

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

UNIDAD LAGUNA

DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



**EVALUACIÓN DE MATERIALES ADSORBENTES PARA REMOCIÓN DE
PLOMO Y COBRE EN EL AGUA.**

POR

LUIS VELÁZQUEZ DÍAZ

T E S I S

**PRESENTADA 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

TESIS DEL C. LUIS VELÁZQUEZ DÍAZ QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H.
COMITÉ DE ASESORES COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

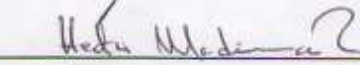
APROBADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL:



DR. MARIO GARCIA CARRILLO

ASESOR:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

ASESOR:




DR. ALFREDO OGAZ

ASESOR:



ING. EDUARDO ARÓN FLORES HERNÁNDEZ



DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS.



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2014.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"
UNIDAD LAGUNA

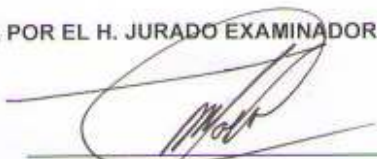
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

TESIS DEL C. LUIS VELÁZQUEZ DÍAZ QUE SOMETE A CONSIDERACIÓN DEL H.
JURADO EXAMINADOR, COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO
DE:

INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES

APROBADA POR EL H. JURADO EXAMINADOR:

PRESIDENTE:


DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

VOCAL:



DR. HÉCTOR MADINAVEITIA RÍOS

VOCAL:


DR. ALFREDO OGAZ

VOCAL SUPLENTE:


ING. EDUARDO ARON FLORES HERNÁNDEZ


DR. FRANCISCO JAVIER SÁNCHEZ RAMOS
COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE
CARRERAS AGRONÓMICAS.



Coordinación de la División de
Carreras Agronómicas

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MARZO DE 2014.

Agradecimientos

A DIOS:

Por darme la oportunidad de vivir, por todas las Bendiciones que ha dado a mi vida, por esa Hermosa oportunidad de realizar este sueño que hoy se convierte en una realidad. Por poner en mi camino a personas maravillosas que hoy también forman parte de este logro. Y sobre todo siempre darme fuerzas para seguir adelante en los momentos de flaqueza.

A MIS PRADRES:

Por brindarme su apoyo, moral y económico, por esos consejos que fortalecieron mi vida para seguir luchando.

A MI HERMANO NOÉ:

Por su gran apoyo económico, por esa motivación que lo caracteriza, por sus consejos, por estar siempre pendiente de mí y muchas veces desempeñando el papel de padre.

A MI ALMA MATER:

Por cobijarme bajo su techo durante este tiempo de aprendizaje, gracias a todas las enseñanzas para formarme en un profesionista y poder cumplir con uno de mis más grandes sueños, gracias.

A MIS ASESORES:

A el Dr. Mario García Carrillo, Dr. Héctor Madinaveita Ríos, Dr. Alfredo Ogaz y al ingeniero Eduardo Áron Flores Hernández, por brindarme sus apoyo y compartir conocimientos en la realización de esta tesis.

Dedicatorias

A MIS PADRES:

Néctor Velázquez Díaz y Eduvina Díaz Pérez, que me dieron la vida y me han enseñado a volar, por educarme con valores mediante el ejemplo y permitirme crecer en una linda familia, por sus cuidados y consejos. Me enseñaron a luchar por lo que vale la pena, quienes han acompañado cada uno de mis pasos, aun en esta distancia, gracias por permitirme valorar tras mis sueños. Los quiero infinitamente.

A MIS HERMANOS:

Noé, Florecita Rosi, Delia, Enrique y Oneyder, porque siempre me desearon lo mejor y me brindaron su apoyo con lo que tenían a su alcance, por demostrarme su amor y estimación. A mi hermano Noé que siempre ha estado junto a mí y brindarme su apoyo, muchas veces poniéndose en el papel de padre. ¡Gracias!

A MI ABUELITA:

Mi segunda madre, por creer en mí, por darme esos consejos que hicieron mi vida eficiente, y valorarla. Gracias por tanto amor abuelita.

