

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES PARA
REMOCIÓN DEL CADMIO EN EL AGUA.**

POR

ELIGIO EVELIO CRUZ PÉREZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO

FEBRERO DE 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES PARA REMOCIÓN DEL CADMIO EN
EL AGUA.

POR:

ELIGIO EVELIO CRUZ PÉREZ

TESIS

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

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

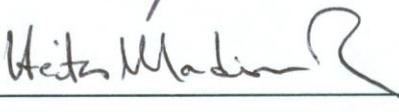
REVISADO POR EL COMITÉ ASESOR

ASESOR PRINCIPAL:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:



DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:



ING. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

FEBRERO DE 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. ELIGIO EVELIO CRUZ PÉREZ QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL
H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

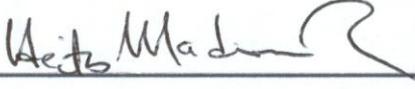
APROBADA POR:

PRESIDENTE:



DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:



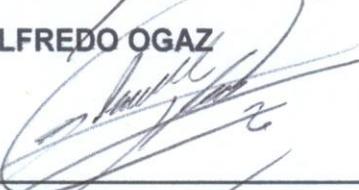
DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:



DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:

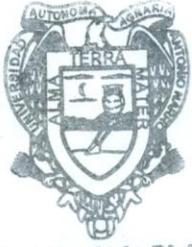


ING. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS


Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

FEBRERO DE 2014.

Agradecimientos

A DIOS por darme la vida, por bendecirme siempre en cada momento de mi vida y por permitirme llegar a esta etapa de mi vida que tanto anhelaba.

A la **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**, por las facilidades brindadas a lo largo de la carrera y sobre todo por permitirme formarme como profesionalista.

De manera especial al **DR. MARIO GARCÍA CARRILLO**, por darme la oportunidad de realizar este trabajo investigación, por el apoyo y paciencia que me brindo.

Al **ING. EDUARDO ARÓN FLORES HERNÁNDEZ** a la **Q.F.B NORMA LYDIA RANGEL CARRILLO** y **AL DR. ALFREDO OGAZ**, por el apoyo brindado en realizar este trabajo de investigación, de la misma manera a todos los que de alguna manera colaboraron en realizar este trabajo.

A todos los maestros de los distintos departamentos que me impartieron clases a ellos un agradecimiento especial.

Un agradecimiento a todos mis compañeros de salón en especial a Alfredo Cruz, de la misma manera a mis amigos: MarveyGálvez, Walbert Magadanque en tiempos malos y buenos siempre han estado presente.

Dedicatorias

A DIOS:

Por darme la vida y salud, por su infinito amor. Ese mismo amor es el que en este momento me está dando la vida, porque el ama mi ser.

A MIS PADRES:

ISABEL CRUZ VELÁSQUEZ y AURELIA PÉREZ GAMBOA, a ustedes porque un día DIOS los unió y fruto de ese amor me dieron vida, que desde niño me inculcaron el camino del bien. En especial a mi madre que con su apoyo infinito y confianza brindada, comparto este sueño que hoy se ve realizado. Gracias por el cariño, el amor y los consejos que me han brindado en toda mi vida para ser un hombre de bien y sobre todo por creer en mí en todo momento.

A MIS HERMANOS:

Gelvi Estela, Isidro, Alejandra, por los buenos y malos momentos que hemos vivido. Por ser la base de mi vida ya que con ustedes he aprendido ser mejor hijo y mejor hermano mayor, gracias por confiar en mí en todo momento. A mi sobrino Luis Michell, que ha sido mi consentido, al que más quiero y cuido.

A MIS TÍOS:

Ovidio Gálvez Vásquez y Amelia González López, gracias por acogerme en tiempos difíciles de mi vida y darme su apoyo incondicional en cada momento, por los buenos consejos y guiarme para ser un hombre de bien.

A toda mi familia en general que siempre me ha apoyado y me ha dado ánimo para seguir estudiando. Los quiero.

Índice de contenido

Agradecimientos.....	i
Dedicatorias	ii
Índice de contenido	iii
Índice de cuadros	vi
Resumen	vii
I. Introducción.....	1
1.1. Objetivo	2
1.2. Hipótesis.....	2
II. Revisión de literatura.....	3
2.1. Metales pesados presentes en el ambiente	3
2.2. Metales pesados en el aire.....	4
2.3. Metales pesados en el suelo	4
2.4. Metales pesados en el agua.....	6
2.5. Metales pesados en los alimentos.....	8
2.6. Efectos nocivos a la salud	9
2.7. Remoción de metales pesados	10
2.8. Contaminación por Cadmio	12
2.8.1. Toxicología del Cadmio	13
2.8.2. Efectos del Cadmio en la salud	13
2.9. Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua.	14
2.9.1. NOM-001-SEMARNAT-1996.....	14
2.9.2. NOM-002-SEMARNAT-1996.....	14
2.9.3. NOM-003-SEMARNAT-1997	14
2.9.4. NOM-001-CNA-2011	14
2.9.5. NOM-002-CNA-1995	14
2.9.6. NOM-003-CNA-1996	15
2.9.7. NOM-004-CNA-1996	15
2.9.8. NOM-005-CNA-1996	15
2.9.9. NOM-006-CNA-1997	15
2.9.10. NOM-007-CNA-1997	15
2.9.11. NOM-008-CNA-1998	16
2.9.12. NOM-009-CNA-2001	16

2.9.13.	NOM-010-CNA-2000	16
2.9.14.	NOM-011 -CNA-2000	16
2.9.15.	NOM-011 -CNA-2000	16
2.9.16.	NOM-012-SSA1-1993.....	17
2.9.17.	NOM-013-SSA1-1993.....	17
2.9.18.	NOM-014-SSA1-1993.....	17
2.9.19.	NOM-041-SSA1-1993.....	17
2.9.20.	NOM-127-SSA1-1994.....	17
2.9.21.	NOM-160-SSA1-1995.....	18
2.9.22.	NOM-179-SSA1 -1998.....	18
2.9.23.	NOM-201-SSA1-2002.....	18
2.9.24.	Guías para la Calidad de agua potable.....	19
2.10.	Generalidades de la Zeolita.....	20
2.10.1.	Porosidad.....	21
2.10.2.	Adsorción.....	21
2.10.3.	Intercambio iónico (I.I).....	22
2.10.4.	Capacidad de intercambio iónico.....	22
2.11.	Característica de la Arena Verde.....	22
2.12.	Ruminal health.....	23
2.12.1.	Usos.....	23
III.	Materiales y métodos	24
3.1.	Materiales.....	24
3.2.	Acondicionador.....	24
3.3.	Materiales a evaluar	24
3.4.	Agua a utilizar.....	25
3.5.	Preparación del cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.5 molar.....	25
3.6.	Acondicionamiento de la zeolita	25
3.7.	Acondicionamiento de la arena verde	25
3.8.	Procedimiento experimental	25
3.9.	Relación material/volumen y tiempos de retención a usar.	26
3.10.	Parámetros a evaluar	26
3.11.	Descripción de los Tratamientos	27
IV.	Resultados y discusión.....	28
4.2.	Correlación del pH.....	30

4.3.	Correlación de la conductividad eléctrica	32
4.4.	Correlación de la capacidad de intercambio catiónico.....	34
4.5.	Segundo experimento de la adsorción del cadmio con tiempo de retención de 15 minutos con una concentración de (0.8 ppm).....	36
4.8.	Correlación de la capacidad de intercambio catiónico.....	42
V.	Conclusiones.....	44
VI.	Literatura citada.....	45

Índice de cuadros

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos.....	27
Cuadro 2. Distribución de los resultados del Cadmio.....	28, 36
Cuadro 3. Análisis de varianza de la adsorción del cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de (0.4 ppm).....	29
Cuadro 4. Resultados del pH en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.....	30
Grafica 5 . Correlación del pH.....	31
Cuadro 6. Resultados del C.E en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.....	32
Grafica 7. Correlación de la C.E.....	33
Cuadro 8. Resultados de la conductividad eléctrica en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.....	34
Grafica 9. Correlación de la C.I.C.....	35
Cuadro 10. Distribución de resultados del Cadmio.....	36
Cuadro 11. Análisis de varianza de la adsorción del cadmio con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de (0.8 ppm).....	36
Cuadro 12. Resultados del pH en la remoción del Cadmio con un tiempo de	38
Grafica 13. Correlación del pH.....	39
Cuadro 14. Resultados del C.E en la remoción del Cadmio con un tiempo de.....	40
Grafica 15. Correlación de la C.E.....	41
Cuadro 16. Resultados de la conductividad eléctrica en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.....	42
Grafica 17. Correlación dela C.I.C.....	42

Resumen

La contaminación con metales pesados es uno de los temas más importantes en la actualidad. Esta problemática se deriva de diversas fuentes naturales pero la que más influye en este tema es la actividad antropogénica; como son las actividades industriales y la quema de combustibles fósiles entre las más importantes. El Cadmio se emite al ambiente mayormente por actividad antropogénica. Estos metales llegan al ser humano por medio del agua, alimentos y del aire, causando enfermedades como; cáncer pulmonar, emosiderosis y edema pulmonar tardío de carácter mortal.

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicado en el Periférico y Carretera Santa Fe, Torreón, Coahuila, México.

Este experimento tiene como objetivos llevar a cabo la remoción del Cadmio presente en el agua con 4 materiales adsorbentes, y comparar las concentraciones de los metales pesados en el agua con los límites máximos permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales.

Se utilizó 12 Columnas de PVC hidráulico 2" de diámetro, utilizando filtros marca Whatman de 125 mm de diámetro para no dejar pasar el material adsorbentes, posteriormente en cada columna se colocaron 10 gr de cada material respectivamente, se le agregó 2 litros de agua con 0.4 ppm en cada columna con tiempo de retención de 30 minutos. En el segundo experimento se llevó a cabo el mismo procedimiento, pero con una concentración del Cadmio de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos. Se llevó a cabo un análisis de varianza completamente al azar. Siendo los tratamientos; T1: zeolita acondicionada con cloruro férrico, T2: arena verde tratada con cloruro férrico, T3: arena verde, T4: H.R(ruminalhealth)

En el primer experimento el tratamiento más eficiente para adsorber el Cadmio fue el T4 (ruminalhealth) ya que adsorbe 0.15 ppm, que corresponde al 37.5% de adsorción; en el segundo experimento el tratamiento más eficiente fue el T3 (arena verde) que disminuyó 0.19 ppm que corresponde al 23.75 % del Cadmio adsorbido.

Palabras clave: Cadmio, contaminación, metales pesados, enfermedades, actividades industriales.

I. Introducción

La toxicidad de metales pesados es un problema generalizado que afecta el medio ambiente y a todos los seres vivos (Siddiqui *et al.*, 2012). Las concentraciones de los metales pesados en el ambiente cada día son más altas, esto se debe mayormente a actividades antropogénicas. Las consecuencias de que estos vayan en aumento, es que causa efectos nocivos a la salud y causa desequilibrio ecológico ya que se encuentran presentes en el agua, suelo, aire y alimentos.

Los altos niveles de concentración de metales pesados en agua representan un problema importante para la agricultura y la salud humana, así como para la biodiversidad (Villa *et al.*, 2012), ya que por este medio se incorporan fácilmente a la cadena alimentaria, al igual debemos de tener en cuenta que es necesario comparar las concentraciones de metales existentes con los límites establecidos por la norma que rige en cada país (Aragón *et al.*, 2012).

La determinación de metales pesados en el ambiente es de gran importancia. Entre los metales pesados, tenemos al Plomo, Arsénico y Cadmio, estos son de gran importancia estudiarlos ya que la acumulación de estos en el organismo humano causa enfermedades muy graves que hasta ocasionan la muerte en el caso del arsénico que ocasiona Bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; hepatotoxicidad; enfermedades vasculares, el cadmio ocasiona Bronquitis, enfisema; nefrotoxicidad; infertilidad; cáncer de próstata; alteraciones neurológicas; hipertensión; enfermedades vasculares y el Plomo ocasiona Alteraciones neurológicas (disminución del coeficiente intelectual infantil), nefrotoxicidad; anemia y cáncer de riñón.

