitrato y luego a nitrito, así como proporcionar un ambiente en la cual la biomasa puede asimilar los fosfatos liberados en la zona anaerobia más el que entra con el efluente (Manuel y López, 2005). Si la concentración de la demanda de oxígeno en la zona aerobia es insuficiente, la eliminación de fósforo puede verse reducida debido a una asimilación aerobia incompleta; así mismo se perjudicaría la nitrificación y podría producirse una mala sedimentación del fango (Eco, 2007).

2.20.2 Proceso anaerobio

La descomposición de la materia orgánica por las bacterias se realiza en ausencia de aire, utilizándose reactores cerrados; en un proceso anaerobio, la mayoría de las sustancias orgánicas se convierte en dióxido de carbono y metano. Los productos finales de la digestión anaerobia son el biogás (mezcla gaseosa de metano, dióxido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y sulfuro de hidrógeno), que se puede aprovechar para la producción energética, y los lodos de digestión (compuestos no biodegradables y biomasa) (Leal, 2004; Servian. *et al.*, 2009).

2.21 Tratamiento avanzado o terciario

Consiste en la remoción de sustancias suspendidas y disueltas que permanecen después del tratamiento convencional, es decir elimina contaminantes específicos no removidos en el tratamiento secundario: fosfatos, nitratos, plaguicidas, sales, materia orgánica persistente, metales pesados. A fin de prevenir la contaminación de los cuerpos de agua receptores, o bien, obtener la calidad adecuada para el reúso, factor de importancia en la planeación de recursos hidráulicos donde el abastecimiento de agua es limitado (Vaca, *et al.*, 2005). Las principales técnicas son:

2.21.1 Procesos de membrana

En estos procesos el agua residual pasa a través de una membrana porosa, mediante la adición de una fuerza impulsora, consiguiendo una separación en función del tamaño de las moléculas presentes en el efluente y del tamaño de poro de la membrana.

Estos sistemas de membranas también son usados actualmente en alimentación de calderas, torres de enfriamiento y aguas de procesos en la industria química, petroquímica, generadora de electricidad (Blanck y Paz, 2005; Deocón, *et al.*, 2002).

2.21.2 Intercambio iónico

Sirve para eliminar sales minerales, las cuales son eliminadas del agua residual que atraviesa una resina, por intercambio con otros iones (H^+ en las resinas de intercambio catiónico y OH^- en las de intercambio aniónico) contenidos en la misma.

2.21.3 Adsorción con carbón activo

Esta práctica sirve para eliminar compuestos orgánicos. Se puede utilizar en forma granular (columnas de carbón activado granular GAC) y en polvo (PAC).

2.21.4 Procesos de oxidación

Sirven para eliminar o transformar materia orgánica y materia inorgánica oxidable. El principal proceso de oxidación es el proceso convencional de oxidación: se usan como oxidantes Ozono, Peróxido de Hidrógeno, Permanganato de potasio, Hipoclorito de sodio, Cloro y Oxígeno.

2.21.5 Precipitación química

Se basa en la utilización de reacciones químicas para la obtención de productos de muy baja solubilidad. La especie contaminante a eliminar pasa a formar parte de esa sustancia insoluble, que precipita y puede ser separada por sedimentación y filtración.

2.22 Calidad de agua para riego

Para conocer la calidad de agua para riego, no basta conocer su contenido en sales; es necesario analizar la naturaleza, su composición química y el tipo de cultivos, suelo y clima (Vargas, 2001).

El tipo de agua que se utilizada para riego está en relación con su calidad, así como el tipo de suelo, el tipo de agua debe cumplir con los límites máximos permisibles para agua de riego (Nom-01-ecol-2007), las concentraciones presentes en el agua y puede verse influida por el tipo de suelo (Hernández, *et al.*, 2003; Simsek y Gunduz, 2006).

En la Comarca Lagunera existe cada vez mayor concentración de sales contaminantes (Sulfatos, Cloruros y Arsénico), originando una creciente disminución en la calidad del agua. La falta de competitividad y eficiencia en los procesos de tratamiento, es lo que ha ocasionado una serie de efectos tanto a la salud humana como al medio ambiente (Fortis, *et al.*, 2004).

La necesidad del tratamiento de las aguas residual como una consecuencia de la civilización y el progreso caracterizado por el aumento de la densidad demográfica y la expansión industrial, que obliga a ciertas medidas sanitarias, entre estas, un control de la contaminación (Fawell y Nieuwenhuijsen, 2003).

2.23 Clasificación del agua de riego

Las respuestas que presentan las plantas y los suelos a la salinidad son altamente variables, por lo tanto, la clasificación del agua es relativa. Las altas concentraciones de sales solubles afectan el crecimiento óptimo en plantas afectando significativamente las propiedades coligativas de la solución a las que las raíces están expuestas, principalmente el potencial osmótico. La calidad de un agua de riego es subjetiva, ya que la calidad real viene determinada por las condiciones específicas de uso, y por numerosos factores externos tales como el cultivo, el clima, el suelo, el método y manejo del riego, etc. (Ruiz, 2008).

2.23 Salinidad

La salinidad puede definirse como la concentración de sales minerales disueltas presentes en el agua o en el suelo, referidas a unidades de volumen o de peso. El agua de riego contiene sales disueltas, cuyo tipo y cantidad dependerá de su origen y curso antes de ser utilizada. Los principales solutos son los cationes: Sodio (Na^+), Calcio (Ca_2^+), Magnesio (Mg_2^+) y Potasio (K^+), y los aniones: Cloro (Cl^-), Sulfatos (SO_4^{2-}), Bicarbonatos (HCO_3^-), Carbonatos (CO_3^{2-}) y Nitratos (NO_3^-) (Tanji, 1990).

Para medir la salinidad existen diferentes parámetros, para el caso del agua frecuentemente se expresa como conductividad eléctrica (CE) en decisiemens por metro (dSm^{-1}) o milimhos por centímetro ($\text{mmhos}/\text{cm}^{-1}$). (Burt, 1995; Ruiz, 2008). En cuanto al suelo, es considerado salino si la conductividad eléctrica del extracto de saturación (CEE) excede de 4 dSm^{-1} a $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (Ruiz, 2008).

2.25 Principales iones presentes en el agua de riego

El agua de riego puede contener iones que varían en su concentración. Los iones pueden ser cationes como el calcio, magnesio, sodio, y potasio o aniones como sulfatos, cloruros, carbonatos y bicarbonatos; algunos otros iones boro y nitratos. El calcio puede presentarse como carbonatos de calcio ligeramente soluble, sulfato de calcio moderadamente soluble. El agua con altas concentraciones de calcio es considerada como agua dura y no se considera como agua de uso doméstico, sin embargo, el agua dura se considera buena

para fines de riego ya que ayuda a mantener buenas condiciones físicas del suelo y facilitando la infiltración del agua (Glover, 1996)

De los cationes presentes en el agua, el sodio se considera el más dañino. A diferencia de las aguas que contienen altas concentraciones de calcio y magnesio, el agua con concentraciones altas de sodio es considerada blanda y generalmente no se emplea con fines agrícolas. El problema que puede ocurrir por usar agua con este catión repercute en suelos sódicos que presentan infiltración lenta y tiende a tapar la superficie dejando una apariencia brillante cuando son humedecidos. El sodio no solo afecta la estructura del suelo sino que también produce un efecto tóxico para la planta (Glover, 1996).

De los aniones presentes en el agua de riego, el ión sulfato no causa un daño en particular tanto en suelo como en plantas, regularmente, contribuye a incrementar la salinidad en el extracto de saturación del suelo. El sulfato es frecuentemente usado para manejar y mejorar suelos con problemas de sodio (Glover, 1996).

También, es común encontrar cloro como cloruros en las fuentes de agua. Es de difícil precipitación y al igual que los sulfatos el cloro contribuye a la salinización del suelo y en altas concentraciones resulta tóxico para las plantas. El proceso químico capaz de reducir o eliminar los cloruros es el intercambio aniónico, y algunos procesos físicos son la evaporación y ósmosis inversa (Glover, 1996).

2.26 Legislación para la contaminación del agua en México

Regida principalmente por el marco legislativo de la ley general del equilibrio ecológico y medio ambiente (LGEEPA) título IV, protección al ambiente, capítulo III, prevención y control de la contaminación del agua residual y de los ecosistemas acuáticos. (LEGEEPA, 2006).

2.26.1 Normatividad ambiental en materia de contaminación del agua

El comité consultivo de normalización tiene como objeto proponer, diseñar y aprobar la normatividad ambiental para el aprovechamiento sustentable, su conservación y restauración de los recursos naturales. Para la prevención y control de la contaminación del agua, se crearon normas oficiales mexicanas que establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga del agua residual.

2.26.2 NOM-001- SEMARNAT- 1996

Esta norma oficial mexicana, aprobada el 30 de octubre de 1996, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, con el objeto de proteger su calidad y posibilitar sus usos, es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. Esta norma oficial mexicana no se aplica a las descargas de aguas provenientes de drenajes pluviales independientes.

2.26.3 NOM-002-SEMARNAT- 1996

Esta norma oficial mexicana, aprobada el 6 de enero de 1997, establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal con el fin de

prevenir y controlar la contaminación de las aguas y bienes nacionales, así como proteger la infraestructura de dichos sistemas, y es de observancia obligatoria para los responsables de dichas descargas. esta norma no se aplica a la descarga de las aguas residuales domésticas, pluviales, ni a las generadas por la industria, que sean distintas a las aguas residuales de proceso y conducidas por drenaje separado .

2.26.4 NOM-003-SEMARNAT- 1996

Esta norma oficial mexicana, aprobada el 22 de abril de 1998, establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, con el objeto de proteger el medio ambiente y la salud de la población, es de observancia obligatoria para las entidades públicas responsables de su tratamiento y reúso. En el caso de que el servicio al público se realice por terceros, éstos serán responsables del cumplimiento de la presente norma, desde la producción del agua tratada hasta su reuso o entrega, incluyendo la conducción o transporte de la misma.

III.- MATERIALES Y MÉTODOS

3.1.1 Localización del área de estudio

El presente estudio se realizó en las instalaciones de la empresa Met-Mex Peñoles ubicada en la Col. L. Echeverría, Torreón, Coahuila de Zaragoza y los laboratorio del Departamentos de Suelos y Agroecología de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, citada en Periférico Raúl López Sánchez Km 2 en la Ciudad de Torreón, Coahuila, durante el período Mayo–Noviembre del 2009.

