

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA**

**ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**Remoción de Cadmio y Cobre del agua utilizando materiales  
adsorbentes.**

**POR**

**VERÓNICA ALEJANDRA CÁRDENAS GARCÍA**

**TESIS**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA.**

**SEPTIEMBRE DE 2015**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

Remoción de cadmio y cobre del agua utilizando materiales adsorbentes.

POR:

**VERÓNICA ALEJANDRA CÁRDENAS GARCÍA**

TESIS

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

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

APROBADA POR:

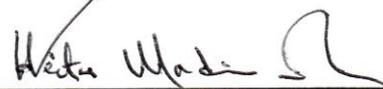
PRESIDENTE:



---

**DR. MARIO GARCÍA CARRILLO**

VOCAL:



---

**DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS**

VOCAL:



---

**DR. ALFREDO OGAZ**

VOCAL SUPLENTE



---

**ING. RUBÉN LÓPEZ TOVAR**



---

**M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO**

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA.

SEPTIEMBRE, 2015

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**UNIDAD LAGUNA**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

Remoción de cadmio y cobre del agua utilizando materiales adsorbentes.

POR:

**VERÓNICA ALEJANDRA CÁRDENAS GARCÍA**

TESIS

QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ ASESOR COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

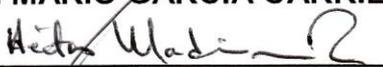
**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

REVISADA POR EL COMITÉ DE ASESORES:

ASESOR PRINCIPAL:

  
\_\_\_\_\_  
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:

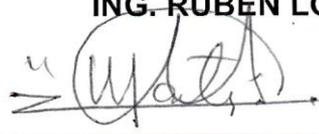
  
\_\_\_\_\_  
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:

  
\_\_\_\_\_  
ING. RUBÉN LÓPEZ TOVAR

  
\_\_\_\_\_  
M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

  
Coordinación de la División de  
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA.

SEPTIEMBRE, 2015

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios**, por brindarme fuerza, paciencia y valor para avanzar con firmeza cada paso que he recorrido en mi vida.

**Al. Dr. Mario García Carrillo**, porque sin su gran apoyo, ayuda y paciencia no podría concluir con esta etapa de mi educación. También por todos aquellos consejos y ánimos en momentos en los que más los necesité.

**A todos mi profesores**, que durante 4 años y medio me compartieron sus conocimientos y brindaron su amistad.

**A Los laboratoristas Juan Carlos Mejía Cruz y José Silverio Álvarez Valadéz**, por asesorarme y ser mí guía en el proceso de trabajo en el laboratorio.

**A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**, que fue mi hogar mientras cursé mi carrera universitaria y a la cual estoy enormemente orgullosa de pertenecer.

## DEDICATORIAS

**A mis padres**, Idalia García Aguirre y Rafael Cárdenas Lucio, por su apoyo, sacrificios y esfuerzos para impulsarme durante esta etapa. Gracias. Los quiero.

**A mi hermano**, Rafael Jaziel Cárdenas García, del quien me siento muy orgullosa por todos sus logros. Eres una excelente persona y nunca dudes de lo mucho que te quiero.

**A mi tía**, Leticia Imelda García Aguirre, que a pesar de la distancia y no vernos con frecuencia ocupa un lugar muy especial en mi corazón, y gracias por siempre darme ánimos y por todos sus consejos.

**A mis amigas**, Stefany Martínez Gutiérrez, Sara Gabriela Mares de León y Claudia Natalia González Guerrero, por estar siempre a mi lado en las buenas y las malas, las quiero como hermanas.

**A mis hijos**, Axl, Alexa, Victoria y Mía, por ser la base de mi existencia y la razón para superarme y ser mejor cada día.

**Al amor de mi vida**, Jesús Abraham Roque Aguilar, por ser mí apoyo, mi mejor amigo y confidente. Todos los días agradezco a Dios que te haya puesto en mi camino pues me haces ser una mejor persona y contigo conocí que hay otra oportunidad para ser feliz y que juntos siempre podemos librar cualquier obstáculo. Te amo.

## INDICE GENERAL

Pág.

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIAS</b> .....	ii
<b>INDICE GENERAL</b> .....	iii
<b>INDICE DE CUADROS</b> .....	v
<b>INDICE DE FIGURAS</b> .....	vi
<b>RESUMEN</b> .....	vii
<b>I. INTRODUCCION</b> .....	1
<b>II. OBJETIVOS</b> .....	3
<b>III. HIPOTESIS</b> .....	4
<b>IV. REVISION DE LITERATURA</b> .....	5
4.1 Contaminación por metales pesados.....	5
4.1.1 Contaminación en suelo.....	7
4.1.2 Contaminación en aire .....	9
4.1.3 Contaminación en agua .....	10
4.2 Distribución geográfica del agua contaminada por metales pesados en México.....	13
4.2.1 Mercurio .....	15
4.2.2 Plomo .....	15
4.2.3 Cadmio.....	16
4.3 Situación de la Región Lagunera por contaminación de metales pesados en agua.....	16
4.4 Efectos de la contaminación por metales pesados.....	18
4.5 Tratamientos para eliminación de metales pesados en agua.....	21
4.6 Normatividad en materia de contaminación por metales pesados .....	25
<b>V. MATERIALES Y METODOS</b> .....	31
5.1 Localización .....	31
5.1.1 Localización geográfica.....	31
5.2 Relación agua-material adsorbente .....	32
5.3 Tratamientos a evaluar .....	32
5.3.1 Zeolita natural .....	32
5.3.2 Zeolita tratada .....	32
5.3.3 Agrobonos.....	32
5.3.4 Ruminal Health.....	32
5.4 Preparación de la Zeolita .....	33
5.4.1 Preparación de la Zeolita natural.....	33
5.4.2 Preparación de la Zeolita tratada .....	33
5.5 Calculo de la concentración molecular del Cloruro Férrico.....	33
5.6 Desarrollo del experimento .....	34
5.7 Análisis de metales pesados .....	34
5.8 Parámetros a evaluar.....	35
5.8.1 Equipo utilizado para determinar Cadmio y Cobre .....	35

5.8.2 Equipo para determinar p.H. y C.E.....	35
<b>VI. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>	<b>36</b>
<b>VII. CONCLUSIONES.....</b>	<b>43</b>
<b>VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>44</b>

## ÍNDICE DE CUADROS

	<b>Pág.</b>
<b>Cuadro 1.</b> Límites Máximos Permisibles indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996).....	30
<b>Cuadro 2.</b> Resultados del análisis químico de agua.....	36
<b>Cuadro 3.</b> Resultados obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados para la concentración de Cobre (ppm). ....	37
<b>Cuadro 4.</b> Resultados del Análisis de Varianza en los tratamientos evaluados para Cobre.....	38
<b>Cuadro 5.</b> Medias de tratamientos para Cobre.....	38
<b>Cuadro 6.</b> Resultados obtenidos en la retención de Cadmio por los tratamientos aplicados. ....	39
<b>Cuadro 7.</b> Resultados del análisis de varianza para el Cadmio. ....	40
<b>Cuadro 8.</b> Medias de tratamientos para Cadmio. ....	40
<b>Cuadro 9.</b> Resultados de las correlaciones realizadas de los parámetros evaluado .....	41

## CUADRO DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1</b> Ubicación de la Universidad Agraria Antonio Narro.....	31

## RESUMEN

En 1977, la presencia de arsénico en el agua potable se registró en la ciudad de Torreón, la principal ciudad de la Región Lagunera y el sitio del complejo metalúrgico más importante de México. Informes sobre dicha problemática en la Región Lagunera del norte de México indican que más del 50 por ciento de las muestras presentan concentraciones de arsénico mayores a 50 mg/L. En este estudio se evaluaron 4 tratamientos adsorbentes los cuales fueron: Zeolita Natural, Zeolita acondicionada con cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), Agrobonos y H.R. (RuminalHealth). Los tratamientos con mejores resultados fueron el H.R. con 44% de adsorción y Zeolita Natural con 38% adsorción en el caso del Cobre y en el caso del Cadmio el mejor tratamiento es el Agrobonos presentando una retención de 38%, seguido del H.R. que presenta 34% de retención del metal. El tratamiento de Agrobonos situó la concentración de Cadmio en 0.31mg/L, no logrando igualar o disminuir en relación a los valores establecidos por la NOM-001-ECOL-1990 (0.1 mg/L) y la EPA (0.005mg/L). Así mismo el tratamiento de H.R. situó la concentración del Cobre en 0.28 mg/L y los valores determinados por la NOM-001-ECOL-1990 (4.00 mg/L) y la EPA (1.3mg/L). Debido a que la concentración inicial fue de 0.5 mg/L, no se puede constatar la eficiencia del tratamiento.