A MIS TÍOS:

Ustedes representan una gran inspiración en mí vida, gracias por su ánimo y consejos para salir adelante. Este logro va por ustedes tíos los quiero mucho.

A MIS SOBRINOS:

Axel Amado, Angélica Romina, porque con sus sonrisas alegran mi vida y me motivan a seguir adelante, por sus palabras de bendición y por el cariño que me tienen.

A esta enorme familia llena de amor y cariño unánime, hacen de mi vida la más feliz del mundo y la mejor motivación que pueda tener para lograr cualquier

objetivo, cualquier sueño que yo me plante, en hora buena bendiciones para mi hermosa familia, los amo.

CONTENIDO

	PÁGINA
Agradecimientos.....	i
Dedicatorias	ii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
Resumen.....	xii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. OBJETIVO.....	3
1.2. HIPÓTESIS	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Antecedentes sobre metales pesados.....	4
2.2. Fuentes de contaminación por metales pesados	5
2.3. Metales pesados en el ambiente	6
2.4. Metales pesados en suelo	7
2.5. Metales pesados en agua	10
2.6. Metales pesados en aire	13
2.7. Metales pesados en alimentos	15
2.8. Efecto de metales pesados en la salud	16
2.9. Normas oficiales mexicanas en materia de agua.....	19
2.9.1. NOM-001-SEMARNAT-1996.....	19
2.9.2. NOM-002-SEMARNAT-1996.....	20
2.9.3. NOM-003-SEMARNAT-1997.....	20
2.9.4. NOM-001-CNA-2011	20
2.9.5. NOM-002-CNA-1995.....	21
2.9.6. NOM-003-CNA-1996	21
2.9.7. NOM-004-CNA-1996	21
2.9.8. NOM-005-CNA-1996	21
2.9.9. NOM-006-CNA-1997	22
2.9.10. NOM-007-CNA-1997	22

2.9.11.	NOM-008-CNA-1998	22
2.9.12.	NOM-009-CNA-2001	22
2.9.13.	NOM-010-CNA-2000	22
2.9.14.	NOM-011 -CNA-2000	22
2.9.15.	NOM-011 -CNA-2000	23
2.9.16.	NOM 012-SSA1-1993	23
2.9.17.	NOM 013-SSA1-1993	23
2.9.18.	NOM 014-SSA1-1993	23
2.9.19.	NOM-041-SSA1-1993	24
2.9.20.	NOM-127-SSA1-1994	24
2.9.21.	NOM-160-SSA1-1995	26
2.9.22.	NOM-179-SSA1 -1998	26
2.9.23.	NOM-201-SSA1-2002	26
2.10.	Tratamientos adsorbentes	26
2.10.1.	Zeolita	26
2.10.2.	Aplicación de la zeolita natural	26
2.10.3.	Ruminal health	27
2.10.4.	Arena verde	28
2.10.5.	Característica de la arena verde	28
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
3.1.	Características generales del sitio	29
3.2.	Localización del estudio	29
3.3.	Características ecológicas del sitio	29
3.4.	Materiales	29
3.5.	Acondicionador	30
3.6.	Materiales a evaluar	30
3.7.	Agua a utilizar	30
3.8.	Preparación del cloruro férrico 0.5 molar	30
3.9.	Acondicionamiento de la zeolita	31
3.10.	Acondicionamiento de la arena verde	31
3.11.	Procedimiento experimental	31

3.12. Relación material-volumen y tiempos de retención a usar	31
3.13. Parámetros a evaluar	32
3.14. Descripción de los Tratamientos	32
3.15. Análisis estadístico de los datos.....	33
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
4.1. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de Plomo (ppm)	35
4.2. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de Plomo (ppm).....	37
4.3. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Plomo (ppm).....	38
4.4. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de Plomo (ppm).....	41
4.5. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de Plomo (ppm).....	43
4.6. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Plomo (ppm).....	45
4.7. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de Cobre (ppm).....	48
4.8. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de Cobre (ppm).....	50
4.9. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Cobre (ppm)	52
4.10. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de Plomo (ppm)	55
4.11. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de Plomo (ppm)	57
4.12. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Plomo (ppm).....	59
4.13. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de Cobre (ppm).....	62