3.2 Toma muestra de agua

La toma de muestra se realizó en las tres plantas tratadoras de agua de la empresa Met-Mex Peñoles, la muestra de dos de las tres plantas fueron compuestas, y una muestra puntual. Éstas fueron depositadas en recipientes de plástico (Polipropileno) de 500 ml de capacidad e inmediatamente trasladadas al laboratorio certificado de la empresa Met-Mex Peñoles para la determinación de metales pesados. Los análisis fisicoquímicos y microbiológicos en los laboratorios de la UAAAN-U.L.

3.3 Método para determinar los metales pesados en agua

Para la determinación de los metales pesados las muestras se trasladaron al laboratorio central de la empresa Met-Mex Peñoles, para lo cual se utilizo el método de ICP- MS (Espectrometría de Masas con fuente de Plasma de Acoplamiento Inductivo)(March,1994).

3.4 Métodos para determinar las características físicas y químicas del agua

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

Carbonato y Bicarbonato, se utilizó el método ASTM D 1067-92, Propuesta por la sociedad americana de pruebas y materiales. Libro anual de las Normas (1994), por el procedimiento volumétrico titulado con ácido sulfúrico (H_2SO_4) al 0.01 N.

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

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

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

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

Sodio, se utilizó el aparato de aparato de absorción atómica PERKIN ELMER 2380

La Conductividad Eléctrica, se determino utilizando el Conductivímetro Orion mod-162 y el pH se hizo por medio del Potenciómetro Termo Orion mod-420.

3.5 Método para determinar la calidad con fines de riego

Para la determinación de la calidad de agua con fines de riego se utilizo la metodología propuesta por Palacios y Aceves (1970), la cual se determino de acuerdo al porcentaje de Carbonatos y Bicarbonatos.

Salinidad Potencial (SP), estima el peligro de las sales de Cloro y Sulfatos que pueden permanecer solubles al disminuir la humedad del suelo. Se calculó con la siguiente formula: $SP = Cl^- + \frac{1}{2} * So_4^{2-}$.

Salinidad Efectiva (SE), Es la estimación más real del peligro que presentan las sales solubles del agua de riego al pasar al formar parte de la solución del suelo. Se calculó con la siguiente formula: $SE = \text{suma de aniones} - (Co_3^{2-} + HCo_3^-)$.

Los indicadores del peligro de Sodio se calculo, la Relación de Absorción de Sodio (RAS), con la formula: $RAS = Na / [(Ca + Mg)/2]^{1/2}$ y el Carbonato de Sodio Residual (CSR) lo cual estima el riesgo de formación Carbonatos de Sodio después de la precipitación de Carbonatos de Calcio y Magnesio, se calculo con la siguiente la formula: $CSR = (Co_3^{2-} + HCo_3^-) - (Ca^{++} + Mg^{++})$.

3.6 Análisis microbiológico. Determinación de Coliformes Totales por la técnica del Número Más Probable (NMP)

Las muestras fueron tomadas en recipientes plásticos estériles de 500 ml y transportadas a 4°C inmediatamente hasta el laboratorio para su análisis.

De acuerdo con las especificaciones de la Norma Oficial Mexicana (NOM-112-SSA1-1995) bienes y servicios, determinación de bacterias coliformes. Técnica del Número Más Probable (NMP). Se prepararon series de tubos Durham con Caldo Lactosado (Difco) estériles (121 °C, 15 min), tres para cada una de las diluciones decimales empleadas (10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3}), un testigo sin inocular, un control abierto durante el desarrollo del procedimiento y un control positivo el cual se inocular con *Escherichia coli* (Bacteria coliforme Gram negativo) y uno negativo inoculado con *Staphylococcus aureus* (Bacteria, no coliforme Gram Positiva). En condiciones de esterilidad, se inocularon los tubos de la primera dilución con 10 ml, los siguientes tres con un ml y los últimos con 0.1 ml. Se incuban a 37 ± 2 °C por 24 y 48 horas. Los resultados positivos (producción de gas) se confirmar mediante la siembra de una asada de éstos a tubos Durham con caldo de confirmación, caldo Lactosa Bilis Verde Brillante (BRILA), e incubana a 37 ± 2 °C por 24 y 48 horas. Los resultados positivos (producción de gas) se reportan y se leen en el Cuadro 4 de la NOM-112-SSA1-1995. El resultado se expresó como Coliformes Fecales NMP/100 ml.

3.7 Muestreo de suelo

Se tomaron muestras de suelo de un área verde de la empresa Met-Mex Peñoles, la toma de la muestra fue en zig-zag de forma aleatoria para obtener muestras compuestas, con una profundidad de 0-30 cm, teniendo en cuenta la heterogeneidad del suelo, se dividieron en dos tipos de muestras, muestras con vegetación y muestras sin vegetación.

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

Para la determinación de los análisis de metales pesados (As, Cd, Cu, Zn, Cr, Ni, Pb, Hg) los análisis de suelos se realizaron en el laboratorio central certificado de la empresa Met-Mex Peñoles.

Para determinar las características físicas y químicas las dos muestras compuestas de suelo fueron trasladadas y analizadas en el laboratorio de suelos de la UAAAN-U.L.

3.8 Método para la determinación de metales pesados en suelo

Una vez que las muestras fueron trasladadas al laboratorio central de la empresa Met-Mex Peñoles, el método utilizado fue: el método 5030B digestión ácida de sedimentos, lodos y revisión de suelos (1996).

3.9 Métodos para la determinación de las características físicas y químicas del suelo

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

Densidad Aparente, se obtuvo aplicando el método de los agregados, se utilizó parafina como elemento impermeabilizante (Blake y Hartge, 1986).

Materia Orgánica, las muestras se secaron a temperatura ambiente, y se cernieron con un tamiz de 2 mm para homogeneizar, para determinar el contenido de materia orgánica se utilizó el método de Walkley y Black descrito por Nelson y Sommers (1982).

Conductividad Eléctrica (C. E.), se determinó por conductimetría en una solución extraída a la pasta de saturación (Bower, y Wilcox, 1965).

Textura, se determinó por el método de hidrómetro de Bouyoucos (1962).

pH del suelo por el método de conductimetría en una solución extraída a la pasta de saturación leída en el potenciómetro termo Orion Mod –420.

3.10 Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los resultados se utilizó un diseño completamente al azar en el que se determinó un análisis de varianza, usando el Microsoft SAS (2001) (Sistema de Análisis Estadístico).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1.1 Evaluación de metales pesados

Los resultados del análisis de los metales pesados: Plomo, Cobre, Zinc, Arsénico, Mercurio, Níquel, Cromo en las tres plantas tratadoras durante los siete muestreos se muestran en el Cuadro 1, se observa que las concentraciones de dichos elementos se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT- 1996 (Cuadro 2).

Esta norma establece para el caso del uso agrícola, valores máximos de 5 mg/l de Plomo, 2 mg/l de Níquel, 4 mg/l de Cobre, 10 mg/l de Zinc, 0.2 mg/l de Arsénico, 0.005 mg/l de Mercurio, y 0.05 mg/l Cromo, comparando las concentraciones de las tres plantas tratadoras se observan que las concentraciones más elevadas son para el Plomo 0.083, Níquel 0.129, Cobre 0.16, Zinc 0.16, Arsénico 0.162, Mercurio 0.004 y Cromo 0.035 mg/l. Los cuales están dentro de los límites máximos permisibles que la NOM-001-SEMARNAT-1996 establece para su uso en riego agrícola (Cuadro 2).

Caso contrario, se observa que la concentración del Cadmio de las plantadas tratadoras 1 y 3 (Cuadro 1). Los resultados promedios fueron de 0.644 y 0.792 mg/l respectivamente; los cuales son altos para la norma en cuanto a su uso de riego agrícola que establece 0.05 mg/l, esta diferencia se debe a una baja eficiencia en los procesos de las plantas tratadoras para la eliminación o disminución de este elemento. El Cadmio es uno de los metales pesados peligroso debido a su capacidad para acumularse en el suelo y en las

plantas en concentraciones que pueden ser perjudiciales para la salud de las personas (Blanck y Paz, 2005).

En relación a las concentraciones de Arsénico y Cadmio de las tres plantas tratadoras en los diferentes muestreos como se muestra en el Cuadro 1 fueron superiores a los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-001-SEMARNAT-1996 para uso público urbano (Cuadro 2). Estos resultados coinciden con lo reportado por Hernández, *et al.*, (2008), quienes estudiaron los niveles de Plomo, Cadmio, Zinc y Arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca, mencionan que las concentraciones elevadas de Cadmio y Arsénico están siempre en relación con la actividad minera o industrial.

Los resultados de las concentraciones de los metales pasados; Plomo, Cobre, Zinc, Mercurio, Níquel, Cromo y Fierro, como se muestran en el Cuadro 1 durante los siete muestreos, en el se observa que las concentraciones de dichos elementos se encuentran dentro de la NOM-001-SEMARNAT- 1996 para su uso público urbano (Cuadro 2).

Cuadro 1. Resultado de los análisis de metales pesados en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos (Mg/l)

Tratamientos	Repeticiones							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
Plomo								
planta 1	0.03	0.02	0.01	0.03	0.05	0.08	0.18	0.057
planta 2	0.21	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.04
planta 3	0.007	0.09	0.03	0.07	0.05	0.04	0.3	0.083
Cobre								
planta 1	0.05	0.06	0.05	0.05	0.07	0.11	0.19	0.082
planta 2	0.001	0.001	0.003	0.001	0.004	0.01	0.5	0.074
planta 3	0.002	0.05	0.02	0.04	0.06	0.4	0.6	0.16
Fierro								
planta 1	0.14	0.16	0.11	0.12	0.09	0.223	0.32	0.16
planta 2	0.02	0.07	0.05	0.06	0.04	0.03	0.7	0.138
planta 3	0.42	0.95	0.17	0.27	0.2	0.5	0.8	0.472
Zinc								
planta 1	2.24	3.44	2.75	2.05	10.22	7.11	10.7	5.501
planta 2	0.07	0.15	1.04	0.21	0.96	0.17	10.5	1.87
planta 3	1.63	12.09	2.67	16.75	5.17	6.18	10.12	7.801
Arsénico								
planta 1	0.155	0.151	0.141	0.22	0.104	0.154	0.209	0.162
planta 2	0.012	0.014	0.018	0.03	0.019	0.022	0.9	0.145
planta 3	0.12	0.128	0.197	0.08	0.118	0.002	0.3	0.135
Cadmio								
planta 1	0.552	0.46	0.208	0.925	0.9	0.563	0.9	0.644
planta 2	0.01	0.01	0.039	0.03	0.006	0.03	0.2	0.046
planta 3	0.1	1.294	0.381	1.75	0.535	0.535	0.93	0.792
Mercurio								
planta 1	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.02	0.002
planta 2	0.001	0.001	0.001	-0.001	0.001	0.001	0.02	0.002
planta 3	0.001	0.001	0.001	-0.001	0.001	0.01	0.02	0.004
Níquel								
planta 1	0.001	0.011	0.01	0.04	0.16	0.18	0.2	0.086
planta 2	0.001	0.012	0.09	0.04	0.16	0.4	0.2	0.129
planta 3	0.005	0.007	0.022	0.013	0.013	0.023	0.43	0.073
Cromo								
planta 1	0.001	0.01	0.02	0.003	0.004	0.005	0.07	0.016
planta 2	0.02	0.01	0.01	0.03	0.001	0.006	0.07	0.021
planta 3	0.001	0.002	0.001	0.001	0.005	0.006	0.23	0.035

Nota: Planta 1: planta tratadora torre de enfriamiento. Planta 2: planta de agua negra tratada PARSHALL. Planta 3: planta tratadora Garza centenario

Cuadro 2. Límites Máximos Permisibles para Metales Pesados en cuanto al uso de riego agrícola y su uso al público urbano en su promedio mensual de acuerdo a la NOM-001-SEMARNAT- 1996.

