

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

“UNIDAD LAGUNA”

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES PARA REMOCIÓN DE ZINC Y
ARSÉNICO EN EL AGUA.**

POR:

ROBERTO ISIDRO TORREZ HERNÁNDEZ

TESIS

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

EVALUACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES PARA REMOCIÓN DE ZINC Y
ARSÉNICO EN EL AGUA.

POR:

ROBERTO ISIDRO TORREZ HERNÁNDEZ

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:



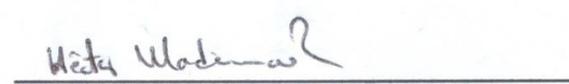
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR:



DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:



ING. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

MARZO DE 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DE EL C. ROBERTO ISIDRO TORREZ HERNÁNDEZ QUE SOMETE A
CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR

PRESIDENTE:



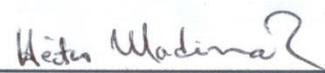
DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:



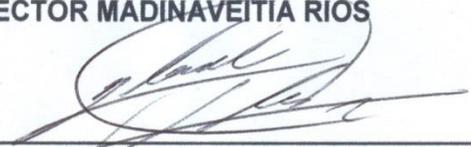
DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:



ING. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2014.



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

AGRADECIMIENTOS

Universidad “Alma Terra Mater”

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, mi alma terra mater que me dio un lugar para poder terminar mi carrera.

A mis profesores

Al Dr. Mario García que me dio la oportunidad de formar parte de su proyecto, siendo uno de los profesores investigadores más querido por alumnos de diferentes lugares.

A Ing. Arón flores que me enseñó mucho sobre mi investigación de mi tesis.

A Dr. Ogaz y madinaveitia por ser mis asesores.

A la laboratorista de suelos Norma Leticia que nos ayudó en el análisis de las muestras

A mis amigos

A todos los colegas y amigos (a), Fco Wong, Fco Raya, Chelo, Luis Velázquez, Elfego, Moreno, Samuel, Carmen, Nancy, Marcos, Eligio, Mayra, Que durante estos años fueron grandes amigos.

DEDICATORIAS

A dios

Primero a Jesucristo y a la Virgen de Guadalupe, que siempre estaba y está presente en mi corazón, por el sueño cumplido que hoy es una realidad en mi carrera.

A mis padres

A mis padres Roberto y María que siempre me apoyaron en todo lo que necesite en estos años de mi carrera. Siendo el primero de la familia que obtiene un título profesional. Con todo cariño y respeto les doy las gracias.

A mis hermanos

A mis hermanos Julio César, Carlos y Guadalupe que con su ayuda y su paciencia me dieron amor y paz en toda mi vida.

A mis abuelitos

En memoria de mis abuelitos Aurelio, Ernestina de san José Buenavista, san Lucas como mis abuelos que me criaron y me dieron amor en toda su vida.

A mis tíos

A mis tíos Jesús y Juana que siempre está presente y que nunca los olvidare siendo ingeniero.

INDICE DE CONTENIDO

	Pagina
AGRADECIMIENTO.....	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN.....	XIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos	2
2.1. Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Antecedentes	3
2.2. Metales pesados en Torreón, Coahuila	4
2.3. Metales en el ambiente.....	4
2.4. Metales en el agua	6
2.5. Zinc	8
2.6. Arsénico	8
2.7. Normas Oficiales Mexicanas de Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.....	9
2.8. NOM-001-SEMARNAT-1996.....	9
2.9. NOM-002-SEMARNAT-1996.....	10
2.10. NOM-003-SEMARNAT-1997	10
2.11. Normas Oficiales Mexicanas de Comisión Nacional de Agua.....	11
2.12. NOM-001-CONAGUA-2011	11
2.13. NOM-002-CONAGUA-1995.....	11
2.14. NOM-003-CONAGUA-1996.....	11
2.15. NOM-004-CONAGUA-1996.....	11
2.16. NOM-005-CONAGUA-1996.....	12
2.17. NOM-006-CONAGUA-1997	12
2.18. NOM-007-CONAGUA-1997	12

2.19.	NOM-008-CONAGUA-1998.....	12
2.20.	NOM-009-CONAGUA-2001.....	12
2.21.	NOM-010-CONAGUA-2000.....	13
2.22.	NOM-011-CONAGUA-2000.....	13
2.23.	NOM-012-CONAGUA-2000.....	13
2.24.	Normas Oficiales Mexicanas de Secretaria de Salud.....	13
2.25.	NOM 012-SSA1-1993.....	13
2.26.	NOM 013-SSA1-1993.....	14
2.27.	NOM 014-SSA1-1993.....	14
2.28.	NOM-041-SSA1-1993.....	14
2.29.	NOM-127-SSA1-1994.....	14
2.30.	NOM-160-SSA1-1995.....	15
2.31.	NOM-179-SSA1 -1998.....	15
2.32.	NOM-201-SSA1-2002.....	15
2.33.	Reglamento Nacional de Agua Potable Secundaria.....	15
2.33.1.	EPA-816-F-09-004.....	15
2.34.	Movilización de los Metales.....	16
2.35.	Efecto en la salud.....	16
2.36.	Técnicas Empleadas para Adsorber Metales Pesados.....	17
2.37.	Materiales adsorbentes.....	18
2.37.1.	Zeolita.....	18
2.37.2.	Ruminal Health (H.R.).....	19
2.37.3.	Arena verde.....	19
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
3.1.	Materiales.....	20
3.2.	Acondicionador.....	20
3.3.	Materiales a Evaluar.....	21
3.4.	Agua a Utilizar.....	21
3.5.	Cloruro Férrico 0.5 Molar.....	21
3.6.	Acondicionamiento de la Zeolita.....	21
3.7.	Acondicionamiento de la Arena Verde.....	22
3.8.	Procedimiento Experimental.....	22

3.9.	Relación Material-Volumen y Tiempos de Retención a Usar	22
3.10.	Parámetros a Evaluar	23
3.11.	Descripción de los Tratamientos	24
3.12.	Análisis estadístico de los datos	24
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de zinc (ppm)	26
4.2.	Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de zinc (ppm)	28
4.3.	Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)y la concentración de zinc (ppm).....	29
4.4.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de zinc (ppm)	32
4.5.	Correlación entre la conductividad eléctrica(C.E)y la concentración de zinc (ppm)	34
4.6.	Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico(C.I.C) y la concentración de zinc (ppm).....	36
4.7.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (PH) y la concentración de arsénico (ppm)	39
4.8.	Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de arsénico (ppm)	41
4.9.	Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm).....	43
4.10.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de arsénico (ppm)	46
4.11.	Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de arsénico (ppm)	48
4.12.	Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm).....	50
4.13.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de zinc (ppm)	53
4.14.	Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de zinc (ppm)	55
4.15.	Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico(C.I.C) y la concentración de zinc (ppm).....	57
4.16.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de arsénico (ppm)	59

4.17.	Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E.) y la concentración de arsénico (ppm)	61
4.18.	Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm).....	63
4.19.	Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de arsénico (ppm)	66
4.20.	Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E.) y la concentración de arsénico (ppm)	68
4.21.	Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico(C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm).....	70
V.	CONCLUSIONES.....	72
VI.	LITERATURA CITADA	74

ÍNDICE DE CUADROS

	Pagina
Cuadro 1. Límites máximos permisibles	10
Cuadro 2. Distribución de los tratamientos y respectivas repeticiones	24
Cuadro 3. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del zinc a una concentración de 0.2 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos.....	25
Cuadro 4. Análisis de varianza completamente al azar	25
Cuadro 5. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el pH del agua	26
Cuadro 6. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de zinc	27
Cuadro 7. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.E del agua.....	28
Cuadro 8. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración del zinc.....	29
Cuadro 9. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el C.I.C	29
Cuadro 10. Coeficiente de correlación entre la C.I.C y la concentración de zinc.....	30
Cuadro 11. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del zinc a una concentración de 0.4 y un tiempo de retención de 30 minutos.....	31
Cuadro 12. Análisis de varianza completamente al azar	31
Cuadro 13. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el pH del agua	32
Cuadro 14. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de zinc	33
Cuadro 15. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.E del agua.....	34
Cuadro 16. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración del zinc.....	35

Cuadro 17. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.I.C	36
Cuadro 18. Coeficiente de correlación entre CIC y la concentración de zinc	37
Cuadro 19. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.2 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos	37
Cuadro 20. Análisis de varianza completamente al azar	37
Cuadro 21. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua	39
Cuadro 22. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de arsénico ..	40
Cuadro 23. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua.....	41
Cuadro 24. Coeficiente de correlación entre C.E. y la concentración de arsénico ...	42
Cuadro 25. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.I.C	43
Cuadro 26. Coeficiente de correlación entre C.I.C y la concentración de arsénico	44
Cuadro 27. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.4 ppm y un tiempo e retención de 30 minutos	44
Cuadro 28. Análisis de varianza completamente al azar	45
Cuadro 29. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua	46
Cuadro 30. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de arsénico ..	47
Cuadro 31. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua.....	48
Cuadro 32. Coeficiente de correlación entre C.E. y la concentración de arsénico ...	49
Cuadro 33. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.I.C	50
Cuadro 34. Coeficiente de correlación entre C.I.C y la concentración de arsénico	51

Cuadro 35. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del zinc a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos.....	51
Cuadro 36. Análisis de varianza completamente al azar	51
Cuadro 37. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el pH del agua	53
Cuadro 38. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de zinc	54
Cuadro 39. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.E del agua	55
Cuadro 40. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración de zinc	56
Cuadro 41. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.I.C	57
Cuadro 42. Coeficiente de correlación entre C.I.C y la concentración de zinc	58
Cuadro 43. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos	58
Cuadro 44. Análisis de varianza completamente al azar	58
Cuadro 45. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua	59
Cuadro 46. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de arsénico ..	60
Cuadro 47. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua.....	61
Cuadro 48. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración de arsénico	62
Cuadro 49. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el C.I.C	63
Cuadro 50. Coeficiente de correlación entre C.I.C y la concentración de arsénico	64
Cuadro 51. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.4 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos	64
Cuadro 52. Análisis de varianza completamente al azar	64
Cuadro 53. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua	66

Cuadro 54. Coeficiente de correlación entre pH y la concentración de arsénico	67
Cuadro 55. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua.....	68
Cuadro 56. Coeficiente de correlación entre C.E. y la concentración de arsénico ...	69
Cuadro 57. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.I.C	70
Cuadro 58. Coeficiente de correlación entre CIC y la concentración de arsénico	71

ÍNDICE DE FIGURAS

	Paginas
Figura 1. Correlación entre concentración del zinc y el pH del agua.....	27
Figura 2. Correlación entre la concentración del zinc y la C.E. del agua	29
Figura 3. Correlación entre la concentración del zinc y la C.I.C	30
Figura 4. Correlación entre la concentración del zinc y el pH del agua.....	33
Figura 5. Correlación entre la concentración del zinc y la C.E. del agua	35
Figura 6. Correlación entre la concentración del zinc y la C.I.C	36
Figura 7. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua.....	40
Figura 8. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua	42
Figura 9. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C	43
Figura 10. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua.....	47
Figura 11. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua	49
Figura 12. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C	50
Figura 13. Correlación entre la concentración del zinc y el pH del agua	54
Figura 14. Correlación entre la concentración del zinc y la C.E del agua	56
Figura 15. Correlación entre la concentración del zinc y la C.I.C	57
Figura 16. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua.....	60
Figura 17. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua	62
Figura 18. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C	63
Figura 19. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua.....	67
Figura 20. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua	69
Figura 21. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C	70

RESUMEN

Los metales están presentes en el ambiente desde que se formó el planeta, no pueden crearse ni destruirse. La vida surgió y se desarrolló en un entorno donde seguramente los metales actuaron como catalizadores de reacciones que contribuyeron a formar nuestro mundo tal como lo conocemos. Los humanos han estado en contacto con los metales desde su aparición, algunos metales son necesarios para llevar a cabo procesos celulares y otros son capaces de promover problemas a la salud.

La evaluación de los materiales se llevó a cabo durante el ciclo verano-otoño del año 2013 en el laboratorio de suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicada en el Periférico y Carreta Santa Fe, Torreón, Coahuila, México. Este trabajo de investigación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de remoción de Zn y As utilizando materiales adsorbentes por medio de 12 columnas de PVC Hidráulico de 2" de diámetro, donde a cada columna se le colocaron 20 gr de cada material a evaluar, Zeolita Acondicionada, Arena verde acondicionada, Arena verde y H.R. (Ruminal Health), y comparar las concentraciones de los metales antes y después del tratamiento contra los límites máximos permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales.

En el primer experimento el tratamiento más viable fue T1 (zeolita acondicionada) que removió 0.376 mg/l de arsénico que corresponde al 94 % con un tiempo de retención de 30 minutos y en el segundo experimento el material más viable fue el T4 (H.R.) que removió 0.686 mg/l de arsénico que corresponde al 85.75 % con un tiempo de retención de 15 minutos.

Palabras claves: Arsénico, Agua, Contaminación, Metales pesados, Materiales adsorbentes.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación ambiental es un problema mundial, los metales pesados pertenecen a los contaminantes más importantes. Los materiales absorbentes son eficaces en procesos de depuración y reutilización de aguas al permitir la reducción de la carga contaminante en metales pesados y compuestos orgánicos tóxicos.

Como resultado de la sociedad ampliamente industrializada de hoy se han contaminado grandes áreas de tierra y agua con metales tóxicos, causando serios problemas ambientales y de salud. Durante estos años, se ha desarrollado una amplia gama de tecnologías de limpieza para eliminar los metales tóxicos del agua y del suelo. Actualmente, las tecnologías de remediación ampliamente usadas son basadas en los procesos físico-químicos, incluso la filtración, precipitación química, intercambio iónico, adsorción, electro-deposición, sistemas de membrana para el tratamiento de agua, o la excavación del sitio contaminado.(Cartaya *et al.*, 2011)

En el presente trabajo de investigación, se busca una solución para disminuir las concentraciones de zinc y arsénico que se presentan en aguas del municipio de Torreón, utilizando materiales adsorbentes como la zeolita, arena verde y H.R (Ruminal Health) con tiempos de retención de 15 y 30 minutos, y posteriormente comparar los resultados obtenidos con los límites máximos permisibles que establecen las normas nacionales e internacionales.

1.1. Objetivos

- Evaluar la capacidad de adsorción de la zeolita acondicionada, arena verde acondicionada, arena verde y H.R. (Ruminal Health), para remover el Zinc y Arsénico del agua a dos concentraciones y tiempos de retención.
- Comparar las concentraciones de los metales pesados en el agua con los límites máximos permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales.