4.14. Correlación entre la conductividad eléctrica (C.E) y la concentración de Cobre (ppm).....	64
4.15. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Cobre (ppm)	66
V. CONCLUSIONES.....	69
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	71

ÍNDICE DE CUADROS

	PÁGINA
Cuadro 1. Distribución de los tratamientos y respectivas repeticiones.....	33
Cuadro 2. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención del Plomo a una concentración de 0.2 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos.....	34
Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza.....	34
Cuadro 4. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y el pH del agua	35
Cuadro 5. Coeficiente de correlación de la concentración de Plomo y el pH del agua	36
Cuadro 6. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.E del agua.....	37
Cuadro 7. Coeficiente de correlación de la concentración de Plomo y la C.E del agua.....	38
Cuadro 8. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.I.C.	39
Cuadro 9. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C	40
Cuadro 10. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención de Plomo a una concentración de 0.4 y un tiempo de retención de 30 minutos.....	40
Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza.....	41
Cuadro 12. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y el pH del agua	42
Cuadro 13. Coeficiente de correlación de la concentración de Plomo y el pH del agua	43
Cuadro 14. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.E del agua.....	44
Cuadro 15. Coeficiente de correlación de la concentración de Plomo y la C.E del agua	45

Cuadro 16. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.I.C	46
Cuadro 17. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C.....	47
Cuadro 18. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención del Cobre a una concentración de 0.4 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos	47
Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza.....	48
Cuadro 20. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y el pH del agua	49
Cuadro 21. Coeficiente de correlación de la concentración de Cobre y el pH del agua.....	50
Cuadro 22. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.E del agua	51
Cuadro 23. Coeficiente de correlación de la concentración de Cobre y la C.E del agua	52
Cuadro 24. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.I.C.....	53
Cuadro 25. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C54	
Cuadro 26. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención de Plomo a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos	54
Cuadro 27. Resultados del análisis de varianza.....	55
Cuadro 28. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y el pH del agua	56
Cuadro 29. Coeficiente de correlación de la concentración de Plomo y el pH del agua.....	57
Cuadro 30. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.E del agua.....	58
Cuadro 31. Coeficiente de correlación de la concentración de Plomo y la C.E del agua	59

Cuadro 32. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.I.C	60
Cuadro 33. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C	61
Cuadro 34. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención del Cobre a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos	61
Cuadro 35. Resultados del análisis de varianza.....	62
Cuadro 36. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y el pH del agua	63
Cuadro 37. Coeficiente de correlación de la concentración de Cobre y el pH del agua.....	64
Cuadro 38. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.E del agua	65
Cuadro 39. Coeficiente de correlación de la concentración de Cobre y la C.E del agua	66
Cuadro 40. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.I.C.....	67
Cuadro 41. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C68	

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁGINA
Figura 1. Correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua	36
Figura 2. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.E del agua	38
Figura 3. Correlación entre la concentración del Plomo y la C.I.C	39
Figura 4. Correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua	43
Figura 5. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.E. del agua	45
Figura 6. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C	46
Figura 7. Correlación entre la concentración de Cobre y el pH del agua	50
Figura 8. Correlación entre la concentración de Cobre y la C.E del agua	52
Figura 9. Correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C	53
Figura 10. Correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua	57
Figura 11. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.E del agua	59
Figura 12. Correlación entre la concentración del Plomo y la C.I.C	60
Figura 13. Correlación entre la concentración de Cobre y el pH del agua	64
Figura 14. Correlación de la concentración de Cobre y la C.E del agua	66
Figura 15. Correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C	67

Resumen

El incremento en los niveles de contaminación del agua por metales pesados a resultado en un aumento en la investigación y el desarrollo de métodos efectivos para su eliminación. La contaminación por metales pesados está asociado usualmente con las descargas de agua municipales y con los procesos industriales que van directamente hacia los ríos, estuarios y al aire. El presente trabajo se llevó acabo en el laboratorio de suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna, ubicado en periférico y carretera a Santa Fe, Torreón, Coahuila, México.