El problema en las ciudades de México, y en lo particular en 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 (Carrillo y Gallard, 2012), las

actividades mineras y metalúrgicas practicadas en la Comarca Lagunera, México han contaminado el suelo, el aire y el agua (Cano *et al.*, 2009).

La adsorción tiene como objetivo remover los metales pesados del agua utilizando ciertos materiales adsorbentes; una de las principales ventajas que presenta esta alternativa es su bajo costo, ya que requiere poco procesamiento y el tiempo en obtener los resultados es rápido.

1.1. Objetivo

- Evaluar 4 materiales adsorbentes (Zeolita acondicionada, arena verde acondicionada, arena verde y ruminalhealth), para remover el Cadmio del agua y la determinación de las relaciones gramos de material/volumen de agua y tiempos de retención más eficientes.
- Comparar las concentraciones de los metales pesados en el agua con los límites máximos permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales.

1.2. Hipótesis

- La zeolita acondicionada es eficiente para la remoción de cadmio del agua.
- La zeolita acondicionada elimina el Cadmio del agua en 30 minutos.
- La zeolita acondicionada disminuye las concentraciones del cadmio en el agua, por debajo de los límites máximos permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales.

II. Revisión de literatura

2.1. Metales pesados presentes en el ambiente

La presencia de metales pesados en el medio ambiente es una gran amenaza para los seres humanos (Zhang *et al.*, 2012), ya que el impulso de las actividades industriales, ha favorecido cada vez más la generación de residuos potencialmente tóxicos, que en altas concentraciones pueden tener efectos nocivos a la salud del hombre y desequilibrios ecológicos. Uno de los problemas más notables a nivel mundial, el cual ocupa un lugar sobresaliente, es la progresiva degradación de los recursos naturales, causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos en la atmósfera, agua, suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades naturales y sociales, generando un irremediable deterioro en el ambiente (Baltazar y Campos, 2012).

Los metales se incluyen dentro de las sustancias más persistentes emitidas al ambiente, los cuales tiene efectos importantes sobre los seres vivos. La exposición ambiental a los metales generalmente resulta en un continuo de respuestas biológicas que se da en todos los niveles de organización biológica. Estas respuestas pueden observarse desde alteraciones a nivel molecular, comprometiendo la salud del individuo, hasta poner en riesgo la salud del ecosistema (Galante *et al.*, 2013)..

Los desechos industriales y mineros son la principal fuentes de contaminación ambiental por los metales pesados, como consecuencia se ha contaminado grandes áreas de tierra y agua con metales tóxicos, causando serios problemas ambientales y de salud (Cartaya *et al.*, 2011).La contaminación ambiental ya es un problema mundial, los metales pesados pertenecientes a los contaminantes más importantes.

El progreso de la industria ha dado lugar a aumento de la emisión de contaminantes en los ecosistemas (Tabari *et al.*, 2010), como es el caso del Plomo y el Cadmio, estos son de gran importancia ya que pueden afectar la salud de los ecosistemas y de los consumidores de alimentos con alto

contenido de estos metales, que son entre los más ampliamente utilizados en diferentes actividades humanas y que además son entre los principales productos mineros de México (Espericueta *et al.*, 2010).

2.2. Metales pesados en el aire

Las partículas atmosféricas están conformadas por una mezcla de emisiones directas generadas desde una gran variedad de fuentes y se forman por diferentes mecanismos tales como la conversión gas-partícula. El diámetro de una partícula se puede determinar geoméricamente, a partir de microscopia óptica o electrónica, por su movilidad eléctrica o por su comportamiento aerodinámico. El diámetro es una propiedad obvia de una partícula esférica; sin embargo muchas veces las partículas atmosféricas pueden ser cúbicas, cilíndricas o amorfas, debido a esto sus diámetros son a menudo descritos como diámetros equivalentes (Murillo y Román, 2010).

Los contaminantes metálicos se emiten en forma directa en la combustión de los combustibles en los vehículos, así como difusas emisiones industriales. El Arsénico particulado está probablemente asociado con la combustión de materiales derivados y operaciones de fundición, al igual existen diferentes especies de árboles como (*Ficus bengalensis*, *Ficus religiosa*, *Polyalthialongifolia*, *Anthocephaluscadamba*, *Putranjivaroxburghii*, *Alstoniascholaris*) que se utilizan para la captura de las partículas atmosféricas y la acumulación de elementos tóxicos como el arsénico (Kar *et al.*, 2013), también la miel puede ser utilizada también como un indicador ambiental en el aire (Lazor *et al.*, 2012).

2.3. Metales pesados en el suelo

Los metales pesados, y en general los elementos traza, están presentes en relativamente en bajas concentraciones en la corteza terrestre, principalmente en los suelos y las plantas. La presencia de concentraciones nocivas en los suelos es una degradación especial denominada contaminación. Los elementos traza en los suelos pueden ser de origen

geogénico o antropogénico. Los elementos de origen geogénico proceden de la roca madre, de actividad volcánica, o de la lixiviación de mineralizaciones. Los metales pesados antropogénicos derivan de residuos peligrosos, procedentes de actividades industriales, minería e industria agrícola, y residuos sólidos urbanos (Huertos y Baena, 2008), sin embargo, los desechos de las actividades antropogénicas son descargados directamente o arrastrados por las escorrentías y son depositados en los suelos (Fuentes *et al.*, 2010).

La contaminación por metales pesados es uno de los problemas más serios de degradación ambiental. En la Región Lagunera de México se han detectado altas concentraciones de Plomo en las inmediaciones de plantas metalúrgicas (Calzada *et al.*, 2009), la presencia de metales pesados en la solución del suelo altera la disponibilidad de nutrimentos para las plantas (Alvarado *et al.*, 2011), los tratamientos de aguas residuales también pueden ser fuente de contaminación por metales pesados y sales solubles para el suelo, ya que generan diariamente toneladas de lodos (biosólidos), los cuales pueden tener un uso agrícola como fuente de nutrientes y material mejorador del suelo (Santoyo *et al.*, 2010).

Los problemas ambientales de los metales pesados en los suelos están relacionados con su carácter tóxico cuando se acumulan o cuando interactúan algunas propiedades físicas, se movilizan a través del perfil a la cadena trófica mediante los cuerpos de agua o los cultivos y pueden llegar a afectar la salud humana. En países desarrollados el establecimiento de valores de referencia de estos metales ha permitido el mejoramiento de la planeación y la gestión ambiental del recurso suelo, y se ha convertido en un instrumento de control para las entidades ambientales que ha permitido evaluar el impacto en diferentes actividades agrícolas (Saa *et al.*, 2011).

Los metales pesados se encuentran unidos a los diferentes componentes sólidos del suelo, los cuales de acuerdo con sus características fisicoquímicas presentan diferente disponibilidad (Flores *et al.*, 2011), el uso de residuos orgánicos en la agricultura puede mejorar la capacidad

productiva del suelo así como sus características físicas y químicas (Vaca *et al.*, 2011), dentro de estas características podemos encontrar las bacterias que puede afectar a la movilidad de los metales, ya sea directamente por transformación reductiva de iones metálicos (Sitte *et al.*, 2010), uno de los indicadores de la contaminación de los suelos son las lombrices de tierra ya que nos sirven como bioindicadores de contaminación ambiental (Andréa, 2010).

2.4. Metales pesados en el agua

Los metales pesados se han convertido en uno de los principales contaminantes en el ecosistema acuático (Wei *et al.*, 2011). La contaminación de las aguas continentales es un problema de escala mundial, principalmente debido al impacto de los relaves mineros (Moreno *et al.*, 2012), la diseminación de metales pesados en sedimentos superficiales y aguas subterráneas aún constituye un problema mundial y su solución es un reto para el saneamiento ambiental. Algunos metales pesados son nutrientes traza esenciales para las bacterias, pero en concentraciones micro o mili molares resultan tóxicos. Una de las características que distinguen a estos elementos de los contaminantes orgánicos, es que no son biodegradables por lo que representan una amenaza para todos los organismos. Solo los microorganismos que portan sistemas genéticos que contrarrestan los efectos tóxicos de los metales pesados, tienen la capacidad de sobrevivir en ambientes con elevadas concentraciones de estos elementos (Coto *et al.*, 2010).

Elementos tóxicos son comunes en el medio ambiente y son responsables de intoxicaciones intencionales y no intencionales, también los envenenamientos y exposiciones accidentales pueden provocar efectos adversos a la salud (Keil *et al.*, 2011), al igual representan un problema serio de contaminación en los mantos acuíferos y en el suelo por los diferentes procesos (Carlos *et al.*, 2010), los valores altos del índice de contaminación por metales presentan una amenaza significativa de impacto negativo en la salud humana (Singh *et al.*, 2010).

También (Zarazúa *et al.*, 2011) evaluó la concentración de los metales Cr, Mn, Fe, Cu, Zn y Pb, los factores de enriquecimiento y la composición elemental, morfología y abundancia relativa de las partículas presentes en los sedimentos cohesivos del curso alto del río Lerma, donde encontró que la presencia de Fe y Mn en los sedimentos cohesivos del río Lerma se debe mayormente a contribuciones naturales, mientras que el origen del Cr, Cu, Zn y Pb es principalmente antrópico.

(Benítez *et al.*, 2011) indicó que la baja calidad del agua en algunas de las principales fuentes de abastecimiento del Estado de Campeche se debe principalmente a la proliferación de basureros a cielo abierto y la deficiente red de alcantarillado, así como al cambio de uso del suelo dentro de la zona de pozos.

(Etxabe *et al.*, 2010) valoró la exposición a Plomo y otros metales relacionados con los materiales de las tuberías, a través del agua de consumo de las zonas de abastecimiento de la Comunidad Autónoma del País Vasco, donde encontró El 1,75% (0,85–2,64) de las viviendas de las zonas de abastecimiento superaba el valor de referencia establecido para el Plomo (10 mg/l), el 2, 21% (0,97–3,46) el del Hierro (200 mg/l) y el 0,33 % (0,11–0,55) el del Níquel (20 mg/l).

(Martínez *et al.*, 2011) midió el pH y la concentración de Pb, Ni, Cr, Ag, Cd, Hg, Se y Ba en los lixiviados de las cuatro etapas que componen el relleno sanitario Bordo Poniente, y se realizaron análisis de varianza de uno y dos factores a los resultados obtenidos para determinar si había diferencia entre las celdas donde se colocó la geomembrana en relación a aquellas que no contaban con esta película plástica. La concentración de metales pesados se comparó con los límites máximos establecidos en la norma NOM-052-SEMARNAT-2005. En los puntos muestreados encontró que las concentraciones de los elementos analizados no fueron mayores a los límites establecidos por la norma oficial mexicana.

2.5. Metales pesados en los alimentos

La industria minera es una de las actividades económicas de mayor tradición en México. Actualmente comprende la explotación de metales preciosos, metales industriales, minerales metálicos y no metálicos y metales obtenidos como subproductos (Huerta y Hernández, 2012), al igual la contaminación por metales pesados a menudo se produce junto con los contaminantes orgánicos (Ahammed *et al.*, 2012), ya que la presencia de materiales orgánicos juega un papel importante en el destino de los metales pesados que son desechados con los residuos sólidos municipales (Onay *et al.*, 2010).

(AlMalki y Moselhy, 2011) analizó metales pesados en mariscos y pescados, el nivel más alto que se detectó fue plomo en muestras frescas y ahumadas. También (Madero *et al.*, 2011) muestreó bovinos machos, adultos, de raza cebú mestizo, entre 2 a 7 años los cuales fueron sacrificados para consumo humano durante seis meses. Las muestras se analizaron mediante: espectroscopia de absorción atómica, empleando lámparas de cátodo hueco y un quemador de aire acetileno para determinar Cu; vapor frío para la detección de Hg y polarografía para la detección de Cd y Pb y observaron que Los rangos de Hg, Cu, Cd y Pb estaban por debajo de los parámetros de referencia de la Comisión Europea y la Norma Oficial Mexicana. En el 4% de las muestras se encontraron niveles de Cu no permisibles para consumo humano.