**PALABRAS CLAVE:** Metales pesados, agua, materiales adsorbentes, cobre, cadmio.

## I. INTRODUCCION

Desde tiempos remotos, los seres humanos han utilizado recursos líticos para su desarrollo, fragmentos de rocas o minerales medianamente trabajados como herramientas y armas; posteriormente con la evolución continua y el conocimiento de varios procesos, inventaron la metalurgia.

Actualmente, el desarrollo de tecnologías de toda índole depende de los elementos que se obtienen por actividades minero-metalúrgicas o del reciclaje de otros materiales, ya que muchos de los componentes de los nuevos equipos (computadoras, instrumentos analíticos, teléfonos celulares, entre otros) están fabricados de metales como el hierro, cobre, cadmio, oro, plomo, plata y otros elementos como el silicio (Gocht *et al*, 1998).

Aunque no existe una definición clara de lo que es un metal pesado, la densidad es en la mayoría de casos llevado a ser el factor determinante. Los metales pesados son así comúnmente definidos como aquéllos que tienen una densidad específica de más de 5 g/cm<sup>3</sup> (Baldwin & Marshall, 1999).

Algunos metales pesados son nutricionalmente esenciales, como elementos traza (por ejemplo, hierro, cobre, manganeso y zinc) que se encuentran en alimentos, frutas, verduras, y disponibles en productos multivitamínicos comerciales (Guptra & Sharma, 2013).

Las principales amenazas para la salud humana de metales pesados están asociados con la exposición al plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico (el

arsénico es un metaloide, pero generalmente se clasifica como un metal pesado). Los metales pesados se han utilizado en muchas áreas diferentes durante miles de años. Aunque los efectos adversos de los metales pesados para la salud se han conocido durante mucho tiempo, la exposición continúa e incluso aumenta en algunas zonas. Por ejemplo, el mercurio todavía se utiliza en la minería de oro en muchas partes de América Latina. El arsénico es todavía común en los conservantes de la madera y el tetraetilo de plomo sigue siendo un aditivo a la gasolina común, aunque este uso ha disminuido drásticamente en los países desarrollados. Desde mediados del siglo XIX, la producción de metales pesados ha aumentado considerablemente desde hace más de 100 años, con emisiones concomitantes para el medio ambiente (Jarup, 2003).

La creciente preocupación por la contaminación ambiental ha dado como resultado un aumento en la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta (Del Razo ,1990).

Para el tratamiento de los efluentes líquidos que contienen metales pesados, existen diferentes métodos físico-químicos, siendo los de mayor auge en la actualidad los siguientes: precipitación, intercambio iónico, ósmosis inversa y adsorción (Volesky & Naja, 2006).

## II. OBJETIVOS

- Remover el cadmio y cobre del agua usando Zeolita natural, Zeolita acondicionada, Ruminant Health (H.R.) y Agrobionos.
- Comparar la concentración final de los metales pesados estudiados en el agua con los límites máximos permisibles establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas y la EPA.

### **III. HIPOTESIS**

La zeolita acondicionada es el material adsorbente con mayor eficiencia para la remoción del cadmio y plomo del agua.

La zeolita acondicionada disminuye la concentración de cadmio y plomo por debajo de los límites máximos permisibles establecidos por las normas oficiales mexicanas y la EPA.

## **IV. REVISION DE LITERATURA**

### **4.1 Contaminación por metales pesados**

Los metales se consideran contaminantes muy importantes y altamente tóxicos en los diversas áreas ambientales. Las entradas de los metales en el medio como resultado de actividades humanas es difícil de medir debido a las grandes entradas naturales como la erosión de las rocas, polvo transportado por el viento, actividad volcánica e incendios forestales, sin embargo se realizan estimaciones en dichas emisiones (Valavanidis & Vlachogianni, 2010).

Las emisiones mundiales de los metales a la atmósfera (en miles de toneladas por año) por las fuentes naturales se estima en: Ni: 26, Pb: 19, Cu: 19, As: 7.8, Zn: 4, Cd: 1.0, Se: 0.4. Considerando que, a partir de fuentes antropógenas: Pb: 450, Zn: 320, Ni: 47, Cu: 56, As: 24, Cd: 7.5, Se: 1.1.

Al observar estos números nos damos cuenta que Pb, Zn, Ni y Cu son los contaminantes de metales más importantes de las actividades humanas.

La clasificación más aceptada se basa en la acidez de Lewis y se enfoca en las propiedades químicas de los metales, de manera que los metales pesados se clasifican como elementos de clase A (duros), clase B (suaves) y de frontera. Esta clasificación se basa en la forma en la que se unen los

metales en sus complejos y determina las posibilidades para la formación de los mismos (Duffus, 2001).

Muchos metales son esenciales para los organismos vivos, pero algunos de ellos son altamente tóxicos o son tóxicos a concentraciones elevadas. Fe (hemoglobina), Cu (pigmentos respiratorios), Zn (enzimas), Co (vitamina B12), Mo y Mn (enzima). Metales de luz de sodio (Na), potasio (K) y calcio (Ca), que desempeñan importantes funciones biológicas. Metales de transición Fe, Cu, Co y Mn, que son esenciales, pero puede ser tóxico en altas concentraciones. Los metales tales como Hg, Pb, Sn, Ni, Se, Cr y As que generalmente no se requiere para la actividad metabólica y son tóxicos para los organismos vivos a concentraciones muy bajas (Valavanidis & Vlachogianni, 2010).

Hoy en día se reconoce que generalmente el comportamiento particular de los metales traza en el medio ambiente está determinado por sus formas fisicoquímicas específicas más que por su concentración total (Tack & Verloo, 2006).

Ciertas plantas pueden concentrar metales pesados esenciales y no esenciales en sus raíces y brotes a niveles muy superiores a los presentes en el suelo (Raskin *et al*, 2004).

La industria y las viviendas son una fuente de contaminantes potenciales. Los más comunes son los metales pesados, y disolventes. Algunos de los hidrocarburos de bajo peso molecular aromáticos pueden dar lugar a graves problemas de olor en el agua potable. A veces se encuentran en aguas subterráneas hidrocarburos, en particular de aceites de petróleo. Hay poca evidencia de que estos contaminantes a concentraciones de 30 mg/l en el agua potable son suficientes para causar problemas de salud (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

#### **4.1.1 Contaminación en suelo.**

Varios metales pesados tales como Fe, Cu, Co, Mn, Mo, y Ni son elementos esenciales para el metabolismo de la planta y con frecuencia se añaden a los fertilizantes minerales. En concentraciones más altas, muchos metales pesados dañan severamente las plantas. Esto ha sido ampliamente estudiado y criticado. Después de la contaminación continua de un hábitat con metales pesados, especies únicas que poseen mecanismos fisiológicos para hacer frente a los metales pesados tóxicos (por ejemplo, para excluir los metales pesados, o para aislarlos en las vacuolas, o para secuestrar por fitoquelatinas o para integrar iones infiltrados provechosamente en su metabolismo) serán capaces de sobrevivir (Kupper *et al*, 1996).

Contaminación por metales pesados puede afectar los ecosistemas del suelo lo suficiente como para dar lugar a pérdidas significativas en la calidad del suelo (Kelly & Tate, 2008).

Las fuentes naturales como antropogénicas de cadmio, incluidas las emisiones industriales y la aplicación de lodos de aguas residuales y fertilizantes a las tierras agrícolas, podrán dar lugar a la contaminación de los suelos y al aumento de la absorción de cadmio por las cosechas y vegetales, que se cultiva para el consumo humano. El proceso de absorción de cadmio del suelo por las plantas se mejora cuando el valor de pH es de cuatro o menor.

La exposición ocupacional al plomo inorgánico se produce en las minas y fundiciones, así como la soldadura de plomo metálico pintado, y en plantas de baterías. Exposición baja o moderada puede tener lugar en la industria del vidrio. Los altos niveles de emisiones al aire pueden contaminar las áreas cercanas a las minas de plomo y fundiciones. El plomo en el aire se puede depositar sobre el suelo y el agua, llegando así a los seres humanos a través de la cadena alimentaria (Jarup, 2003).

Investigaciones actuales se han centrado en la influencia de la minería de metales comunes como contaminación por metales pesados en el ambiente de la superficie y sus consecuencias para los suelos y las plantas (Jung y Thornton, 2006).

#### **4.1.2 Contaminación en aire.**

Las industrias especializadas en el proceso de metales (siderurgias y metalúrgicas) pueden emitir partículas de dimensiones micrométricas que son fácilmente transportables por el viento a grandes distancias y causar problemas en la salud de poblaciones. (Csuros y Csuros, 2002).