Se evaluaron cuatro materiales absorbentes entre ellos la zeolita acondicionada, arena verde, arena verde acondicionada y ruminal health (H.R) para la adsorción de Plomo y Cobre que se presentan en cuerpos de agua del municipio de Torreón, y comparar las concentraciones de los metales pesados en el agua con los límites máximos permisibles establecidos en las normas nacionales e internacionales. Para ello se utilizó 12 columnas de un metro de tubo PVC hidráulico de 2 pulgadas de diámetro. Utilizando filtros marca Whatman de 124 mm de diámetro, para el primer análisis se le agrego 2 litros de agua con 0.2 ppm en cada columna con un tiempo de retención de 15 minutos y 0.4 ppm para 30 minutos, en el segundo análisis las concentraciones y tiempo de retención fueron 0.8 ppm en 15 minutos y 0.4 en 30 minutos.

En base a los resultados obtenidos en el primer experimento, para la adsorción de plomo con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.2 ppm, el mejor tratamiento fue el 4 (ruminal health), adsorbió 0.13 ppm de plomo que corresponde a 65 % de adsorción. Con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm, el mejor tratamiento fue el 4(ruminal health), adsorbió 0.34 ppm de plomo correspondiente a 86.5 % de adsorción. Para la adsorción de cobre con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm, el mejor tratamiento fue el 4 (ruminal health) ya que adsorbió 0.10 ppm de cobre que corresponde a un 25.75 % de adsorción. De

acuerdo a los resultados obtenidos en el segundo experimento, para la adsorción de plomo con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm, el mejor tratamiento fue el 3 (arena verde) ya que adsorbió 0.29 ppm de plomo que corresponde a un 36.62 %. Para la adsorción de cobre con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm, el mejor tratamiento fue el 3 (arena verde), adsorbió 0.11 ppm de cobre correspondiente a 13.75 %.

Palabras Clave: Plomo, Contaminación, Adsorción, Cobre, Arena, Metales pesados.

I. INTRODUCCIÓN

El incremento en los niveles de contaminación del agua por metales pesados a resultado en un aumento en la investigación y el desarrollo de métodos efectivos para su eliminación. En la región de la Comarca Lagunera no ha sido la excepción de estos problemas, hoy en día la fuente de abastecimiento de agua para satisfacer las necesidades de la población en general, es a través de los mantos friáticos lo cual se encuentra en niveles sumamente elevados de metales pesados, esto hace que la población sea vulnerable a muchas enfermedades cancerígenas.

La contaminación por metales pesados está asociada usualmente con las descargas municipales y con los procesos industriales que van directamente hacia los ríos, estuarios y al aire. Sin embargo, se relaciona también con la lixiviación de desechos, descargas sólidas y por el intemperismo de las rocas que aportan materiales al sistema fluvial.

Las características tóxicas de los metales pesados se pueden analizar desde diferentes puntos de vista: toxicidad a largo plazo, transformación a formas más tóxicas bajo ciertas condiciones (i.e. el mercurio), biomagnificación a través de la cadena alimenticia lo que puede poner en peligro la vida humana, no se degradan por ningún método, incluyendo Bio-tratamientos y finalmente, la toxicidad de metales pesados ocurre, incluso a bajas concentraciones desde 1.0 a 10 mg/l. Algunos metales tóxicos tales como Hg y Cd, son muy tóxicos, incluso en concentraciones del orden de 0.001 a 0.1 mg/l (Cuizano y Navarro, 2008)

Una alternativa a esta situación es evaluar cuatro diferentes materiales adsorbentes que pueden ser eficientes para retener metales pesados como es el plomo y cobre en agua, lo cual están contaminadas desde los mantos friáticos. A tal efecto se empleó un sistema de columnas de agua, empleando filtros especiales para cada columna y cierta dosis de materiales adsorbentes con diferentes tiempos de retención.