(Gallegos *et al.*, 2011) estableció un experimento en invernadero para determinar la concentración de plomo (Pb) en suelo, raíz y parte aérea de haba y avena; se calculó el factor de bioconcentración y traslocación en las dos especies. Se probaron 50, 100 y 150 mg-Pb de suelo, incluyendo un control. Las plantas se colectaron a los 60 días después de la siembra y se midieron altura de planta (AP), volumen radical (VR) y biomasa seca total (BST), además del contenido de Pb en suelo, raíz y parte aérea. La cuantificación de Pb se realizó por espectrofotometría de absorción atómica. El suelo cultivado con haba presentó un 28.48 % de Pb_{EDTA}. Las plantas de

haba y avena absorbieron un total de 55 mg·kg⁻¹ y 45.3 mg·kg⁻¹, respectivamente, las cuales se consideran tóxicas para plantas cultivadas.

2.6. Efectos nocivos a la salud

Los contaminantes ambientales constituyen un factor de riesgo para desarrollar enfermedades en salud ocupacional; la exposición y los efectos de la contaminación por metales pesados como el Plomo y Cromo, son situaciones que tienen varios antecedentes (Núñez y Zevallos, 2009).

La exposición de los humanos a metales tóxicos continúa, estos constituyen un riesgo para la salud pública principalmente en países en vías de desarrollo. El Plomo, Cadmio y talio son metales que se encuentran en el aire y agua como contaminantes ambientales y se asocian con múltiples efectos adversos en la salud; siendo varios los órganos y sistemas que se ven afectados por los metales tales como: riñón, pulmón, hígado sistema gastrointestinal y hematopoyético, pero principalmente el sistema nervioso central y periférico. La severidad y el daño de estos metales dependen del tiempo, nivel de exposición, susceptibilidad de la persona y además de la ruta por la cual el metal sea absorbido. Una variedad de mecanismos han sido atribuidos a la toxicidad de los metales pesados, pero con frecuencia están relacionados con la generación de radicales libres y disminución en el funcionamiento de enzimas antioxidantes ocasionando un incremento en el estrés oxidativo celular (Ruíz y Armenta, 2011).

Algunos metales son muy tóxicos y muy cancerígenos que son muy importante en el desarrollo del cáncer de mama, como son el Cadmio, el Plomo y el Arsénico tienen un papel importante en la génesis de la insuficiencia renal crónica (Sabath y Osorio, 2012). Estar expuesto a metales pesados o tener una sobre exposición a estos causa enfermedades en los seres humanos e incluso hasta en animales (Vicente *et al.*, 2010).

(Astete *et al.*, 2010) determinó la prevalencia de enfermedades transmisibles, salud mental y exposición a contaminantes ambientales en la

población aledaña al proyecto minero Las Bambas antes de la fase de explotación, lo cual reporto valores por encima de lo permitido de mercurio en 1,8% de la población, Arsénico en 4,6%, Plomo en 24,3% y Cadmio en 43,9%. Además, el 29,1% de la población tuvo valores de colinesterasa inferiores al rango referencial. En la población infantil, 12,5% presentaba riesgo en su desarrollo psicomotor; 2,1% y 3,1% presentaba retardo mental leve y fronterizo, respectivamente; 34,3% de los mayores de 12 años sufrían de ansiedad y 17,5% de depresión. Al igual (Monroy *et al.*, 2012) determino niveles de bioacumulación de metales (Cd, Cr, Pb y Al) en tejidos y fluidos corporales de los habitantes de Xochitlán, Estado de Hidalgo, donde encontró que la bioacumulación de metales evaluados estuvo presente en todos los fluidos y tejidos de los pobladores seleccionados de entre seis y 90 años de edad.

2.7. Remoción de metales pesados

La sorción por ferrihidrita en lixiviados de minas representa uno de los principales mecanismos de control sobre las concentraciones de As y metales pesados bajo condiciones de pH entre 6 y 8 (solución neutra) (Ortiz *et al.*, 2012).

Las interacciones benéficas entre cultivos de plantas y bacterias son útiles en la disminución de la toxicidad producida por metales, así como en el aporte de nutrientes esenciales; por ello, las comunidades microbianas han sido empleadas para la biorremediación, en particular las rizo bacterias promotoras del crecimiento (Cardón *et al.*, 2012).

La electrorremediación es otra tecnología para remover metales pesados de suelos, (Laura *et al.*, 2011) realizó estudios con una celda de electrorremediación experimental, de un suelo real tipo arenoso (93% arena) contaminado por la oxidación residuos mineros proveniente de la zona de Zimapán Hidalgo, se utilizó agua des ionizada, CH_3COOH y $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 0.001 M, ya sea como humectante del suelo o como electrolitos, se aplicó un

potencial constante de 20 V durante 24 horas, donde logró una remoción de 12 % (98 ppm) para Pb, 20 % (7 ppm) para Cd y 22 % para As (79 ppm).

(Jacas *et al.*, 2012) evaluó de forma preliminar la efectividad del empleo de materiales basados en zeolita LTA, como fase activa para su incorporación en sistemas orientados a la eliminación de metales pesados presentes en aguas residuales, este tipo de zeolitas con el canal principal de un diámetro mínimo libre de 0,41 nm y una baja relación SiO₂/Al₂O₃ se presenta como un tamiz molecular interesante, que a su vez manifiesta una gran capacidad de intercambio iónico.

Se han utilizados diferentes biomásas fúngicas y naturales como alternativas para remoción de metales pesados en aguas residuales provenientes de diferentes nichos contaminados (Rodríguez *et al.*, 2012).

La adsorción es el proceso por el cual un gas, vapor, materia disuelta o partículas suspendidas son captados o adheridos en la superficie de otro material tanto por fuerzas físicas como químicas. El carbón activado mejora su capacidad de remoción cuando la concentración inicial aumenta y disminuye cuando la dosis de adsorbente se incrementa (Ortega y García, 2011).

El quitosano es considerado como buen adsorbente de metales pesados, (Rivas, 2010), sintetizo esferas de hidrogel a base de quitosano (Q) y polivinil alcohol (PVA) entrecruzadas con el epóxido simétrico etilenglicol diglicidil éter (EGDE), las cuales se emplearon en un proceso de adsorción tipo *batchen* soluciones acuosas conteniendo iones Cu(II). La caracterización del hidrogel consistió en la determinación del porcentaje de agua y sus análisis mediante espectroscopia de infrarrojo por transformada de *Fourier* y microscopía electrónica de barrido.

La *Eichorniacrassipe* también conocida como Jacinto acuático o buchón de agua, es una planta común en las fuentes de agua potable. Se ha encontrado que esta planta puede ser también benéfica pues se ha utilizado en procesos de fitorremediación por su carácter altamente hidrofílico que la

convierte en un buen adsorbente. Además su biomasa seca puede utilizarse en productos artesanales o para la generación de biocombustibles este material es un adsorbente eficaz de metales pesados dado que puede adsorber Plomo y Cromo de soluciones, (Atehortua y Gartner, 2013) concluyeron que la biomasa de la *E. crassipes* puede ser usada eficientemente como material adsorbente para descontaminación de aguas residuales.

El compost puede ser utilizado como adsorbente de Cr en medio acuoso, este compost es preparado mezclando varios materiales de desecho (residuos de cultivos vegetales, pasto, estiércol de ganado y suelo) en una pila de compostaje, las propiedades de adsorción del compost se pueden mejorar mediante la adición de pequeñas cantidades de alúmina (Nieto *et al.*, 2011).

2.8. Contaminación por Cadmio

En el último año el Cadmio ha surgido como un tema importante en los medios debido a una oleada de retiros de la circulación de productos de gran popularidad suscitados por la presencia de Cadmio en bisutería, juguetes, pinturas y otros artículos comunes. El Cadmio es un subproducto del procesamiento de metales más valiosos, tales como el Zinc y el Cobre. Se utiliza en las aleaciones de metales para incrementar la fuerza, la resistencia al uso, la maleabilidad o estas tres cualidades, o bien para bajar el punto de fusión. Puede encontrarse en los conductores eléctricos, productos de cloruro de polivinilo (PVC), fotoceldas, llantas, radiadores para automóviles, componentes electrónicos y elementos calefactores (Mead *et al.*, 2010).

2.8.1. Toxicología del Cadmio

Uno de los mayores agentes tóxicos asociado a contaminación ambiental e industrial es el cadmio, pues reúne cuatro de las características más temidas de un tóxico:

1. Efectos adversos para el hombre y el medio ambiente.
2. Bioacumulación.
3. Persistencia en el medio ambiente.
4. "Viaja" grandes distancias con el viento y en los cursos de agua.

El Cadmio (Cd, número atómico 48, masa atómica 111,40) se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del Zinc y del Plomo, a partir de sulfuro de Cadmio; en el proceso hay formación de óxido de Cadmio, compuesto muy tóxico. Además de contaminar el ambiente desde su fundición y refinación, contamina también por sus múltiples aplicaciones industriales (Ramírez, 2002).

2.8.2. Efectos del Cadmio en la salud

Los metales pesados constituyen un riesgo considerable para la salud por el contacto frecuente laboral y ambiental, en la población general la comida y los cigarrillos son las principales fuentes de exposición al Cadmio, la cual suele ser de carácter crónico. Los efectos tóxicos del Cadmio se manifiestan especialmente en los huesos y riñones y las personas que tienen bajas reservas de Hierro son particularmente vulnerables a estos efectos adversos. El Cadmio se almacena en el hígado y riñones; con excreción lenta, con un tiempo de vida muy larga en el cuerpo humano, cuando las concentraciones de Cadmio de más de 5 mg/m^3 de aire durante ocho horas pueden provocar un edema pulmonar tardío de carácter mortal. En México, existen escasas normas e información relacionadas con este tema, por lo que se cree pertinente informar y hacer notar los efectos provocados por el cadmio, que forma parte de una larga lista de contaminantes que afectan la salud (García y Cruz, 2012).

2.9. Normas Oficiales Mexicanas en materia de agua.

2.9.1. NOM-001-SEMARNAT-1996

Que estable los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 24 de diciembre de 1996.

2.9.2. NOM-002-SEMARNAT-1996

Que estable los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de agua residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 9 de enero de 1997.

2.9.3. NOM-003-SEMARNAT-1997

Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen al servicio al público. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 14 de enero de 1998.

2.9.4. NOM-001-CNA-2011

Sistemas de agua potable, toma domiciliaria y alcantarillado sanitario-Hermeticidad-Especificaciones y métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 11 de octubre del 1995.

2.9.5. NOM-002-CNA-1995

Toma domiciliaria para abastecimiento de agua potable-Especificaciones y métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 1 de diciembre de 1995.

2.9.6. NOM-003-CNA-1996

Requisitos durante la construcción de pozos de extracción de agua para prevenir la contaminación de acuíferos. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día de 12 de junio de 1996.

2.9.7. NOM-004-CNA-1996

Requisitos para la protección de acuíferos durante el mantenimiento y rehabilitación de pozos de extracción de agua y para el cierre de pozos en general. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 9 de octubre de 1996.

2.9.8. NOM-005-CNA-1996

Flujómetros-Especificaciones y métodos de prueba.Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 16 de octubre de 1996.

2.9.9. NOM-006-CNA-1997

Fosas sépticas prefabricadas-Especificaciones y métodos de prueba.Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 24 de octubre de 1997.

2.9.10. NOM-007-CNA-1997

Requisitos de seguridad para la construcción y operación de tanques para agua.Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 27 de octubre de 1997.

2.9.11. NOM-008-CNA-1998

Regaderas empleadas en el aseo corporal especificaciones y métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 21 de septiembre de 1998.