Elemento	Uso en riego Agrícola	Uso público Urbano
Arsénico	0.2	0.1
Cadmio	0.05	0.1
Cianuro	2	1
Cobre	4	4
Cromo	0.5	0.5
Mercurio	0.005	0.05
Níquel	2	2
Plomo	5	0.2
Zinc	10	10

4.1.2 Evaluación de aniones y cationes

Los resultados del análisis de los aniones y cationes, de las tres plantas tratadoras durante los siete muestreos, se presentan en el Cuadro 3. Estas iones son importantes para determinar la calidad del agua en cuanto a la concentración de sales.

En estos resultados se puede observar que para el Calcio, Magnesio, Sodio, Cloro, Sulfato y Bicarbonato en las tres plantas tratadoras, las concentraciones son altas por lo que se encuentran por arriba de los límites máximos permisibles, si la comparamos con la clasificación propuesta por la Confederación Hidrográfica (1972), la cual establece para el Calcio 0.65 meq/l, Magnesio 0.67 meq/l, Sodio 0.88 meq/l, Cloro 1.00 meq/l, Sulfato 1.00 meq/l y Bicarbonato 0.58 meq/l (Cuadro 4).

En el Cuadro 3 se muestra la ausencia del Carbonato en la planta 1 y 3 caso contrario de la planta 2 donde la concentración promedio de este ion es 0.714 meq/l, la cual es alta de acuerdo a la clasificación que establece la Confederación Hidrográfica (1972) por lo que considera 0.003 meq/l de Carbonato para la calidad de agua (Cuadro 4). Estos iones son solubles en agua, su presencia en la solución del suelo en grandes cantidades perjudican al crecimiento de los cultivos disminuyendo la absorción de los nutrientes (Levy, 2000).

La cantidad relativa del ion Bicarbonato (HCO_3^{-2}) es un parámetro importante en el agua debido a que se precipita con los iones Ca^{2+} y Mg^{2+} formando Carbonatos de Calcio (CaCO_3) y Carbonato de Magnesio (MgCO_3). A medida que Ca^{2+} y Mg^{2+} se precipitan, aumenta la concentración relativa del sodio (Na^+) los cuales le confieren al suelo propiedades físicas desfavorables como disminución en la conductividad hidráulica, en la velocidad de infiltración y formación de costras en la superficie del suelo, las concentraciones altas de sales en el suelo reduce principalmente la disponibilidad de agua para las plantas (Baccaro, 2006). La toxicidad más común a partir del agua de riego es la producida por el Cloro, que no es adsorbido por el suelo, y se mueve fácilmente en la solución desde donde es absorbido por la planta y circula en ella hasta acumularse en las hojas. Este ion no sufre transformaciones microbianas ni reducción que afecte su concentración, si la concentración sobrepasa la tolerancia del cultivo es posible que aparezcan síntomas de toxicidad que incluyen hojas quemadas y necrosis de tejidos (Maas, 2006).

Cuadro 3. Resultados de los análisis de aniones y cationes en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos (meq/l).

TRATAMIENTO	REPETICIONES							MEDIA
	1	2	3	4	5	6	7	
CALCIO								
planta 1	17	16.4	10.4	12	12.8	8	14.4	13
planta 2	10.4	2.4	3.2	2.8	5.2	4	4	4.57
planta 3	7	8.4	6	9.2	8	12	8	8.37
MAGNESIO								
planta 1	8	18	5.6	8	7.2	8	1.6	8.05
planta 2	5.6	3.6	4.8	8	3.2	8	1.6	4.97
planta 3	5	3.6	4	8	8	8	4	5.8
CALCIO + MAGNESIO								
planta 1	25	34.4	16	18	20	14	16	20.48
planta 2	16	6	8	6.8	8	8.4	6	8.45
planta 3	12	12	10	15	12.8	16	24.4	14.6
SODIO								
planta 1	3.3	3.9	2.97	3.15	3.1	3.07	3.9	3.34
planta 2	3.82	3.28	3.56	3.52	3.86	3.54	3.37	3.56
planta 3	3.5	2.88	2.68	2.71	3.43	3.2	3	3.05
CLORUROS								
planta 1	14.6	22	16.2	17.2	17	14	17	16.85
planta 2	14	12.5	14.5	15	12.5	15.5	14	14
planta 3	14	12.8	13.8	14	12.2	13	13	13.25
SULFATOS								
planta 1	3.12	2.5	3.36	3.14	3.4	3.12	3.24	3.12
planta 2	1.2	1.7	1.6	1.4	1.1	1.8	1.6	1.48
planta 3	3.5	3.8	3.8	3.7	3.15	3.5	3.22	3.52
BICARBONATOS								
planta 1	3	2.2	2	3.2	3	3	2	2.62
planta 2	7	7	8.4	8	5	6.8	8.6	7.25
planta 3	5	2.4	4.2	4	4	2.8	3.6	3.714
CARBONATOS								
planta 1	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D
planta 2	3	1	N/D	N/D	N/D	1	N/D	0.714
planta 3	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D	N/D

Nota: Planta 1: planta tratadora torre de enfriamiento. Planta 2: planta de agua negra tratada PARSHALL. Planta 3: planta tratadora Garza centenario. N/D= no determinado

Cuadro 4. Parámetros medios para la determinación de la calidad del agua (confederación Hidrográfica, 1978).

Elemento	meq/l	mg/l
Cloruros	1	27
Sulfatos	1	47.08
Carbonatos	$< 0.3 \times 10^{-3}$	< 0.01
Bicarbonatos	0.58	35.6
Calcio	0.65	13.1
Magnesio	0.67	8.15
Sodio	0.88	20.2

4.1.3 Determinación de la calidad de agua con fines de riego de las tres plantas tratadoras de cuerdo a la metodología propuesta por Palacios y Aceves (1970).

Planta tratadora número 1

ANIONES		CACIONES	
Cl ⁻	16.85	Ca ⁺⁺	13
SO ₄ ⁼	3.12	Mg ⁺⁺	8.05
HCO ₃ ⁻²	2.62	Na ⁺⁺	3.34
CO ₃ ⁻	0	K ⁺	0
Suma	22.59	Suma	24.39

Para determinar las sales que se encuentra en el agua es necesario calcular el porcentaje de CO₃⁻ + HCO₃⁻² respecto a la suma de aniones para esto se obtiene.

$$\% \text{ de } \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2} = (2.62)/(22.59) * 100 = 11.5 \%$$

Como el agua de la planta tratadora 1 tiene un índice menor de 20 % Carbonatos y Bicarbonatos, considerando que la C. E en la planta 1 fue de 5584.28 µS/cm (Cuadro 5), entonces se determina la Salinidad Potencial, el

Carbonato de Sodio Residual y la Relación de Absorción de Sodio, para definir la calidad del agua, los cuales se obtienen de la siguiente manera:

Salinidad Potencial (SP)

$$\text{Formula: } SP = Cl^- + \frac{1}{2} * SO_4^{2-}$$

$$SP = 16.8 + 0.5 * 3.12$$

$$SP = 16.8 + 1.56$$

$$SP = 18.36 \text{ meq/l}$$

Carbonato de Sodio Residual (CSR)

$$\text{Formula: } CSR = (CO_3^{2-} + HCO_3^{-}) - (Ca^{++} + Mg^{++})$$

$$CRS = (0 + 2.62) - (13 + 8.05)$$

$$CSR = 2.62 - 21.05$$

$$CSR = -18 \text{ meq/l}$$

Relación de Absorción de Sodio (RAS)

$$RAS = \frac{Na}{\sqrt{\frac{Ca+Mg}{2}}} = RAS = \frac{3.34}{\sqrt{\frac{13+8.05}{2}}} = RAS = \frac{3.34}{\sqrt{21}} = \frac{3.34}{4.58} = .72 \text{ meq/l}$$

4.1.4 Comparación de los resultados obtenidos en la planta tratadora 1 con la metodología por Palacios y Aceves (1970)

La Relación de Absorción de Sodio de la planta tratadora 1 es 0.72 y la Conductividad Eléctrica es de 5584.28 $\mu\text{S/cm}$ (Cuadro 5), de acuerdo al diagrama para la clasificación de aguas por su C.E y por su RAS (Figura 1) su clasificación es; C4 – S1 de acuerdo a esta clasificación el tipo de agua es altamente salina (C4), no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, pero puede utilizarse ocasionalmente en circunstancias muy especiales,

teniendo en cuenta que el tipo de suelo sea permeable y con un drenaje adecuado. Considerando que el sodio es uno de los factores que influyen en la calidad de agua, por su efecto en el suelo y en la planta. El tipo de agua que señala esta clasificación es baja en sodio (S1), por lo cual, se puede utilizar en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

En cuanto a la Salinidad Potencial, este parámetro se considera dentro de la clase no recomendable de acuerdo con la clasificación del agua de riego para Salinidad Potencial señalada por Palacios y Aceves (1970) (Cuadro 6). Con respecto al Cloro, en la planta tratadora 1 se obtuvo una concentración promedio de 16.85 meq/l, de acuerdo a la clasificación de agua de riego por el contenido de Cloruros se encuentra en la clase no recomendable (Cuadro 6).

Caso contrario de la determinación de Carbonato de Sodio Residual en la planta 1 la diferencia es negativa, esto indica que no existe peligro de formación de Carbonato de Sodio Residual por lo que es igual a cero.