En las zonas urbanas con intenso tráfico vehicular, la principal fuente de exposición al plomo resulta de la inhalación de partículas extremadamente pequeñas que persisten en el aire durante algunas semanas antes de sedimentarse y que son emitidas por los autotransportes que consumen gasolinas que contienen tetraetilo de plomo (INECC,2009).

Durante el último siglo, las emisiones de plomo en el ambiente concentran más contaminación en medio, más del 50% de las emisiones de plomo proceden de la gasolina. Durante las últimas décadas, sin embargo, las emisiones de plomo en los países desarrollados han disminuido considerablemente debido a la introducción de la gasolina sin plomo (Jarup, 2003).

En los países en los cuales se han empleado pinturas de interiores conteniendo óxidos de plomo, es común la intoxicación de niños al ingerir la pintura descascarada.

La población abierta se expone principalmente al cadmio a través del consumo de tabaco contaminado presente debido a los fertilizantes fosfatados. El cadmio se acumula en el organismo humano, fundamentalmente en los riñones, causando hipertensión arterial. La absorción pulmonar es mayor que la intestinal, por lo cual, el riesgo es mayor cuando el cadmio es aspirado.

También ocurren efectos tóxicos por inhalación de vapor de mercurio, el cual daña especialmente el sistema nervioso. Las exposiciones leves están caracterizadas por pérdida de la memoria, temblores, inestabilidad emocional (angustia e irritabilidad), insomnio e inapetencia. A exposiciones moderadas, se observan desórdenes mentales más importantes y perturbaciones motoras, así como afecciones renales. Las exposiciones breves a altos niveles de vapor de mercurio pueden producir daños pulmonares y la muerte (INECC, 2009).

#### **4.1.3 Contaminación en agua.**

Hoy, una tercera parte de la población mundial padece escasez de agua, una sexta parte no tiene acceso a una fuente limpia de agua a menos de un kilómetro de su casa y la mitad de los habitantes de países en desarrollo no tienen acceso a un sistema de saneamiento (Greenpeace, 2012).

La generación de aguas residuales en nuestro país, producto de actividades domésticas, industriales y agrícolas, han generado un impacto negativo sobre el medio ambiente ya que en estas aguas van incluidas sustancias tóxicas que afectan a la flora y fauna de la región donde son utilizadas (Mendoza, 1981).

El agua potable se obtiene a partir de dos fuentes básicas: las aguas superficiales, como ríos y embalses y aguas subterráneas. Toda el agua que contiene contaminantes naturales e inorgánicos que surgen de las capas geológicas por las cuales el agua fluye y, en mayor o menor medida, la contaminación antropogénica por microorganismos y productos químicos. En general, el agua subterránea es menos vulnerable que las aguas superficiales. Hay una serie de posibles fuentes de contaminantes artificiales, algunos de los cuales son más importantes que otros. Estos se dividen en las categorías de fuentes puntuales y difusas. Los vertidos procedentes de instalaciones industriales y obras de tratamiento de aguas residuales son fuentes puntuales y como tales son más fácilmente identificables y controlada; en cambio las tierras agrícolas y de las superficies duras, como las carreteras, no son tan evidentes, o de fácil control (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

La complejidad de los efluentes hace el proceso de eliminación de los metales pesados más difícil debido a la presencia de compuestos orgánicos, fosfato, material húmico y cianuro que se puede añadir a la complejidad de

la eliminación, así como estrictas limitaciones que han sido impuestas a las descargas de aguas residuales.(Tarek *et al*, 2010).

Dentro de los efluentes líquidos industriales, uno de los contaminantes que más afectan al medio ambiente es el de los metales pesados (Cañizares-Villanueva, 2000).

Las concentraciones elevadas de metales pesados en el medio ambiente pueden provenir de una variedad de procesos industriales, incluyendo placas de metal, la producción de fertilizantes, la minería, la metalurgia, la fabricación de baterías y teñido de textiles, entre otros. El destino de los metales, una vez que han entrado en un sistema acuático, puede ser variable, dependiendo de su forma inicial y las características químicas y físicas del cuerpo de agua receptor. Los metales pueden estar en solución en forma de iones libres, sales solubles, iones asociados con inorgánicos disueltos o ligados orgánicos, o están unidos a las partículas (Sdiri *et al*, 2011).

Los biomonitores (alga de macrófitos) pueden ser utilizados para establecer las variaciones geográficas y / o temporales en biodisponibilidad de metales pesados en el medio marino, que ofrece medidas de duración integrada de las partes de la carga metálica total del ambiente que son de relevancia ecotoxicológica directa (Rainbow, 1995).

## **4.2 Distribución geográfica del agua contaminada por metales pesados en México.**

Estudios recientes indican que en varias regiones del mundo, la concentración de metales pesados en el agua es mucho más alta que los niveles aceptados (Rosaldo *et al*, 2007).

El grupo de metales pesados está conformado por 38 elementos, pero generalmente son 12 los utilizados más comúnmente y descargados, como parte de una serie de residuos, al medio ambiente: Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn y Zn (US EPA, 1997).

Dos de los contaminantes encontrados con más frecuencia en las zonas mineras del país son el arsénico y el plomo, junto con el cadmio en algunas de ellas.

Actualmente, el número de sitios contaminados como consecuencia de esta actividad, aún en las estimaciones más conservadoras, asciende a varios miles cuyo riesgo potencial es desconocido.

En el siguiente cuadro se presenta información acerca de los estados de la República en los que se han identificado sitios contaminados con algún tipo de residuo de la industria minera (SEMARNAT, 2002).

- Sitios abandonados e ilegales, contaminados con residuos peligrosos generados por la industria minera (SEMARNAT, 2002).

<b>Estado</b>	<b>Principales residuos provenientes de actividades mineras</b>	<b>No. De sitios</b>
Baja California	Metales pesados, polvo de fundición	8
Baja California Sur	Jales, escorias de fundición	2
Coahuila	Metales pesados, jales	15
Guanajuato	Metales pesados, escorias de fundición	10
Hidalgo	Escorias de fundición	6
Jalisco	Tierras de blanqueo, residuos de baterías	7
México	Escorias de fundición	10
Nayarit	Jales	5
Nuevo León	Escorias de fundición, Ag, Pb, Cd, Ni, cianuros	22
San Luis Potosí	Escorias de fundición, Ni	10
Tamaulipas	Escorias de fundición	8
Veracruz	Azufre	8
Zacatecas	Jales, Metales pesados	9

En algunos de los sitios arriba mencionados se han llevado a cabo acciones de control y/o correctivas (remediación) para disminuir la contaminación. Sin embargo, en algunos casos, dichas acciones resultan insuficientes o inadecuadas por lo que aún existe un riesgo latente sobre la población y/o el medio ambiente. Algunos otros ejemplos de casos de contaminación por metales en México, son: plomo en Torreón, Coahuila; cromo en Tultitlán,

Estado de México; jales mineros (conteniendo diferentes metales) en una gran cantidad de distritos mineros en diferentes estados de la República, como son Baja California Sur, Coahuila, Guanajuato, Hidalgo, México, Morelos, Nayarit, Nuevo León, San Luis Potosí, Sonora, Tamaulipas y Zacatecas, entre algunos otros (SEMARNAT, 2002).

Entre las principales fuentes de emisión de los metales de mayor preocupación en México se tiene:

#### **4.2.1 Mercurio**

- Actividades mineras de extracción de oro, plata y cobre.
- Fundición primaria y secundaria de metales.
- Producción de carbón y coque.
- Combustión de combustóleo y carbón en la generación de electricidad.
- Industria de cloro-sosa.
- Incineración de residuos peligrosos y biológico infecciosos.

#### **4.2.2 Plomo**

- Fundición primaria y secundaria de metales.
- Loza vidriada.
- Producción de pinturas.
- Elaboración de latas soldadas con plomo.

- Industria electrónica y de cómputo.
- Uso de gasolina con plomo.

#### **4.2.3 Cadmio**

- Baterías Recargables de Níquel/Cadmio (Ni/Cd).
- Fertilizantes.
- Pigmentos y Estabilizadores en Plástico y PVC.
- Pigmentos en Pinturas.
- Galvanización.
- Catalizadores y Conservadores en la Industria del Plástico.
- Elaboración de Pinturas.
- Aleaciones (INECC, 2009).

#### **4.3 Situación de la Región Lagunera por contaminación de metales pesados en agua.**

En México, la cantidad de arsénico en las aguas subterráneas varía de 10 a 5.000 mg / L (Rosaldo *et al*, 2007). Los contaminantes en el agua potable presenta riesgos de salud pública (Wyatt *et al*, 2005).

Informes sobre el problema de las aguas subterráneas contaminadas por As en la Región Lagunera del norte de México, con más del 50 por ciento de las muestras con concentraciones de arsénico mayores a 50 mg / L, que fue el

anterior nivel de referencia establecido por la Organización Mundial de la Salud. El tipo predominante en el 90 por ciento de las muestras fue de arsénico pentavalente.