Los metales en el agua pueden encontrarse en forma disuelta, en forma coloidal o bien adherida a materiales en suspensión como la materia orgánica. Se eligió la zeolita natural como material filtrante por su alta capacidad de adsorción e intercambio iónico y su alta capacidad de adsorción debido a su estructura microporosa en forma de panel de abeja, que posibilita la retención de metales pesados presentes en aguas contaminadas, con importantes porcentajes de remoción obtenidos bajo condiciones de laboratorio.

1.1. OBJETIVO

- Evaluar cuatro material absorbentes (zeolita acondicionada, arena verde, arena verde acondicionada y ruminal health (H.R)) para adsorción de Plomo y Cobre en agua.
- Comparar las concentraciones con los límites máximos permisibles que establecen las normas oficiales mexicanas y normas internacionales.

1.2. HIPÓTESIS

- La arena verde acondicionada es un material eficiente para la remoción de Plomo y Cobre en agua.
- La arena verde acondicionada disminuye las concentraciones de Plomo y Cobre debajo de los límites máximos permisibles establecidos en las normas oficiales mexicanas e internacionales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes sobre metales pesados

La presencia de elementos metálicos en sistemas acuáticos fluviales y costeros se origina por las interacciones del agua con los sedimentos y la atmosfera con la que está en contacto, produciéndose fluctuaciones en las concentraciones en el agua, como resultado de las fuerzas hidrodinámicas naturales, biológicas y químicas (Márquez *et al.*, 2000). La toxicidad del cadmio y cobre es muy compleja y se basa en las múltiples posibilidades que tienen para reemplazar macromoléculas, así como la capacidad de reemplazar otros metales que desempeñan un papel importante en la actividad enzimática, reaccionando con grupos biológicos activos como carboxil, fenol y otros, dependiendo de las condiciones redox del sedimento y de su especiación (González y Campos, 2004)

La mayoría de los estudios de metales particulados en sistemas acuáticos (metales asociados con material particulado en suspensión o sedimentos de fondo) se relacionan con la concentración del metal total. Sin embargo, el uso de la concentración total como criterio para establecer el efecto potencial de la contaminación en los sedimentos o discutir su movilidad, implica que todas las formas del metal tienen el mismo impacto en el ambiente; presunción claramente insostenible (Celaya *et al.*, 1997)

La protección y conservación de los recursos naturales constituyen hoy en día una de las principales preocupaciones sociales. Entre estos recursos se destaca en primer lugar en agua como un bien preciado y escaso, lo que conduce a su adecuado uso y reciclaje, debido a que las normas legales imponen criterios cada vez más estricto para obtener una mayor y mejor depuración de las aguas que están contaminadas con altas concentraciones de pesticidas, metales pesados y colorantes, entre otros contaminantes (Giraldo *et al.*, 2001)

Las aguas residuales se aplican en una parte de los terrenos sin tratamiento alguno, por lo que resulta necesario conocer la dimensión en la que puedan ser incluidas sustancias nocivas a los suelos, afecten su potencial productivo y/o sean absorbidas por los cultivos, incorporándose de esta manera a la cadena trófica. Entre los contaminantes introducidos a los suelos a través del riego con agua residual cruda, los metales pesados ocupan un papel importante, ya que tienden a acumularse en los suelos a largo plazo y su remoción de los mismos es prácticamente imposible (Siebe, 1994)

2.2. Fuentes de contaminación por metales pesados

Gran cantidad de industrias (producción de hierro y acero, industria de metales no-ferrosos, minería, manufactura de pigmentos, etc.) son responsables de contaminar el medio ambiente a través de los metales pesados contenidos en sus aguas residuales (Martín *et al.*, 2004)