Esta clasificación establece que las aguas con menos de 20 % de ($\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2}$), serán no recomendables para riego si en las determinaciones uno de los índices sobrepasan los valores de Salinidad Potencial mayor del 15 y Cloro mayor de 5 meq/l de acuerdo a su clasificación. Por lo tanto el agua de la planta 1 es no recomendable por que la Salinidad Potencial y los Cloruros rebasan los límites aceptables para riego.

Cuadro 5. Resultado de los análisis de Conductividad Eléctrica en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos ($\mu\text{S}/\text{cm}$).

Tratamientos	Repeticiones							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
planta 1	10400	7200	4170	5790	3510	3600	4420	5584.28
planta 2	1333	1445	1327	1562	980	1303	1273	1317.57
planta 3	3200	3560	2910	3700	2490	3400	4030	3327.14

Nota: Planta 1: planta tratadora torre de enfriamiento. Planta 2: planta de agua negra tratada PARSHALL. Planta 3: planta tratadora Garza centenarío.

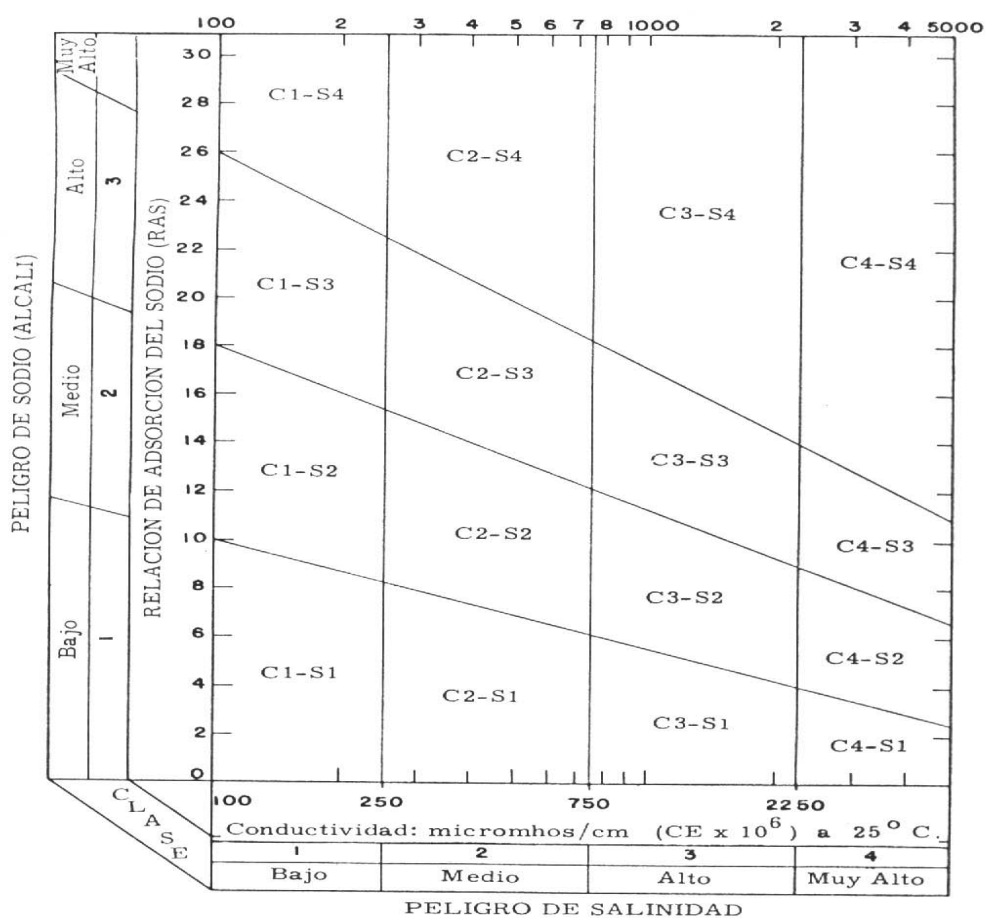


Figura 1. Diagrama para la clasificación de su Conductividad eléctrica y por su relación de adsorción de sodio de las aguas. Basado en USD A. Manual 60 (1954).

Cuadro 6. Clasificación del agua con fines de riego para cultivos agrícolas propuesta por Palacios y Aceves en (1970).

CLASIFICACION		
Clase	Salinidad Potencial	
Buena		menos de 3.0
Condicionada		de 3.0 a 15.0
No recomendable		más de 15.0
	Salinidad Efectiva	
Buena		menos de 3.0
Condicionada		de 3.0 a 15.0
No recomendable		más de 15.0
	Cloruros	
Buena		menos de 1.00
Condicionada		de 1.00 a 5.0
No recomendable		más de 5.0
	Contenido de Carbonato de Sodios Residual	
Buena		menos de 1.25
Condicionada		de 1.25 a 2.50
No recomendable		más de 2.50

4.1.5 Determinación de los parámetros para determinar la calidad de agua con fines de riego en la planta tratadora 2

ANIONES		CATIONES	
Cl ⁻	14	Ca ⁺⁺	4.57
SO ₄ ⁼	1.48	Mg ⁺⁺	4.97
HCO ₃ ⁻²	7.25	Na ⁺⁺	3.56
CO ₃ ⁻	0.714	K ⁺	0
Suma	23.44	Suma	13.1

Es necesario determinar primeramente el porcentaje de (CO₃⁻ + HCO₃⁻²) respecto a la suma de aniones, para esto, procedió de la siguiente manera.

$$\% \text{ de } \text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2} = (7.25)/(16.04) * 100 = 49.6 \%$$

El agua de la planta tratadora 2 tiene un índice mayor del 20 % de Carbonato y Bicarbonato, considerando la C. E. en la planta tratadora 2 fue de 1317.57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (Cuadro 5) por lo cual, se debe determinar la Salinidad Efectiva, la Salinidad Potencial y el Carbonato de Sodio Residual, mismos que se obtienen de la siguiente manera:

Salinidad Efectiva (SE).

Formula: $SE = \text{suma de aniones} - (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2})$

$$SE = 23.44 - (0.714 + 7.25)$$

$$SE = 23.44 - 7.96$$

$$SE = 15.48 \text{ meq/l}$$

Salinidad Potencial (SP)

Formula: $SP = \text{Cl}^- + \frac{1}{2} * \text{SO}_4^{=}$

$$SP = 14 + 0.5 * 1.48$$

$$SP = 14 + 0.74$$

$$SP = 14.7$$

Carbonato de Sodio Residual

Formula: $CSR = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2}) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$

$$CRS = (0.74 + 7.25) - (4.57 + 4.97)$$

$$CRS = 7.99 - 9.54$$

$$CRS = -1.55 \text{ meq/l}$$

4.1.6 Comparación de los resultados obtenidos de la planta tratadora 2 con la metodología propuesta por Palacios y Aceves (1970)

Analizando la determinación de la planta tratadora 2 para la Salinidad Efectiva, para este tipo de agua este parámetro se considera dentro de la clase no recomendable de acuerdo con la clasificación del agua de riego para Salinidad Efectiva señalada por Palacios y Aceves (1970) (Cuadro 6).

La determinación de Salinidad Potencial en la planta tratadora 2 es de 14.7 meq/l lo cual esta concentración de acuerdo con la clasificación del agua de riego por su Salinidad Potencial señalada por Palacios y Aceves (1970) se encuentra en una clase condicionada para su uso de riego (Cuadro 6.)

El Carbonato de Sodio Residual en la planta 2 la diferencia es negativa, esto indica que no existe peligro de formación de Carbonato de Sodio Residual por lo que es igual a cero.

Caso contrario, la concentración promedio del Cloro es de 14 meq/l, lo cual, de acuerdo a la clasificación de agua de riego por el contenido de Cloruros se encuentra en una clase no recomendable (Cuadro 6), por lo que su concentración puede ser toxico para las plantas. Esta clasificación establece que las aguas con mayor de 20 % de $(\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2})$, serán no recomendables para riego si en las determinaciones, uno de los índices sobrepasan los valores de Salinidad Efectiva mayor de 15 y Cloro mayor de 5 meq/l de acuerdo a su clasificación. Por lo tanto el agua de la planta 2 es no recomendable por que la Salinidad Efectiva y los Cloruros rebasan los límites aceptables para riego.

4.1.7 Determinación de los parámetros para determinar la calidad de agua con fines de riego en la planta tratadora 3

ANIONES		CATIONES	
Cl ⁻	13.25	Ca ⁺⁺	8.37
SO ₄ ⁼	3.5	Mg ⁺⁺	5.8
HCO ₃ ⁻²	3.714	Na ⁺⁺	3.05
CO ₃ ⁻	0	K ⁺	0
Suma	20.464	Suma	17.22

Es necesario determinar primeramente el porcentaje del (CO₃⁻ + HCO₃⁻²) con respecto a la suma de aniones, para esto, se procedió de la siguiente manera:

$$\% \text{ de CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2} = (3.714)/(20.464) * 100 = 18.14\%$$

El tipo de agua de la planta 3 tiene un índice menor de 20 % de CO₃⁻ + HCO₃⁻² y su C.E es 3327.14 µs/cm por lo tanto se determina la Salinidad Potencial, el Carbonato de Sodio Residual y su Relación de Absorción de Sodio, los cuales se determinan de la siguiente manera:

Salinidad Potencial (SP).

$$\text{Formula: SP} = \text{Cl}^- + \frac{1}{2} * \text{SO}_4^{=}$$

$$\text{SP} = 13.25 + 0.5 * 3.5$$

$$\text{SP} = 13.25 + 1.75$$

$$\text{SP} = 15 \text{ meq/l}$$

Carbonato de Sodio Residual (CSR).

$$\text{Formula: CSR} = (\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2}) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++})$$

$$\text{CSR} = (0 + 3.714) - (8.37 + 5.8)$$

$$\text{CSR} = 3.71 - 14.17$$

$$\text{CSR} = -10.46 \text{ meq/l}$$

Relación de Absorción de Sodio (RAS).

$$\text{RAS} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{\text{Ca} + \text{Mg}}{2}}} = \text{RAS} = \frac{3.05}{\sqrt{\frac{8.37 + 5.8}{2}}} = \text{RAS} = \frac{3.05}{\sqrt{14.17}} = \frac{3.34}{3.76} = .088 \text{ meq/l}$$

4.1.8 Comparación de los resultados obtenidos de la planta tratadora 3 con la metodología propuesta por Palacios y Aceves (1970)

La Relación de Absorción de Sodio de la planta tratadora 3 es 0.088 meq/l y su concentración de la Conductividad Eléctrica es de 3327.14 $\mu\text{S/cm}$ (Cuadro 5), de acuerdo al diagrama para la clasificación de aguas por su C.E y por su RAS (Figura 1) su clasificación es; C4 – S1 de acuerdo a esta clasificación el tipo de agua es altamente salina (C4), no es apropiada para riego bajo condiciones ordinarias, la salinización reduce la fertilidad del suelo y puede llegar a causar la pérdida total de la tierra para cultivos, logrando un desequilibrio extremo de nutrientes y un empeoramiento de la estructura del suelo (De Pablo, 1995; Loveland y Webb 2003).