En 1977, la presencia de arsénico en el agua potable se registró en la ciudad de Torreón, la principal ciudad de la Región Lagunera y el sitio del complejo metalúrgico más importante de México (Rosaldo *et al*,2007).

El problema en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. Sin embargo, los estudios, las denuncias y ahora las acciones que se han realizado en torno a este problema tienen como actor principal al plomo. Esto no significa que el plomo sea el más tóxico de los tres elementos –de hecho ocurre lo contrario- sino a que de los tres es el que ha sido utilizado por la humanidad más ampliamente y por ende es el que causa más problemas y más preocupación en todo el mundo. Valdría la pena estar conscientes de este hecho y no tener la impresión que es el plomo el único contaminante que nos preocupa.

De todos los estudios realizados queda claro que la vía por la que el plomo ingresa al organismo de los torreonenses es por la boca, al ingerir polvo contaminado. Por esta razón adquiere especial relevancia el estudio del suelo y del polvo. También toman relevancia las acciones de higiene y dieta que puedan llevar a la población expuesta a protegerse mejor. Sin embargo, es necesario establecer de manera clara que estas son medidas de

protección contra la agresión de un ambiente contaminado y que los hábitos de higiene o de dieta de la población afectada no es la causa del problema (Perezgasga y Cabrera, 1999).

Leal-Ascencio y Gleover (2004) mencionan que en Torreón, ocho pozos analizados cumplen con los límites permisibles en las pruebas determinadas, a excepción de un pozo que presentó 597 mg/L de dureza total, así como el 50% de los pozos presentan arsénico entre 0.025 y .034 mg/L.. En Gómez Palacio, de los 24 pozos analizados, 15% rebasaron el límite máximo permisible de sólidos disueltos totales, 17% el de sulfatos, 35% el de dureza y 85% el de arsénico. La concentración de arsénico más alta del municipio la presenta el pozo del sistema rural San Felipe con 0.062 mg/L. En Lerdo se analizaron 12 pozos en la zona rural, de los cuales 25% rebasaron el límite permisible de sólidos disueltos totales, 25% el de sulfatos, 45% el de manganeso, 50% el de dureza total y 66% del límite máximo permisible de arsénico. El pozo de mayor contenido de este metaloide es del ejido La Loma que presenta 0.117 mg/L.

#### **4.4 Efectos de la contaminación por metales pesados.**

Los metales pesados son contaminantes que generan gran preocupación ambiental, ya que no son degradables y, por tanto persistentes (Stratton, 1987).

La preocupación por los efectos de los contaminantes de los metales pesados sobre la función inmune en los seres humanos y la vida silvestre está creciendo y prácticamente no se sabe nada acerca de este impacto, a pesar de que se sabe que se acumulan los contaminantes fácilmente (Sorvari *et al*, 2007).

La optimización del agua y de los procesos de depuración de aguas residuales requiere el desarrollo de nuevas operaciones sobre la base de bajos costos de materias primas con una alta eficiencia de remoción de contaminantes. Muchos metales pesados tóxicos se vierten en el medio ambiente como desechos industriales, causando graves consecuencias en el suelo y la contaminación del agua. Los metales pesados tales como zinc (Zn), plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y cobre (Cu) son contaminantes tóxicos en las aguas residuales industriales, que se convierten en contaminantes comunes de agua subterránea y que tienden a acumularse en los organismos, causando numerosas enfermedades y trastornos (Tarek *et al*, 2010).

La preocupación por la contaminación con metales pesados en agua potable es que el consumo y el uso de esta agua en la cocina puede aumentar la medida de exposición en humanos (Rosaldo *et al*, 2007).

Las intoxicaciones ocasionadas por plomo, conocidas desde la antigüedad, se han debido al consumo de bebidas contaminadas por este metal, principalmente de fabricación clandestina, como el vino. Más común, sobre

todo en países en desarrollo, es la intoxicación provocada por el consumo de alimentos preparados o almacenados en recipientes de barro vidriado de los cuales se desprende plomo (INECC, 2009).

Contaminación por metales pesados del suelo resultante de riego con aguas residuales es una causa de gran preocupación debido a los posibles efectos en la salud de consumir productos contaminados (Kumar *et al*, 2007).

Arsénico en el agua es una causa importante de enfermedad. Es el único contaminante que ha demostrado ser la causa de los cánceres humanos después de la exposición a través del agua potable. Además de cáncer de la piel, pulmón y vejiga, y probablemente hígado, el arsénico es responsable de una serie de efectos adversos, incluyendo la hiperqueratosis y la enfermedad vascular periférica. La OMS ha establecido un valor de referencia provisional de 10 mg/l basándose en el límite práctico de Concentración alcanzable, pero hay un debate en curso sobre las bases científicas de esta directriz, incluyendo si los datos disponibles lo permiten distinguir entre un nivel de, por ejemplo 5, 10, o 15 g/l y si la exposición a 50 g/l, la directriz anterior, resultará en enfermedad (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

La gente puede estar expuesta crónicamente a los metales potencialmente dañinos que se encuentran en la contaminación ambiental (como el humo del cigarrillo o de escape de los automóviles), el agua, el suelo y los alimentos. La exposición prolongada a los metales y su acumulación en los

tejidos puede alterar la homeostasis normal del metal en el cuerpo, lo que contribuye a la patogénesis de una serie de enfermedades. Sin embargo, todavía no existe un conocimiento detallado de los procesos que determinan la entrega, la limpieza, y la acumulación de metales en tejidos específicos, o de los mecanismos moleculares potencialmente implicados en metales inducidas por efectos malignos de transformación o de metal sobre el comportamiento en un tumor (Carrigan *et al*, 2007).

#### **4.5 Tratamientos para eliminación de metales pesados en agua**

La contaminación por metales pesados en los sistemas acuáticos se ha convertido en una seria amenaza en la actualidad (Gupta *et al*. 2000).

En los últimos años, varios métodos para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales se han estudiado ampliamente (Fu y Qui, 2011).

Hay varios métodos para tratar el metal efluente contaminado, tales como precipitación, intercambio iónico y adsorción, etc., pero la selección de los métodos de tratamiento de aguas residuales se basa en la concentración de los residuos y el coste del tratamiento. El intercambio iónico y adsorción es uno de los métodos más populares y ha sido ampliamente practicada en procesos industriales de tratamiento de aguas residuales para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales.

En el proceso de purificación, de bajo coste los sistemas purificantes-adsorbentes son los preferidos. Por esta razón, los desechos industriales y subproductos metalúrgicos se utilizan también sustancias naturales como zeolitas particularmente arcillas (Kocaoba, 2007).

Como un enfoque eficaz, eficiente y económico para la purificación del agua, los procesos de adsorción y adsorbentes han sido ampliamente estudiados y aplicados en diferentes aspectos por un largo tiempo. En los últimos años, una gran cantidad de nuevos procesos de adsorción se han desarrollado para la mejora de la eficiencia de la eliminación de los contaminantes orgánicos e inorgánicos del agua (Qu., 2008).

El tratamiento de agua potable como se aplica a los suministros de agua públicos consiste en una serie de barreras en un tren de tratamiento que variarán de acuerdo con los requisitos de la oferta y de la naturaleza y la vulnerabilidad de la fuente. En términos generales estos comprenden sistemas para, la coagulación y la floculación y filtración oxidación. El desinfectante oxidante más utilizado es el cloro. Esto proporciona una barrera efectiva y robusta a los agentes patógenos y proporciona un residual fácil de medir que puede actuar como un marcador para mostrar que la desinfección se ha llevado a cabo, y como un conservante en la distribución de agua, sin embargo con esto no es posible la eliminación de metales pesados (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

Bioacumulación incluye todos los procesos responsables de la eliminación de metales por las células vivas (bacterias, hongos, algas y otros), en la que los procesos de biosorción junto con bioprecipitación y la acumulación intracelular están incluidos. Hay un segundo concepto que considera la bioacumulación como un sistema, que implica exclusivamente los mecanismos que dependen del metabolismo celular.

Los procesos de absorción son muy importantes en biorreactores para la promoción de la acumulación de especies metálicas sobre un absorbente por medio de adsorción y los fenómenos de absorción (Morais *et al*, 2007).

La Fitorremediación puede ser una técnica efectiva para remediar la contaminación por metales pesados (Cheng, 2003).

La biomasa producida a partir de glucosa utilizando el organismo *Zoogloearamigera* se ha utilizado para eliminar el cobre, cadmio, y los iones de uranio a partir de soluciones de agua (Norberg & Persson, 2004).

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y otras, para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características microbiológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor.

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe justificarse con estudios de calidad y pruebas de tratabilidad a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes microbiológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua listados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en la modificación de la NOM-127-SSA1-1994.