2.1. Hipótesis

- La zeolita acondicionada es el material adsorbente más eficiente para remover el arsénico del agua con un tiempo de retención de 30 minutos
- La zeolita acondicionada y el H.R (Ruminal Health) disminuyen la concentración del arsénico en el agua a niveles inferiores a los límites máximos permisibles establecidos en la norma oficial mexicana e internacionales

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

Los metales están presentes en el ambiente desde que se formó el planeta: no pueden crearse ni destruirse. La vida surgió y se desarrolló en un entorno donde seguramente los metales actuaron como catalizadores de reacciones que contribuyeron a formar nuestro mundo tal como lo conocemos. A pesar de que los metales no pueden ser creados ni destruidos, las formas en que se presentan en el ambiente pueden ser modificadas, alterando su biodisponibilidad y toxicidad.(Zatts, 2011).

Las fuentes antropogénicos más importantes son la extracción de minerales, desde hace 10,000 años el hombre comenzó la minería, fundición y manufactura de metales utilizados para producir utensilios, herramientas, armas y ornamentos. De acuerdo a la lista de contaminantes prioritarios de la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (USEPA), los metales tóxicos son: arsénico, cromo, cobalto, níquel, cobre, zinc, cadmio, mercurio, titanio, selenio y plomo. (Guadalupe *et al.*, 2012)

Los humanos han estado en contacto con los metales desde su aparición en el planeta. De hecho no se puede pensar en la evolución humana sin pensar en el gran papel que han jugado los metales en el desarrollo humano. Algunos metales son esenciales para llevar a cabo procesos celulares, sin embargo, otros son capaces de promover una gran variedad de efectos nocivos para la salud, incluyendo el cáncer.(Franco *et al.*, 2009).

2.2. Metales pesados en Torreón, Coahuila

El problema de salud en la ciudad de Torreón es provocado por el plomo, el cadmio y el arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos. El arsénico es muy tóxico y causa daños al sistema neurológico, al sistema cardiovascular y está ligado a diversos tipos de cáncer como el de la piel. La intoxicación crónica por arsénico puede manifestarse por la aparición de llagas y un aspecto leproso. Inhalar arsénico aumenta las posibilidades de desarrollar cáncer pulmonar. Una dosis superior a los 65 miligramos suele provocar una muerte violenta.(Perezgasga, 1999).

2.3. Metales en el ambiente

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 crónica resulta 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).

La actividad humana introduce diversos compuestos xenobióticos en el medio ambiente, están los pesticidas y fertilizantes de uso agrícola, o metales, petróleo y otros subproductos y residuos de la actividad industrial. El monitoreo también depende de la constancia en la recolección y análisis de grandes cantidades de matrices ambiental, ya que el grado de contaminación puede ser pequeña, pero potencialmente significativo en el medio ambiente como la interacción con los organismos allí presente, con consecuencias ecológicas en todas las cadenas alimentarias que participan en ese entorno.(Andréa, 2010).Por su carácter no biodegradable, la toxicidad que ejercen sobre los diferentes cultivos y su biodisponibilidad, puede resultar peligrosos.(Méndez *et al.*, 2009).

La contaminación ambiental es un problema en todo el mundo tienden a acumularse en el agua y ascender por la cadena alimentaria. (Tabari *et al.*, 2010).

Los contaminantes presentes en los alimentos son generalmente de naturaleza biológica, por manejo inadecuado de los productos, o de naturaleza química, por el uso incorrecto de medicamentos veterinarios o plaguicidas; o por contaminación ambiental por diversos elementos como los contaminantes orgánicos, exceso de nitrógeno en algunos cultivos especialmente hortícolas o metales traza.(Carrera *et al.*, 2010).

En plantas, la acumulación de metales pesados modifica muchos aspectos de las funciones celulares. Sin embargo, el mecanismo por el cual metales pesados ejercen efectos perjudiciales es poco conocido. (Wei *et al.*, 2011).

La desagregación del suelo por efecto del agua se origina como consecuencia de diversos mecanismos físicos y físico-químicos influenciados por el tipo de suelo, textura, porcentaje de materia orgánica y contenido hídrico, entre otros factores.(Castro *et al.*, 2010).

Garantizarle a las futuras generaciones el sustento de agua, suelo y medio ambiente en calidad y cantidad suficiente que permitan su desarrollo, es motivo de refrendar estos planteamientos de trabajo.(Palomo *et al.*, 2007).

En México se cuenta con la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, que establece criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelos contaminados por As, Ba, Be, Cd, Cr hexavalente, Hg, Ni, Ag, Pb, Se, Tl y V. (Abelardo *et al.*, 2012).

2.4. Metales en el agua

El agua es tan necesaria para la vida que es imposible sobrevivir sin ella más de unos días. Sin embargo, cuando el agua no es potable, su consumo puede acarrear graves problemas de salud y frenar el desarrollo de comunidades y países enteros. El 80% de todas las enfermedades y más de un tercio de los fallecimientos en los países en desarrollo se deben al consumo de agua contaminada.(Teresa *et al.*, 2012).También es un vehículo de transporte para innumerables bacterias, protozoarios, virus, helmintos, sustancias químicas inorgánicas tóxicas, toxinas y elementos radiológicos, todos ellos potencialmente patológicos para la salud. Asimismo, el agua es indispensable para cualquier actividad humana y para muchas actividades económicas, comerciales, agropecuarias, forestales y recreativas, en las cuales el agua puede portar agentes etiológicos de diversas enfermedades.(Jaime, 2008).

La contaminación de las aguas constituye actualmente un grave problema ambiental y dentro de los contaminantes de interés se encuentra la materia orgánica efluente (MOEf), que está compuesta por elementos complejos y heterogéneos, entre ellos carbohidratos, proteínas y ácidos grasos. (Irina *et al.*, 2012).

El metal se introduce en el agua de la llave cuando ésta pasa por las tuberías de servicio y a través de juntas soldadas con plomo, o cuando permanece junto a accesorios de latón y bronce que lo contienen. Como resultado de su tratamiento han ocasionado que se contamine con plomo, debido a la desestabilización de los sarros minerales con plomo que recubrían las tuberías y a la corrosión de soldaduras, tuberías, grifos y accesorios con plomo.(Renner, 2010).

El análisis de metales pesados es una actividad importante cuando se quiere valorar el potencial riesgo ambiental y de salud asociado con la utilización de biosólidos en suelos agrícolas. Los metales pesados están asociados

principalmente a la fracción mineral y a la materia orgánica y consecuentemente muestran muy baja biodisponibilidad.(Flores *et al.*, 2011).

El monitoreo de la calidad del agua es importante para controlar y detectar puntos de contaminación en los ríos, y para introducir plantas de tratamiento donde sea requerido.(Federico *et al.*, 2006).Elementos como el As, Sb, Se, Zn, Cu, Pb, Cd, Bi y Mn, destacan por sus altas concentraciones, los cuales pueden ser considerados elementos potencialmente tóxicos (EPT), desde el punto de vista ambiental.(Raúl *et al.*, 2012).

Las plantas de tratamientos de aguas residuales (PTAR) generan diariamente toneladas de lodos (biosólidos), los cuales pueden tener un uso agrícola como fuente de nutrientes y material mejorador del suelo, aunque también pueden ser fuente de contaminación por metales pesados y sales solubles.(Robledo *et al.*, 2010).

Las concentraciones de metales pesados en el agua se encuentran, en la gran mayoría de las viviendas, por debajo de los valores de referencia, y no se considera necesario tomar medidas de carácter general.(Etxabe *et al.*, 2010).

Los problemas ocasionados por la escasez del agua y su inadecuada gestión han provocado importantes conflictos y fuertes desequilibrios entre los países desarrollados o industrializados frente a aquellos que están en vías de desarrollo y que carecen de medios para hacer frente a épocas de sequías, dificultad de acceso al agua potable, falta de sistemas de saneamiento, etc. Se estima que alrededor del 21,8% de los habitantes del planeta no tiene acceso a agua potable y cerca de un tercio carece de servicios de saneamiento.(María *et al.*, 2012).

2.5. Zinc

El zinc es un micronutriente esencial para el organismo humano. Este elemento es el cofactor catalítico de más de 300 enzimas y estabiliza la estructura de gran variedad de dominios proteicos. Por lo que un gran número de procesos biológicos son dependientes de zinc y un desequilibrio de su homeostasis conlleva a complejas implicaciones en un número de órganos y puede contribuir a la aparición de enfermedades crónicas.(Amarilys, 2009).

Es un catión divalente con múltiples funciones en el cuerpo humano. La absorción de zinc se produce en el intestino delgado y, junto con la secreción de zinc a través de las heces, son el punto de control para la homeostasis del zinc. Por lo tanto, el estado de zinc tiene un efecto directo en el crecimiento, el desarrollo neurológico y de comportamiento y en el sistema inmunológico. Por último, estrategias de intervención tales como la administración de suplementos, la fortificación de alimentos y / o modificación de la dieta se pueden utilizar para el control y / o prevenir la deficiencia de zinc.(Romaña *et al.*, 2010).

La ingesta de Zinc presenta un gran margen en la población mundial actual, pudiendo ser de 7 mg/d en Reino Unido y llegando a 15 mg/d en EEUU, aunque por supuesto, las RDAs se fijan en función de la edad, sexo, situación fisiológica (embarazo, lactancia, etc.), o enfermedad. Se conoce que el Zinc es fundamental para la estructura y funcionamiento del DNA y así como de enzimas, coenzimas, hormonas, etc. (Florea *et al.*, 2012)

2.6. Arsénico

El arsénico ha sido clasificado químicamente como un metaloide, con propiedades tanto de metal como de elemento no metálico; sin embargo, se le refiere frecuentemente como un metal. El arsénico elemental (llamado también arsénico metálico) es un material sólido de color gris acero. Sin embargo, en el ambiente el

arsénico generalmente se encuentra combinado con otros elementos como por ejemplo oxígeno, cloro y azufre. El arsénico combinado con estos elementos se conoce como arsénico inorgánico. El arsénico combinado con carbono e hidrógeno se conoce como arsénico orgánico. (Cárdenas *et al.*, 2011).

La exposición al arsénico afecta a millones de personas en todo el mundo, causando gran mortalidad y morbilidad por cáncer y enfermedades cardiovasculares y respiratorias.(Ahsan y Steinmaus, 2012).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) recomienda que la concentración máxima de arsénico en humanos el agua potable no exceda 10 µg / L. Algunos sistemas de eliminación recomendados en el mercado internacional del agua implican tecnologías avanzadas o emergentes, que por lo general requieren de extensos procesos de tratamiento previo y / o construcciones muy altas, costos de operación y mantenimiento. (Sancha, 2006).

El arsénico y el cadmio son tóxicos para las plantas y los animales, debido a su movilidad y su solubilidad en las condiciones ambientales, y su afinidad por las proteínas, los lípidos y otros componentes celulares.(Jardines *et al.*, 2012)

2.7. Normas Oficiales Mexicanas de Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

2.8. 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. 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.

Cuadro 1. Límites máximos permisibles

Parámetros (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Límites máximos permisibles (mg/l)		
	Promedio mensual	Promedio diario	Instantánea
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (milímetros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Fuente:(Semarnat, 1996)

2.10. NOM-003-SEMARNAT-1997

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

2.11. Normas Oficiales Mexicanas de Comisión Nacional de Agua

2.12. NOM-001-CONAGUA-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.

2.13. NOM-002-CONAGUA-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.

2.14. NOM-003-CONAGUA-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.

2.15. NOM-004-CONAGUA-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.

2.16. NOM-005-CONAGUA-1996

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

2.17. NOM-006-CONAGUA-1997

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

2.18. NOM-007-CONAGUA-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.

2.19. NOM-008-CONAGUA-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.

2.20. NOM-009-CONAGUA-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.

2.21. NOM-010-CONAGUA-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.

2.22. NOM-011-CONAGUA-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 de 2001.

2.23. NOM-012-CONAGUA-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.

2.24. Normas Oficiales Mexicanas de Secretaria de Salud

2.25. 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.

2.26. 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.

2.27. 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.

2.28. 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.

2.29. 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.

2.30. 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.

2.31. 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.

2.32. 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.

2.33. Reglamento Nacional de Agua Potable Secundaria

2.33.1. EPA-816-F-09-004

Contaminante	Nivel Máximo de Contaminante
Arsénico	0.010 mg/l
Zinc	5 mg/l

Fuente: (EPA, 2009)

2.34. Movilización de los Metales

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).

La toxicidad del aceite proveniente de los motores de combustión interna deriva del desprendimiento durante su combustión de compuestos orgánicos nocivos y metales pesados potencialmente fitotóxicos, de escasa biodegradabilidad provocando su acumulación en aguas y suelos. (Acosta *et al.*, 2011).

Los problemas ambientales de los metales pesados en los suelos están relacionados con su carácter toxico cuando se acumulan o cuando interactúan con algunas propiedades específicas se movilizan a través del perfil de la cadena trófica mediante los cuerpos de aguas o los cultivos y pueden llegar a afectar la salud humana.(Saa *et al.*, 2011).

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. 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.(Coto *et al.*, 2009).

2.35. Efecto en la salud

Los principales sistemas afectados son el gastrointestinal, neurológico central y periférico, hemático y renal. Algunos de los compuestos metálicos son carcinógenos. Los metales se benefician de un tratamiento condicionado por su reactividad química. Pueden ser inactivados y eliminados mediante la

administración de sustancias quelantes que producen con ellos moléculas complejas, atóxicas y excretables.(Ferrer, 2003).

Así, la exposición a metales pesados es potencialmente peligrosa. Porque tienen la capacidad de reabsorber y acumular los metales divalentes, los riñones son unos de los principales órganos blancos de la toxicidad de los metales pesados. Se ha demostrado que las intoxicaciones agudas y crónicas pueden ambas causar nefropatías con niveles de gravedad que van desde disfunciones tubulares como el Síndrome de Fanconi hasta una severa insuficiencia renal teniendo a veces como consecuencia la muerte.(Barbier, 2009).

2.36. Técnicas Empleadas para Adsorber Metales Pesados

Durante estos años, se ha desarrollado una gama amplia de tecnologías de limpieza para eliminar los metales tóxicos del agua y del suelo Actualmente, las tecnologías de remediación ampliamente usadas son basadas en los procesos fisicoquímicos, incluso la filtración, precipitación química, intercambio iónico, adsorción, electro deposición, sistemas de membrana para el tratamiento de agua. (Cartaya *et al.*, 2011)

Las técnicas convencionales de depuración para la eliminación de metales pesados presentan, en ocasiones, dificultades para lograr el cumplimiento de los límites de vertido siendo necesaria la búsqueda de técnicas o procedimientos alternativos para reducir o eliminar este tipo de emisiones. En este sentido, la investigación en bioadsorción ha mostrado en los últimos años el potencial de esta tecnología como alternativa para el tratamiento de aguas contaminadas por metales pesados. (Sanchis, 2010).