El tipo de agua que señala esta clasificación es baja en sodio (S1) lo cual se puede utilizar en la mayoría de los suelos con poca probabilidad de alcanzar niveles peligrosos de sodio intercambiable.

La determinación la Salinidad Potencial en la planta 3 es de 15 meq/l, la cual, está fuera de los límites máximos permisibles en sales, este tipo de agua se considera dentro de la clase no recomendable de acuerdo con la clasificación del agua de riego por su Salinidad Potencial señalada por Palacios y Aceves (1970) (Cuadro 6).

En la determinación de Carbonato de Sodio Residual en la planta 3 la diferencia es negativa, esto indica que no existe peligro de formación de Carbonato de Sodio Residual por lo que es igual a cero, de acuerdo a la clasificación de agua para riego del contenido de Carbonato de Sodio Residual se encuentra en una clase buena para riego de acuerdo a Palacios y Aceves (1970).

En la determinación promedio de Cloro en la planta 3 es 13.25 meq/l de acuerdo a la clasificación del agua de riego por el contenido de cloruros esta concentración se encuentra en la clase no recomendable para uso de riego (Cuadro 6). El Cloro es uno de los iones mas dominantes en los ambientes salinos, este elemento puede causar toxicidad cuando su concentración en el tejido vegetal es excesiva (Zhu, 2001). Las altas concentraciones de Cloro producen quemaduras en las hojas, disminución de la fotosíntesis (Al-karaki 2002; Zhu, 2001).

Esta clasificación establece que las aguas con menos de 20 % de ($\text{CO}_3^- + \text{HCO}_3^{-2}$), serán no recomendables para riego si en las determinaciones uno de los índices sobrepasan los valores de Salinidad Potencial de 15 y Cloro mayor de 5 meq/l de acuerdo a su clasificación. Por lo tanto el agua de la planta 3 es no recomendable por que la Salinidad Potencial y los Cloruros rebasan los límites aceptables para riego.

Cuadro 7. Clasificación de las aguas, según la salinidad del agua de riego de acuerdo a James *et al.* (1982).

Clase de agua	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Excelente	250
Buena	250-750
Permisible	750-2000
Uso dudoso	2000-3000
Inapropiada	3000

Los resultados del análisis de la Conductividad Eléctrica (C.E), de las tres plantas tratadoras durante los siete muestreos, como se muestra en el Cuadro 5, este parámetro es importante para evaluar la calidad del agua de riego, debido a su capacidad de conducir iones disueltos en el agua.

Las concentraciones promedios para la Conductividad Eléctrica en la planta tratadora 1 y 3 fueron: 5584.20 y 3327.14 $\mu\text{S}/\text{cm}$ respectivamente, (cuadro 5) de acuerdo con la clasificación propuesta por James, *et al.*, (1982) (Cuadro 7), el tipo de agua de estas dos plantas tratadoras se encuentra por encima de la clase inapropiada para uso de riego, una concentración alta de la Conductividad Eléctrica tiene más contenido de sales disueltas lo cual origina una disminución en la disponibilidad del agua en la zona radical como consecuencia una disminución de la absorción de los nutrientes (Torres y Acevedo, 2008), lo cual se considera no recomendable para la mayoría de los cultivos (Mace y Amrhein, 2001).

Caso contrario de la concentración para la Conductividad Eléctrica en la planta tratadora 2 donde su concentración promedio fue de 1317.57 $\mu\text{S}/\text{cm}$, la cual se encuentra en un a clase permisible de acuerdo a la clasificación de propuesta por James, *et al.*, (1982) (Cuadro 7).

4.1.9 Evaluación de Nitratos

Cuadro 8 Resultados de la concentración de Nitratos en las tres plantas tratadoras de los siete muestreos (ppm).

Tratamientos	Repeticiones							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
planta 1	195.2	128.3	142	96	199	148	162	152.92
planta 2	25.2	30.24	93.4	31.16	21	9.4	41	35.91
planta 3	75	30	23.72	140	120	118.8	93.2	85.81

Nota: Planta 1: planta tratadora torre de enfriamiento. Planta 2: planta de agua negra tratada PARSHALL. Planta 3: planta tratadora Garza centenario.

Las concentraciones de Nitratos encontradas en las muestras de agua de las tres plantas tratadoras se muestran en el Cuadro 8. Se observa que este anión se encuentra en niveles superiores a los límites máximos permisible establecido por la NOM-127-SSA1-1994.

Esta norma establece la calidad del agua para uso y consumo humano, señala para Nitratos un máximo de 10 ppm. Por lo tanto, las concentraciones en los análisis de la plantas 1, 2 y 3. Fueron; 152.92, 35.91, 85.81 respectivamente, siendo mayores a los límites máximos permisibles señalados por la NOM-127-SSA1-1994. Cabe mencionar que las concentraciones de Nitratos se consideran dentro de un nivel crítico para la Comunidad Económica Europea, la cual establece 11. 3 ppm de Nitratos (Smith *et al.*, 1996), así mismo la Agencia de Protección al Ambiente (1986)(U.S.E.P. A) señala como nivel crítico 10 ppm de Nitratos. Estas grandes concentraciones de Nitratos en las tres plantas se debe al contenido de desechos que se genera en el proceso de de transformación, los lodos de las plantas de tratamiento pueden favorecer a que las concentraciones de Nitratos, las consecuencias asociadas a la acumulación de grandes cantidades de Nitratos al implementar el uso para

riego pueden repercutir sobre la salud de las comunidades a corto, mediano o largo plazo (Ortiz, 2004).

Muñoz, *et al.*, (2004), evaluó la calidad de agua en el Valle de Huamutla, México; menciona que las concentraciones de Nitratos que sobrepasen los límites máximos permitidos por la organización mundial de salud (OMS) la cual establece 10 ppm, este tipo de agua se considera peligrosa para su uso debido a la solubilidad de los Nitratos en el agua, lo cuales, son retenido por la fase solida del suelo, con probabilidad de lixiviarse fácilmente y alcanzar los mantos freáticos o corrientes de aguas subterráneas y provocar daños a la salud de forma directa o indirecta a corto y/o a largo plazo.

Pacheco *et. al.*, (2002), quienes estudiaron el análisis del ciclo del Nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos; menciona que la hemoglobina sufre el principal efecto tóxico de la ingestión de Nitratos, lo cual es causada por Nitritos, que son los productos de reducción de los Nitratos.

Otro estudio realizado en 1996 en Indiana (E.E.U.U), se determinó que el consumo de agua con concentraciones de nitratos entre 19 y 20 ppm puede provocar cáncer (Sosson *et al.*, 1993). Las concentraciones de Nitratos en las tres plantas tratadoras son elevadas, por lo cual tienen una gran probabilidad de causar daños a los mantos freáticos y a la salud humana.

Cuadro 9. Resultados de los análisis de pH en las tres plantas tratadoras en los siete muestreos

Tratamientos	Repeticiones							Media
	1	2	3	4	5	6	7	
planta 1	9.13	7.4	6.78	6.31	7.1	7.14	7.27	7.3
planta 2	8	8.11	7.82	7.17	8.02	8.3	7.98	7.9
planta 3	7.5	7.1	7.02	6.45	6.88	7.68	7.19	7.1

Nota: Planta 1: planta tratadora torre de enfriamiento. Planta 2: planta de agua negra tratada PARSHALL. Planta 3: planta tratadora Garza centenario.

Las concentraciones promedio del pH en la planta 1, 2 y 3 durante los siete muestreos como se muestra en el cuadro 9, se encuentran en condiciones óptimas para riego.

Moreno, *et al.* (1996), afirman que en el caso de las aguas para riego, el pH normal está comprendido entre 6.5 y 8.4, por lo cual, las concentraciones obtenidas en las tres plantas tratadoras se encuentran en condiciones óptimas para fines de riego.

El pH del medio controla, las reacciones químicas y determinan si los nutrientes pueden estar disponibles para la absorción por las raíces y ejerce una fuerte influencia sobre la estructura del propio suelo.

4.1.10 Evaluación de Coliformes Totales

Cuadro 10. Resultados de los análisis de Coliformes Totales en las tres plantas tratadoras durante los siete muestreos (NMP/100).

Tratamiento	Repeticiones						
	1	2	3	4	5	6	7
planta 1	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
planta 2	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100
planta 3	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100	>1100

Nota: Planta 1: planta tratadora torre de enfriamiento. Planta 2: planta de agua negra tratada PARSHALL, Planta 3: planta tratadora Garza centenario.

Los análisis de Coliformes Totales de las tres plantas tratadoras como se muestra en el Cuadro 10 durante los siete muestreos que se realizaron, se encuentran arriba de los límites máximos permisibles de acuerdo a la NOM-003-SEMARNAT- 1996.

Esta norma establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicio al público, así mismo señala el tipo de usos al servicio público en contacto directo y servicio público contacto indirecto ocasional; establece los límites máximos permisibles de Coliformes en su promedio mensual de 240 y 1,000 número más probable (NMP) /100ml respectivamente.

Los análisis de Coliformes Totales durante los siete muestreos en la planta 1,2 y 3 (Cuadro 10) fueron >1100 NMP/100ml para las tres plantas tratadoras los cuales están fuera de los límites máximos permisibles que la NOM-003-SEMARNAT- 1996 establece para su servicio al público de forma directo e indirecto. Este parámetro es importante para determinar la calidad de agua por lo que se constituye como indicador de presencia de otros

microorganismos potencialmente patógenos, por lo cual este indicador es un índice de deficiencias sanitarias en la fuente del agua (Hunter *et. al.*, 2000).

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

El tipo de agua de las tres plantas tratadoras tiene un grado de contaminación por Coliformes, la cual se considera un indicio, de que el suministro y/o al almacenamiento del agua en las plantas tratadoras puede estar contaminado con otros agentes patógenos, lo cual no es recomendable para su uso de riego, las grandes cantidades de Coliformes pueden dañar la calidad de los mantos freático y aguas subterráneas (Perdomo *et al.*, 2005).