- Arsénico: Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
- Aluminio, bario, cadmio, cianuros, cobre, cromo total y plomo: Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; intercambio iónico u ósmosis inversa.
- Fierro y/o manganeso: Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa.
- Mercurio: Coagulación-floculación-sedimentación-filtración; adsorción en carbón activado granular u ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 µg/L. Adsorción en carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 µg/L (Modificación a la NOM-127-SSA1-1994, 2000).

#### 4.6 Normatividad en materia de metales pesados

La creciente preocupación por la contaminación ambiental, ha dado como resultado un aumento en la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta (Toriz *et al*, 2006).

Los principales convenios internacionales en los que participa nuestro país y de los cuales se han derivado diversos compromisos y oportunidades para el control de la contaminación por metales pesados son:

- **Convenio de Basilea, 1989.** El objetivo de este convenio, es el de regular los movimientos transfronterizos de materiales y residuos peligrosos.
- **Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), 1990.** En 1990, el Consejo de la OCDE adoptó la Decisión/Recomendación para la Cooperación en la Investigación y la Reducción de Riesgos de las Sustancias Químicas existentes [C(90) 163/Final]. Esta Acta del Consejo de la OCDE trata de la reducción de riesgos de sustancias químicas al ambiente, o que dañen la salud de la población o los trabajadores. Se basa en la premisa de la cooperación internacional en actividades de reducción de riesgos que favorezcan los aspectos institucionales y técnicos del manejo de riesgos en los países miembros al compartir esfuerzos y

reducir la duplicación de éstos. Dentro de la OCDE se manejan cuatro sustancias, tres de las cuales son metales pesados: cadmio, mercurio, plomo.

- **Grupo de Trabajo para la Selección de Sustancias Químicas de la Comisión de la Cooperación de América del Norte.** Este grupo de trabajo, el cual forma parte del Grupo de Trabajo de Manejo Adecuado de Sustancias Químicas (MASQ) está trabajando para la nominación del Plomo como sustancia para la cual se tomen acciones para su control en Canadá, Estados Unidos y México.
- **Declaración para la Reducción de Riesgos por Plomo, 1996.** Esta declaración fue adoptada por los gobiernos de los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE) en la reunión del Comité de Políticas Ambientales a nivel Ministerial (INECC, 2009).

La base sobre la cual se juzga la seguridad del agua potable son las normas o directrices nacionales e internacionales. Las más importantes son las Directrices de la OMS para la calidad del agua potable. Estos son revisadas de forma periódica y están respaldados por una serie de documentos detallados que describen muchos de los aspectos de seguridad en el agua. Las directrices se basan ahora en los Planes de Seguridad del Agua, que abarcan un enfoque mucho más proactivo de la seguridad desde la fuente hasta el grifo (Fawell & Nieuwenhuijsen, 2003).

Existe un límite permisible de cada metal, encima del cual por lo general son tóxicos y algunos son incluso peligrosos (Gadd, 1992).

Las Normas que proporcionan información relevante relacionada con las Normas Oficiales Mexicanas y Normas Mexicanas vigentes así como la correspondiente a los Comités Consultivos de Normalización cuyo objetivo es proponer, diseñar y aprobar la normatividad ambiental para el aprovechamiento sustentable, su conservación y restauración (IMTA, 2013).

- **NMX-AA-135-SCFI-2007** Potabilización del agua para uso y consumo humano - especificaciones y métodos de prueba (IMTA, 2013).
- **NMX-AA-051-SCFI-2001** Análisis de agua - determinación de metales por absorción atómica en aguas naturales, potables, residuales y residuales tratadas - método de prueba (IMTA, 2013).
- **NMX-AA-128-SCFI-2006** Potabilización del agua para uso y consumo humano – sulfato férrico – especificaciones y métodos de prueba (IMTA, 2013).
- **NMX-AA-129-SCFI-2006** Potabilización del agua para uso y consumo humano – cloruro férrico – especificaciones y métodos de prueba (IMTA, 2013).

- **NMX-AA-130-SCFI-2006** Potabilización del agua para uso y consumo humano – policloruro de aluminio – especificaciones y métodos de prueba (IMTA, 2013).
- **NOM-001-SEMARNAT-1996** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (IMTA, 2013).
- **NOM-002-SEMARNAT-1996** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano y municipal (IMTA, 2013).
- **NOM-003-SEMARNAT-1997** Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público (IMTA, 2013).
- **NOM-117-SSA1-1994** Bienes y servicios. Método de prueba para la determinación de cadmio, arsénico, plomo, estaño, cobre, fierro, zinc y mercurio en alimentos, agua potable y agua purificada por espectrometría de absorción atómica (IMTA, 2013).
- **NOM-159-SEMARNAT-2011** Que establece los requisitos de protección ambiental de los sistemas de lixiviación de cobre (SEMARNAT, 2012).

- **NOM-157-SEMARNAT-2009** Que establece los elementos y procedimientos para instrumentar planes de manejo de residuos mineros (SEMARNAT, 2012).
- **NOM-141-SEMARNAT-2003** Que establece el procedimiento para caracterizar los jales, así como las especificaciones y criterios para la caracterización y preparación del sitio, proyecto, construcción, operación y post-operación de presas de jales (SEMARNAT, 2012).
- **NOM-004-SEMARNAT-2002** Protección ambiental- Lodos y biosólidos.- Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final (SEMARNAT, 2003).

La concentración de contaminantes metales pesados para las descargas de aguas residuales a aguas y bienes nacionales, no debe exceder los siguientes valores:

**Cuadro 1 Límites Máximos Permisibles indicados en la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 (NOM-001-ECOL-1996).**

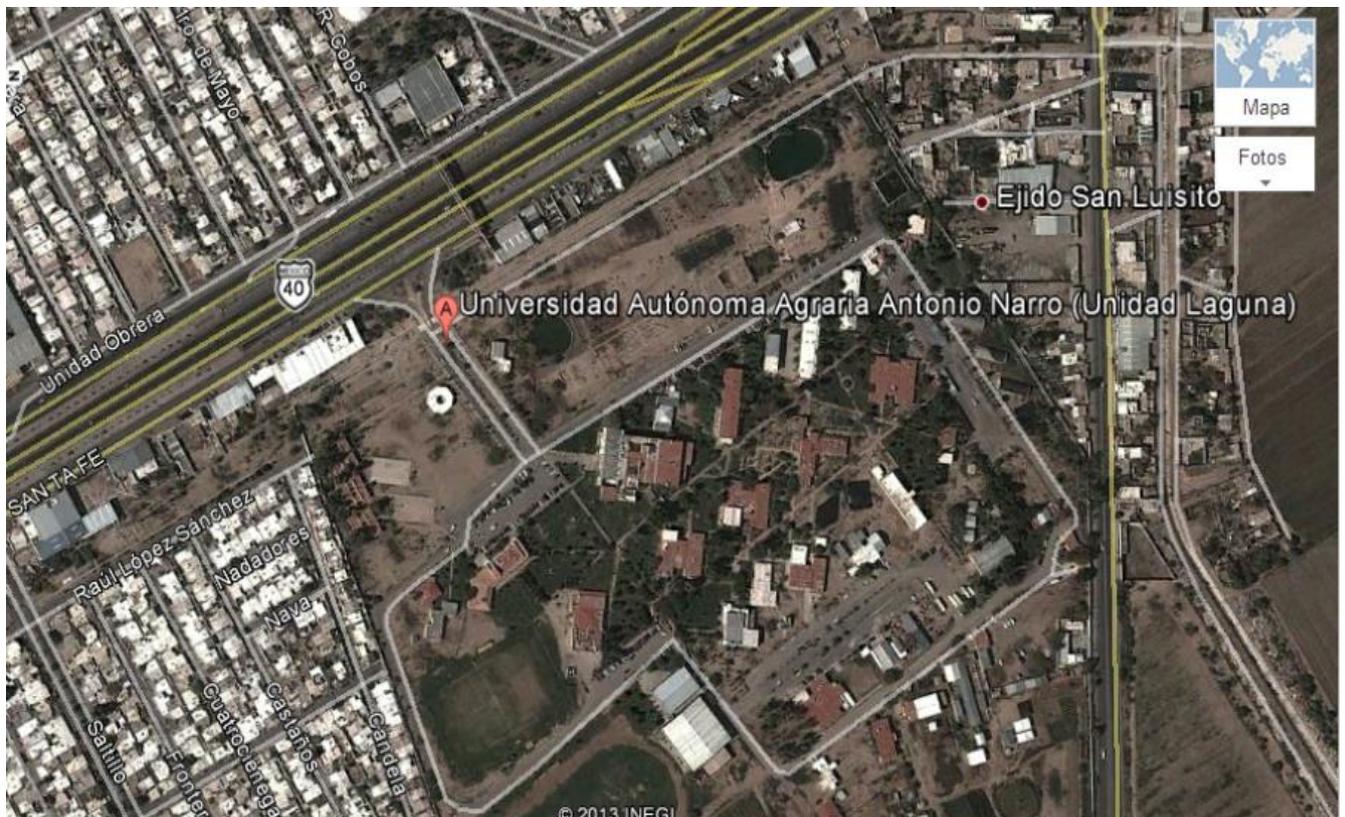
<b>Límites Máximos Permisibles</b>	
<b>Elemento</b>	<b>Concentración</b>
As	0.1 mg/L
Cd	0.1 mg/L
Cu	4 mg/L
Cr	0.5 mg/L
Hg	0.005 mg/L
Ni	2 mg/L
Pb	0.2 mg/L
Zn	10 mg/L

Los Reglamentos de Agua Potable Primaria Nacional de la EPA legalmente exige normas que se aplican a los sistemas públicos de agua (EPA, 2013). Los estándares primarios protegen la salud pública limitando los niveles de contaminantes en el agua potable estableciendo como límites máximos para Cd: 0.005 mg/l y Cr: 1.3 mg/l (EPA MCL, 2013).