2.9.12. NOM-009-CNA-2001

Inodoros para uso sanitario-Especificaciones y métodos de prueba.Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de agosto de 1999

2.9.13. NOM-010-CNA-2000

Válvula de admisión y válvula de descarga para tanque de inodoro-Especificaciones y métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el 23 de enero de 2002.

2.9.14. NOM-011 -CNA-2000

Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 2 de agosto de2001

2.9.15. NOM-011 -CNA-2000

Redes de distribución de agua potable-Especificaciones de hermeticidad y métodos de prueba. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 23 de enero de 2002.

2.9.16. NOM-012-SSA1-1993

Requisitos sanitarios que deben cumplir los sistemas de abastecimiento de agua para uso y consumo humano públicos y privados. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 12 de noviembre de 1993.

2.9.17. NOM-013-SSA1-1993

Requisitos sanitarios que debe cumplir la cisterna de un vehículo para el transporte y distribución de agua para uso y consumo humano. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de junio de 1994.

2.9.18. NOM-014-SSA1-1993

Procedimientos sanitarios para el muestreo de agua para uso y consumo humano en sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 3 de junio de 1994.

2.9.19. NOM-041-SSA1-1993

Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 29 de noviembre de 1994.

2.9.20. 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 día 30 de noviembre de 1995.

2.9.21. NOM-160-SSA1-1995

Bienes y servicios. Buenas prácticas para la producción y venta de agua purificada. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 17 de noviembre de 1999.

2.9.22. NOM-179-SSA1 -1998

Vigilancia y evaluación del control de calidad del agua para uso y consumo humano, distribuida por sistemas de abastecimiento público. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 7 de diciembre de 1999.

2.9.23. NOM-201-SSA1-2002

Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 4 de noviembre del 2002.

2.9.24. Guías para la Calidad de agua potable.

La OMS (Organización Mundial de la Salud) ha publicado periódicamente "Estándares Internacionales de Agua Potable" que luego se llamaron "Guías para la Calidad del Agua Potable". Estas Guías internacionales buscan mejorar la calidad del agua potable y la salud humana al ser usadas como base para la regulación de los estándares de agua potable en los países alrededor de todo el mundo.

Hasta el momento se han publicado tres ediciones de las Guías de Calidad de Agua Potable. Las dos primeras ediciones fueron utilizadas como directrices para establecer las normas internas que regulan el agua potable de cada uno de los países. La tercera edición hace una evaluación de riesgo, es decir, describe un "Marco para la Seguridad de Agua potable" y habla de los papeles y las responsabilidades de los distintos tenedores, incluyendo los papeles complementarios de reguladores nacionales, proveedores, comunidades y agencias "de vigilancia" independientes. En esta edición la información sobre muchas sustancias químicas fue revisada por la OMS para considerar la inclusión de nuevas sustancias químicas que no habían sido consideradas con anterioridad.

Los estándares de agua potable son regulaciones establecidas por la legislación interna de los países para controlar el nivel de contaminantes en el agua de consumo humano de cada nación. Los estándares nacionales de calidad de agua potable se concentran en el establecimiento de límites para regular los contaminantes que presentan un alto riesgo de afectar la salud pública, al mismo tiempo que su establecimiento se basa en su factibilidad según los recursos económicos y ambientales disponibles por cada país.

Para establecer los estándares adecuados para el agua potable, la OMS debe realizar una investigación y un análisis posterior que le permitan verificar si esos estándares cumplen su misión principal de proteger la salud pública. La OMS se encarga simplemente de concentrar y establecer las pautas, las cuales son adoptadas e impuestas por algunos países voluntariamente, ya que cada país es libre de establecer sus propias

normas, las cuales pueden ser menores, iguales y/o más estrictas que las recomendadas por la OMS.

Comparación de las Normas de Calidad de Agua Potable entre la OMS y los Países.

PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL AGUA POTABLE							
MICROBIOLÓGICOS							
Contaminante	Unidad	OMS	Canadá	USA	México	Costa Rica	El Salvador
Coliformes Fecales	UFC/100 mL	0	0	0	0	0	0
Coliformes Totales	UFC/100 mL	0	0	0	0	ND	0
INORGÁNICOS							
Arsénico	mg/L	0.01	0.025	0.01	0.025	0.01	0.01
Cadmio	mg/L	0.003	0.005	0.005	0.005	0.05	0.003
Cianuro	mg/L	0.07	0.2	0.2	0.07	0.05	0.05
Cobre	mg/L	2	1	1.3	2	2	1
Cromo	mg/L	0.05	0.05	0.1	0.05	0.05	0.05
Mercurio	mg/L	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001
Nitrato	mg/L	50	45	10	10	50	45
Nitrito	mg/L	3	3.2	1	1	3	1
Plomo	mg/L	0.01	0.01	0.015	0.025	0.01	0.01
Selenio	mg/L	0.01	0.01	0.05	0.05	0.01	0.01
ORGÁNICOS							
Benceno	ug/L	10	5	5	ND	ND	5
Benzopireno	ug/L	0.7	0.01	0.2	ND	0.7	0.2
Monoclorobenceno	ug/L	300	80	ND	ND	300	100
Tetracloruro de Carbono	ug/L	2	5	5	ND	2	2
Acrilamida	ug/L	0.5	ND	ND	ND	0.5	0

2.10. Generalidades de la Zeolita

La zeolita es una roca compuesta de aluminio, silicio, y oxígeno. Se halla en una variedad de regiones del mundo donde la actividad volcánica prehistórica ocurrió cerca del agua, o donde el agua ha estado presente por milenios desde las erupciones. La zeolita tiene una porosidad natural debido a que tiene una estructura cristalina con ventanas, jaulas, y superjaulas. Las zeolitas naturales tienen ventanas de tamaño limitado (tamaño de poro) y todas son hidrofílicas (tienen afinidad por el agua). La estructura de un cristal de zeolita se basa en un tetraedro que está formado por cuatro átomos de oxígeno enlazados con un átomo de silicio por medio de sus cuatro electrones de valencia. Las zeolitas naturales presentan como características relevantes, una estructura microporosa que le confiere propiedades adsorbentes y una gran capacidad de intercambio catiónico debido a un desequilibrio de cargas que es función de la relación Si y Al

2.10.1. Porosidad

Las zeolitas son formadas por canales y cavidades regulares y uniformes de dimensiones moleculares (3 a 13 nm) que son medidas similares a los diámetros cinéticos de una gran cantidad de moléculas. Este tipo de estructura microporosa hace que las zeolitas presenten una superficie interna extremadamente grande en relación a su superficie externa. Si son mayores de 50 nm se conocen como macroporos, si su diámetro está comprendido entre 2 y 50 nm se trata de mesoporos y si son menores de 2 nm, como es el caso de los poros de las zeolitas, son microporos (Curi *et al.*, 2006).

2.10.2. Adsorción

La superficie de los sólidos es una región singular, que es responsable o al menos condiciona muchas de sus propiedades. Los átomos que se encuentran en ella no tienen las fuerzas de cohesión compensadas, como ocurre en los átomos situados en el seno del sólido que es, en definitiva, responsable de las propiedades de adsorción de los sólidos.

A distancias suficientemente grandes, no existe una interacción apreciable entre una molécula acercándose a una superficie, por lo tanto, la energía de este sistema es próxima a cero. A medida que la molécula se acerca a la superficie la energía del sistema comienza a disminuir debido a que las fuerzas de cohesión de los átomos de la superficie empiezan a verse compensadas. En otras palabras, el potencial de adsorción origina una fuerza atractiva que provoca el acercamiento de la molécula a la superficie.

Cuando la distancia entre la superficie y la molécula libre comienza a disminuir, las fuerzas de repulsión (debidas a la proximidad de las capas de electrones de los átomos de la superficie con los átomos de la molécula libre) comienzan a ser importantes. Por lo tanto, existe una distancia para la cual la energía del sistema es mínima. La alta eficiencia de adsorción de las zeolitas está relacionada a la gran superficie interna que esta posee. Cuando el tamaño del poro disminuye se produce un incremento significativo del

potencial de adsorción, ocasionado por el solapamiento de los potenciales de las paredes del poro.

2.10.3. Intercambio iónico (I.I)

La propiedad de Intercambio Iónico (I.I.) se ha observado en minerales silicatos cristalinos como arcillas, feldespatos y zeolitas. Se considera una propiedad intrínseca de estos minerales pues es el producto de la sustitución isomórfica de los átomos de silicio de su estructura cristalina por otros átomos. En el caso de las zeolitas esta sustitución ocurre por átomos tetravalentes de aluminio lo que produce una carga neta negativa en la estructura que se compensa por cationes fuera de ella. Estos cationes son intercambiables, de ahí la propiedad intrínseca de I.I. que también es una manifestación de su naturaleza de estructura cristalina microporosa, pues las dimensiones de sus cavidades y de los cationes que se intercambian determinan el curso del proceso.

El comportamiento de I.I. en las zeolitas depende de varios factores que determinan una mayor selectividad en las zeolitas a determinados cationes: -naturaleza de los cationes en solución, temperatura, concentración de los cationes en solución, aniones asociados con los cationes en solución, solvente – agua, solvente orgánico, estructura de la zeolita – topología de la red y densidad de la carga de red.

2.10.4. Capacidad de intercambio iónico

La capacidad de intercambio iónico (C.I.I.) de una zeolita es una magnitud que da una medida del monto de equivalentes de un catión que es capaz de retener por intercambio iónico una masa de zeolita.

2.11. Característica de la Arena Verde

La arena verde “Green Sand” es un término común para rocas o sedimentos arenosos que contienen un alto porcentaje de glauconita. Los filtros con glauconita, de otras maneras conocidas como filtros de arena

verde, son buenas maneras de remover hierro, manganeso y sulfuros de fuentes para beberagua.

Los filtros de arena verde integran controles de fácil operación y casi nulo mantenimiento, retiran hierro, manganeso y ácido sulfhídrico de agua de pozo o de manantial, eliminando partículas suspendidas, olores, sabores.

2.12. Ruminalth

El ruminalth es un suplemento a base minerales alcalinizantes, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, así como de promotores de consumo.

2.12.1. Usos

Se utilizan aluminosilicatos como la Clinoptilolita Cálcida y la montmorillonita. Que aparte de servir como neutralizadores del pH ruminal, también funcionan como absorbentes de amoníaco y secuestrante de micotoxinas. Carbonatos de Calcio y Potasio, así como óxido de magnesio como neutralizadores del pH (DCM Nutrition&Pharma SA de CV).

III. Materiales y métodos

El experimento se llevó a cabo en laboratorio de Suelos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Unidad Laguna, ubicada en Torreón, Coahuila, México.

3.1. Materiales

- Filtros marca Whatman de 125 mm de diámetro
- Agua destilada (24 litros)
- Zeolita (120 gr)
- Arena verde (120 gr)
- H.R (120 gr)
- 12 Columnas de PVC hidráulico (2” de diámetro)
- Balanza analítica
- Espectrofotómetro de absorción atómica marca PerkinElmer, modelo 2380: se utilizó para determinar el Cadmio presente en el agua.
- TERMO ORION modelo 420: se utilizó para determinar el pH de cada muestra.
- Conductímetro ORION modelo 162: se utilizó para determinar la conductividad eléctrica.

3.2. Acondicionador

- Cloruro férrico
- Solución problema de Cadmio con concentración de 1000 ppm

3.3. Materiales a evaluar

Se evaluarán 4 materiales adsorbentes los cuales son los siguientes: zeolita acondicionada con cloruro férrico, arena verde, arena verde acondicionada con cloruro férrico y Ruminant Health.

3.4. Agua a utilizar

Se prepararon dos soluciones problema la primera que contenga una concentración de 0.4 ppm y segunda solución de 0.8 ppm de Cadmio, cada solución en 24 litros de agua destilada. Se utilizó un estándar de alta pureza del Cadmio.

3.5. Preparación del cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.5 molar.

Se pesó 67.57gr de cloruro férrico en la balanza analítica, posteriormente diluirlo en 0.5 lt de agua destilada.