Palacios *et al.*, (1999) determinaron que este género bacteriano es capaz de sobrevivir tanto en suelo como en plantas cuando los suelos han sido regados con agua residual, Se detectaron bacterias a profundidades de 15 y 45 cm, 15 días después del riego, lo cual este tipo de bacterias puede llegar a contaminar los mantos freáticos y con probabilidad de sobrevivir por más tiempo que aquellas próximas a la superficie. La ingestión de agua contaminada por Coliformes incrementa el riesgo de contraer enfermedades en humanos (USEPA, 1986).

4.2 Variables evaluadas en el suelo de las áreas verdes

Cuadro 11. Resultados de las concentración de metales pesados en las muestras del suelo y los límites máximos permisibles (Mg/kg)

Elemento	Muestra 1	Muestra 2	límite máximo permisible según la Nom-147- Semarnat/SSA1-2004	
			uso agrícola/residencial	Uso Industrial
Pb	759	709	400	750
As	40	52	22	260
Cd	35	22	37	450
Se	11	13	390	5100
Hg	4	2	23	310
Ni	10	12	1600	20000

Nota: Muestra 1: Suelo con cubierta vegetal muestra 2: muestra sin cubierta vegetal.

Los resultados de los análisis de metales pasados en el suelo a una profundidad de 0-30 cm, se muestran en el Cuadro 11, se observa que el elemento Plomo y Arsénico de acuerdo a su concentración se encuentran fuera de los límites máximos permisibles que señala la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, para su uso agrícola/ residencial.

Esta norma establece para su uso agrícola/residencial para Plomo 400 Mg/kg, en las concentraciones encontradas para Plomo en la muestra 1 y 2 fueron: 759, 709 Mg/kg respectivamente. Los cuales se encuentran arriba de los límites máximos permisibles. Cabe mencionar que las concentraciones del Plomo en las dos muestras de suelos se consideran elevadas de acuerdo al límite máximo permisible establecidos en los Estados Unidos de América, el cual es de 500 Mg/kg para plomo (Valdez y Cabrera, 1999). España marca como permisible de 50-300 Mg/kg. El valor de 50 se emplea en suelos con pH menor a 7. Por lo tanto el de 300 se emplea para suelos con pH mayor a 7 (La

caxia, 1995) y En relación a estos valores la EPA (1992) señala como rango entre 50 y 100 Mg/kg para suelo superficial, clasificándolos como sitios excesivamente fitotóxicos. Lo cual, comparando las concentraciones de los resultados de las muestras están fuera de acuerdo a estos límites máximos permisibles mencionados.

En el caso del Arsénico la norma establece para su uso agrícola/residencial Arsénico 22 Mg/kg, en las concentraciones encontradas para el Arsénico en la muestra 1 y 2 fueron: 40, 52 Mg/kg, respectivamente, los cuales están por encima de los límites máximos permisibles de acuerdo a esta norma.

Para el Cadmio en la muestra 1 las concentraciones encontradas fue de 35 Mg/kg lo cual la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004 establece para uso agrícola/residencial 37 Mg/kg, así mismo La EPA (1992) contempla un rango de 3-10 Mg/kg de Cd en suelo superficial, considerando sitios excesivamente fitotóxicos aquellos que lo rebasan, esta concentración del Cadmio se debe a que el suelo es regado con el agua de la planta tratadora 3, la cual en las determinaciones anteriores, se obtuvo que este metal se encuentra en concentraciones elevadas. Caso contrario en la concentración del Cadmio de la muestra 2 como se observa en Cuadro 11 se encuentra en un nivel más bajo debido a que el suelo está descubierto de vegetación lo cual no requiere grandes cantidades de agua, el incremento de este elemento en el suelo depende del tiempo que se incorpore con este tipo de agua.

Los elementos Ni, Se y Hg se encuentran en valores mínimos de acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, pero la incorporación de estos elementos en el agua de riego en un corto y/o largo tiempo pueden dañar al suelo y a los mantos freáticos debido a su características de biodegradables y acumulables (Baldrian, 2002).

Cuadro 12. Resultados de análisis fisicoquímico en las muestras del suelo

Parámetro	Muestreo 1	Muestreo 2
C.E (mS/cm)	5.58	14.16
pH	6.85	7.18
D.A (g/cm ³)	1.163	1.205
M. O %	0.86	1.06
Arena %	54.0	50
Arcilla %	18.92	20.92
Limo %	27.08	29.92
Textura	Franco arenoso	Franco

Nota: Muestra 1: sin cubierta vegetal muestra 2: con cubierta vegetal

Como se puede observar en el cuadro 12 la Conductividad Eléctrica en la muestra 1 y 2 se encuentra alta de acuerdo a la clasificación de suelo salinos propuesta por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA), que establece menos de 4 mS/cm para suelos normales, arriba de este valor se considera un suelo salino, como se observa en el Cuadro 12 la muestra 2 tiene una conductividad eléctrica más alta, por lo que se considera con más concentraciones de sales, esto se debe a que el suelo es regado con agua de la

planta tratadora 3 la cual en los resultados anteriores este tipo de agua tiene grandes concentraciones de sales, esto coincide con Mace y Amrhein (2001), los cuales mencionan que el incremento de las sales en los suelos es ocasionada por los terrenos regados con agua residual durante un tiempo prolongado. A diferencia de la muestra 1 donde su C.E es más baja debido a que el suelo está casi descubierto de vegetación lo que cual no requiere grandes cantidades de agua.

La materia orgánica en la muestra 1 y 2 como se observa en el Cuadro 12 se considera un suelos pobre, de acuerdo a los a autores Yanez, *et al* (1999) y Vázquez, (1997). Mencionan que el contenido promedio de 0.80 y 1.42 %, se clasifican al suelo pobre en materia orgánica, el poco contenido de M.O. influye de manera negativa en una pobre estructura de los suelos (Sustaita *et al.*, 2000), lo cual los convierte en altamente susceptibles a la erosión, tanto eólica como hídrica (Kirkby y Morgan, 1984). La materia orgánica influye significativamente en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Sustaita *et al.*, 2000), un incremento de materia orgánica en el suelo contribuye a la retención de cationes (Mulvaney *et al.*, 2001).

Por otro lado la textura de suelo como se muestra en el Cuadro 12 es Franco y Franco arenoso, se pueden observar beneficios por sus características de infiltración, sin embargo los perjuicios son mayores debido a que la infiltración del agua contaminada por diferentes elementos puede contaminar las aguas subterráneas.

4.3 Evaluación estadística de los metales en las plantas tratadoras de agua

En el Cuadro 13 se muestra el análisis de varianza de los tratamientos estudiados, lo cual se utilizó el programa SAS (Sistema de Análisis Estadístico). Lo cual se muestran los metales pesados con mayor significancia.

Cuadro 13. Análisis de Varianza elementos con mayor significancia.

Análisis de Varianza			
Tratamiento	Fierro	Zinc	Cadmio
1	0.4729 ^a	7.801 ^a	0.6193 ^a
2	0.1657 ^b	5.501 ^{*ab}	0.4407 ^{*ab}
3	0.1386 ^b	1.871 ^b	0.0464 ^b

$\alpha = 0.05$

En el Cuadro 13 se observan que los metales pesados Fierro, Zinc, Cadmio, tuvieron mayor diferencia significativa con respecto al Plomo, Cobre, Arsénico, Mercurio, Níquel y Cromo (apéndice 1).

En relación al Fierro existe diferencia significativa entre la planta 1 con respecto a la planta 2 y 3.

Caso contrario, el Zinc y el Cadmio donde las diferencias son altamente significativas en las tres plantas tratadoras.

V. CONCLUSIÓN

- La concentración del Cadmio en la planta tratadora 1 y 3 se encuentra fuera de la NOM-001-SEMARNAT- 1996 para su uso con fines de riego.
- Los resultados de los análisis de Coliformes en las tres plantas tratadoras exceden los valores permisibles de la NOM-003-SEMARNAT-1996.
- La concentración del Nitrato en las tres plantas tratadoras se encuentra fuera de los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA1-1994.
- Las concentraciones de los metales pesados: Plomo, Arsénico, Cadmio en el suelo se encuentran en concentraciones elevadas de acuerdo a la NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004.
- En relación con las características fisicoquímicas del suelo se encuentra pobre en materia orgánica y con alto contenido de sales.
- El análisis de varianza mostró que los metales pesados con mayor significancia fueron: Hierro, Zinc y Cadmio.
- Considerando la calidad del agua de las plantas tratadoras y las características físicas y químicas del suelo, se concluye que el agua que genera las plantas tratadoras son no recomendables para riego de las áreas verdes.

VI. RECOMENDACIONES

- Mantener un monitoreo constante en las tres plantas tratadoras debido a la presencia de diferentes tipos de contaminantes.

- Las tres plantas tratadoras deben incluir parámetros de análisis de calidad para aumentar la eficiencia del tratamiento del agua.

- Para la contaminación de metales en el suelo, se recomienda utilizar técnicas específicas para la remoción de estos elementos, como la fitorremediación.

- Para disminuir el problema de salinidad del suelo, se recomienda aplicar métodos mecánicos, hidrotécnicos, químicos y biológicos.

VI. LITERATURA CITADA

- Acevedo,. G. Rodríguez J. Castro R. Chávez J. Medrano. M. 2004. Determinación de parámetros de campo en aguas y su importancia en el diseño de sistemas de tratamiento. Facultad de Ingeniería Civil. México.
- Aguilar,. A. 2009. Gestión de la calidad del agua subterránea con la participación de usuarios. Unidad en Economía y Medio Ambiente. México. pág. 4- 8.
- Aguirre,. A. Herman W. Fortis. H. Rodríguez R. Hernández. J. Olague. R. 2000. Consumo de agua en la alfalfa (medicago sativa L.) durante el establecimiento con riego subsuperficial. Instituto Tecnológico de Torreón. Torreón Coahuila. pág. 6.
- AIDIS. 2002. Estándares del Reglamento Nacional Primario de agua potable. EE UU, 2ª ed: Volume 2, Number 1.2002.
- Al-karaki. G 20002. Growth, wáter use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. J. Plant Nutr.pág.1-18.
- Amaya,. W. F. Cañón. A. O. Avilés. F. O. 2004. Control de ph para planta de tratamiento de aguas residuales. Ciencia e Ingeniería Neogranadina. Colombia. pág. 1.
- Andreu,. J. M. Sánchez. E. G. Jorroto S. Francés. I. Bosch. A. 2008. Assessment of the groundwater quality in the present saturated zone of Crevillente aquifer (Alicante). Departamento Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente. pág. 5.
- Ascencio,. M. T. y Santiago. S. G. 2002. Evaluación de acuíferos de la mesa del norte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. Morelos, México. pág. 6.
- Baccaro K. Degorgue. M. Lucca M. Picone. L. 2006. Calidad del agua para consumo humano y riego en muestra del cinturón hortícola de mar de plata. Revista de investigación agropecuaria. Instituto nacional de tecnología agropecuaria. Argenitana. Pág. 15-16.
- Blake G y Hartge K. 1986. Clod Method. *En: Methods of Soil Analysis, Part I, Physical and Mineralogical Methods, Agronomy Monograph N° 9, 2nd Edition.* Ed. A. Klute. Am. Soc. Of Agronomy, Soil Sci. Soc. of America, 677 SouthSegoe Road, Madison, WI 53711, USA. 363-375.