## V. MATERIALES Y MÉTODOS

### 5.1 Localización

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. La cual tiene como ubicación la Carretera Santa Fe y Periférico s/n C.P. 27059, Torreón, Coahuila, como muestra en la figura 1.



**Fig.1 Ubicación de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro**

#### 5.1.1 Localización geográfica

La Comarca Lagunera se localiza entre los paralelos ( $25^{\circ} 05'$  y  $26^{\circ} 54'$  N) y los meridianos ( $101^{\circ} 40'$  y  $104^{\circ} 45'$  O).

Se encuentra a una altura de 1,139 m sobre el nivel del mar.

## **5.2 Relación agua-material adsorbente.**

Se utilizaron 10 gr de material adsorbente por 2 litros de agua (200:1), es decir 1 gr de material adsorbente por 200 ml de agua.

## **5.3 Tratamientos a evaluar**

Se evaluaron cuatro tratamientos los cuales fueron: Zeolita Natural, Zeolita acondicionada con cloruro Férrico ( $\text{FeCl}_3$ ), Agrobonos y H.R. (RuminalHealth).

### **5.3.1 Zeolita Natural**

Es una roca volcánica cuyo componente principal es clinoptilolita contiene (85 al 90%), pertenece al grupo de rocas clasificados como zeolitas.

Es un medio filtrante con unas propiedades de adsorción únicas que proporcionan a las aguas una calidad y claridad excepcional.

### **5.3.2 Zeolita Tratada**

Zeolita acondicionada con  $\text{FeCl}_3$

### **5.3.3 Agrobonos**

Premezcla mineral con acción Detoxificante Especifica

HP D-Tox AF es una premezcla mineral que en sus componentes incluye ingredientes que contribuyen de manera importante en la salud de los animales, sobre todo los que se encuentran en explotaciones intensivas ya sea de producción de carne, leche o pie de cría.

### **5.3.4 Ruminal Health**

RuminalHealth es un suplemento a bases minerales alcalinizantes, probióticos, Enzimas, Aminoácidos, Detoxificadores y protectores Hepáticos, así como de promotores de consumo. Su formulación está enfocada a tratar de manera sistémica los problemas de acidosis subaguda y aguda, en cuanto a vertientes básicas.

Se utiliza aminosilicatos como la clinoptilolita Cálcica y la montmorillonita. Que aparte de servir como neutralizante del pH Ruminant, también funciona como absorbente de amonio y secuestrante de micotoxinas, carbonatos de calcio y potasio, así como oxido de magnesio como neutralizadores de pH.

## 5.4 Preparación de la zeolita

### 5.4.1 Preparación de la zeolita Natural

La zeolita fue lavada con agua destilada para eliminar partículas muy finas y se secó en la estufa por un periodo aproximado de un día, para eliminar el agua.

### 5.4.2 Preparación de la zeolita tratada

La zeolita fue lavada con agua destilada para eliminar partículas muy finas. Posteriormente la zeolita se deja en la estufa por un día a que se evapore el agua y queden solamente las moléculas de  $\text{FeCl}_3$  adheridas a la zeolita.

## 5.5 Cálculo de la concentración molecular del Cloruro Férrico

Zeolita tratada con  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  A una concentración de .5 Molar

Calcular la cantidad necesaria de  $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  que es necesario para preparar .5 Lt de disolución que contenga .5 molar de  $\text{FeCl}_3$  puro.

$$R = (.5 \text{ m/Lt}) (.5 \text{ Lt}) 0.25 \text{ moles}$$

Peso molecular de:

$$\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 270.88$$

$$\text{FeCl}_3 = 162.204$$

$$n = \frac{m}{Pm}$$

$$m = n \cdot Pm$$

$$R = (0.25 \text{ m}) (162.204)$$

$$= 40.551 \text{ FeCl}_3$$

Aplicar factor gravimétrico de la sal hidratada

$$\text{g FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \text{g FeCl}_3 \times \frac{PM \text{ FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}}{PM \text{ FeCl}_3}$$

$$40.551 \times \frac{270.88}{162.204} = 67.572 \text{ g FeCl}_3$$

## 5.6 Desarrollo del experimento

- El agua utilizada en las columna se elaboró con una concentración de .5 ppm en 24 litros de agua (esta solución se preparó a partir de una solución madre de 1000 ppm). Los metales utilizados para la solución fueron Cd y Cu.
- Se diluyeron 12 ml de cada solución patrón en 24 litros de agua destilada.
- Se utilizaron 12 columnas en la que se agregó 10 gr. de cada tratamiento con 2 litros de agua.
- Se retuvo 5 minutos, y posteriormente se extrajo el líquido abriendo las válvulas.
- Después de obtener la solución en retención se determinó el pH y la Conductividad Eléctrica.

## 5.7 Análisis de metales pesados

- Para determinar las concentraciones de metales pesados se coloca 100 ml de muestra en vaso de precipitado de 250 ml (12 muestras).
- Ya que no presentaron turbiedad se aplicó 1 ml de ácido Nítrico, Se evaporaron hasta un volumen de 20 ml.
- Se almacenaron en recipientes de vidrio previamente etiquetados con el número de tratamiento, repetición y volumen de solución.

## **5.8 Parámetros a evaluar**

Los parámetros a determinar fueron propiedades químicas del agua: pH., C.E., Cadmio y Cobre.

### **5.8.1 Equipo utilizado para determinar Cadmio y Cobre.**

Se llevó a cabo el análisis con un equipo de absorción atómica “Perkin-Elmer Modelo 2380” utilizando lámparas de cátodo hueco. Para determinar la concentración en ppm se utilizó la siguiente ecuación:

$$PPM = \frac{LECTURA \text{ ABS. ATO.} \times VOLUMEN \text{ FINAL AL QUE SE LLEVO LA MUESTRA}}{100 \text{ ML}}$$

### **5.8.2 Equipo para determinar el pH y la C.E.**

El pH se midió con un Potenciómetro Thermo Orión Modelo 420 A y la Conductividad Eléctrica fue determinada con un Conductivímetro Modelo 162 Orión.

## VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del análisis químico del agua una vez aplicados los tratamientos evaluados se presentan en el cuadro 2.

**Cuadro 2: Resultados del análisis químico de agua.**

TRATAMIENTOS	pH REPETICIONES				C.E. ( $\mu\text{s}/\text{cm}$ ) REPETICIONES			
	1	2	3	$\bar{x}$	1	2	3	$\bar{x}$
ZEOLITA NATURAL	3.28	3.22	3.33	3.27	259.00	268.00	252.00	259.67
ZEOLITA ACONDICIONADA	2.59	3.05	2.56	2.73	2110.00	1628.00	2280.00	1628.33
AGROBONOS	6.26	7.00	6.57	6.61	508.00	866.00	637.00	866.33
H.R.	4.55	4.24	3.56	4.11	232.00	239.00	228.00	233.00

En el cuadro 2 se observa que en cuanto al pH existió una gran variación por efecto de los tratamientos, ya que osciló entre 2.73 y 6.61. En el caso de la Zeolita Acondicionada se presentó el pH más bajo por efecto del acondicionamiento con el Cloruro Férrico y el Agrobonos que es un producto comercial presentó el valor más alto de pH debido a los elementos que lo constituyen.

Los resultados obtenidos en el presente proyecto de investigación se muestran en el cuadro 3 donde se presentan las concentraciones de Cobre en mg/L de los tratamientos evaluados.