3.6. Acondicionamiento de la zeolita

Se tamizó la zeolita en una maya de 2mm, posteriormente se pesó en la balanza analítica 120 gr de esta. Y finalmente se acondicionó con cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.5 molar. Se Evaporó y se dejó en la estufa, hasta quitarle la humedad.

3.7. Acondicionamiento de la arena verde

Se tamizó la arena verde en una maya de 0.5mm, posteriormente se pesó en la balanza analítica 120 gr de la misma. Y finalmente se acondiciono con cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) 0.5 molar. Se evaporó y se dejó en la estufa, hasta quitarle la humedad.

3.8. Procedimiento experimental

Para la realización del trabajo se utilizó 12 columnas depolicloruro de vinilo(PVC), en cada una se colocaron 10 gr de cada material respectivamente, sobre un filtro para evitar el arrastre de material adsorbente en la muestra recolectada. Agregando 2 litros de agua de 0.4 ppm y 0.8 ppm de solución problema respectivamente.

3.9. Relación material/volumen y tiempos de retención a usar.

Se evaluaron los siguientes materiales adsorbentes/volumen de agua: Zeolita acondicionada (T1) en 2 litros de agua, arena acondicionada (T2), en 2 litros de agua, arena verde (T3) en 2 litros de agua y ruminalth (T4) en litro de agua, con los siguientes tiempos de retención; 15 y 30 min respectivamente. Para la concentración de 0.4se utilizó 30 minutos de retención y para la concentración de 0.8se utilizó 15 minutos de retención.

3.10. Parámetros a evaluar

Una vez realizado el paso del agua a través de las columnas, se determina las siguientes propiedades químicas:

- pH: se determinó con el potenciómetro marca TERMO ORION modelo 420.
- Conductividad eléctrica: se determinó con el conductivímetro marca ORION modelo 420.
- Concentración del cadmio en el agua: se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER modelo 2380.

3.11. Descripción de los Tratamientos

Se utilizó un diseño completamente al azar evaluándose cuatro tratamientos y tres repeticiones cada uno.

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos

Tratamientos	Material
T1R1	Zeolita acondicionada
T1R2	Zeolita acondicionada
T1R3	Zeolita acondicionada
T2R1	Arena verde acondicionada
T2R2	Arena verde acondicionada
T2R3	Arena verde acondicionada
T3R1	Arena verde
T3R2	Arena verde
T3R3	Arena verde
T4R1	RuminalHealth (H.R)
T4R2	RuminalHealth (H.R)
T4R3	RuminalHealth (H.R)

T1R1 (zeolita acondicionada) T2R1 (arena verde acondicionada) T3R1 (arena verde)
T4R1(ruminalhealth)

IV. Resultados y discusión

El cadmio es un metal pesado que trae efectos nocivos a la salud del ser humano cuando se excede los límites máximos permisibles en el organismo, la Organización Mundial de la Salud indica que el nivel máximo de contaminación en el agua de bebida debe ser inferior a 0.003 mg/l, OMS (2014).

4.1. Adsorción del cadmio con tiempo de retención de 30 minutos con una concentración de (0.4 ppm).

Cuadro 2. Resultado de la adsorción del Cadmio por los materiales Evaluados.

Tratamientos	R1	R2	R3	Prom
Zeolita tratada	0.23	0.28	0.27	0.26
Arena verde tratada	0.30	0.28	0.29	0.29
Arena verde	0.25	0.29	0.29	0.28
RuminalHealth	0.24	0.26	0.25	0.25

Los resultados de los materiales evaluados obtenidos mediante absorción atómica fueron ajustados al modelo estadístico completamente al Azar.

Cuadro 3. Análisis de varianza de la adsorción del cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de (0.4 ppm).

FV	GL	SC	CM	(F)	SIG
Tratamiento	3	0.002	0.001	0.467	0.713
Error	8	0.010	0.001		
Total	11	0.011			

Tratamiento	Media
T1	0.26
T2	0.29
T3	0.28
T4	0.25

En el cuadro 3 se muestran los resultados de los tratamientos utilizando el análisis de varianza; para este primer experimento no se presentó diferencia significativa en los tratamientos debido a que es mayor a 0.005, que es valor establecido, donde se observa que el T4 (ruminalhealth) es más eficiente debido este material contiene enzimas y bacteria que ayudan a la adsorción del Cadmio que adsorben 0.15 ppm de Cadmio, que corresponde al 37.5% de adsorción; en segundo lugar tenemos al T1 (zeolita acondicionada); ya que adsorbe el 0.137 ppm que representa al 34.25%, esto se debe a que el cloruro férrico con la que esta acondicionada la zeolita, se disuelve en agua, sufre hidrólisis y libera calor en una reacción exotérmica. De ello resulta una solución ácida y corrosiva que se utiliza como coagulante en el tratamiento de aguas residuales y la potabilización del agua. Después está el T3 (arena verde) que eliminó 0.116 ppm que representa al 29% del cadmio adsorbido, el tratamiento menos eficiente fue el T2 (arena verde acondicionada) ya que este eliminó 0.104 ppm, este representa el 26% del metal adsorbido.

Por lo tanto dichos resultados son bajos comparados con los obtenidos por Thelma(2000), que obtuvo una adsorción de 0.156 ppm; quien evaluó la zeolita heulandita para eliminar Cadmio del agua.

4.2. Correlación del pH

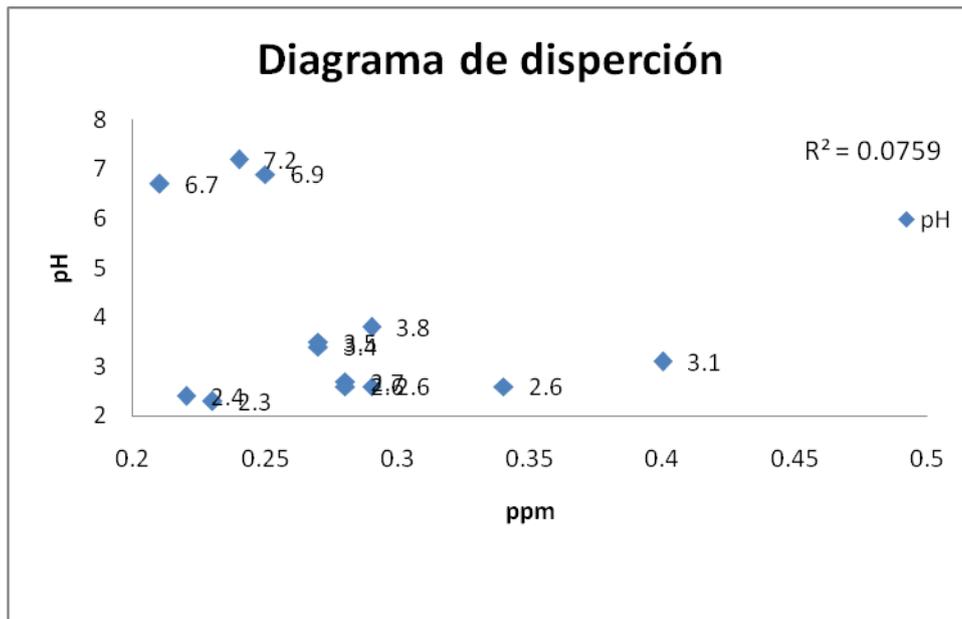
El pH de un cuerpo de agua es un parámetro a considerar cuando queremos determinar la especiación química y solubilidad de varias sustancias orgánicas e inorgánicas en agua, el pH de un cuerpo de agua puede variar a lo largo de un amplio rango de valores. El rango de pH en la mayor parte de los cuerpos de agua dulce no contaminados oscila entre 6.0 y 9.0, en el cuadro 4 se muestran los valores del pH obtenidos en los tratamientos, donde en el T1 (zeolita acondicionada) y T2 (arena verde acondicionada) tienen pH ácidos donde su variación es poca que va desde 2.36 a 2.66, esto se debe a que el Hierro es responsables de la acidez en el agua. El pH en el T3 (arena verde) se debe a que este material contiene glauconita y esto se debe a que la evolución del pH tienda hacia valores ácidos. El pH neutro del T4 se debe a que el ruminalhealth tiene como característica el pH neutro, (Lean *etal.*,2007).

Cuadro 4. Resultados del pH en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm

Tratamientos	Cadmio (ppm)	pH
Testigo	0.40	3.1
T1R1	0.23	2.3
T1R2	0.22	2.4
T1R3	0.28	2.7
T2R1	0.34	2.6
T2R2	0.28	2.6
T2R3	0.29	2.6
T3R1	0.29	3.8
T3R2	0.27	3.4
T3R3	0.27	3.5
T4R1	0.24	7.2
T4R2	0.26	6.7
T4R3	0.25	6.9

T1R1 (zeolita acondicionada) T2R1 (arena verde acondicionada) T3R1 (arena verde)
T4R1(ruminalhealth)

Grafica 5 .Correlación del pH



Coeficiente de correlación

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
Ppm	1	
pH	-0.27545588	1

En la gráfica 5 se muestra la correlación entre el pH y las ppm finales del Cadmio con tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm del mismo. Donde nos indica que hay relaciones muy débiles con una $R^2 = 0.0759$ e inversa entre el pH y ppm finales del Cadmio.

4.3. Correlación de la conductividad eléctrica

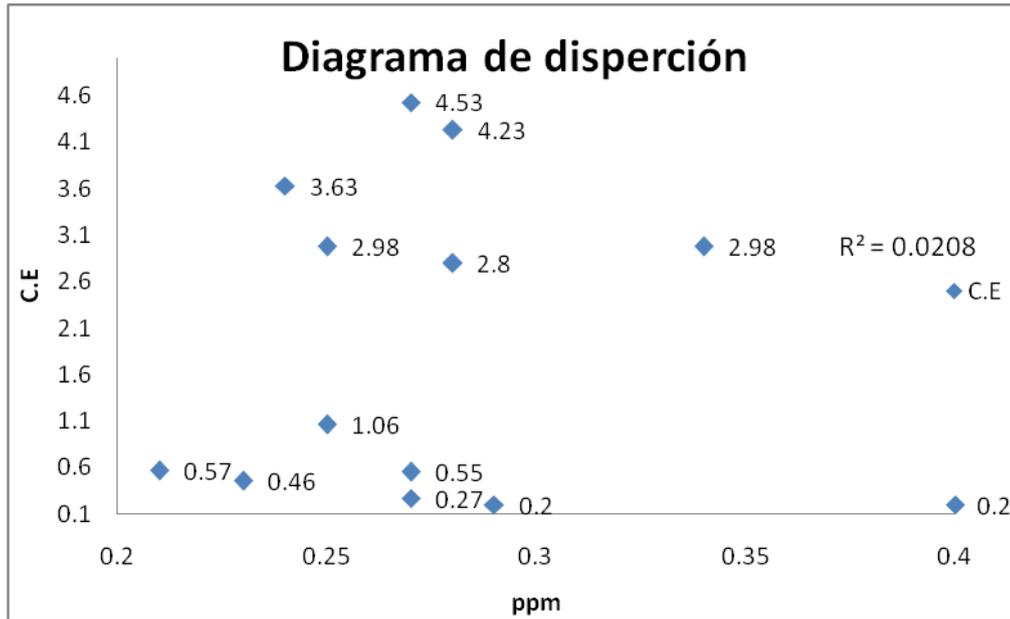
Las variaciones de la conductividad eléctrica están en función de los materiales adsorbentes que estos tienen diversos factores como, la composición química, la textura, la estructura y la porosidad; las mediciones de la conductividad eléctrica de la solución ha experimentado cambios, con evidente disminución de los valores; así, en el cuadro 6 se muestran los resultados de la C.E en todos los tratamientos donde; el primer valor de la conductividad en el testigo es de 0.20 $\mu\text{S}/\text{cm}$, cercano al valor del T1R1, en las R1 y R2 se produce un cambio positivo apreciable al aumento de esta. En el tratamiento T2 se mantiene constante donde se produce un cambio negativo en la disminución de la conductividad, en el T3 igual se produce un cambio negativo que disminuye la conductividad a valores de 0.20 y 0.55 $\mu\text{S}/\text{cm}$. En el T4 (H.R) la conductividad experimenta cambios que oscilan de 0.57 a 3.63 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Cuadro 6. Resultados del C.E en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.