En México, como consecuencia del desarrollo industrial, se registra una creciente y preocupante contaminación ambiental, sobre todo debido a la poca educación ambiental durante varios siglos de actividad minera y, desde hace décadas, por la intensa explotación petrolera. La industria minera es una de las actividades económicas de mayor tradición en México, la cual es mayoritariamente metálica y se dedica principalmente a la producción de Cu, Zn, Ag y Pb. Esta actividad tiene un alto impacto ambiental, ya que afecta desde el subsuelo hasta la atmósfera, incluyendo suelos y cuerpos de agua. Debido al procesamiento de los recursos minerales, se han generado grandes cantidades de residuos sólidos, líquidos y gaseosos que han ocasionado una gran cantidad de sitios contaminados a lo largo de todo el país (Amaya *et al.*, 2008)

La calidad de vida del ser humano depende de la calidad de su medio ambiente: suelo, agua y aire no contaminado para desarrollarse sanamente, pero la negligencia humana ha dado lugar a que los procesos tecnológicos contaminen

con metales tóxicos. El ser humano ha hecho uso sistemático y organizado de los recursos naturales desde la revolución neolítica: la extracción de metales minerales se inició hace más de 4000 años en pequeñas porciones y hasta que estuvieron disponibles los combustibles fósiles hubo un crecimiento exponencial en el crecimiento y procesamiento de los recursos minerales (Bermea, 2006)

2.3. Metales pesados en el ambiente

Los contaminantes orgánicos, los metales como Cr, Cd y Pb no se degradan, sino que pueden formar quelatos y complejos orgánicos que tienden a concentrarse en los organismos vivos con un elevado efecto tóxico. Cr, Cd y Pb son contaminantes usualmente encontrados en efluentes industriales (Paris *et al.*, 2005)

Es necesario considerar la contaminación presente no sólo en el agua sino también en el sedimento. Estos son un componente dinámico de las cuencas hidrográficas y representan un elemento esencial en ecosistemas acuáticos, además son importantes en el transporte de metales y pueden reflejar su calidad (Nieto *et al.*, 2011). La Agencia para la Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), considera que el berilio y el mercurio son los dos elementos más peligrosos, debido a esto, su uso en los sectores industriales a nivel mundial ha disminuido. Otros metales que han sido definidos como elementos peligrosos, son el Cadmio, el Plomo, el Cromo, el Cobre, el Manganeseo, el Níquel, el Zinc, el Cobalto y el Estaño (Toriz *et al.*, 2006)

Debido a la capacidad que tienen los metales pesados para formar complejos con la materia orgánica, tienden a fijarse en los tejidos de los organismos expuestos. Este fenómeno es tal vez uno de los problemas más graves que los metales pesados presentan como contaminantes del medio acuático (Villanueva *et al.*, 1988)

Actualmente, las sociedades modernas tienen que enfrentar problemas relacionados con la contaminación del suelo, aire y agua, y ellos deben

resolverlos. Los productos desechados derivados de los procesos industriales contaminan el aire, suelo, y fuentes diferentes de agua. Los metales pesados son componentes naturales de la corteza de la tierra. No pueden ser degradados o ser destruidos. A un grado pequeño se incorporan a nuestros cuerpos vía el alimento, el agua potable y el aire. Como oligoelementos, algunos metales pesados (Cobre, Selenio, Zinc) son esenciales para mantener el metabolismo del cuerpo humano. El problema en las ciudades de México, y en lo particular en Torreón, es provocado por el Plomo, el Cadmio y el Arsénico, tres elementos altamente dañinos para los humanos (Carrillo y Gallard, 2012)

2.4. Metales pesados en suelo

El contenido de los metales pesados puede ser un factor limitante para la aplicación de biosólidos en suelos agrícolas. Entre los metales pesados más comúnmente encontrados están Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, y Pb. Algunos de ellos como el Cu y el Zn son elementos esenciales para la planta y su deficiencia puede provocar problemas en los cultivos, mientras que si se encuentran en exceso implican riesgos de toxicidad. Los otros, no tienen funciones fisiológicas reconocidas y su presencia en el suelo siempre será un riesgo potencial, ya sea para las plantas o para los consumidores. Por ello en todos los países que utilizan los biosólidos como enmienda orgánico-mineral, se ha legislado su uso para no producir daños ambientales mayores de los que se pretenden remediar (Cuevas y Walter, 2004)