**Cuadro 3. Resultados obtenidos en los diferentes tratamientos evaluados para la concentración de Cobre (mg/L).**

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			$\bar{x}$ (mg/L)
	1	2	3	
<b>ZEOLITA NATURAL</b>	0.33	0.34	0.27	0.31
<b>ZEOLITA ACONDICIONADA</b>	0.50	0.46	0.48	0.48
<b>AGROBONOS</b>	0.41	0.43	0.38	0.40
<b>H.R.</b>	0.21	0.32	0.31	0.28

Se observa que los mejores tratamientos fueron el H.R. con 44% de adsorción y Zeolita Natural con 38% adsorción de cobre.

El límite máximo permisible de Cobre en agua es de 4.00 mg/L (NOM-001-ECOL-1996) y lo establecido como límite máximo permisible por la EPA para aguas de consumo humano y uso doméstico que únicamente necesitan tratamiento convencional es de 1.3 mg/L (EPA, 2013).

Considerando estos valores nos damos cuenta que los resultados observados en el cuadro 3, a pesar de que la muestra tratada estaba dentro de los límites máximos permisibles en ambas normatividades con 0.5 mg/L de concentración de cobre obtuvimos una disminución significativa en los tratamientos de H.R. y Zeolita Natural con 0.28 mg/L y 0.31 mg/L respectivamente.

Se realizó un análisis de varianza para determinar la diferencia estadística entre los tratamientos evaluados, estos resultados se muestran en el cuadro 4.

**Cuadro 4. Resultados del Análisis de Varianza en los tratamientos evaluados para Cobre.**

<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamiento</b>	3	0.09965000	0.03321607	28.47	<0.0001
<b>Repetición</b>	3	0.00185000	0.00061667	0.53	0.6738
<b>Error</b>	9	0.01050000	0.00116667		
<b>Total</b>	15	0.11200000			

R<sup>2</sup>= 0.9006250

C.V.= 9.231487

Media General Cu= 0.034157

**Cuadro 5. Medias de tratamientos para Cobre.**

<b>Medias de Tratamientos (Cu)</b>			
<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>Tratamiento</b>
A	0.48000	4	2
B	0.40750	4	3
C	0.31250	4	1
C	0.28000	4	4

En los cuadros anteriores podemos observar que conforme a los resultados obtenidos del Análisis de Varianza y las Medias de Tratamientos para cobre los tratamientos de Zeolita Acondicionada y Agrobonos son diferentes en forma significativa y los tratamientos de Zeolita Natural y H.R no presentan

diferencia en forma significativa. Dichos tratamientos explican el 90% de la variación de las muestras de agua en cuanto a contenido de Cobre. El coeficiente de variación del 9% indica que el experimento se hizo de una forma adecuada.

En el cuadro 6 se presentan los resultados promedio obtenidos en la retención de cadmio por los tratamientos evaluados.

**Cuadro 6. Resultados obtenidos en la retención de Cadmio por los tratamientos aplicados.**

TRATAMIENTOS	REPETICIONES			$\bar{x}$ (mg/L)
	1	2	3	
ZEOLITA NATURAL	0.40	0.39	0.34	0.38
ZEOLITA ACONDICIONADA	0.40	0.42	0.42	0.41
AGROBONOS	0.35	0.31	0.27	0.31
H.R.	0.33	0.32	0.36	0.34

Nos damos cuenta que el mejor tratamiento es el Agrobonos presentando una retención de 38% de cadmio, seguido del H.R. que presenta 34% de retención del metal.

De acuerdo a la Norma Oficial Mexicana el límite máximo permisible para el cadmio es de 0.1 mg/L (NOM-001- ECOL-1996). Se observó que el

tratamiento de Agrobonos y H.R. obtuvieron como concentración final 0.31 mg/L y 0.33 mg/L respectivamente.

De acuerdo con la EPA el límite máximo permisible es de 0.005 mg/L (EPA 2013), al comparar los resultados obtenidos observamos que ningún tratamiento logró disminuir la concentración para colocarla dentro de los valores requeridos por la EPA.

En el cuadro 7 se presentan los resultados del análisis de varianza para la adsorción del cadmio.

**Cuadro 7. Resultados del análisis de varianza para el Cadmio.**

<b>Análisis de Varianza</b>					
<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>FC</b>	<b>Significancia</b>
<b>Tratamiento</b>	3	0.02426875	0.00808958	13.47	0.0011
<b>Repetición</b>	3	0.00101875	0.00033958	0.57	0.6515
<b>Error</b>	9	0.00540625	0.00060069		
<b>Total</b>	15	0.03069375			

R<sup>2</sup>= 0.823865

C.V.= 6.819915

Media General Cd= 0.024509

**CUADRO 8. Medias de tratamientos para Cadmio.**

<b>Medias de Tratamientos (Cd)</b>			
<b>Grupo</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>Tratamiento</b>
A	0.41250	4	2
A	0.37750	4	1
B	0.33750	4	4
B	0.31000	4	3

En los cuadros anteriores se observa que conforme al Análisis de varianza y las Medias de Tratamientos para Cadmio los tratamientos de Zeolita Natural y Zeolita Acondicionada no son diferentes en forma significativa, del mismo modo que los tratamientos de Agrobonos y H.R. no presentan diferencia. El tratamiento de Zeolita Acondicionada presenta diferencia al Agrobonos y H.R., igualmente la Zeolita Natural es significativamente diferente al Agrobonos y H.R.

Estos tratamientos explican el 82% de la variación de las muestras de agua en cuanto al contenido de Cadmio y el coeficiente de variación del 6% indica que el experimento se hizo de una forma adecuada.

Así mismo se realizaron correlaciones para determinar la relación que existe entre la concentración de los metales pesados evaluados y las propiedades químicas del agua, esto se presenta en el cuadro 9.

**Cuadro 9. Resultados de las correlaciones realizadas de los parámetros evaluados**

Correlación de los Parámetros Evaluados						
Variable dependiente	Variable independiente	Significancia	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> <sub>adj</sub>	Modelo	y= a+b(x)
Cu	C.E.	<0.0001	0.7672	0.7505	0.00010465+0.0000154(C.E.)	
Cd	C.E.	0.0378	0.2731	0.2212	0.00003269+0.00001425(C.E.)	
Cu	p.H.	0.874	0.0019	-0.0694	-0.00240+0.01484(pH)	
Cd	p.H.	<0.0001	0.6924	0.6924	-0.002422+0.00431(pH)	

En los parámetros evaluados se indica que entre el Cobre y la Conductividad Eléctrica existe una correlación, ya que  $R^2$  tiene un valor del 76%, sin embargo para el caso del pH la  $R^2$  no existe correlación. Para el caso del Cadmio la Conductividad Eléctrica correlaciona en una proporción 27% y en relación al pH es de 69%.

## **VII. CONCLUSIONES**

El presente trabajo de investigación desprende las siguientes conclusiones:

**1.-** El tratamiento de Agrobonos fue el que presentó mayor adsorción de Cadmio.

**2.-** El tratamiento de H.R. fue el que presentó mayor adsorción de Cobre.

**3.-** La adsorción de la concentración de Cadmio por el tratamiento de Agrobonos fue de 38%.

**4.-** La adsorción de la concentración de Cobre por el tratamiento de H.R. fue de 44%.

**5.-** El tratamiento de Agrobonos situó la concentración de Cadmio en 0.31mg/L, no logrando disminuir en relación a los límites máximos permisibles establecidos por la NOM-001-ECOL-1990 (0.1 mg/L) y la EPA (0.005mg/L).

**6.-**El tratamiento de H.R. situó la concentración del Cobre en 0.28 mg/L. Debido a que la concentración inicial fue de 0.5 mg/L, no se puede constatar la eficacia del tratamiento ya que los valores determinados por la NOM-001-ECOL-1990 (4.00 mg/L) y la EPA (1.3mg/L).

## VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Baldwin D. and Marshall W. 1999. Heavy metal poisoning and its laboratory investigation. Vol. 36. Pag. 267-300.
2. Cañizares-Villanueva R.O. 2000. Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. Revista Latinoamericana de Microbiología. Vol.42. Págs.131-143.
3. Cheng, S. 2003. Heavy Metal Pollution in China: Origin, Pattern and Control. Environmental Science and Pollution Research. Vol.10. Pag.192-198.
4. Carrigan P.E., J.G. Hentz, G. Gordon, J. L. Morgan, M. Raimondo, A. D. Anbar and L. J. Miller. 2007. Distinctive heavy metal composition of pancreatic juice in patients with pancreatic carcinoma, Cancer EpidemiolBiomarkers. Vol.16. Pag. 26-36.
5. Csuros M. And C. Csuros. 2002. Environmental sampling and analysis for metals. Lewis Publisher.Pag.372.
6. Del Razo. 1990. Arsenic Exposure and Cognitive Performance in Mexican Schoolchildren. Environmental Health Perspectives. Vol. 115. Pag. 1371-1375.
7. Duffus J. H. 2001.Heavy Metals – A meaningless term. Chemistry International. [En línea]

<http://www.iupac.org/publications/ci/2001/november/heavymetals.html>

[Fecha de consulta 26 de junio del 2013].