Los elementos que se consideran causantes de problemas de contaminación son: Pb, Cr, Cd, Co, Ni, Cu, Zn, As, Mo, Sn, Ba, Hg. Los metales no se degradan, así que pueden acumularse provocando efectos adversos en la mayoría de los

organismos.(Ortiz *et al.*, 2010)Con el uso de la biología molecular, proceso metabólico de las plantas ha sido estudiado para la captura de estos metales del suelo a una estructura de celdas de almacenamiento.(Baltazar y Campos, 2012).

2.37. Materiales adsorbentes

Uno de los principales objetivos de tratamiento de agua potable es la purificación por extracción de la materia sólidos suspendidos y disueltos (por ejemplo, arcilla, partículas finas, los componentes orgánicos e inorgánicos, algas, bacterias y virus) desde el agua cruda. En una planta de tratamiento de agua convencional (DAP), los sólidos suspendidos se eliminan en clarificadores y filtros de arena, después de la coagulación antes con polímeros de cadena larga, la adición de agentes floculantes tales como bentonita y poliacrilamida, y la utilización de la corrección del pH, hidróxido de sodio o soda cal ceniza. (Trollip *et al.*, 2013).

2.37.1. Zeolita

La zeolita tiene una porosidad natural debido a que tiene una estructura cristalina con ventanas, jaulas, y súperjaulas. Las zeolitas naturales tienen ventanas de tamaño limitado (“tamaño de poro”) y todas son hidrofílicas (tienen afinidad por el agua). Algunas zeolitas sintéticas se parecen al carbón absorbente, dado que ambas pueden considerarse hidrofóbicas (tienen afinidad por los compuestos orgánicos, con poca o ninguna afinidad por el agua), y pueden adsorber vapores orgánicos con moléculas de tamaño más pequeño que el de sus poros. 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 estructura de un cristal de zeolita se basa en un tetrahedro que está formado por cuatroátomos de oxígeno enlazados con un átomo de silicio por medio de sus cuatro electrones de valencia.(EPA, 1999)

Las zeolitas han sido ampliamente estudiadas en la última década debido a sus propiedades atractivas como tamizado molecular, alta capacidad de intercambio catiónico y afinidad por metales pesados. Zeolitas (tipo faujasita) sintetizadas a partir de sub-productos de la industria del carbón han sido probadas como una novedosa alternativa eficaz y de bajo costo para el tratamiento de aguas residuales, en particular en la eliminación de metales pesados.(Reyes *et al.*, 2011).

2.37.2. Ruminal Health (H.R.)

Es un material a base minerales de alcalinizantes, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos. Su formulación está enfocada a tratar de manera sistémica los problemas de acidosis subaguda y aguda. (DCM, 2012)

2.37.3. Arena verde

La arena verde está constituida por granos duros, semiredondos y densos de material cuarzo en un 98% de pureza, resistente a la degradación durante su manipulación y uso. Se encuentra visiblemente libre de arcilla, polvo, materiales orgánicos y micáceos.(carbyfilco, 2009).

La sílice es un material muy duro que se encuentra en casi todas las rocas. La sílice es el componente principal de la arena, arenisca, cuarcita, granito, etc. La sílice ocurre naturalmente en tres formas, pero sólo la forma cristalina, o la llamada sílice cristalina, representa un peligro a la salud. (UCLA, 2003).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

La evaluación se llevó a cabo en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, en el laboratorio de suelos la cual está ubicada en Torreón, Coahuila, México. La Región Lagunera se encuentra ubicada en los meridianos 102° 22' y 104° 47' longitud oeste, y los paralelos 24° 22' y 26° 23' latitud norte. La altura media S.N.M es de 1,139 m.

3.1. Materiales

- Agua destilada (24 litros)
- Zeolita (120 gr)
- Arena verde (120 gr)
- H.R (120 gr)
- 12 Columnas de PVC hidráulico de 2 pulgadas de diámetro
- Balanza analítica

3.2. Acondicionador

- Cloruro férrico (FeCl_3)
- Arsénico y Zinc con una concentración de 1000 (ppm)

3.3. Materiales a Evaluar

Se evaluaron 4 materiales adsorbentes los cuales son los siguientes: zeolita acondicionada con cloruro férrico, arena verde acondicionada con cloruro férrico, arena verde y H.R. (Ruminal Health).

3.4. Agua a Utilizar

Se prepararon dos soluciones problemas la primera que contenga una concentración de 0.2 ppm y 0.4ppmen el primer experimento de metales pesados, cada solución en 12 litros de agua destilada. Se utilizó un estándar de alta pureza del Zinc y Arsénico. En el segundo experimento se utilizó una solución de 0.8 ppm y 0.4 ppm de zinc y arsénico con un tiempo de retención de 15 y 30 minutos, respectivamente.

3.5. Cloruro Férrico 0.5 Molar

Se pesaron 67.57gr de cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 - 6 \text{H}_2\text{O}$) en la balanza analítica, posteriormente diluirlo en 0.5 lt de agua destilada.

3.6. Acondicionamiento de la Zeolita

La zeolita se lavó con agua destilada en la malla de 2mm, se pesó en la balanza analítica 120 gr.,posteriormente se acondiciono con cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 - 6 \text{H}_2\text{O}$)0.5 molar. Finalmente se dejó en la estufa hasta evaporarla y quitarle la humedad.

3.7. Acondicionamiento de la Arena Verde

La arena verde se lavó con agua destilada, se cribó en una malla de 0.5mm, posteriormente se pesó en la balanza analítica 120 gr de la misma. Finalmente se acondicionó con cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 - 6 \text{H}_2\text{O}$) 0.5 molar, hasta evaporarla y quitarle la humedad.

3.8. Procedimiento Experimental

Para la realización del trabajo se utilizaron 12 columnas de PVC, en cada una se colocaron 20 gr de cada material de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada, arena verde y H.R sobre un filtro de 125 mm de diámetro que no permita el paso del material. Para el primer experimento se agregó 2 litros de agua con una concentración 0.2 ppm de zinc y arsénico con un tiempo de 15 minutos y la otra concentración de 0.4 ppm de zinc y arsénico en 30 minutos de retención. Con los mismos materiales y tratamientos se realizó el segundo experimento agregando 2 litros de agua con una concentración de 0.8 ppm con un tiempo de retención de 15 minutos y 0.4 ppm de zinc y arsénico con un tiempo de retención 30 minutos.

3.9. Relación Material-Volumen y Tiempos de Retención a Usar

Para el primer experimento se evaluaron los siguientes materiales adsorbentes/volumen del agua: con los siguientes tratamientos de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada, arena verde y H.R. (Ruminal health), donde cada material se le agregó 2 litros de agua con los siguientes tiempos de retención de 15 y 30 minutos. Para la retención de 15 minutos se utilizó la solución problema de 0.2 ppm de Zinc y Arsénico, y para la de 30 minutos se utilizó la

solución problema de 0.4 ppm de Zinc y Arsénico. En el segundo experimento se utilizó las mismas relaciones con un tiempo de retención de 15 minutos utilizando una solución problema de 0.8 ppm y 0.4 ppm con un tiempo de retención de 30 minutos de zinc y arsénico.

3.10. Parámetros a Evaluar

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

- El pH: se evaluó con un potenciómetro marca TERMO ORION modelo 420.
- Para evaluar la conductividad eléctrica: se utilizó un conductivímetro marca ORION modelo 162.
- La Concentración de zinc en el agua se midió utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER modelo 2380.
- La Concentración de arsénico en el agua se midió utilizando un espectrofotómetro equipado con generador de hidruros.
- También se evaluaron la capacidad de intercambio catiónico de los materiales adsorbentes con el método de extracción con cloruro de bario.

3.11. Descripción de los Tratamientos

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos y respectivas repeticiones

Tratamientos	Materiales adsorbentes	Repeticiones
T1	Zeolita acondicionada	(repetición 1)
T1	Zeolita acondicionada	(repetición 2)
T1	Zeolita acondicionada	(repetición 3)
T2	Arena verde acondicionada	(repetición 1)
T2	Arena verde acondicionada	(repetición 2)
T2	Arena verde acondicionada	(repetición 3)
T3	Arena verde	(repetición 1)
T3	Arena verde	(repetición 2)
T3	Arena verde	(repetición 3)
T4	H.R(Rumen Health)	(repetición 1)
T4	H.R (Rumen Health)	(repetición 2)
T4	H.R (Rumen Health)	(repetición 3)

T1 (Zeolitaacondicionada), T2 (Arena verdeacondicionada), T3 (Arena verde), T4 (Ruminal Health)

3.12. Análisis estadístico de los datos

Para el análisis estadístico de la información se utilizó un diseño experimental completamente al azar evaluando 4 tratamientos y 3 repeticiones, se utilizó el programa de diseños experimentales de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Nuevo León, del año 2012, versión 1.1, y se realizaron correlaciones y análisis de varianza.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación se representa los resultados obtenidos en el primer experimento con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.2 ppm de Zinc

Cuadro 3. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del zinc a una concentración de 0.2 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Zinc (ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.1701	0.156	0.141	0.155
Arena verde acondicionada	0.1344	0.1725	0.096	0.134
Arena verde	0.0899	0.0638	0.048	0.067
H.R. (Ruminal Health)	0.0736	0.0465	0.093	0.071

Cuadro 4. Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.017	0.006	8.663	0.007
Error	8	0.005	0.001		
Total	11	0.023			

Tratamiento	Medias	0.5
1	0.154	A
2	0.134	A
3	0.067	B
4	0.071	B

Nota: letras iguales corresponden a tratamientos iguales estadísticamente

En el cuadro 3 se muestra los resultados obtenidos del zinc donde indica que el tratamiento T1 (zeolita acondicionada) se tiene una adsorción de 0.046 mg/l de zinc que representa un 23 % de remoción, el tratamiento T2 (arena verde acondicionada) le corresponde a una adsorción 0.066 mg/l que representa 33 %,

y T4 (H.R) adsorbió 0.129mg/l con un 64.5 %, finalmente el mejor tratamiento para la remoción del zinc fue el T3 (arena verde) el cual adsorbió 0.133 mg/l el cual representa un 66.5 %.; estos resultado cumplen con lo establecido por NOM-002-SEMARNAT-1996, quien reporta un límite máximos permisibles de 6 mg/l.

4.1. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 5.Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	Zinc (ppm)	pH
Testigo	Testigo	0.2	3.43
T1	R1	0.170	2.21
T1	R2	0.156	2.41
T1	R3	0.141	2.25
T2	R1	0.134	2.41
T2	R2	0.172	2.46
T2	R3	0.096	2.53
T3	R1	0.089	4.61
T3	R2	0.063	3.58
T3	R3	0.048	3.75
T4	R1	0.073	8.12
T4	R2	0.046	8.25
T4	R3	0.093	8.23

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 5 se observa que el pH tiene una gran variación en los tratamientos,de acuerdo a la arena verde acondicionada, zeolita acondicionada y arena verde se mantiene un pH acido debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico; en el último tratamiento, el H.Rel potencial de hidrógeno (pH) aumentó,esto se debe a su composición de microorganismos, enzimas, y bacterias que al entrar en descomposición hace que tenga un pH elevado.

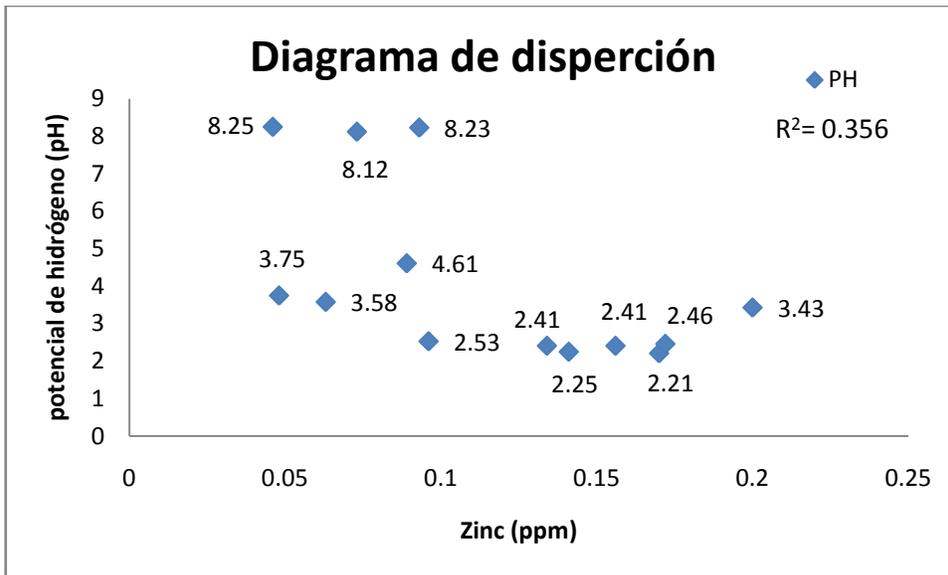


Figura 1. Correlación entre concentración del zinc y el pH del agua

Cuadro 6. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de zinc

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	-0.59702355	1

En la figura 1 y el cuadro 6 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y el pH, esto indica que es inversa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.35$.

4.2. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 7. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Zinc (ppm)	C.E (ms/cm)
Testigo	Testigo	0.2	0.20
T1	R1	0.170	7.22
T1	R2	0.156	4.29
T1	R3	0.141	6.64
T2	R1	0.134	5.12
T2	R2	0.172	4.98
T2	R3	0.096	4.01
T3	R1	0.089	0.10
T3	R2	0.063	0.17
T3	R3	0.048	0.15
T4	R1	0.073	3.46
T4	R2	0.046	3.75
T4	R3	0.093	1.98

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (ruminal health).

Como puede verse en el cuadro 7 la conductividad eléctrica tiene una variación irregular (entre 7.22 y 0.10 ms/cm) ya que los valores aumentan y disminuye ante la presencia de los cuatro materiales. Por lo consiguiente se observa que en la zeolita natural en su estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución, reaccionan formando sales que probablemente eleven la conductividad eléctrica de la solución, una explicación similar puede darse en el Ruminal health (H.R) por su composición de bacterias, enzimas y material biológico pueden reaccionar formando sales y elevar la C.E de la solución.