- Blanck,. G. y Paz. M. 2005. Tecnologías de ultrafiltración una alternativa sustentable para el tratamiento del agua. ACS Medio Ambiente. pág.3.
- Bosch-Guha, P. 2002. Importancia de la biotecnología para la economía mexicana, p. 26-42. *In* F. Bolivar-Zapata (ed.), Biotecnología moderna para el desarrollo de México en el siglo XXI. FCE-CONACYT, México.
- Bouyoucos., G. 1962. hydrometer method improved for making particle of soils, agron. vol. 54:456-465.
- Bower,. Y Wilcox 1965. Soluble Salts. *En* Method of Soil Analysis Part 2. Chemical and Microbiological Properties. Ed. Black, Am. Soc. Of.
- Bravo,. D. A. Bobadilla. S. H. Contreras. G. P. Maggi. C. R 2008. Evaluación de tecnologías anaerobias en el tratamiento de aguas residuales urbanas en condiciones templadas. Escuela de Ingeniería Bioquímica PUCV. pág. 2.
- Brook,. B. D. 2004. Agua manejo a nivel local. Editorial alfaomega colombiana S.A Bogota. Colombia. pág. 1-70.
- Brooks,. B. D. 2004. Agua manejo a nivel local. Editores alfaomega colombiana S.A. Bogota. Colombia. Pág.1-70.
- Cerqueira., M. A. Silva J. F. Magallanes. F. P. Soares F. M. Pato J. J. 2007. Assessment of water pollution in the Antuã River basin (Northwestern Portugal) Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM) and Department of Environment and Planning. Portugal. Pág 1.
- CNA (Comisión Nacional del Agua) 2003. Características generales del Distrito de Riego 037 Altar-Pitiquito-Caborca. H. Caborca, Sonora. Gerencia Estatal en Sonora. Caborca, Sonora, México.
- CNA (Comisión Nacional del Agua). 2006. Valor, Costo y Precio del Agua en la Región Lagunera. Gerencia de Estudios para el Desarrollo Hidráulico Integral. México. pág. 73.
- Comisión Nacional del Agua (CNA) 2007. Estadísticas del Agua en México. Ed. pág. 259.
- CONAGUA. 2004. Situación de los recursos hídricos. En Estadísticas del agua en México. CONAGUA. México. pág. 22-50.
- Crites,. R. T. George. C. Miller P. 2002. Sistema de manejo de aguas residuales para núcleos pequeños y descentralizados. Editorial McGraw-Hillin interamerican, S.A., Bogota Colombia. pág.1-50.

- De PABLO., A. 1996. Contaminación y Soluciones. Ingeniería Ambiental Editorial Alfaomega. México.
- Deocón., M. Folch. M. Salgot. M. 2002. Innovative technologies in wastewater reclamation and reuse. In press.
- Eco. 2009. Tratamiento biológico de aguas residuales. Agua y Residuos Líquidos en México. Gestión y Política Pública, México. pág. 45
- EPA. 1992. Guide to site and soil description for hazardous waste site characterization. Vol 1: metals.
- Favela., S. P. 2001. Caracterización de fuentes puntuales de contaminación en el río atoyac, México. Ingeniería sanitaria y ambiental. México. Pág.1-7.
- Fawell., J. and Nieuwenhuijsen. M.J. 2003. Contaminants in drinking water. Br.Med. Bull. 68, 199–208.
- Flores., G. Tornero. M. Campante M. Cruz A. y Bonilla 2008. Concentración total y especiación de metales pesados en biosólidos de origen urbano. Laboratorio de ingeniería ambiental - instituto tecnológico de puebla. puebla. pág. 1-2.
- Fortis., H. M. García S. J. Rodríguez. J. C. García G. L. Montemayor T.J. Salazar S.E. Chavarría G. J. 2004. Competitividad agrícola y uso del agua de riego en la comarca lagunera. pág. 4.
- García., E. 2007. El Manejo del Agua en la Laguna, México. Agrociencia. México. pág.50-65.
- García., M. G. Y Martínez. C. P. 2009. Escenario del agua en México. Recursos hídricos. Agrociencia. México. pág. 13.
- Glover, C. R. 1996. Irrigation water classification systems. Guide A-166. Cooperative Extension Service. College of Agriculture and Home Economics. New Mexico State University. pp: 1-4.
- Grunnet, K. 2005. Selected Microorganisms for Coastal Pollution. Studies and Coastal Pollution Control. pág. 59-75.
- Gutierrez., B. y Herrera C. 2001. La ingeniería ambiental en México. Editorial limusa. México, pág. 22,53.

- Hernández, A. Blanco. Gutiérrez. D. A. Blas. O. J. Guervós. M. S. Manzano B. M. 2008. Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de Salamanca. Departamento de Química Analítica, Nutrición y Bromatología. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Salamanca. Salamanca. pág.1-13.
- Hernández, J. C. Orihuela. D. L. Marijuan. I. Pérez. S. Fernet. R. 2003. Efecto de la modificación de cationes en columna de suelos calizos. Estudio de la zona saturada del suelo. Pág. 99–104.
- Huaiquilaf, C. B. 2009. Contaminación de aguas subterráneas por hidrocarburos líquidos livianos en fase no acuosa. Departamento de Ingeniería Civil. pág.5.
- Hunter, C. Perkins. J. Tranter, J and Hardwick. 2000. Fecal bacteria in the waters of and upland area in derbeshire, England. The influences of agricultural land use. J environ. pág.45 -50.
- IMTA (Instituto Mexicano de Tecnología del Agua). 2003. Aspectos relevantes de la política del agua en México, en el marco de desarrollo sustentable. México, pág.30.
- James, D. Hanks y Jurinak J. 1987. Moder Irrigat Soils. Wiley. New youk.
- Jeevananda, M. Kannan. R. Srinivasalu. S. Rammohan. v. 2006. Hydrogeochemistry and Groundwater Quality Assessment of Lower Part of the Ponnaiyar River Basin, Cuddalore District, South India. Department of Geology.
- Kirkby, M. J. y Morgan. R 1984. Erosión de suelos. Limusa. México.
- La caxia, fundación 1985. Reutilización de residuos urbanos en agricultura Editorial Aedos.
- Leal. G. 2004. Vivienda rural y tecnología apropiada: digestión anaerobia [en línea]. Consultado 7 Noviembre 2009 Disponible en el World Wide Web: <http://www.eco-gel.com/digestion_anaerobia.htm
- Levy G. 2000. Sodcity. handbook of soil sciencie P. G-55 en sumner M. E. (ed.) CRC Prees, Boca Raton, FL Sodcity
- LGEPA (Ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente) 2006. Aprovechamiento sustentable de los elementos naturales. (consultada el 22 de diciembre del 2009) en línea (http://www.conanp.gob.mx/pdf/leygra_eqilibrio.pdf).

- Loiácono, R. Vuanello. O. Solorza. B Millán, M. 2005. Eliminación de metales pesados de efluentes industriales por método electroquímico. Facultad de ingeniería. Uruguay. pág. 34-50.
- Loveland, P. Webb 2003. Is there a critical level of organic matter in the agricultural soils of temperate regions. A review. Soil and tillage res. pág 1-18.
- Maas, E. V. 2006. Salt tolerance of plants. p 57-75. In B. R. Christie (ed) Handbook of plant science in agriculture. CRS Press, Boca Ratón, FL.
- Mace, J. E. and Amrhein. 2001. Leaching and reclamation of a soil irrigated with moderate SAR waters. Soil Sci. Soc. Am. J. 199-204.
- Manuel, E. López M. 2005. Biológico de aguas residuales aplicable a la industria avícola. Consultor y Auditor Ambiental Tratamiento. pág.13.
- March 1994. Laboratory Methods for ICP-MS Analysis of Trace Metals in Precipitation. Chapter 1, Volume 3.
- Marin, G. R. 2005. Físicoquímica y microbiológica de los medios acuáticos. Tratamiento y control de calidad de aguas. Ediciones Diaz de santos, Cordoba, Veracruz. Pág. 319.
- Mc Feters, G. A. 2006. "Comparative survival of indicator bacteria and enteric pathogen in well water". Applied Environmental Microbiology.
- Moreno, J. C., Moral, R.H. y Maria Dolores Pérez. 1996. Análisis y calidad de las aguas de riego. Universidad politécnica de Valencia. Servicio de publicaciones. No. 58.
- Mulvaney, R. L. Khan. S. A. Hoefft. R. G, and Brown H. 2001. A soil organic nitrogen fraction that reduces the need for nitrogen fertilization. Soil Sci. Soc. Am. J 65: 1164-1172.
- Muñoz H. Armienta M. Vera A. y Ceniceros N. 2004. Nitrato en el agua subterránea del valle de huamantla, tlaxcala, México. Laboratorio de ciencias ambientales, centro de investigación en ciencias biológicas. México. pág.1-2.
- Nebel, B. J. y Wrigh. T. R. 1996. Environmental Science. The Way the World Works. 5a Edición, Prentice Hall. Estados Unidos. pág 32-40.