Entre los contaminantes del suelo, los metales pesados, generan gran preocupación. Con una densidad mayor a 5 g/cm^3 comprenden elementos metálicos o metaloides. Algunos de ellos, en pequeñas cantidades, son esenciales para los organismos (Fe, Mn, Zn, B, Co, As, V, Cu, Ni y Mo) convirtiéndose en nocivos cuando se presentan en concentraciones elevadas, mientras que otros no desempeñan ninguna función biológica y resultan altamente tóxicos, como el Cd, Hg o el Pb. Además del incremento del índice de toxicidad generado por sus altos

niveles de biodisponibilidad, otros factores como la lixiviación, absorción por las plantas y el paso a la cadena trófica constituyen potenciales riesgos (Alcalá *et al.*, 2009)

La contaminación por metales pesados en el suelo pueden llegar a persistir cientos y miles de años, aun después de que su incorporación de haya detenido. En el caso de metales como Cd, Cu y Pb pueden llegar a tener una vida media en el suelo de 15 a 1100, 310 a 1.500 y 740 a 5.900 años, respectivamente, y sus concentraciones están influenciadas por el tipo de suelo y la movilidad relativa en función de las características fisicoquímicas, el clima y la topografía. En relación con la toxicidad, los metales pesados pueden ser absorbidos por las raíces de los cultivos o lixiviados hasta los acuíferos, causar así la contaminación de las aguas subterráneas, y de esta forma se tóxicos para las plantas, los animales y los humanos, a través de la cadena alimentaria (Saa *et al.*, 2011)

Las actividades industriales generan una contaminación a gran escala con metales pesados (Cu, Zn, Pb, Cd, Cr, Ni, Hg, Co, Ag, Au) y radionúclidos (U, Th) en el medio ambiente. En el caso particular de los suelos, suelen afectar la fertilidad y/o el uso posterior de los mismos, mientras que el caso de los acuíferos y aguas superficiales, pueden comprometer seriamente el uso de este recurso como fuente de agua para el consumo humano (Vullo, 2003)

Las características del suelo juegan un papel importante en reducir o aumentar la toxicidad de los metales en el suelo. Los metales tienden a acumularse en la superficie del suelo quedando accesibles al consumo de las raíces de los cultivos. Las plantas cultivadas en suelos contaminados absorben en general más oligoelementos y la concentración de éstos en los tejidos vegetales está a menudo directamente relacionada con su abundancia en los suelos, y especialmente en la solución húmeda. Los metales acumulados en la superficie del suelo se reducen lentamente mediante la lixiviación (Puga *et al.*, 2006)

Los metales pesados pueden ser retenidos en los suelos, entre otros, por mecanismos de adsorción: sobre minerales de arcilla, sobre oxihidróxidos

metálicos y sobre materia orgánica. En la retención por quelatación con la materia orgánica juega un papel importante en pH, aunque no solamente en este proceso ya que se considera un factor primordial a la hora de estudiar los procesos de adsorción de metales en el suelo. El pH influye asimismo en el comportamiento del propio metal y de los grupos funcionales de las superficies activas del suelo (Vilar *et al.*, 2003)

La explotación y beneficio de los recursos minerales, históricamente no controlados (desde un punto de vista ambiental), en el distrito minero de Sta. María de Paz, ha provocado que se presente una extensa contaminación de suelos y sedimentos por Arsénico y metales pesados (Pb, Zn, Cu) en el área de Villa de Paz-Matehuala, S.L.P. los análisis químicos de muestras de suelo reportaron concentraciones en los rangos de 19-17,384 mg/K g Arsénico, 15-7,200 mg/Kg Cobre, 31-3,450 mg/Kg Plomo y 26-6,270 mg/Kg Zinc, mientras que en sedimentos de arroyos y de tanques de almacenamiento de agua pluvial las concentraciones encontradas varían de 20-28, 600 mg/Kg Arsénico, 50-2, 160 mg/Kg Plomo, 50-3630 mg/Kg Cobre, y 110-5940 mg/Kg Zinc (Monroy *et al.*, 2002)