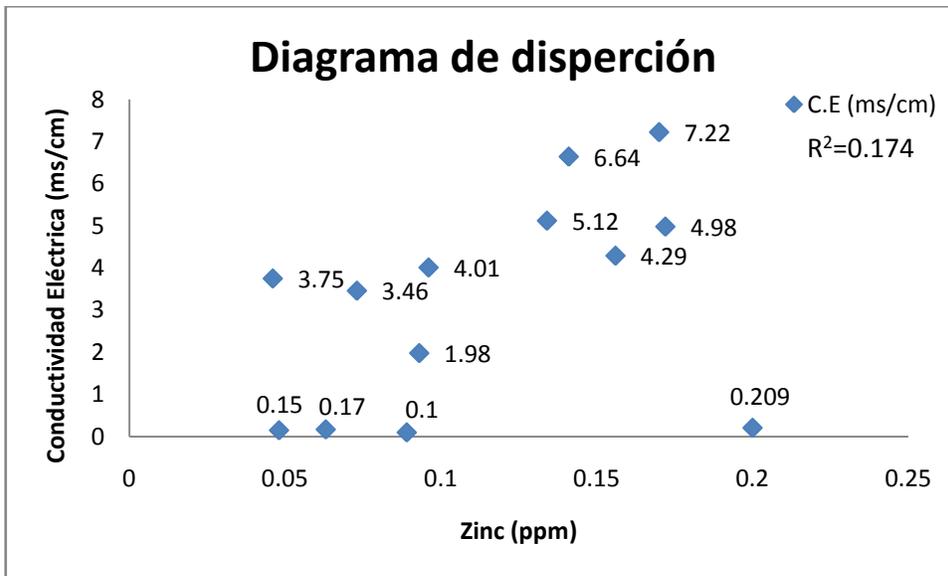


Figura 2. Correlación entre la concentración del zinc y la C.E. del agua

Cuadro 8. Coeficiente de correlación entre C.E.y la concentración del zinc

	<i>Ppm</i>	<i>C.E</i>
ppm	1	
C.E	0.41709223	1

En la figura 2 y el cuadro 8 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y la C.E, esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil $R^2=0.174$.

4.3. Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C)y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 9.Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el C.I.C

Tratamientos	C.I.C. (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.155
Arena verde acondicionada	6	0.134
Arena verde	10	0.067
H.R (Ruminal Health)	13	0.071

El cuadro 9 se muestra una variación irregular en los valores de capacidad de intercambio catiónico, esto se debe a las diferentes cargas positivas y negativas que tiene cada material, el Ruminal health tiene un valor alto de C.I.C esto debido a que está compuesto a base de probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga fuertemente negativa y al reaccionar con la carga positiva del zinc hace que su valor de capacidad de intercambio catiónico sea elevado.

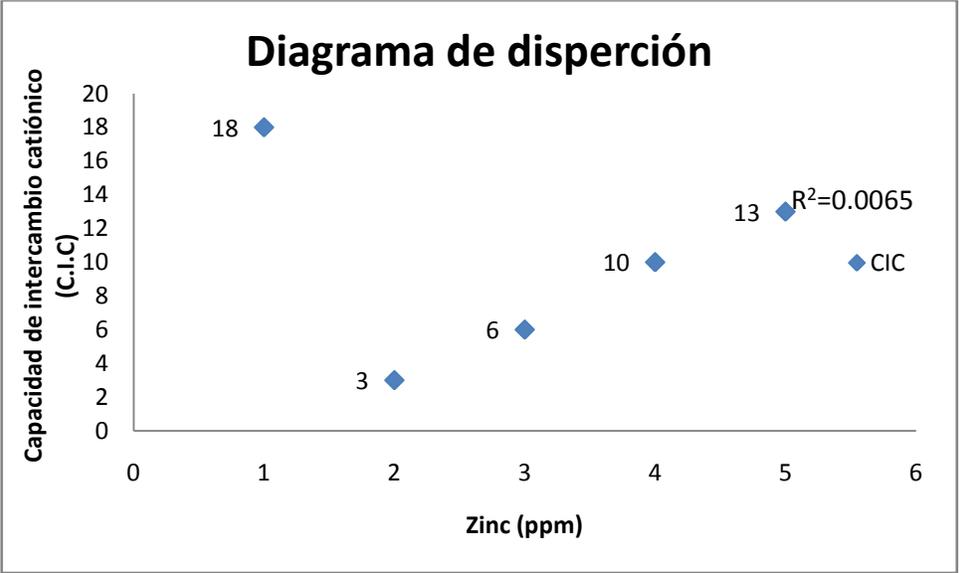


Figura 3. Correlación entre la concentración del zinc y la C.I.C

Cuadro 10. Coeficiente de correlación entre la C.I.C y la concentración de zinc

	ppm	CIC
ppm	1	
CIC	0.13928277	1

En la figura 3 y el cuadro 10 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y el C.I.C., esto indica que es directa y una relación prácticamente nula con una $R^2=0.0065$.

A continuación se representa los resultados obtenidos en el primer experimento con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppmde zinc

Cuadro 11.Resultadosobtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del zinc a una concentración de 0.4 y un tiempo de retención de 30 minutos

Tratamientos	Zinc(ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.14	0.261	0.2697	0.22
Arena verde acondicionada	0.3069	0.318	0.3507	0.32
Arena verde	0.241	0.387	0.318	0.31
H.R. (Ruminal Health)	0.09	0.252	0.36	0.23

Cuadro 12.Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.025	0.008	1.146	0.388
Error	8	0.059	0.007		
Total	11	0.085			

Tratamiento	Medias	0.5
1	0.224	A
2	0.325	B
3	0.315	B
4	0.234	A

Nota: letras iguales corresponden a tratamientos iguales estadísticamente

En cuadro 11 se muestran los resultados del zinc, donde se observa que el T1 (zeolita acondicionada) obtuvo una adsorción de 0.176 mg/l que representa un 44 %, en tanto el T2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.075 mg/l que corresponde al 18.75 % de zinc, en cuanto al T3 (arena verde) adsorbió 0.085mg/l con un 21.2 % mientras que el T4 (H.R) se obtuvo una adsorción de 0.166 mg/l que representa un 41.4 % de zinc. Lo cual en el mejor tratamiento zeolita acondicionada cumple con los límites máximos permisibles lo que establece la EPA (2009) con una concentración de 5 mg/l.

4.4. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 13. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	Zinc (ppm)	pH
Testigo	Testigo	0.4	3.43
T1	R1	0.14	2.21
T1	R2	0.26	2.41
T1	R3	0.26	2.25
T2	R1	0.30	2.41
T2	R2	0.31	2.46
T2	R3	0.35	2.53
T3	R1	0.24	4.61
T3	R2	0.38	3.58
T3	R3	0.31	3.75
T4	R1	0.09	8.12
T4	R2	0.25	8.25
T4	R3	0.36	8.23

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 13 se observa que el pH de los tratamientos T1, T2 Y T3 se encuentran debajo del testigo, es decir presentan un pH ácido esto es debido a que los estándares fueron diluidos en ácido nítrico; en el caso del H.R presenta un valor muy elevado, esto puede ser explicado por sus componentes de bacterias biológicas, enzimas y probióticos.

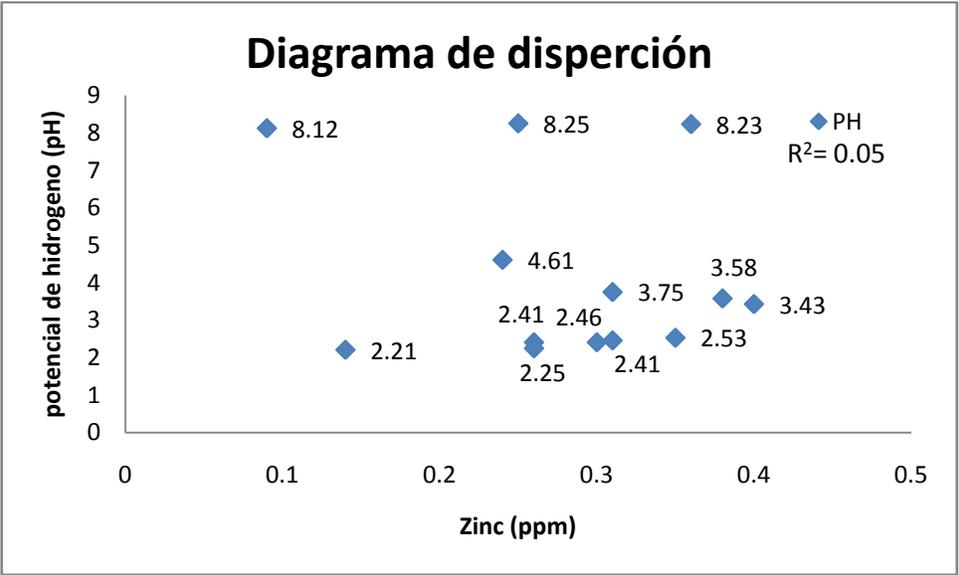


Figura 4.Correlación entre la concentración del zinc y el pH del agua

Cuadro 14. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de zinc

	<i>Ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	-0.2235006	1

En la figura 4 y el cuadro 14 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y el pH, esto indica que es inversa y tiene una relación prácticamente nula con una $R^2=0.05$.

4.5. Correlación entre la conductividad eléctrica(C.E)y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 15. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Zinc (ppm)	C.E (ms/ cm)
Testigo	Testigo	0.4	0.20
T1	R1	0.14	4.64
T1	R2	0.26	4.23
T1	R3	0.26	4.53
T2	R1	0.30	2.98
T2	R2	0.31	2.80
T2	R3	0.35	2.98
T3	R1	0.24	0.20
T3	R2	0.38	0.27
T3	R3	0.31	0.55
T4	R1	0.09	3.63
T4	R2	0.25	0.57
T4	R3	0.36	1.06

T1(zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 15 se observa que existe una gran variación en los resultados de la conductividad eléctrica y concentraciones de zinc. En el tratamiento de zeolita acondicionada y la arena verde acondicionada en sus estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

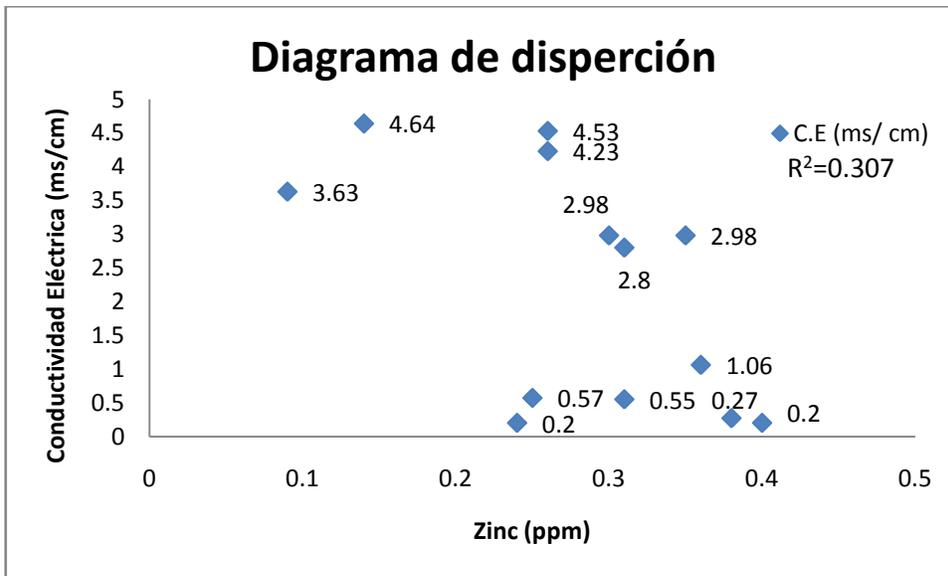


Figura 5. Correlación entre la concentración del zinc y la C.E. del agua

Cuadro 16. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración del zinc

	Ppm	C.E
ppm	1	
C.E	-0.55437199	1

En la figura 5 y el cuadro 16 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y la C.E, esto indica que es inversa y tiene una relación moderadamente débil con una R²=0.307.

4.6. Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico(C.I.C) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 17. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.I.C

Tratamientos	C.I.C (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.22
Arena verde acondicionada	6	0.32
Arena verde	10	0.31
H.R (Ruminal Health)	13	0.23

En el cuadro 17 el más alto fue el H.R esto se debe a las diferentes composiciones químicas que tiene cada tratamiento, el Ruminal health tiene un valor alto de capacidad de intercambio catiónico debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga mayormente negativa.

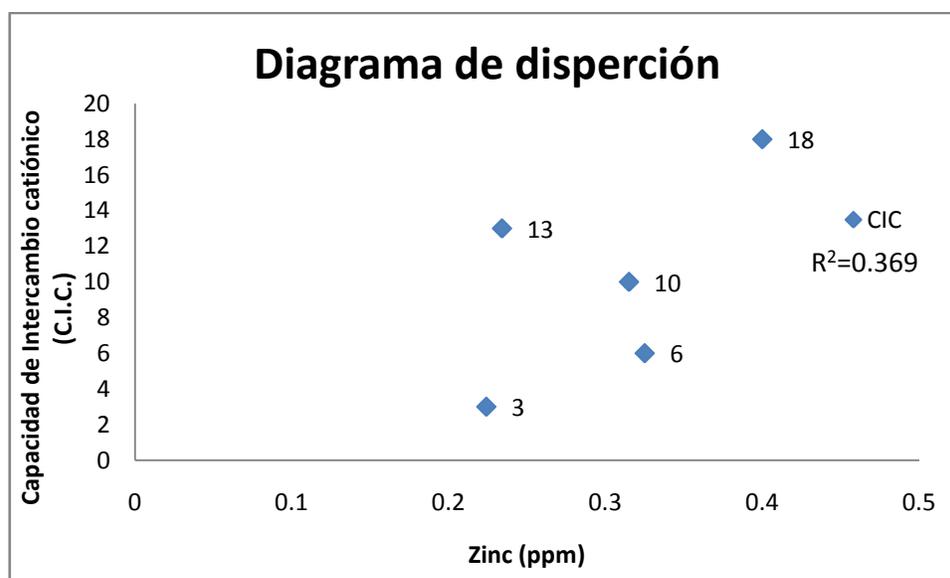


Figura 6. Correlación entre la concentración del zinc y la C.I.C

Cuadro 18. Coeficiente de correlación entre CIC y la concentración de zinc

	<i>ppm</i>	<i>CIC</i>
ppm	1	
CIC	0.60768277	1

En la figura 6 y el cuadro 18 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y la C.I.C, esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.369$.

A continuación se representa los resultados obtenidos en el primer experimento con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.2 ppm de arsénico

Cuadro 19. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.2 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Arsénico (ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.0163	0.0164	0.0165	0.0164
Arena verde acondicionada	0.044	0.0441	0.0442	0.0441
Arena verde	0.1173	0.1174	0.1175	0.1174
H.R. (Ruminal Health)	0.1146	0.1147	0.1148	0.1147

Cuadro 20. Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.023	0.008	774893.00	0.000
Error	8	0.000	0.000		
Total	11	0.023			

Tratamiento	Medias	0.5
1	0.016	a
2	0.044	b
3	0.117	c
4	0.115	d

Nota: letras iguales corresponden a tratamientos iguales estadísticamente

En el cuadro 19 se muestra la adsorción de metales pesados del zinc en el T1 (zeolita acondicionada) adsorbió 0.184 mg/l que corresponde al 92 %, en T2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.156 mg/l que representa el 78 %, en T3 (arena verde) se obtuvo una adsorción de 0.083 mg/l con un 41.5 % mientras que en el tratamiento T4 (H.R) adsorbió un 0.085 mg/l con un 42.5 % de arsénico.