- Nelson, D.W., y L. E. Sommers. 1982. Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: A.L. Page et al. (Editors). Methods of soil analysis. Part II, 2 ed. ASA, SSSA, Madison WI. nitrogen fertilization. pág. 539-577.
- NMX-AA-008-SCFI-2000. Análisis de agua - determinación del pH -método de prueba. (Consultada en 22 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-008-SCFI-2000.pdf>
- NMX-AA-012-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. (Consultada en 22 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-012-SCFI-2001.pdf>
- NMX-AA-028-SCFI-2001. Análisis de agua - determinación de la demanda bioquímica de oxígeno en aguas naturales, residuales (DBO5) y residuales tratadas. (Consultada en 22 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.conagua.gob.mx/CONAGUA07/Contenido/Documentos/NMX-AA-quimiscosorg.pdf>
- NMX-AA-079-SCFI-2001. Análisis de aguas - determinación de nitratos en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas. (Consultada en 22 diciembre del 2009). (En línea) http://www.sma.df.gob.mx/sma/links/download/archivos/secofi_nmx_aa_079_scfi_2001.pdf
- NMX-AA-093-SCFI-2000. Análisis de agua - determinación de la conductividad electrolítica. (Consultada en 22 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Mexicanas%20vigentes/NMX-AA-093-SCFI-2000.pdf>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-001-semarnat-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (consultada en 18 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.cmp.org/NORMAS/NOM-001-ECOL-1996.pdf>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-002-semarnat-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas en los sistemas de alcantarillado urbano y municipal (consultada en 18 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.cmp.org/NORMAS/NOM-002-ECOL-1996.pdf>

- NORMA Oficial Mexicana NOM-003-semarnat-1996, Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para aguas residuales tratadas que se reusen en servicio al público (consultada en 18 diciembre del 2009). (En línea) <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Normas%20Oficiales%20Mexicanas%20vigentes/NOM-ECOL-003.pdf>
- NORMA OFICIAL MEXICANA 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 (consultada en 15 de diciembre 2009) (En línea). <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/127ssa14.html>
- Ojeda, G. y Flores. O. 2004. Proyectos de recarga artificial de acuíferos en la comarca lagunera, México. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 1p. torreón, Coahuila, México.
- Olmos., R. M. Sepúlveda. R. Villalobos F. 2002. El agua en el medio ambiente. Muestreo análisis. Editores plaza y Valdez. México. pág.24.
- Ortiz, J. O. Casas. E. 2007. Nueva Plantas de lodos Activados para el tratamiento de los efluentes de líquidos del complejo industrial refinería Ijuan de cuyo. Protección ambiental. Pág. 4-5.
- Ortiz, L. L. (2004). Contaminación del agua por nitratos. Significación sanitaria México. pág. 53-60.
- Pacheco, A. Julia, Pat C. R y Cabrera. S. 2002. Análisis del ciclo del nitrógeno en el medio ambiente con relación al agua subterránea y su efecto en los seres vivos. Facultad de Ingeniería de la UADY. Cuerpo Académico de Ingeniería Ambiental, FIUADY. Pág.77-78.
- Palacios, P. Lupiola. E. Del Nero. A. Pardo. F y Rodriguez M 1999. Primeros resultados del estudio de la resistencia de salmonella en la zona no saturada del suelo agrícola. IV jornadas sobre investigadores de la zona no saturada del suelo. Canarias. Pág.4.
- Palacios, V.O. y N.E. Aceves. 1970. Instructivo para el muestreo, registro de datos e interpretación de la calidad del agua para riego agrícola. Colegio de Postgraduados. Chapingo, México.
- Palacios, L. C. 2009. Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas en la Estación Científica Pedro Vicente Maldonado, Revista Tecnológica ESPOL.

- Paredes., M. 2004. Manual de evaluación de la calidad del agua. Facultad de ciencia, universidad de chile. pág. 35-45.
- Perdomo,. C. H. Casanova. O. N. Ciganda V. S. 2005. Contaminación de aguas subterráneas con nitratos y coliformes en el litoral sudoeste del uruguay. Agrociencias. Facultada de agronomía. Uruguay. Pp 32-51.
- Pérez,. B. M. Santamaría. S. J. y Muñoz. M. C. 2006. Los conflictos por agua. Unidad integral de facultad de ciencia agraria. Argentina. pág.99.
- Reynolds,. k. 2002. Tratamientos de Aguas Residuales en Latinoamericana. Agua Latinoamericana, México. pág.6-8.
- Rigiola- peña, 1999. editores alfa omega grupo op. Cit., pag 120.
- Rodríguez., M. J. y Marín. R 1999. Fisicoquímica de aguas, Ediciones Diaz de santos, México, D.f. pág. 1-5.
- Rojas,. M. T. 2000. Transferencia de Sistemas de Riego a los Usuarios en países de América Latina y el Caribe. Desarrollo de Tierras y Aguas. Santiago de Chile. pág. 34-40.
- Romero,. A. Fonseca. G. K. Ortega S. J. García. L. 2009. Monitoreo de la calidad microbiológica del agua en la cuenca hidrológica del Río Nazas, México. Revista Química Viva. México. pág.12-13.
- Rosas,. G. R. Fuente. A. M. Smer. B. E. Estrada. C. P. 2009. Problemática del agua. Asamblea legislativa, gobierno de Tamaulipas. 1pp, victoria, Tamulipas., School of Earth and Atmospheric Sciences, India. pág.1-2.
- Ruiz, B. N. 2008. La salinidad del agua de riego y del suelo. Sistema de Asistencia al Regante. IFAPA. Centro Alameda del Obispo, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Consultada en: <http://www.juntadeandalucia.es/innovacioncienciayempresa/ifapa/sar/contents/es/info/infoTecnica/calidad/salinidad.pdf>
- Salazar. J. Soria. G. Manuel. F. 2006. Demanda y distribución del agua en la comarca lagunera, México. Agrociencia. Colegio de posgraduados. México. pág. 1-2.
- SAS Institute, Inc., 2001. SAS/STAT User's guide. 1200 p. Cary. N.C.U. S. A.
- Sasson. A. 1993. La alimentación del hombre del mañana. UNESCO. Reverte S.A.

- Servian, P. L. Martínez. E. Botero. R. 2009. Evaluación del tratamiento anaeróbico de aguas residuales ordinarias de la universidad EARTH para su aprovechamiento energético. Universidad EARTH. Costa Rica. pág. 45.
- Simsek., C. y Gunduz. O. 2006. IWQ Index: A GIS-Integrated Technique to Assess
- Smith., J. U. Brandbury. N. J. Adiscott. T. M. 1996. Sundial, a pc-based y system for simulating nitrogen dynamics in arable land. Agron. J. 88: 38- 43.
- Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. 1994 Metodo ASTM D 1067-92 Libro anual de las Normas Determinación de Alcalinidad del agua.
- Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Metodo ASTM D 1126-92 Libro anual de las Normas(1994). Determinación de dureza en agua.
- Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Libro anual de las Normas (1994) Determinación de Sulfatos por Turbidimetría en agua. Metodo ASTM D 516-90.
- Sociedad Americana de Pruebas y Materiales. Libro anual de las Normas 1994 Determinación de Cloruros en agua. Metodo ASTM D 1125-91
- Soria, G. E. Salazar. G. A. Flores. M. S. Hernández. F. Alacala. V. R. 2006. Demanda de agua en la comarca lagunera, México. Agrociencia. México. pág. 23-50.
- Sustaita, R. F., V. Ordaz Ch., C. A. Ortiz S. y F. de León G. 2000. Cambios en las propiedades físicas de dos suelos de una región semiárida debidos al uso agrícola. Agrociencia pág.379-386.
- Tanji, K.K. 1990. Nature and extent of agricultural salinity. En: Agricultural Salinity Assessment and Management, Amer. Soc. Civil Eng., ASCE Manual and Reports on Engineering Practice N°. 71, ASCE, New York. pp: 1-17.
- Toledo, A. 2002. El agua en México y el Mundo. Gaceta Ecológica-Instituto Nacional de Ecología (México) No. 64: 9-18.

- Torres, P. Foresti. E. Vazoller. R. 2006. Composición y uso de agua residual doméstica en reactores a escala de laboratorio. Brasil. pág. 1.
- Torres,. A. y Acevedo. E. 2008. El problema de salinidad en los recursos suelo y agua que afectan el riego y cultivos en los valles de Lluta y Azapa en el norte de Chile. Facultad de Ciencias Agronómicas Universidad de Chile. Chile. pág. 32-44.
- U. S. Environmental Protection Agency. 1986. Ambient water quality criteria for bacteria-1986. EPA/440/5-84-002 USEPA. Office of water regulation and standards. Washington, DC. USA.
- Vaca. M. M. Magdaleno. L. Sosa. C. M. Monroy. M. M. Jiménez. C. B. 2005. tratamiento terciario de aguas residuales por filtración e intercambio iónico. UNAM. México. pág.32.
- Valdez, P., y Cabrera. V 1999.la contaminación por metales pesados en Torreon, Coahuila 1ª Ed. Texas Center For pocily studies.CILADHAC; Torreon, Coahuila.
- Vargas,. M. W. 2001. Evaluación de la calidad de aguas residuales de la planta de tratamiento de alba rancho (semapa) con fines de riego. UMSS. pág. 5-4.
- Varila,. J. 2008 Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. Biotecnología y Biorremediación. Pág.1.
- Vázquez, A.A. 1997. Guía para interpretar el análisis químico del agua y suelo. Universidad Autónoma Chapingo. Departamento de Suelos. Segunda edición. México.
- Walkley A, Black I A. 1934. An Examination of Degtjareff method for determining soil organic matter and a proposed modification of the cromic titration method. *Soil Sci.* 34:29-38.
- White,. P. A and Rasmussen J.B. 1998. The genotoxic hazards of domestic wastes in surface waters. *Mutat. Res.* 410:223–236.
- Wu,. J. Y. 2005. Assessing surface water quality of the Yangtze Estuary with genotoxicity data. *Mar. Pollut. Bull.* Pp. 150:1661–1667.
- Yanez,. B. P Jesús González Rios. G. J. Figueroa S. B. Cossio G. F. 1999 materia organica y caracterizacion de suelos en proceso de recuperacion con coberturas vegetativas en zonas templadas de mexico. *terra volumen 17 numero 2.*

- Yesilnacar,. M. I. Gulluoglu. M. S. 2007. Hydrochemical characteristics and the effects of irrigation on groundwater quality in Harran Plain, GAP Project, Turkey. Department of Environmental Engineering, 2p. Anliurfa, Turquía.
- Zhao,. B. Maeda. M. Zhang, J. Zhu. A. Ozaki. Y. 2006. Environmental science and pollution research. Pp 97: 13-18.
- Zhu., J. K. 2001. Plant salt tolerance. Trends plant sci. pp 66-71

APÉNDICE

Análisis de varianza del de los metales pesados en los siete muestreos en las tres plantas tratadoras, que no tiene diferencia significativa.

Plomo			
T			
Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.05714	7	3
A	0.04529	7	3
A	0.04	7	3

Cobre			
T			
Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.08286	7	3
A	0.07429	7	2
A	0.03886	7	3

Niquel			
T			
Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.07329	7	3
A	0.06029	7	1
A	0.05186	7	2

Arsenico			
T			
Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.2204	7	3
A	0.162	7	2
A	0.145	7	1

Cromo			
T			
Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.03514	7	3
A	0.021	7	2
A	0.01614	7	1

Mercurio			
T			
Grouping	Mean	N	TRAT
A	0.006429	7	1
A	0.006429	7	2
A	0.006429	7	3