8. EPA. 2013. National Primary Drinking Water Regulations. [En Línea]  
<http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm> [Fecha de Consulta 17 de Julio del 2013].
9. EPA. 2013. MCL (Lista de Contaminantes y sus Niveles Máximos de Contaminantes). [En Línea]  
<http://water.epa.gov/drink/contaminants/index.cfm> [Fecha de Consulta 17 de Julio del 2013].
10. Fawell J. and M.J. Nieuwenhuijsen. 2003. Contaminants in drink water. British Medical Bulletin. Vol. 68. Pag. 115-119
11. Fu, F. and W. Qi. 2011. Removal of Heavy Metal Ions from Wastewater: A Review. Elsevier. Vol. 92. Pag. 407-418.
12. Gadd, G.M. 1992. Encyclopedia of Microbiology. Academic Press Inc. Vol. 2 Pag. 351.
13. Gocht W., H. Zantop and R. Eggert. 1998. International Mineral Economics. Springer-Verlag. Pag. 271.
14. Greenpeace. 2012. Rios Tóxicos. [En Línea]  
[http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2012/Rios\\_Toxicos](http://www.greenpeace.org/mexico/Global/mexico/report/2012/Rios_Toxicos) [Fecha de Consulta 17 de Julio del 2013].

15. Gupta, R., R.K. Saxena, P. Ahya, S. Khan and H. Mohaptra. 2000. Microbial Biosorbents: Meeting Challenges of Heavy Metal Pollution Inocuous. Solutions Current Science. Pag. 89
16. Guptra P. and Sharma K. 2013. Heavy Metal Contamination. International Journal of Advance Research. Vol.2. Pag.1043-1055.
17. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). 2013. Normas Nacionales. [En línea] [http://www.imta.gob.mx/cotennser/index.php?option=com\\_content&view=article&id=94&Itemid=84](http://www.imta.gob.mx/cotennser/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=84) [Fecha de consulta 26 de junio del 2013]
18. Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC). 2009. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [En línea] <http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales> [Fecha de consulta 24 de Junio del 2013].
19. Jarup L. 2003. Hazards of heavy metal contamination. British Medical Bulletin. Vol.68. Pag. 45-47.
20. Jung M. and Thornton I. 2006. Heavy metal contamination of soils and plants in the vicinity of a lead-zinc mine, Korea. Applied Geochemistry. Vol. 16. Pag.1377-1386.
21. Kelly J. and Tate R. 2008. Effects of heavy metal contamination and remediation on soil microbial communities in the vicinity of a zinc smelter. American Society of Agronomy. Vol.5. Pag. 409-414.

22. Kocaoba S. 2007. Comparison of Amberlite IR 120 and dolomite's performances for removal of heavy metals. Elsevier. Vol. 147. Pag. 488-496.
23. Kumar, Agrawal and Marshall. 2007. Heavy Metals in Vegetables Collected From Production and Market Sites of a Tropical Urban Area of India. ELSEVIER. Vol. 47. Pag. 583-591.
24. Kupper H., F. Kupper and M. Spiller. 1996. Environmental relevance of heavy metal-substituted chlorophylls using the example of water plants. Journal of Experimental Botany. Vol. 47. Pag. 259-266.
25. Leal-Ascencio M.T. y Gleover S. 2004. Evaluación de acuíferos de la mesa del norte. Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA). [En Línea]. [http://www.uaemex.mx/Red\\_Ambientales/docs/congresos/MORELOS/Extenso/CA/EO/CAO-35.pdf](http://www.uaemex.mx/Red_Ambientales/docs/congresos/MORELOS/Extenso/CA/EO/CAO-35.pdf) [Fecha de consulta 26 de junio del 2013].
26. Mendoza H. 1981. An Evaluation of The Use of Mexico City Wastewater on Irrigation of Crops. Water Reuse Symposium II. Vol. 3. Pag. 318-330.
27. Modificación a la 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. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 16 de Diciembre de 2000. [En Línea].

<http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html> [Fecha de consulta 26 de junio del 2013].

28. Morais A. J., S. Prasad, V. Duarte and A. Gouveis. 2007. Biosorption of heavy metals in upflow sludge columns. Elsevier. Vol. 196, Pag.1-8.
29. Norberg A. and H. Persson. 2004. Accumulation of Heavy Metal Ions by *Zooioea Ramigera*. Biotechnology and Bioengineering. Pag. 138-140.
30. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de Junio de 1996. [En Línea] <http://www2.inecc.gob.mx/publicaciones/normas/agua.html> [Fecha de consulta 26 de junio del 2013)
31. Perezgasga F. y V. M. Cabrera. 1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Texas Center for Policy Studies. Pag. 20.
32. Qu J. 2008. Reserch progress of novel adsorption processes in water purification: A review. Journal of Environmental Sciences. Vol. 20. Pag. 1-13.
33. Rainbow P. 1995. Biomonitoring of heavy metal availability in the marine environment. Marine Pollution Bulletin. Vol.12. Pag.107-122.
34. Raskin I., Kumar N., Dushenkov S. and Salt D. 2004. Bioconcentration of heavy metals by plants. Current Opinion in Biotechnology. Vol. 2014. Pag. 12.

35. Rosaldo J.L., D. Ronquillo, K. Kordas, O. Rojas, J. Alatorre, P. Lopez, G. Garcia-Vargas, M. del C. Caamaño, M. E. Cebraín and R. J. Stoltzfus. 2007. Arsenic Exposure and Cognitive Performance in Mexican Schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*. Vol. 115. Pag. 96- 99.
36. Sdiri A., T. Higashi, F. Jamoussi and S. Bouaziz. 2011. Effects of impurities on removal of heavy metals by natural limestones in aqueous systems. *Journal of environmental management*. Vol. 93. Pag. 245-253.
37. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2002. Sistema Nacional de Información Ambiental. [En línea] <http://sepultura.semarnat.gob.mx/upsec/programas/comision/opinver.html> [Fecha de consulta 24 de junio del 2013].
38. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2003. Normas Oficiales en Materia de Lodos y Biosólidos. [En línea] <http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/lodos.aspx> [Fecha de consulta 26 de junio del 2013].
39. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2012. Normas Oficiales en Materia de Residuos. [En línea] [http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nom\\_residuos\\_peligrosos.aspx](http://www.semarnat.gob.mx/leyesynormas/Pages/nom_residuos_peligrosos.aspx) [Fecha de consulta 26 de junio del 2013].

40. Sorvari, J., L. Rantala, M. Rantala, H. Hakarainen and T. Eeva. 2007. Heavy Metal Pollution Disturbs Immune Response in Wild Ants Populations. Elsevier. Vol. 145. Pag. 324-328.
41. Stratton, W. 1987. Review in Environmental Toxicology. Elsevier Vol. 87. Pag 319-336.
42. Tack F.M. and M. Verloo, 2006. Chemical Speciation and Fractionation in Soil and Sediment Heavy Metal Analysis: A review. International Journal of Environmental Analytical Chemistry. Vol.137. Pag. 83-89.
43. Tarek S. J., H.S. Ibrahim, A. El-Maksoub and S.T. El-Wakeel. 2010. Application of zeolite prepared from Egyptian kaolin for removal of heavy metals: Optimum conditions. Elsevier. Vol. 258. Pag. 34-40.
44. Toriz E., F. Cordova y M. Herrera. 2006. Remoción de Metales Pesados con Carbón Activado como Soporte de Biomasa. Ingenierías. Pag. 25-27
45. U.S. Environmental Protection Agency. 1997. Technology alternatives for the remediation of soils contaminated with As, Cd, Cr, Hg, and Pb. Engineering Bulletin. Vol. 60. Pag. 193-207.
46. Valavanidis A. & T. Vlachogianni. 2010. Metal Pollution in Ecosystems. Ecotoxicology Studies and Risk Assessment in the Marine Environment, Science advances on Environment, Toxicology & Ecotoxicology issues. [En línea] <http://chem-tox-ecotox.org/wp/wp->

content/uploads/2010/01/02-Metals-17\_01\_2010.pdf [Fecha de consulta 29 de junio del 2013].

47. Volesky B. and G. Naja. 2006. Biosorption: Application Strategies. [En línea] <http://www.biosorption.mcgill.ca/publication/BVibs05.pdf> [Fecha de consulta 30 de junio del 2013].

48. Wyatt C, Fimbres C, Romo L. Méndez R. and Grijalva M. 2005. Incidence of heavy metal contamination in water supplies in Northern Mexico. Environmental Reserch. Vol. 30. Pag. 345-353.