El tratamiento de T1 (zeolita acondicionada) y T2 (arena verde acondicionada) fueron los mejores materiales adsorbentes ya que adsorbieron un 92 % que representa el 0.184 mg/l y 78 % que corresponde al 0.156 mg/l de concentración de arsénico. Estos resultados se encuentran por encima de la OMS (Organización Mundial de la Salud) que recomienda 0.01 mg/l o 10 µg/l. Mientras que la NOM-127-SSA1 y Norma-002-SEMARNAT-1996 reporta una concentración en máximos permisibles de 0.5 mg/l. Por lo tanto, no cumplen con lo establecido en la norma internacional, pero en las normas nacionales cumple con lo establecido.

4.7. Correlación entre el potencial de hidrógeno (PH) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 21. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	ppm (Arsénico)	pH
Testigo	Testigo	0.2	3.43
T1	R1	0.0163	2.21
T1	R2	0.0164	2.41
T1	R3	0.0165	2.25
T2	R1	0.044	2.41
T2	R2	0.0441	2.46
T2	R3	0.0442	2.53
T3	R1	0.1173	4.61
T3	R2	0.1174	3.58
T3	R3	0.1175	3.75
T4	R1	0.1146	8.12
T4	R2	0.1147	8.25
T4	R3	0.1148	8.23

T1(zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En al cuadro 21 se observa el pH de los tratamientos de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada y arena verde existe una gran variación, en los primeros tres materiales el valor de pH se mantiene ácido debido a que se utilizo un estándar en ácidos nítrico. De igual forma se aprecia un pH elevado en el tratamiento 4 (Ruminal health), debido a su composición de bacterias, enzimas y probióticos.

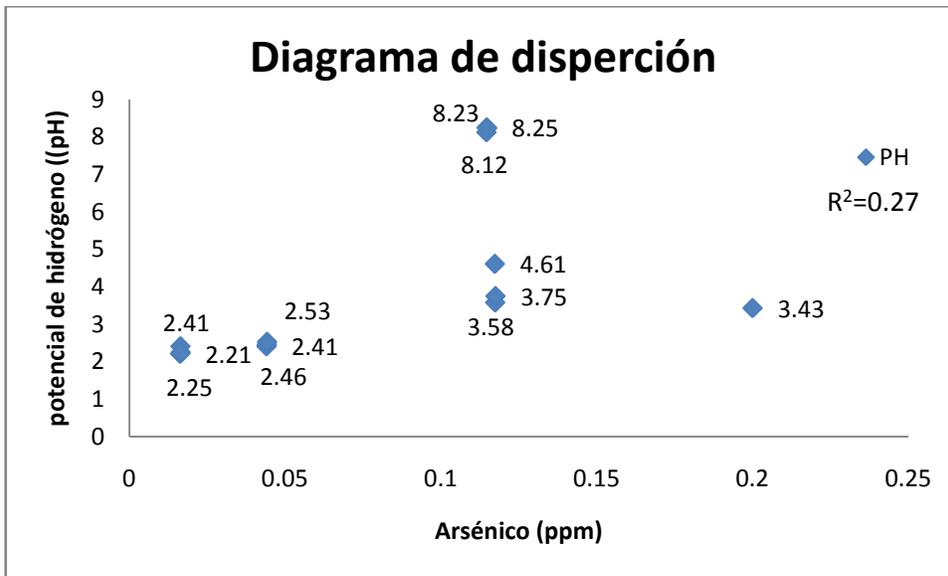


Figura 7. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua

Cuadro 22. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	0.52384239	1

En la figura 7 y el cuadro 22 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y el pH, esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil con una R²=0.27.

4.8. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 23.Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	C.E (ms/cm)
Testigo	Testigo	0.2	0.20
T1	R1	0.016	7.22
T1	R2	0.016	4.29
T1	R3	0.016	6.64
T2	R1	0.044	5.12
T2	R2	0.044	4.98
T2	R3	0.044	4.01
T3	R1	0.117	0.10
T3	R2	0.117	0.17
T3	R3	0.117	0.15
T4	R1	0.114	3.46
T4	R2	0.114	3.75
T4	R3	0.114	1.98

T1(zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminalhealth).

En el cuadro 23 se observa que existe una gran variación en los resultados de la conductividad eléctrica y concentraciones de arsénico. En el tratamiento de zeolita acondicionada y la arena verde acondicionada en sus estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar formando sales que probablemente eleven la conductividad eléctrica.

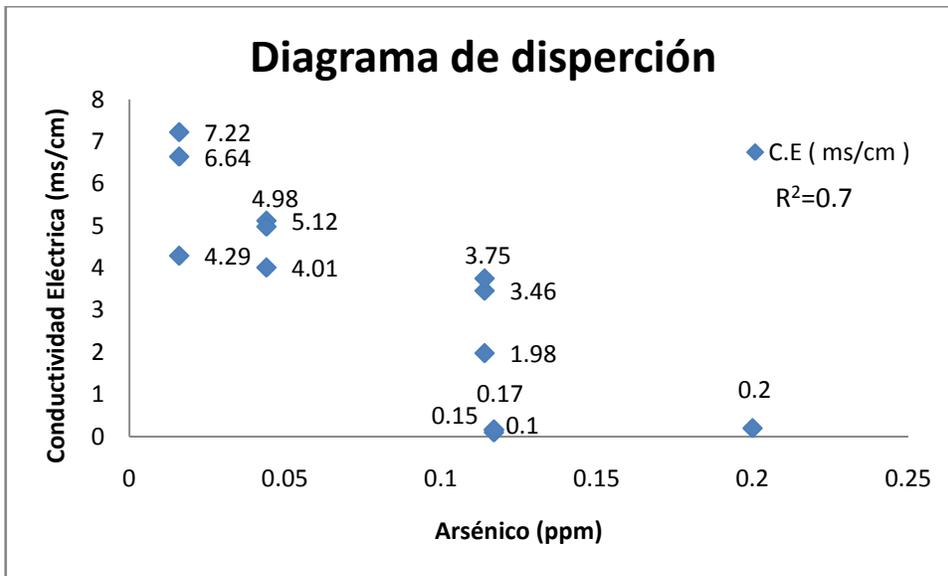


Figura 8. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua

Cuadro 24. Coeficiente de correlación entre C.E.y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>C.E</i>
ppm	1	
C.E	-0.83937006	1

En la figura 8 y el cuadro 24 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E, esto indica que es inversa y tiene una relación fuerte con una R²=0.7.

4.9. Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 25. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.I.C

Tratamientos	C.I.C (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.01
Arena verde acondicionada	6	0.04
Arena verde	10	0.11
H.R (RuminalHealth)	13	0.11

En el cuadro 25 se observa la capacidad de intercambio catiónico con variación irregular con respecto a las concentraciones promedio de zinc, esto se debe a las diferentes composiciones físicas y químicas que tiene cada tratamiento, el Ruminal health tiene un valor alto debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga mayormente negativa.

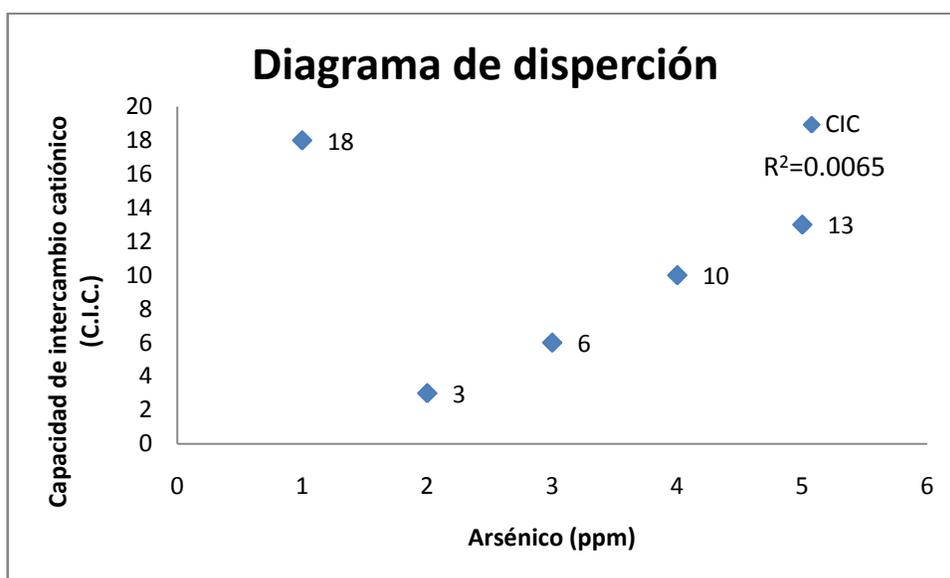


Figura 9. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C

Cuadro 26. Coeficiente de correlación entre C.I.C y la concentración de arsénico

	<i>Ppm</i>	<i>CIC</i>
ppm	1	
CIC	0.97981739	1

En la figura 9 y el cuadro 26 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.I.C, esto indica que es directa y tiene una relación prácticamente nula con una $R^2=0.0065$.

A continuación se representa los resultado obtenidos en el primer experimento con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppmde arsénico

Cuadro 27. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.4 ppm y un tiempo e retención de 30 minutos

Tratamientos	Arsénico (ppm)			
	R1	R2	R3	Promedio
Zeolita acondicionada	0.023	0.023	0.023	0.023
Arena verde acondicionada	0.186	0.187	0.188	0.187
Arena verde	0.289	0.289	0.289	0.289
H.R. (Ruminal Health)	0.40	0.40	0.40	0.40

Cuadro 28. Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.265	0.088	343367.33	0.000
Error	8	0.000	0.000		
Total	11	0.265			

Tratamiento	Medias	0.5
1	0.024 a	a
2	0.187 b	b
3	0.289 c	c
4	0.431 d	d

Nota: letras iguales corresponden a tratamientos iguales estadísticamente

En el cuadro 27 se observa los resultados de arsénico de elT1 (zeolita acondicionada) adsorbió 0.376 mg/l que corresponde al 94 %, en tanto el T2 (arena verde acondicionada) con una adsorción de 0.213 mg/l que corresponde al 53.25 %, en el T3 (arena verde) obtuvo 0.111 mg/l con un 27.75 % de remoción del arsénico, por ultimo en el T4 (H.R) obtuvo una remoción de 0.031 mg/l que representa el -7.75 %, lo cual significa que en este ultimo tratamiento no adsorbió nada.

La EPA-816-F-09-004 recomienda 0.010 mg/l y La NOM-041-SSA1-1993 recomienda una concentración de máximos permisibles de 0.05 mg/l, el tratamiento T1 (zeolita acondicionada) como el mejor, no cumple con la norma nacional e internacional.

4.10. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 29. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	pH
Testigo	Testigo	0.4	3.43
T1	R1	0.023	2.21
T1	R2	0.023	2.41
T1	R3	0.023	2.25
T2	R1	0.186	2.41
T2	R2	0.187	2.46
T2	R3	0.188	2.53
T3	R1	0.289	4.61
T3	R2	0.289	3.58
T3	R3	0.289	3.75
T4	R1	0.431	8.12
T4	R2	0.431	8.25
T4	R3	0.431	8.23

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 29 se observa que el pH de los tratamientos T1, T2 Y T3 se encuentran debajo del testigo, es decir presentan un pH ácido esto es debido a que los estándares fueron diluidos en ácido nítrico; en el caso del H.R presenta un valor muy elevado, esto puede ser explicado por sus componentes de bacterias biológicas, enzimas, probióticos.

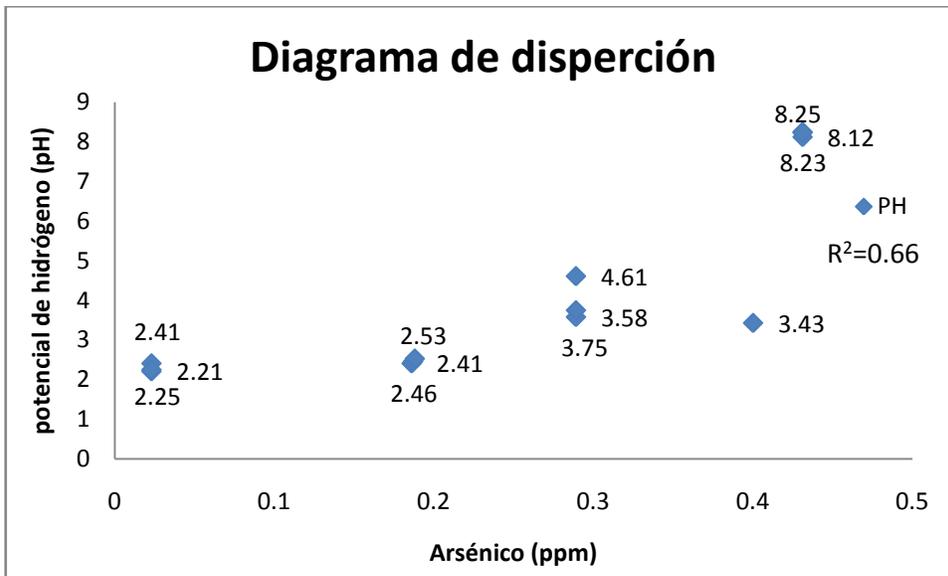


Figura 10. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua

Cuadro 30. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	0.81389978	1

En la figura 10 y el cuadro 30 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y el pH, esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.66$.