Tratamientos	Cadmio (ppm)	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
Testigo	0.40	0.20
T1R1	0.23	0.46
T1R2	0.28	4.23
T1R3	0.27	4.53
T2R1	0.34	2.98
T2R2	0.28	2.8
T2R3	0.25	2.98
T3R1	0.29	0.20
T3R2	0.27	0.27
T3R3	0.27	0.55
T4R1	0.24	3.63
T4R2	0.26	0.57
T4R3	0.25	1.06

T1R1 (zeolita acondicionada) T2R1 (arena verde acondicionada) T3R1 (arena verde)
T4R1(ruminalhealth)

Grafica 7. Correlación de la C.E



Coefficiente de correlación

	<i>ppm</i>	<i>C.E</i>
Ppm	1	
C.E	-0.14415249	1

En el grafica 7 se muestra la correlación entre la conductividad eléctrica y la adsorción del Cadmio con tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm inicial. Se puede observar que la relación entre estos es muy baja con una $R^2 = 0.0208$ e inversa.

4.4. Correlación de la capacidad de intercambio catiónico

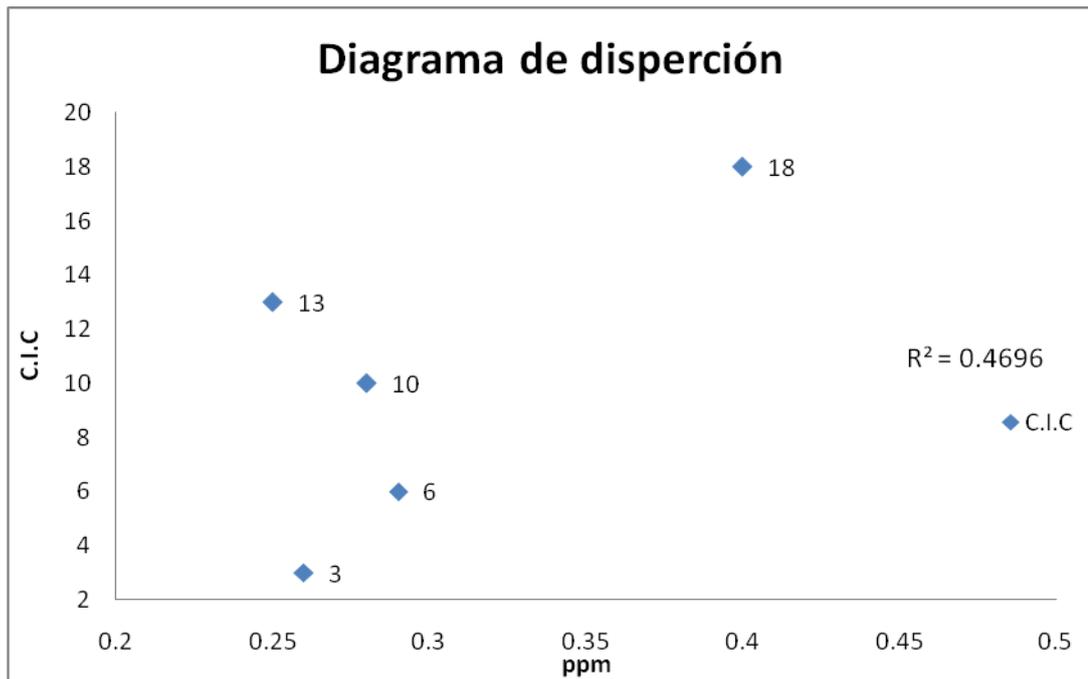
La capacidad de intercambio catiónico es la capacidad que tiene un suelo para retener y liberar iones positivos, merced a su contenido en arcillas y la materia orgánica. Las arcillas están cargadas negativamente, por lo que suelos con mayores concentraciones de arcillas exhiben capacidades de intercambio catiónico mayores. A mayor contenido de materia orgánica en un suelo aumenta su CIC.

Cuadro 8. Resultados de la conductividad eléctrica en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.

Tratamiento	Cadmio (ppm)	CIC (meq/100g)
Testigo	0.40	18
T1	0.26	3
T2	0.29	6
T3	0.28	10
T4	0.25	13

T1 (zeolita acondicionada) T2 (arena verde acondicionada) T3 (arena verde) T4 (ruminalhealth)

Grafica 9. Correlación de la C.I.C



Coefficiente de correlación

	<i>Ppm</i>	<i>C.I.C</i>
Ppm	1	
C.I.C	0.6623883	1

En el grafica 9 se observa el coeficiente de correlación entre la capacidad de intercambio catiónico y la adsorción del Cadmio con tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm inicial. Donde nos indica que la relación entre la CIC y la adsorción del Cadmio directa y moderada con una $R^2= 0.4696$.

4.5. Segundo experimento de la adsorción del cadmio con tiempo de retención de 15 minutos con una concentración de (0.8 ppm)

Cuadro 10. Resultado de la adsorción del Cadmio por los materiales evaluados.

Tratamientos	R1	R2	R3	Prom
Zeolita tratada	0.69	0.79	0.55	0.67
Arena verde tratada	0.8	0.8	0.74	0.78
Arena verde	0.36	0.77	0.70	0.61
RuminalHealth	0.77	0.54	0.75	0.68

Los resultados de los tratamientos evaluados obtenidos mediante absorción atómica fueron ajustados al modelo estadístico completamente al Azar.

Cuadro 11. Análisis de varianza de la adsorción del cadmio con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de (0.8 ppm).

FV	GL	SC	CM	(F)	SIG
Tratamiento	3	0.044	0.015	0.733	0.561
Error	8	0.160	0.020		
Total	11	0.204			

Tratamiento	Media
T1	0.67
T2	0.78
T3	0.61
T4	0.68

En el cuadro 11 se muestran los resultados de los tratamientos utilizando el análisis de varianza; para este primer experimento se concluye que no se presentó diferencia significativa en los tratamientos debido a que es mayor a

la establecida en la regla de decisión de 0.005, donde se observa que el material adsorbente más eficiente para eliminación del Cadmio con una concentración inicial de 0.8 ppm presente en el agua es el T3 (arena verde) que disminuyó 0.19 ppm esto representa una adsorción de 23.75% del Cadmio. En segundo lugar está el T1 (zeolita acondicionada) disminuyó 0.13 ppm, esto nos representa un 16.15 % de adsorción, en tercer lugar está el T4 (ruminalhealth) que disminuyó 0.12 ppm, que equivale a 15 % de adsorción del Cadmio y el menos viable para eliminación del metal es el T2 (arena verde acondicionada) que eliminó tan solo 0.02 ppm, representa un 2.5 % de adsorción. Comparando las medias de los tratamientos del primer experimento se observa que el mejor fue el T4 (ruminalhealth), luego el T1 (zeolita acondicionada), después el T3 (arena verde), y al final el T2 (arena verde acondicionada) respectivamente; las variaciones de los resultados entre el primer y el segundo experimento se deben a los tiempos de retenciones; en el primer experimento se obtuvo una adsorción con un promedio general de 31.75 % del Cadmio y un tiempo de retención de 30 minutos , y en el segundo experimento se obtuvo un promedio general de 14.35 % de adsorción del Cadmio con un tiempo de retención de 15 minutos. Donde se puede observar que en el primer experimento se adsorbió más el Cadmio debido a que estuvo con más tiempo en contacto el material adsorbente/volumen de agua.

Las concentraciones finales del Cadmio en todos los materiales adsorbentes aún están por encima de lo que marca la OMS (0.003 mg/l)

4.6. Correlación del pH

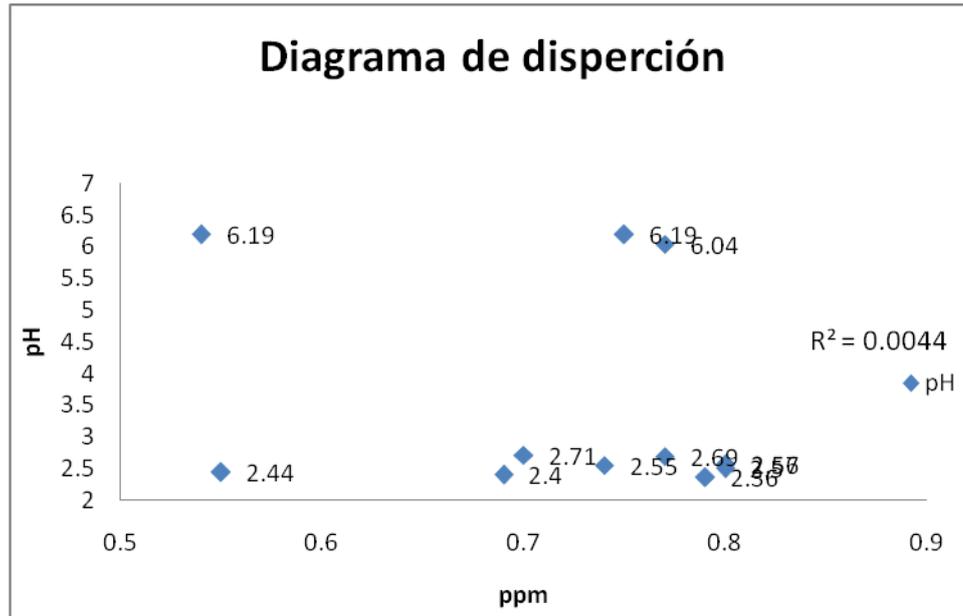
En el cuadro 4 se muestran los valores del pH obtenidos en los tratamientos. Donde en el T1 (zeolita acondicionada) se mantiene constante en 2.4, similar al testigo y el T2 (arena verde acondicionada) tiene pH ácidos donde su variación es poca que va desde 2.57 a 2.71, esto se debe a que el Hierro es responsables de la acidez en el agua. El pH en el T3 (arena verde) se debe a que este material contiene glauconita y esto tiene a que el pH tienda hacia valores ácidos. Los valores del pH que son poco ácidos del T4 se debe a que el ruminalhealth tiene como característica el pH neutro.

Cuadro 12. Resultados del pH en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 15 minutos con una concentración 0.8 ppm

Tratamientos	Cadmio (Ppm)	pH
Testigo	0.80	2.50
T1R1	0.69	2.40
T1R2	0.79	2.36
T1R3	0.55	2.44
T2R1	0.80	2.56
T2R2	0.80	2.57
T2R3	0.74	2.55
T3R1	0.36	2.71
T3T2	0.77	2.69
T3R3	0.70	2.71
T4R1	0.77	6.04
T4R2	0.54	6.19
T4R3	0.75	6.19

T1R1 (zeolita acondicionada) T2R1 (arena verde acondicionada) T3T1 (arena verde)
T4R1(ruminalhealth)

Grafica 13. Correlación del pH



Coefficiente de correlación.

	<i>Ppm</i>	<i>pH</i>
Ppm	1	
pH	-0.06640922	1

En el grafica 13se muestra el coeficiente de correlación entre el pH y la adsorción del Cadmio con tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm inicial de Cadmio. Donde nos indica que la relación del pH y la adsorción del cadmio son muy débiles con una $R^2 = 0.0044$ e inversas.