4.11. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 31. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	C.E (ms/cm)
Testigo	Testigo	0.4	0.20
T1	R1	0.023	7.22
T1	R2	0.023	4.29
T1	R3	0.023	6.64
T2	R1	0.186	5.12
T2	R2	0.187	4.98
T2	R3	0.188	4.01
T3	R1	0.289	0.10
T3	R2	0.289	0.17
T3	R3	0.289	0.15
T4	R1	0.431	3.46
T4	R2	0.431	3.75
T4	R3	0.431	1.98

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 31 se observa que existe una gran variación en los resultados de la conductividad eléctrica y concentraciones de arsénico. En el tratamiento de zeolita acondicionada y arena verde acondicionada contiene sus estructura cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

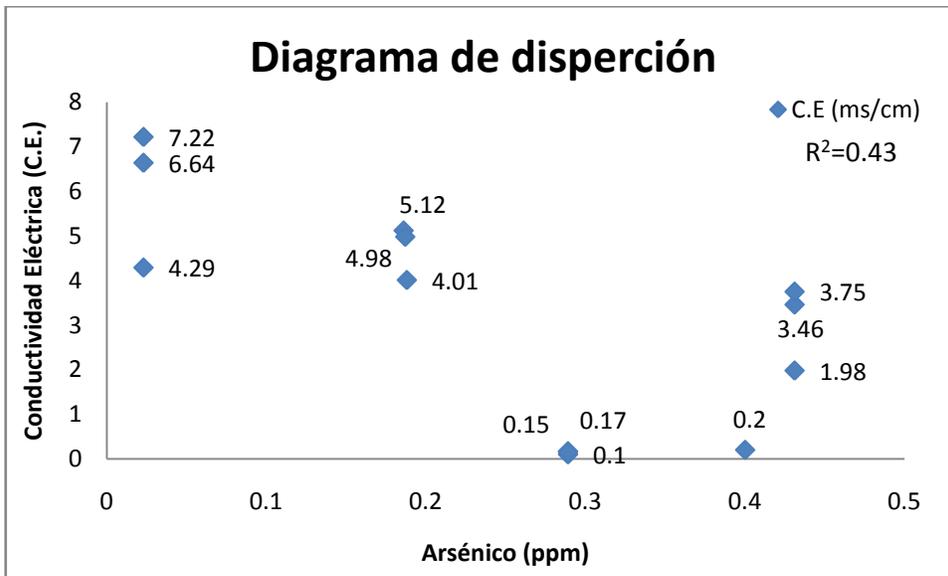


Figura 11.Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua

Cuadro 32. Coeficiente de correlación entre C.E.y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>C.E</i>
ppm	1	
C.E	-0.66188029	1

En la figura 11 y el cuadro 32 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E., esto indica que es inversa y tiene una relación moderadamente débil con una R²=0.43.

4.12. Correlación entre la Capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 33. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.I.C

Tratamientos	C.I.C (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.023
Arena verde acondicionada	6	0.187
Arena verde	10	0.289
H.R (Ruminal Health)	13	0.40

En el cuadro 33 se observa la capacidad de intercambio catiónico con variación irregular con respecto a las concentraciones promedio de zinc, esto se debe a las diferentes composiciones físicas y químicas que tiene cada tratamiento, el ruminal health tiene un valor alto debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga mayormente negativa.

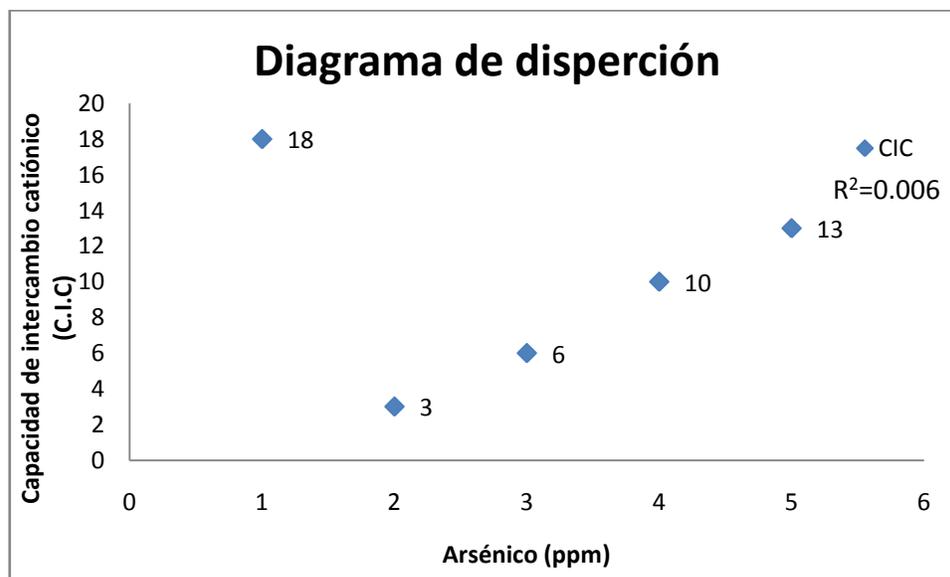


Figura 12. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C

Cuadro 34. Coeficiente de correlación entre C.I.C y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>CIC</i>
ppm	1	
CIC	0.91568219	1

En la figura 12 y el cuadro 34 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E, esto indica que es directa y tiene una relación prácticamente nula con una $R^2=0.006$.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en el segundo experimento con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppmde zinc

Cuadro35.Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del zinc a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Zinc (ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.396	0.46	0.275	0.377
Arena verde acondicionada	0.535	0.550	0.473	0.519
Arena verde	0.376	0.442	0.391	0.403
H.R. (Ruminal Health)	0.513	0.302	0.536	0.450

Cuadro 36. Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.035	0.012	1.660	0.252
Error	8	0.057	0.007		
Total	11	0.092			

Tratamiento	Media
1	0.377
2	0.519
3	0.403
4	0.450

En el cuadro 35 se observa los resultados del zinc que se obtuvieron en cada material lo cual el T1 (zeolita acondicionada) obtuvo una remoción 0.42 mg/l que corresponde el 52.8 % de zinc, en tanto T2 (arena verde acondicionada) removió 0.28 mg/l que representa el 35.1 %, en el T3 (arena verde) adsorbió 0.39 mg/l que corresponde el 49.62 % mientras que el T4 (H.R) con una valor de 0.35 mg/l que representa 43.75 % de adsorción del zinc.

La EPA (2009) recomienda un nivel máximo permisible de 5 mg/l, lo cual el material T1 (zeolita acondicionada) es el más eficiente con una concentración de 0.8 mg/l de adsorción lo cual adsorbió el 0.42 mg/l que representa el 52.8 %, en tanto la NORMA-002-SEMARNAT-1996 recomienda una concentración en máximos permisibles de 6 mg/l, por lo tanto, el material adsorbente cumple con la norma nacional e internacional establecidos en los límites máximos permisibles.

4.13. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 37. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	Zinc (ppm)	pH
Testigo	Testigo	0.8	2.50
T1	R1	0.39	2.40
T1	R2	0.46	2.36
T1	R3	0.27	2.44
T2	R1	0.53	2.56
T2	R2	0.55	2.57
T2	R3	0.47	2.55
T3	R1	0.37	2.71
T3	R2	0.44	2.69
T3	R3	0.39	2.71
T4	R1	0.51	6.04
T4	R2	0.39	6.19
T4	R3	0.53	6.19

T1(zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 37 se observa el pH de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada y arena verde se mantiene estables como el testigo de 2 ms/cm, y se mantiene con un pH ácido debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico; en el último tratamiento el H.Rel potencial de hidrógeno (pH) aumentó esto se debe a su composición de microorganismos y enzimas por lo cual presenta un pH elevado.

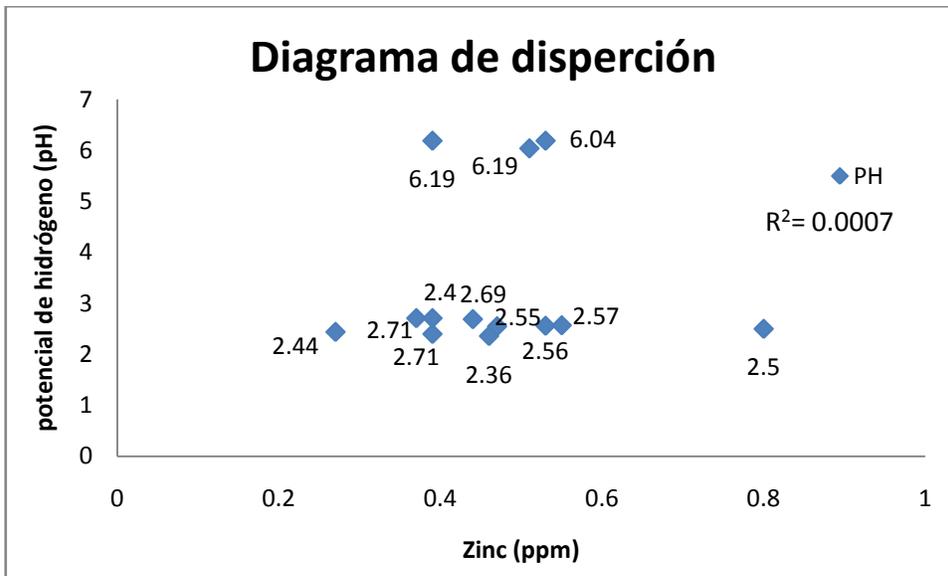


Figura 13. Correlación entre la concentración del zinc y el pH del agua

Cuadro 38. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de zinc

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	0.02641127	1

En la figura 13 y el cuadro 38 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y el pH, esto indica que es directa y tiene una relación prácticamente nula con una $R^2=0.0007$.

4.14. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 39. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Zinc (ppm)	C.E. (ms/cm)
Testigo	Testigo	0.8	1.25
T1	R1	0.39	2.44
T1	R2	0.46	2.93
T1	R3	0.27	2.40
T2	R1	0.53	1.67
T2	R2	0.55	1.63
T2	R3	0.47	1.69
T3	R1	0.37	1.02
T3	R2	0.44	1.04
T3	R3	0.39	1.05
T4	R1	0.51	1.82
T4	R2	0.30	2.14
T4	R3	0.53	1.83

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 39 se observa la conductividad eléctrica de arena verde acondicionada, arena verde y H.R tiene una variación estable (de 1 ms/cm) en comparación del testigo, los valores aumentan y disminuyen ante la presencia de los cuatro materiales. En el tratamiento T1 se observa que esta elevado por que en su estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

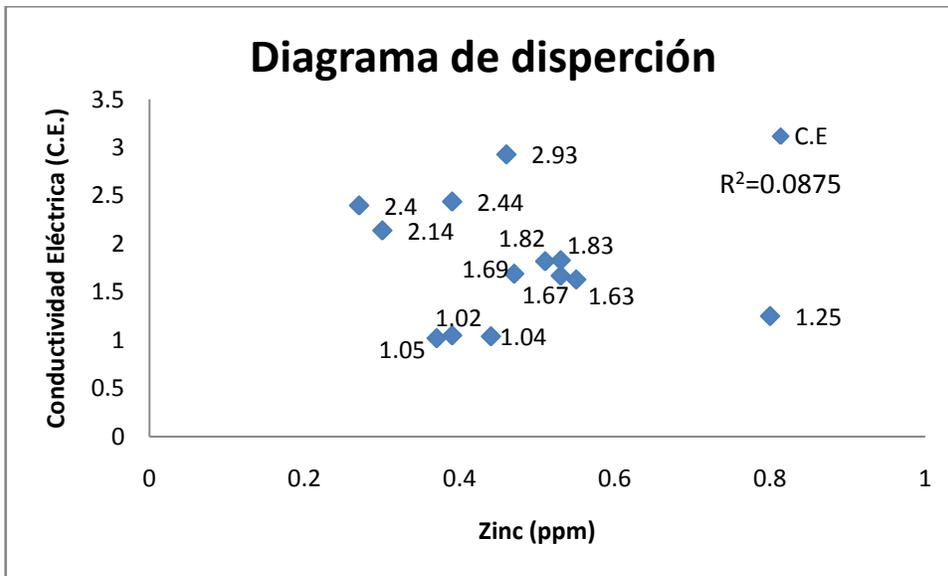


Figura 14. Correlación entre la concentración del zinc y la C.E del agua

Cuadro 40. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración de zinc

	<i>Ppm</i>	<i>C.E</i>
ppm	1	
C.E	-0.29580887	1

En la figura 14 y el cuadro 40 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y la C.E, esto indica que es inversa y tiene una relación moderadamente nula con una $R^2=0.087$.

4.15. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico(C.I.C) y la concentración de zinc (ppm)

Cuadro 41.Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de zinc y la C.I.C

Tratamientos	C.I.C (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.377
Arena verde acondicionada	6	0.519
Arena verde	10	0.403
H.R (Ruminal Health)	13	0.450

En el cuadro 41 se muestra una variación irregular en cada material adsorbente con respecto a las concentraciones promedio de arsénico, esto se debe a las diferentes composiciones físicas y químicas que tiene cada tratamiento, el Ruminal health tiene un valor alto de capacidad de intercambio catiónico debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga mayormente negativa.

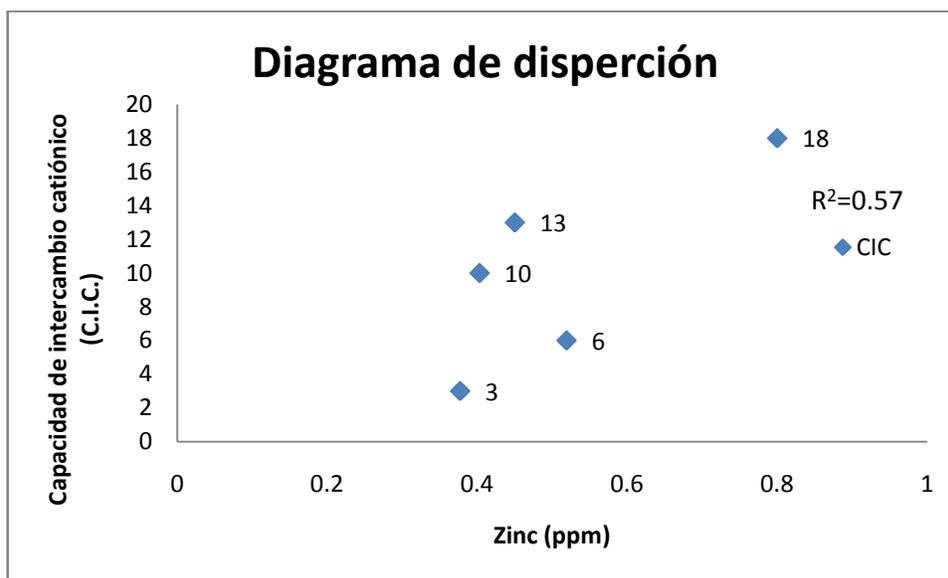


Figura 15. Correlación entre la concentración del zinc y la C.I.C

Cuadro 42. Coeficiente de correlación entre C.I.Cy la concentración de zinc

	<i>Ppm</i>	<i>CIC</i>
ppm	1	
CIC	0.75557395	1

En la figura 15 y el cuadro 42 se muestra la correlación que existe entre la concentración del zinc y la C.I.C., esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.57$.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en el segundo experimento con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppmde arsénico

Cuadro 43. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Arsénico (ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.2	0.200	0.200	0.200
Arena verde acondicionada	0.494	0.495	0.496	0.495
Arena verde	0.678	0.679	0.68	0.679
H.R. (Ruminal Health)	0.114	0.114	0.114	0.114

Cuadro 44.Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.615	0.205	406199.49	0.000
Error	8	0.000	0.000		
Total	11	0.615			

Tratamiento	Media
1	0.200
2	0.495
3	0.679
4	0.114

En el cuadro 43 muestra los resultados del arsénico, en el T1 (zeolita acondicionada) obtuvo una adsorción de 0.6 mg/l que corresponde al 75 %, en el T2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.305 mg/l que representa el 38.12 %, en el T3 (arena verde) corresponde a una adsorción de 0.121 mg/l representa el 15.12 % de adsorción de arsénico. La NORMA-002-SEMARNAT-1996 recomienda una concentración en máximos permisibles de 0.5 mg/l, por lo tanto; en el último tratamiento se describe como el mejor tratamiento en adsorción de arsénico el T4 (H.R) que adsorbió 0.686 mg/l que representa el 85.75 % de adsorción de arsénico, lo cual no cumple con lo establecido ante la norma nacional.

4.16. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 45. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	pH
Testigo	Testigo	0.8	2.50
T1	R1	0.2	2.40
T1	R2	0.2001	2.36
T1	R3	0.2002	2.44
T2	R1	0.494	2.56
T2	R2	0.495	2.57
T2	R3	0.496	2.55
T3	R1	0.678	2.71
T3	R2	0.679	2.69
T3	R3	0.68	2.71
T4	R1	0.1146	6.04
T4	R2	0.1147	6.19
T4	R3	0.1148	6.19

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 45 se observa el pH de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada y arena verde se mantiene estables como el testigo de 2 ms/cm, y se mantiene con un pH ácido debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico; en el último tratamiento el H.Rel potencial de hidrógeno (pH) aumentó esto se debe a su composición de microorganismos, enzimas, y bacterias que al entrar en descomposición hace que tenga un pH elevado.

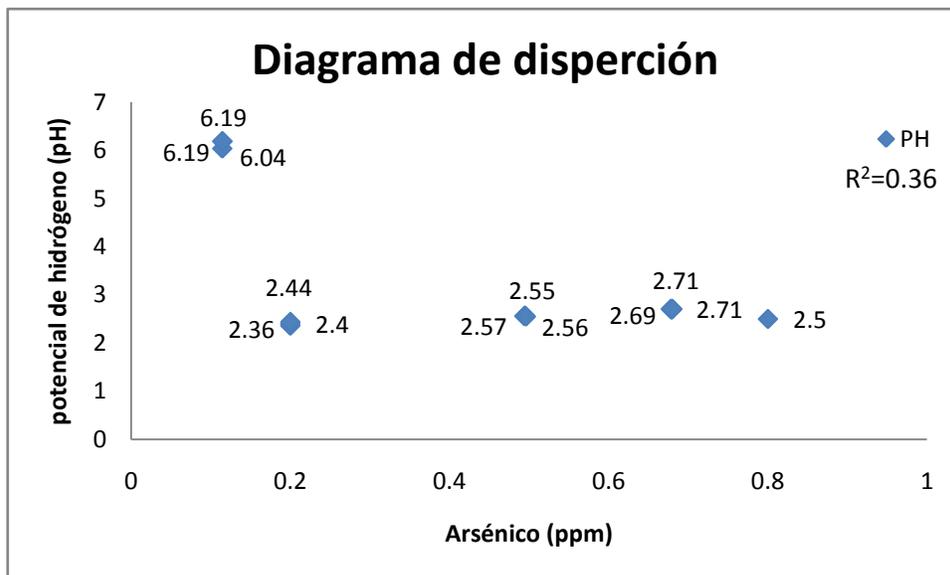


Figura 16. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua

Cuadro 46. Coeficiente de correlación entre el pH y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	-0.6041317	1

En la figura 16 y el cuadro 46 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y el pH, esto indica que es inversa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.36$.

4.17. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E.) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 47. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	C.E. (ms/cm)
Testigo	Testigo	0.8	1.25
T1	R1	0.2	2.44
T1	R2	0.200	2.93
T1	R3	0.200	2.40
T2	R1	0.494	1.67
T2	R2	0.495	1.63
T2	R3	0.496	1.69
T3	R1	0.678	1.02
T3	R2	0.679	1.04
T3	R3	0.68	1.05
T4	R1	0.114	1.81
T4	R2	0.114	2.14
T4	R3	0.114	1.83

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 47 se observa la conductividad eléctrica de arena verde acondicionada, arena verde y H.R tiene una variación estable (de 1 ms/cm) en comparación con el testigo, los valores aumentan y disminuyen ante la presencia de los cuatro materiales. En el tratamiento T1 se observa que esta elevado por que en su estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar en el cloruro férrico formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

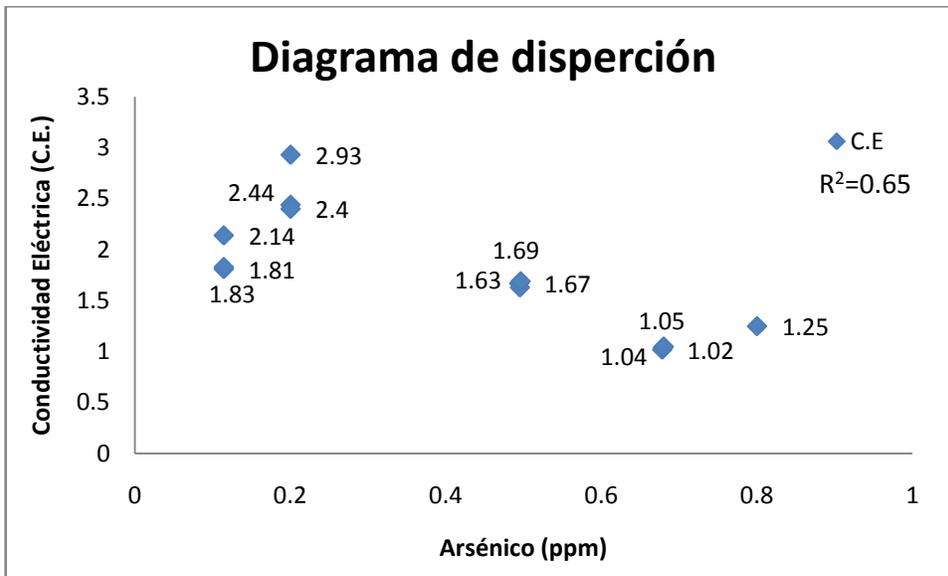


Figura 17. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua

Cuadro48. Coeficiente de correlación entre C.E y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>CE</i>
ppm	1	
CE	-0.74685834	1

En la figura 17 y el cuadro 48 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E, esto indica que es inversa y tiene una relación fuertemente débil con una $R^2=0.65$.

4.18. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 49. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el C.I.C

Tratamientos	C.I.C (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.200
Arena verde acondicionada	6	0.495
Arena verde	10	0.679
H.R (Ruminal Health)	13	0.114

En el cuadro 49 se muestra una variación irregular en cada material adsorbente con respecto a las concentraciones promedio de arsénico, esto se debe a las diferentes composiciones físicas y químicas que tiene cada tratamiento, el Ruminal health tiene un valor alto de capacidad de intercambio catiónico debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga mayormente negativa.

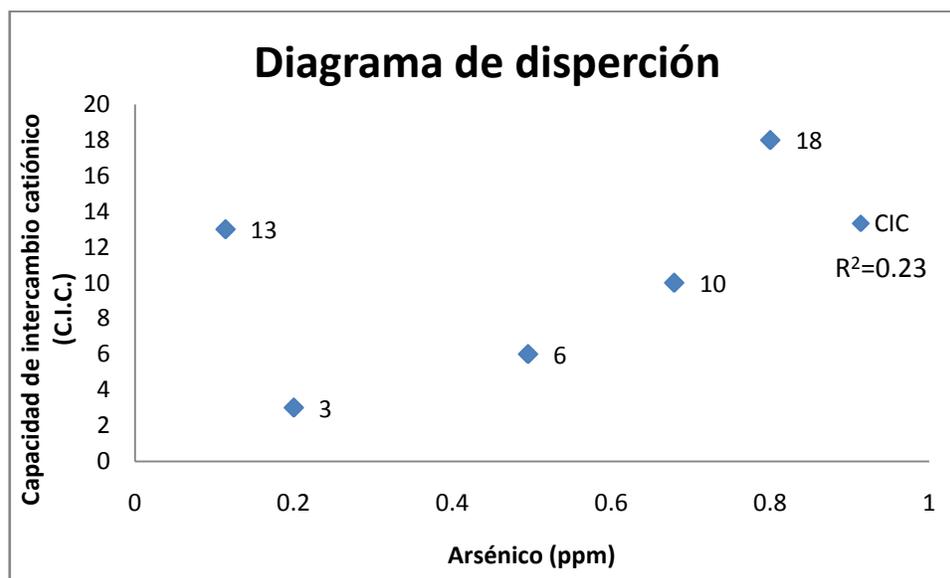


Figura 18. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C

Cuadro 50. Coeficiente de correlación entre CICy la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>CIC</i>
ppm	1	
CIC	0.48232712	1

En la figura 18 y el cuadro 50 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E, esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.23$.

A continuación se presenta los resultados obtenidos en el segundo experimento con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppmde arsénico

Cuadro 51. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la remoción del arsénico a una concentración de 0.4 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos

Tratamientos	Arsénico(ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.0888	0.0889	0.089	0.0889
Arena verde acondicionada	0.2078	0.2079	0.208	0.2079
Arena verde	0.2892	0.2893	0.2894	0.2893
H.R. (Ruminal Health)	0.40	0.40	0.40	0.40

Cuadro 52.Análisis de varianza completamente al azar

Fuente de variación	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	(F) calculada	Significancia
Tratamientos	3	0.155	0.52	6896241.0	0.000
Error	8	0.000	0.000		
Total	11	0.155			

Tratamiento	Media
1	0.089
2	0.208
3	0.289
4	0.400

En el cuadro 51 se muestra la remoción del arsénico de T1 (zeolita acondicionada) obtuvo una adsorción de 0.311 mg/l que corresponde al 77.75 %, en el T2 (arena verde acondicionada) removió un 0.192 mg/l que corresponde el 48 %, en el T3 (arena verde) adsorbió 0.111 mg/l y representa el 27.75 % y el T4 (H.R.) removió 0 mg/l que corresponde al 0 %, Por lo que no se observa disminución del arsénico en este ultimo material.

La norma-002-SEMARNAT-1996 recomienda una concentración de los límites máximos permisibles de 0.5 mg/l, y la EPA (2009) recomienda 0.010 mg/l, por lo tanto, el mejor tratamiento en este tiempo y concentración es el T1 (zeolita acondicionada) con una concentración de 0.4 mg/l por lo que adsorbió 0.311 mg/l lo cual corresponde al 77.75 % de arsénico, cabe señalar que cumple ante la norma nacional pero no en la internacional.

4.19. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 53. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	pH
Testigo	Testigo	0.4	2.50
T1	R1	0.0888	2.40
T1	R2	0.0889	2.36
T1	R3	0.089	2.44
T2	R1	0.2078	2.56
T2	R2	0.2079	2.57
T2	R3	0.208	2.55
T3	R1	0.2892	2.71
T3	R2	0.2893	2.69
T3	R3	0.2894	2.71
T4	R1	0.40	6.04
T4	R2	0.40	6.19
T4	R3	0.40	6.19

T1(zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 53 se observa el pH de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada y arena verde se encuentran similar al testigo, debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico, en tanto el H.R el pH aumento esto se debe a su composición de microorganismos, enzimas, y bacterias que al entrar en descomposición hace que tenga un pH elevado.

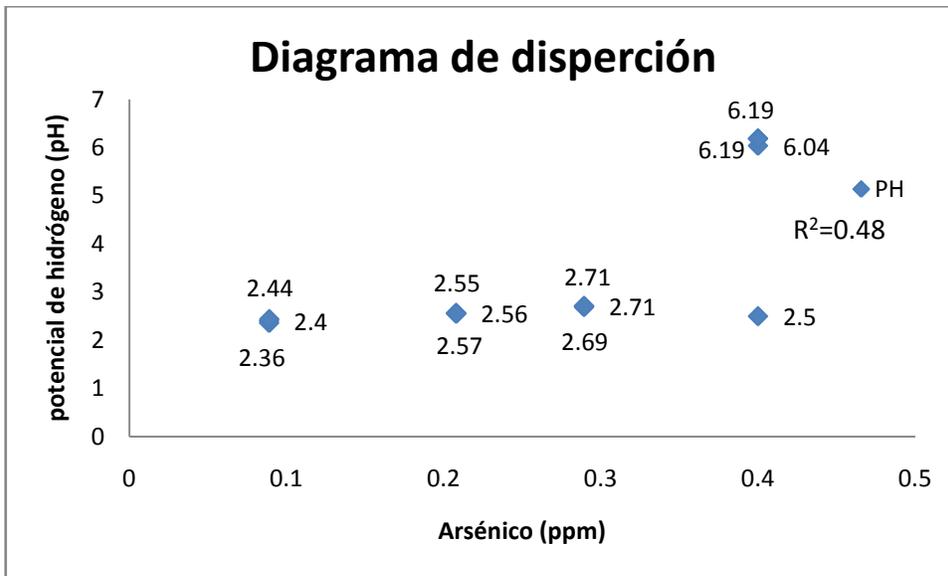


Figura 19. Correlación entre la concentración del arsénico y el pH del agua

Cuadro 54. Coeficiente de correlación entre pH y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>pH</i>
ppm	1	
pH	0.69880978	1

En la figura 19 y el cuadro 54 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y el pH, esto indica que es directa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.48$.

4.20. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E.) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 55. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	Arsénico (ppm)	C.E. (ms/cm)
Testigo	Testigo	0.4	1.25
T1	R1	0.0888	2.44
T1	R2	0.0889	2.93
T1	R3	0.089	2.40
T2	R1	0.2078	1.67
T2	R2	0.2079	1.63
T2	R3	0.208	1.69
T3	R1	0.2892	1.02
T3	R2	0.2893	1.04
T3	R3	0.2894	1.05
T4	R1	0.40	1.81
T4	R2	0.40	2.14
T4	R3	0.40	1.83

T1 (zeolita acondicionada), T2 (arena verde acondicionada), T3 (arena verde), T4 (Ruminal health).