4.7. Correlación de la conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica es la capacidad de un cuerpo de permitir el paso de la corriente eléctrica a través de sí. También es definida como la propiedad natural característica de cada cuerpo que representa la facilidad con la que los electrones y huecos en el caso de los semiconductores pueden pasar por él. Varía con la temperatura. Es una de las características más importantes de los materiales. En el cuadro 14 se muestran los resultados de la C.E en todos los tratamientos donde; el primer valor de la

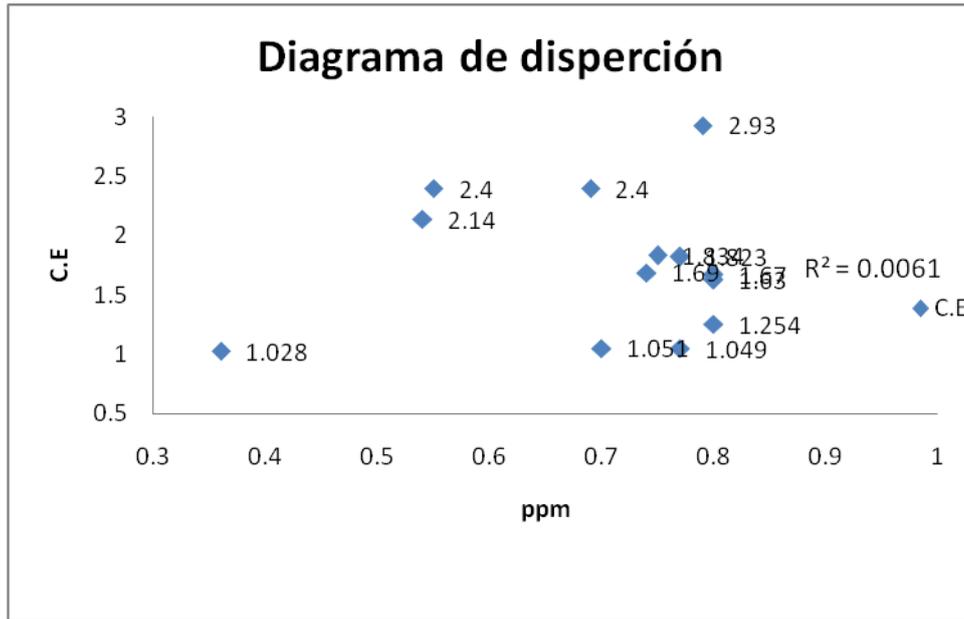
conductividad en el testigo es de 1.25 $\mu\text{S/cm}$, cercano al valor del T1 (zeolita a acondicionada) se produce un cambio positivo apreciable al aumento de esta. En el tratamiento T2 se mantiene constante donde se produce un cambio negativo entre 1.63 $\mu\text{S/cm}$ y 1.69 $\mu\text{S/cm}$, en la disminución de la conductividad, en el T3 igual permanece constante la conductividad en los valores de 1.02 y 1.05 $\mu\text{S/cm}$. En el T4 (H.R) la conductividad experimenta cambios que varían de 1.57 a 2.14 $\mu\text{S/cm}$.

Cuadro 14. Resultados del C.E en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 15 minutos con una concentración 0.8 ppm.

Tratamientos	Cadmio (ppm)	C.E ($\mu\text{S/cm}$)
Testigo	0.80	1.25
T1R1	0.69	2.4
T1R2	0.79	2.93
T1R3	0.55	2.4
T2R1	0.80	1.67
T2R2	0.80	1.63
T2R3	0.74	1.69
T3R1	0.36	1.08
T3R2	0.77	1.04
T3R3	0.70	1.01
T4R1	0.77	1.83
T4R2	0.54	2.14
T4R3	0.75	1.83

T1R1 (zeolita acondicionada) T2R1 (arena verde acondicionada) T3R1 (arena verde)
T4R1(ruminalhealth)

Grafica 15. Correlación de la C.E



Coefficiente de correlación

	<i>Ppm</i>	<i>C.E</i>
<i>Ppm</i>	1	
<i>C.E</i>	0.07798976	1

En el grafica 15 se muestra el coeficiente de correlación entre el C.E y la adsorción del Cadmio con tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm inicial de Cadmio. Donde la relación de la C.E y la adsorción del cadmio son muy débiles con una $R^2 = 0.0061$ y directas.

4.8. Correlación de la capacidad de intercambio catiónico

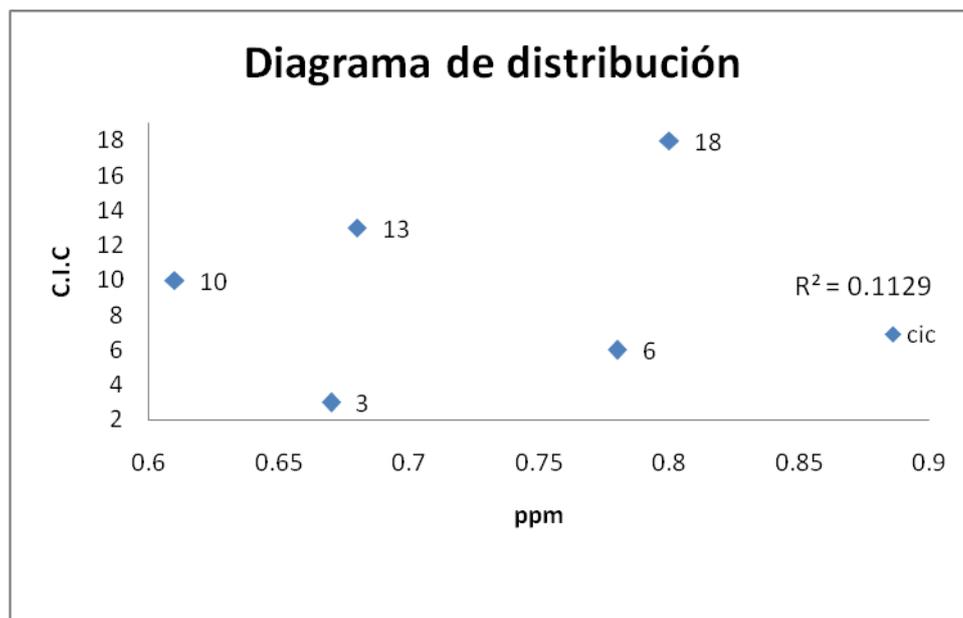
Una de las propiedades más interesantes de los suelos es su capacidad de retener e intercambiar iones sobre las superficies coloidales minerales y orgánicas. En él participan iones y cationes simples y complejos y moléculas de agua.

Cuadro 16. Resultados de la conductividad eléctrica en la remoción del Cadmio con un tiempo de retención de 30 minutos con una concentración 0.4 ppm.

Tratamiento	Cadmio (ppm)	C.I.C (meq/100g)
Testigo	0.80	18
T1	0.67	3
T2	0.78	6
T3	0.61	10
T4	0.68	13

T1 (zeolita acondicionada) T2 (arena verde acondicionada) T3 (arena verde) T4 (ruminalhealth)

Grafica 17. Correlación de la C.I.C



Coeficiente de correlación

	<i>ppm</i>	<i>C.I.C</i>
<i>ppm</i>	1	
<i>C.I.C</i>	0.33597062	1

En el grafica 17 se muestra el coeficiente de correlación entre el C.I.C y la adsorción del Cadmio con tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm inicial del mismo. Donde se observa que existe una relación es directa y baja con una $R^2= 0.1129$ entre la capacidad de intercambio catiónico y la adsorción del cadmio.

V. Conclusiones

- Para disminuir la concentración del Cadmio el tratamiento más eficiente en el primer experimento fue el T4 (ruminalhealth) que adsorbió 0.15 ppm, que corresponde un 37.5% de adsorción de este metal, para el segundo experimento el T3 (arena verde) fue quien disminuyó 0.19 ppm, significa que adsorbió un 23.75% del Cadmio. Para disminución del Cadmio presente en el agua el mejor material fue el T4 (ruminalhealth) con una concentración de 0.4 con un tiempo de retención de 30 minutos.
- 30 minutos de contacto del H.R (ruminalhealth) con el agua contaminada no son suficientes para eliminar el Cadmio.
- Los tratamientos evaluados disminuyeron la concentración de Cadmio en el agua, sin embargo, las concentraciones finales están por encima de los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, asimismo están arriba con lo que marca la OMS (0.003 mg/l). De la misma manera rebasa el límite máximo establecido por la EPA de (0.005 mg/l).

VI. Literatura citada

- Aguilera, R. P. 2009. "Metabolismo del hierro." *RevistaMex Med Tran* 2: 87-89.
- Ahammed, G. J., S. P. Choudhary, S. chen, X. Xia, K. S. Y. Zhou y J. Yu 2012. "Role of brassinosteroids in alleviation of phenanthrene-cadmium co-contamination-induced photosynthetic inhibition and oxidative stress in tomato." *Journal of Experimental Botany* 64: 199-213.
- AlMalki, A. L. y S. S. Moselhy 2011. "Impact of pesticides residue and heavy metals on lipids and fatty acids composition of some seafoods of Red Sea (KSA)." *Human and Experimental Toxicology* 30: 1666–1673.
- Alvarado, C. J., N. D. Schubert, E. Ambriz, J. M. S. Yañez y J. Villegas 2011. "Hongos micorrízicos arbusculares y la fitorremediación de plomo " *Rev. Int. Contam. Ambie.* 27: 357-364
- Andréa, M. M. d. 2010. "Uso de las lombrices de tierra como bioindicadoras ambientales: principios y prácticas el 3° Encuentro Latino Americano de Ecología y Taxonomía de Oligoquetos (ELAETAO3)." *Acta Zoológica Mexicana*: 95-107.
- Aragón, A. G., M. B. Villavicencio, I. A. Quiroz, M. V. Mier y A. V. Morillas 2012. "Contaminación por metales pesados en un suelo urbano industrial y en la vegetación del sitio." *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica* 5: 1 – 10.
- Astete, J., M. d. C. Gastañaga, V. Fiestas, T. Oblitas, I. Sabastizagal, M. Lucero, J. d. M. Abadíe, M. E. Muñoz, A. Valverde y M. Suarez 2010. "Enfermedades transmisibles, salud mental y exposición a contaminantes ambientales en población aledaña al proyecto minero las bambas antes de la fase de explotación, Perú 2006." *RevPeruMedExp Salud Publica* 27: 512-519.
- Atehortua, E. y C. Gartner 2013. "Estudios preliminares de la biomasa seca de *eichhorniacrassipes* como adsorbente de plomo y cromo en aguas." *Revista Colombiana de Materiales* 1: 81 – 92.

- Baltazar, C. D. L. y J. A. A. Campos 2012. "Proteínas queladoras de metales pesados en plantas hiperacumuladoras." Revista de ciencia y tecnología de la UACJ 10: 21-30.
- Benítez, J. A., M. L. Flores, L. Amábilis, J. B. Arie, J. A. V. Maldonado, B. T. C. Poot, V. M. Acevedo, J. R. V. Osten y K. S. Santos 2011. "An assessment of water quality (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^- , TP, SO_4 , coliform bacteria and heavy metals) of the main water supplies in the state of Campeche." Tropical and Subtropical Agroecosystems 13: 187 - 197.
- Calzada, R. T., O. E. Arriaga, A. P. Sandoval, J. G. A. Ávila, A. F. Hernández, J. R. Torres y R. D. V. Cepeda 2009. "Evaluación de trompillo (*solanumelaeagnifolium*) en la fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados
- " Revista Chapingo Serie Zonas Aridas 8: 247-253.
- Cano, H. G. O., R. T. Calzada, R. D. V. Cepeda, J. G. A. Ávila, A. F. Hernández y B. L. Ariza 2009. "Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*Amaranthushybridus*L.) y micorrizas." Revista Chapingo Serie Horticultura 15: 161-168.
- Cardón, D. L., L. A. G. Zúñiga, A. V. R. Tovar, S. M. Villafán, S. P. Jiménez y A. R. Dorantes 2012. "Respuesta de crecimiento y tolerancia a metales pesados de *Cyperuselegansy Echinochloapolystachyainoculadas* con una rizobacteria aislada de un suelo contaminado con hidrocarburos derivados del petróleo." Rev. Int. Contam. Ambie. 28: 7-16
- Carlos, M. H. J., P. V. Y. Stefani, P. V. Carlos, S. L. Ángel, M. G. M. Araceli, P. O. Gabriela, E. A. Beatriz y A. M. Janette 2010. "Biosorción de Cromo, Arsénico y Plomo de soluciones acuosas por cultivos bacterianos en suspensión. ." Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias 1: 67-73
- Carrillo, J. L. R. y R. O. Gallard 2012. "Utilización de las abejas melíferas para monitorear metales pesados en el aire." Apicultura sin fronteras: 2-5.
- Cartaya, O. E., I. Reynaldo, C. Peniche y M. L. Garrido 2011. "Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos

contaminados por metales pesados." Rev. Int. Contam. Ambie. 27: 41-46.