En el cuadro 55 se observa la conductividad eléctrica de arena verde acondicionada, arena verde y H.R tiene una variación estable (de 1 ms/cm) en comparación con el testigo. En el tratamiento T1 se observa que esta elevado por que en su estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar con el compuesto acondicionador formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

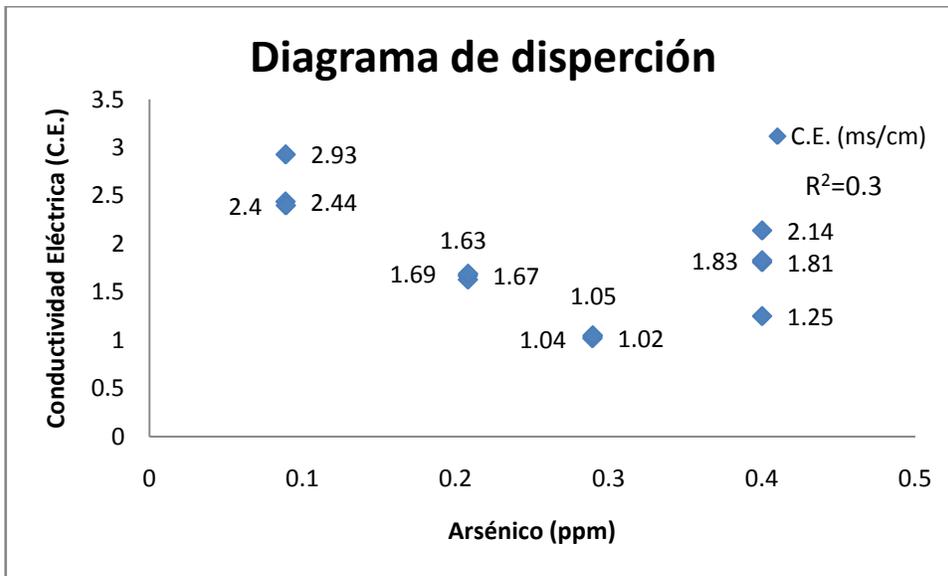


Figura 20. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.E del agua

Cuadro 56. Coeficiente de correlación entre C.E. y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>CE</i>
<i>ppm</i>	1	
<i>CE</i>	-0.54863627	1

En la figura 20 y el cuadro 56 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E, esto indica que es inversa y tiene una relación moderadamente débil con una $R^2=0.3$.

4.21. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico(C.I.C) y la concentración de arsénico (ppm)

Cuadro 57.Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de arsénico y la C.I.C

Tratamientos	C.I.C (meq/100g)	Promedios
Zeolita acondicionada	3	0.088
Arena verde acondicionada	6	0.207
Arena verde	10	0.289
H.R (Ruminal Health)	13	0.40

En el cuadro 57 se muestra una variación irregular de la capacidad de intercambio catiónico de cada material adsorbente con respecto a las concentraciones promedio de arsénico, esto se debe a las diferentes composiciones físicas y químicas que tiene cada tratamiento, el Ruminal health tiene un valor alto de capacidad de intercambio catiónico debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, esto hace que tenga una carga mayormente negativa.

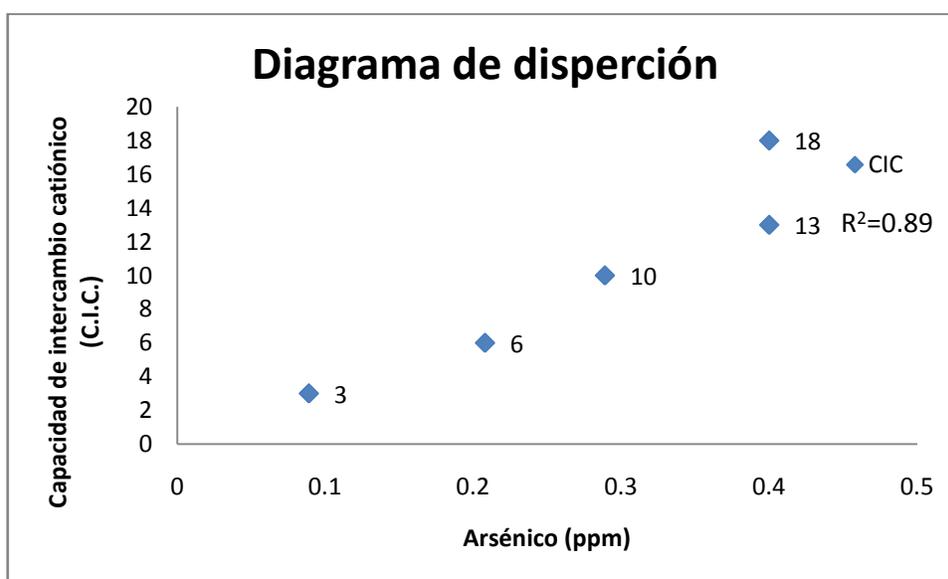


Figura 21. Correlación entre la concentración del arsénico y la C.I.C

Cuadro 58. Coeficiente de correlación entre CIC y la concentración de arsénico

	<i>ppm</i>	<i>CIC</i>
ppm	1	
CIC	0.94412664	1

En la figura 21 y el cuadro 58 se muestra la correlación que existe entre la concentración del arsénico y la C.E, esto indica que es directa y tiene una relación fuerte con una $R^2=0.89$.

V. CONCLUSIONES

1. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción de zinc en el agua fue el T3 (arena verde) ya que adsorbió 0.133 mg/l que corresponde al 66.5 % de adsorción del zinc con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.2 mg/l.

2. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción de zinc del agua fue el T1 (zeolita acondicionada) que adsorbió 0.176 mg/l que representa el 44 % del zinc con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 mg/l.

3. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción de arsénico del agua fue el T1 (zeolita acondicionada) ya que removió 0.184 mg/l que corresponde al 92 % del arsénico con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.2 mg/l.

4. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción de arsénico en el agua fue el T1 (zeolita acondicionada) que obtuvo una adsorción de 0.376 mg/l que corresponde al 94 %, con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 mg/l.

5. En el segundo experimento, de los tratamiento evaluados el material más eficiente para la remoción de zinc en el agua, fue el T1 (zeolita acondicionada) ya que adsorbió 0.42 mg/l que corresponde al 52.8 % de la concentración de zinc con tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 mg/l.

6. En el segundo experimento, de los tratamientos evaluados el material más eficiente para la remoción de arsénico en el agua, fue el T4 (H.R) ya que adsorbió 0.686 mg/l que corresponde al 85.75 % de la concentración de arsénico con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 mg/l.

7. En el segundo experimento, de los tratamientos evaluados el más eficiente fue el T1 (zeolita acondicionada) que removió 0.311 mg/l lo que corresponde el 77.75 % de la concentración de arsénico con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 mg/l.

8. Para remover el zinc del agua el mejor tratamiento fue el T3 (arena verde) con una concentración de 0.2 mg/l lo cual adsorbió 0.133 mg/l con un tiempo de retención de 15 minutos y para disminuir la concentración de arsénico en el agua fue el T1 (zeolita acondicionada) con una concentración de 0.4 mg/l lo que adsorbió 0.376 mg/l con un tiempo de retención de 30 minutos.

9. El tratamiento zeolita acondicionada disminuyo las concentraciones de arsénico, sin embargo; no fue suficiente para estar debajo de los límites máximos permisibles que establece la NOM-041-SSA-1993 (0.05 mg/l) y la EPA-816-F-09-004 (0.010 mg/l), el cual presento una concentración de 0.23 mg/l de arsénico en el agua.

VI. LITERATURA CITADA

- Abelardo, G. A., 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.
- Acosta, Y., M. E. Zauahre, N. Reyes, H. García, C. Morales y A. Revilla 2011. "Metales pesados en suelo afectado con aceite proveniente de motores de combustión interna." *Ciencias Ambientales* 11: 26-34.
- Ahsan, H. y C. Steinmaus 2012. "Invited commentary: Use of arsenical skin Lesions to Predict Risk of Internal Cancer-Implications for Prevention and Future Research " *American Journal of Epidemiology* 177: 213-216.
- Amarilys, T. D. 2009. "Zinc: Relación con el estrés oxidativo y la diabetes." *Bioquímica* 34: 190-196.
- Andréa, M. M. d. 2010. "Uso de lombrices como bioindicadores de contaminación del suelo." *Acta Zoológica Mexicana*: 95-107.
- Baltazar, C. D. L. y J. A. A. Campos 2012. "Heavy metals chelators proteins in hyperaccumulators plants." *Ciencia en la frontera: revista de ciencia y tecnología de la UACJ* 10: 7-13.
- Barbier, O. C. 2009. "Insuficiencia renal por metales pesados. Efecto nefrotóxico de los metales pesados y su reabsorción/eliminación por el riñón." *Bioquímica* 34.
- Cárdenas, J. A. C., R. R. Chávez, R. G. Acevedo y B. L. Ledesman 2011. "Un análisis importante realizar en las aguas para consumo humano, de procedencia subterránea en el estado de Michoacán, caso Arsénico."

Seminario Iberoamericano de Planificación, Proyectos de Sistemas de Abastecimiento de Agua SEREA: 1-6.

Carrera, A. P., P. G. M.L. y F. C. A. 2010. "Presencia de arsénico en tejidos de origen bovino en el sudeste de la provincia de Córdoba, Argentina." *InVet* 12: 59-67.

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." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 27: 41-46.

Castro, M. M. T., M. L. R. Blanco, M. T. T. Castro y J. L. O. Mota 2010. "Vulnerabilidad estructural en suelos de textura gruesa bajo cultivo y huerta." *Terra Latinoamericana* 29: 11-21.

Carbyfilco, Arena sílice. Especificaciones y ficha técnica 2009

Coto, J. M., A. D. Valdivia y O. C. Pérez 2009. "Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación." *Revista CENIC Ciencias Biológicas* 41: 67-78.

DCM 2012. "Ficha Técnica " Ruminant Health.

EPA 1999. "Zeolita un adsorbente versatil de contaminantes del aire." *Clean Air Technology Center* 456.

EPA 2009. "Reglamento Nacional de Agua Potable Secundaria."

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." *Gac Sanit* 24: 460-465.

- Federico, H. S., G. M. Salgado, F. P. López, O. M. Díaz, F. R. Serrano y P. C. Merino 2006. "Monitoring Texcoco River Water Quality with Ion selective sensors." *Agrociencia* 40: 277-287.
- Ferrer, A. 2003. "Intoxicación por metales " *Anales Sis San Navarra* 26: 141-153.
- Florea, D. I., M. López, E. Millán, L. Sáez, A. P. d. I. Cruz, P. Planells, J. I. Salmerón y E. Planells 2012. "Nosotros y el cinc." *Nutrición Hospitalaria* 27: 691-700.
- Flores, E. G., M. A. T. Campante, E. S. Castro, A. P. Magana y A. J. G. Martínez 2011. "Biodisponibilidad y Fraccionamiento de Metales Pesados en suelos agrícolas enmendados con Biosólidos de origen Municipal." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 27: 291-301.
- Franco, P. H., M. Valverde y E. Rojas 2009. "Los Metales como inhibidores del sistema de reparación del ADN." *Tip Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas* 12: 75-82.
- Galante, P. M., E. T. Sanchez, M. Valverde y E. R. d. Castillo 2013. "Biomarkers of Exposure for Assessing Environmental metal pollution: from molecules to Ecosystems." *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 29: 117-140.
- Guadalupe, M., R. Navarrete, A. I. d. I. Peña, D. M. Antuna, A. G. Vargas, L. S. G. Valdez y E. d. C. V. Alarcón 2012. "Metales pesados: Importancia y analisis." *Vidsupra* 4: 22-25.
- Irina, S. B., C. D. Domínguez, M. C. Arias, M. E. C. Valdes y A. M. Sardiñas 2012. "Bacterias Rizosféricas con Potencialidades Fisiológicas para Eliminar

Materia Orgánica de aguas Residuales." Revista Internacional de Contaminación Ambiental 10: 17-26.

Jaime, C. 2008. "Interrelaciones Agua y Salud Pública en México." Proyecto de Fortalecimiento del Manejo Integrado del Agua.: 1-130.

Jardines, L. G. M., M. R. Francisco, M. E. G. Ruiz y A. E. C. Gómez 2012. "Evaluation of the removal of arsenic and cadmium from aqueous solution using natural rhyolitic sediments and metallurgical wastes." Revista Internacional de Contaminación Ambiental 28: 237-249.

María, G. B. M., A. M. H. Montesinos, M. G. Gómez, J. C. Contreras y M. D. M. Almagro 2012. "Tecnologías apropiadas para el aprovechamiento del agua en proyectos de cooperación al desarrollo." Congreso Nacional del Medio Ambiente: 1-12.

Méndez, J. P., C. A. G. Ramírez, A. D. R. Gutiérrez y F. P. García 2009. "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua." Tropical and Subtropical Agroecosystems 10: 29-44.

Ortiz, H. O., A. B. Mendoza, R. A. Alonso y A. Z. González 2010. "Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados." 124.

Palomo, R. M., J. G. M. Rodríguez y U. F. Viramontes 2007. "Desarrollo Sustentable de los Recursos Naturales al Disminuir Riesgos de Contaminación en Actividades Agropecuarias " *CULCyT*.

Perezgasga, F. M. V. 1999. "La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila,México." Texas Center for Policy Studies: 1-2.

Renner, R. 2010. "Algo no está a plomo. Cuando el tratamiento del agua causa contaminación con plomo." Salud Pública de México 52: 170-177.

- Reyes, C. R., A. Danen y R. Clive 2011. "Un Sistema de Remediación Integrado usando Zeolitas Sintéticas y naturales para el tratamiento de aguas residuales y sedimentos contaminados." *Dyna* 78: 125-134.
- Robledo, S., V. E. Hernández, R. M. Torres, J. E. R. Panta, E. H. Acosta, E. O. Trejo y L. C. Chee 2010. "Soluble salts and heavy metals in biosolids-treated soil." *Revista Chapingo Serie Forestales y del Ambiente* 16: 241-251.
- Romaña, D. L. d., C. C. D. y D. Diazgranados 2010. "El zinc en la salud humana " *Revista chilena de Nutrición* 37: 234-239.
- 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 Agronómicas* 60: 203-218.
- Sancha, A. M. 2006. "Review of Coagulation Technology for Removal of Arsenic: Case of Chile." *J Health Popul Nutr* 24: 267-272.
- Sanchis, M. I. 2010. "Eliminación de metales pesados en Aguas mediante Bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso." *Departament de Enginyeria Química*: 1-7.
- Semarnat 1996. "Norma oficial mexicana Nom-002-Semarnat-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal ": 1-20.
- 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.

Teresa, B. R., E. R. Gil, A. P. Fernández y C. G. Benítez 2012. "Análisis de la calidad de las aguas de consumo en una región de senegal. Estudio realizado en el marco de un proyecto de cooperación al desarrollo." Higiene y Sanidad Ambiental 12: 876-881.

UCLA, Sílice y silicosis. Safety y health program 2003

Trollip, D., J. Hughes y L. Tistshall 2013. "Sources of manganese in the residuo from a water treatment plant." Water research commission 39: 265-270.

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 y Cell Physiology 52: 1665-1675.

Zatts, A. 2011. "Metales, ambiente y las sociedades tecnológicas: ¿hacia dónde nos dirigimos ?" Química viva 10.