- Cifuentes, D. R. A., S. M. B. Felizzola, C. A. O. Ante y I. J. L. Sánchez 2011. "Evaluación de la eficiencia de una batería de filtros empacados en zeolita en la remoción de metales pesados presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio." Revista Ingenierías Universidad de Medellín 10: 31-42.
- Coto, J. M., A. D. Valdivia y O. C. Pérez 2010. "Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación." Revista CENIC Ciencias Biológicas 41: 67-78.
- Curi, A., W. J. V. Granda, H. M. Lima y W. T. Sousa 2006. "Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros." Información Tecnológica 17: 111-118.

Ficha técnica HP ruminalhealth., "DCM Nutrition&Pharma SA de CV", revisado en 2014.

- Elcinto, M. A. 2000. "Efecto del exceso del hierro sobre la salud." Medicina naturista 2: 92-95.
- Espericueta, F., J. I. O. López, G. I. Fierro, M. A. Juárez y D. Voltolina 2010. "Cadmio y plomo en organismos de importancia comercial de la zona costera de Sinaloa, México: 20 años de estudios." CICIMAR Océánides 25: 121-134
- Etxabe, I. Z., K. C. Cotín, C. O. Olalde y J. V. Alonso 2010. "Cesión de plomo y otros metales desde las tuberías al agua de consumo en la Comunidad Autónoma del País Vasco." GacSanit 24: 460-465
- Flores, E. G., M. A. T. Campante, E. S. Castro, A. P. Magaña y A. J. G. Martínez 2011. "Biodisponibilidad y fraccionamiento de metales pesados en suelos agrícolas enmendados con biosólidos de origen municipal." Rev. Int. Contam. Ambie. 27: 291-301.
- Fuentes, M. V., L. R. d. Astudillo, A. Diaz y G. Martínez 2010. "Distribución de metales pesados en los sedimentos superficiales del Saco del Golfo de Cariaco, Sucre, Venezuela." Rev. Biol. Trop. 58: 129-140.

- Galante, P. M., E. T. Sánchez, M. Valverde y E. R. D. Castillo 2013. "Biomarkers of exposure for assessing environmental metal pollution: from molecules to ecosystems." *Rev. Int. Contam. Ambie.* 29: 117-140
- Gallegos, E. G., E. H. Acosta, E. G. Nieto y O. A. A. Sandoval 2011. "Contenido y traslocación de plomo en avena (*Avena sativa*, L.) y haba (*Vicia faba*, L.) de un suelo contaminado " *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17: 19-29
- García, P. E. P. y M. I. A. Cruz 2012. "Los efectos del cadmio en la salud." *RevEspMédQuir* 17: 199-205.
- Huerta, E. A. R. y M. A. A. Hernández 2012. "Acomulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelo cercanos a jales o residuos mineros." *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28: 103-117
- Huertos, E. G. y A. R. Baena 2008. "Contaminación de Suelos por Metales Pesados." *Mancla revista de la sociedad española de mineralogía* 10: 48-60.
- Jacas, A., P. Ortega, M. J. Velasco, M.A.Camblor y M. A. Rodríguez 2012. "Síntesis de zeolita LTA sobre soportes de corindón: Evaluación preliminar para la eliminación de metales pesados de efluentes acuosos." *Bol. Soc. Esp. Ceram. Vidr* 51: 249-254.
- Kar, S., J. P. Maity, A. C. Samal, S. C. Santra, J.-S. Jean y J. Bundschuh 2013. "Deposition and uptake of metals in urban canopy: Atmospheric arsenic sequestration " *Journal of Hazardous Materials* 1-9.
- Keil, D. E., J. B. Ritchie y G. A. McMillin 2011. "Testing for Toxic Elements: A Focus on Arsenic, Cadmium, Lead, and Mercury " *Labmedicine* 42: 735-742.
- Laura, G. H., V. R. Marissa y R. C. Víctor 2011. "Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por Pb, Cd y As provenientes de residuos mineros, utilizando agua y ácido acético como electrolitos." *Superficies y Vacío* 24: 24-29.
- Lazor, P., J. Tomáš, T. Tóth, J. Tóth y S. Čéryová 2012. "Monitoring of air pollution and atmospheric deposition of heavy metals by analysis of honey." *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* 1: 522-533.

- Lean I., E, Bramley. G, Browning. P, Cusack. B, Farquharson. S, Little. D, Nandapi 2007 "Ruminal Acidosis – understandings, prevention and treatment.
- Madero, A., M.Sc, J. M. N y Ph.D 2011. "Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los rios Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia." Rev. MVZ Córdoba 16: 2391-2401
- Martínez, F. R., Y. M. López, A. P. Guzmán, O. E. Serafín, L. T. Gálvez y G. V. d. Toro 2011. "Medición de pH y cuantificación de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario más grande de la zona metropolitana de la ciudad de México." Universidad y Ciencia 27: 121-132.
- Mead, M. N., A. Spivey, A. Burton y C. Potera 2010. "Confusión por el cadmio ¿Los consumidores necesitan protección?" EnvironmentalHealthPerspectives 118: A528-A534.
- Monroy, R. G., F. P. García, W. S. Monks, G. P. Flores y A. Z. Estrada 2012. "Afectaciones a la Salud por Efecto de Metales Tóxicos en la Población de Xochitlán, Hidalgo, México." Ciencia y Trabajo 10: 362/369.
- Moreno, F. H., E. M. García, V. Q. León y F. H. Arévalo 2012. "Contaminación por metales pesados en la Cuenca del Río Moche, 1980 - 2010, La Libertad - Perú " Scientia Agropecuaria 3: 235 - 247
- Murillo, J. H. y S. R. Román 2010. "Validación de un método de análisis para la determinación de metales pesados en partículas pm10 colectadas en aire ambiente." Tecnología en Marcha 23: 33-46.
- Nieto, C. V., J. G. Carriazo y E. Castillo 2011. "Estudio de materiales adsorbentes de bajo costo para remover Cr (VI) de efluentes acuosos." INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN 31: 154-162.
- Núñez, M. E. T. y M. O. G. Zevallos 2009. "Evaluación de metales pesados en el tóner usado en fotocopiadoras. su relación con los trabajadores y medidas de mitigación." RevSocQuím Perú. 76: 179-186.
- OMS 2014, cuadros de información resumida sobre sustancias químicas.
Disponible En:

http://www.who.int/water_sanitation_health/dwq/gdwq3_es_ann4.pdf?ua=1, 03/02/2014.

- Onay, T. T., N. K. Coptý, B. Demirel y A. Bacioglu 2010. "Impact of food waste fraction in municipal solid waste on sorption of heavy metals." *WasteManag Res* 28: 936–943.
- Ortega, G. C. C. y A. A. G. García 2011. "Remoción de Pb²⁺ en disolución acuosa sobre carbón activado en polvo: Estudio por lote." *Prospect* 9: 59-68.
- Ortiz, B. A. M., A. C. Chávez, M. G. M. Fernández y G. Levresse 2012. "Influencia del pH y la alcalinidad en la adsorción de As y metales pesados por oxihidróxidos de Fe en jales mineros de tipo skarn de Pb-Zn-Ag." *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29: 639-648.
- Ramírez, A. 2002. "Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos." *Anales de la Facultad de Medicina* 63: 51 - 64.
- Rivas, G. 2010. "Síntesis y caracterización de esferas de quitosano-edge-pva para adsorción de Cu (II)." *Revista Iberoamericana de Polímeros* 11: 41-549.
- Rodríguez, I. A., J. F. C. González y V. M. M. Juárez 2012. "El uso de diferentes biomásas para la eliminación de metales pesados de sitios contaminados " *Ide@s CONCYTEG* 7: 911-922.
- Ruíz, C. N. y M. M. Armenta 2011. "Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio)." *ArchNeurocien (Mex)* 16: 140-147.
- Saa, G. R., J. A. R. Victoria y R. M. Molina 2011. "Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia." *Acta Agronómica* 60: 203-218.
- Sabath, E. y M. L. R. Osorio 2012. "Medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados." *Revista Nefrología* 32: 279-286.
- Santacruz, G. A. A., B. M. Gómez, B. J. Francisco, E. G. Moya y R. E. P. Ortiz 2012. "Impacto de los sideróforos microbianos y

- fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis." Rev. Fitotec 35: 9-21.
- Santoyo, R., V. E. Hernández, R. M. Torres, J. E. R. Panta, E. H. Acosta, E. O. Trejo y L. C. Chee 2010. "Sales solubles y metales pesados en suelos tratados con biosólidos " Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16: 241-251.
- Siddiqui, M. M., B. H. Abbasi, N. Ahmad, M. Ali y T. Mahmood 2012. "Toxic effects of heavy metals (Cd, Cr and Pb) on seed germination and growth and DPPH-scavenging activity in Brassica rapa var. turnip." Toxicology and Industrial Health 00: 1–12.
- Singh, A., R. K. Sharma, M. Agrawal y F. M. Marshall 2010. "Health risk assessment of heavy metals via dietary intake of foodstuffs from the wastewater irrigated site of a dry tropical area of India." Food and Chemical Toxicology 48: 611-619.
- Sitte, J., D. M. Akob, C. Kaufmann, K. Finster, D. Banerjee, E.-M. Burkhardt, J. E. Kostka, A. C. Scheinost, G. Buchel y K. Kuster 2010. "Microbial Links between Sulfate Reduction and Metal Retention in Uranium- and Heavy Metal-Contaminated Soil." Applied and environmental microbiology 76: 3143–3152.
- Tabari, S., S. S. S. Saravi, G. A. Bandany, A. Dehghan y M. Shokrzadeh 2010. "Heavy metals (Zn, Pb, Cd and Cr) in fish, water and sediments sampled from Southern Caspian Sea, Iran." Toxicology and Industrial Health 26: 649–656.
- Thelma, P., Silva, E, Campos, M. T, Olgún 2000. " Remoción de níquel, cadmio y zinc del agua, utilizando clinoptilolita heulandita." Ciencia Ergo Sum 7.
- Vaca, R., J. Lugo, R. Martínez, M. V. Esteller y H. Zavaleta 2011. "Effects of sewage sludge and sewage sludge compost amendment on soil properties and *Zea mays* L. plants (heavy metals, quality and productivity)." Rev. Int. Contam. Ambie. 27: 303-311.
- Vicente, L. V., Y. Quiros, F. P. Barriocanal, J. L. Novo, F. J. L. Hernández y A. I. Morales 2010. "Nephrotoxicity of Uranium: Pathophysiological, Diagnostic and Therapeutic Perspectives." Toxicological sciences 118: 324–347.

- Villa, Ò. R. M., H. M. O. Escobar, C. R. Ayala, E. U. Mortera, R. R. Bello y A. L. R. Ortigoza 2012. "Metales pesados totales y arsénico en el agua para riego de Puebla y Veracruz, México." *Rev. Int. Contam. Ambie.* 28: 39-48.
- Wei, Y. Y., Q. Zheng, Z. P. Liu y Z. M. Yang 2011. "Regulation of Tolerance of *Chlamydomonas reinhardtii* to Heavy Metal Toxicity by Heme Oxygenase-1 and Carbon Monoxide." *Plant Cell Physiol* 52: 1665–1675.
- Zarazúa, G., S. Tejeda, P. Á. Pérez, L. Carapia, C. Carreño y M. Balcázar 2011. "Metal content and elemental composition of particles in cohesive sediments of the Lerma river, México." *Rev. Int. Contam. Ambie* 27: 181-190
- Zhang, C., E. Appel y Q. Qiao 2012. "Heavy metal pollution in farmland irrigated with river water near a steel plant-magnetic and geochemical signature." *Geophys. J. Int* 192: 963-974.