Estudios recientes han demostrado que algunas plantas con determinadas características incrementan la biodegradación de una variedad amplia de moléculas orgánicas xenobióticas en suelos contaminados. Sin embargo, se sabe poco acerca de la participación directa o indirecta y de los mecanismos y etapas que ocurre en las plantas para transformar estos compuestos. Se hace una revisión de los mecanismos que la planta utiliza, las interacciones que se llevan al cabo en el suelo entre planta, microorganismos y compuestos orgánicos xenobióticas. Estos conocimientos permitirán proponer soluciones a los problemas de la contaminación y la eventual recuperación de suelos (Martínez *et al.*, 2005)

Para analizar la fertilidad del material será importante analizar parámetros tales como: pH, textura, materia orgánica, contenido de fósforo, de potasio, etc. Por otra parte, si el interés está centrado en la caracterización del suelo será necesario determinar: contenido en materia orgánica, de Fósforo, Potasio, Aluminio, pH, capacidad de intercambio catiónico, textura, contenido de Calcio,

Magnesio, Sodio, etc. Por último para interpretar la salinidad que presenta el suelo se analizará el porcentaje de Carbono, de Aluminio, pH, contenido de carbonato de Calcio, humedad, capacidad de intercambio catiónico, bases totales, porcentajes de saturación de bases y salinidad. Estos procedimientos se aplicarán considerando como material de partida suelos en estado natural pero, si el interés se orienta al análisis de zonas que pudieran presentar contaminación, por ejemplo de metales, será necesario ampliar este listado de determinaciones. En este sentido se debe tener en cuenta que tanto fenómenos naturales como otros derivados de actividad humana, uso de fertilizantes, pesticidas, derrame de residuos contaminados, actividades industriales, etc., serán potencialmente fuentes de contaminación de suelos (Vázquez *et al.*, 2004)

El contenido natural de micronutrientes, varios de los cuales caen dentro de la clasificación de metales pesados, es uno de los aspectos menos conocidos en los suelos chilenos, a pesar de su importancia innegable en la nutrición vegetal. Con la excepción del Cd, Hg, y Pb, definidos como no esenciales por desconocerse alguna función específica en los organismos viviente, los restantes elementos metálicos, Cu, Cr, Zn, Ni y otros, son requeridos por los organismos en bajas concentraciones. Por ende, han recibido el nombre de micronutrientes. En conocimiento de sus concentraciones en los suelos, principalmente en su fracción potencialmente extraíble por las plantas, tiene gran interés, tanto desde la perspectiva del diagnóstico de deficiencias nutricionales en un ecosistema agropecuario, como la de servir de referencia en estudios prospectivos de procesos de contaminación ambiental (González, 1986)

2.5. Metales pesados en agua

Dentro de las ventajas ofrecidas por los métodos químicos están: los cambios temporales detallados, la determinación precisa de la contaminación y la fácil

estandarización. Dentro de las desventajas: la posible contaminación de las muestras, la no integración temporal y los costos elevados. En cuanto a los análisis biológicos, tiene la ventaja de hacer integraciones especiales y temporales, hacer estudios de bioacumulación, dar respuesta a contaminantes crónicas y puntuales y medir la degradación de hábitat. Con relación a las desventajas están la sensibilidad temporal baja, dificultades de cuantificación y estandarización, así como con las aguas subterráneas (Pérez, 1999)

El agua es un elemento fundamental y determinante en la vida humana. La escasez y el uso abusivo del agua dulce plantean una creciente y seria amenaza para el desarrollo sostenible y la protección del medio ambiente. La salud y el bienestar humano, la seguridad alimenticia, el crecimiento industrial y el ecosistema del que dependen se hallan en peligro, a no ser que la gestión de los recursos hídricos y del suelo se efectúe en el presente decenio de forma más eficaz que el pasado (Hernández *et al.*, 1998)

El estudio de la concentración de metales en los ecosistemas acuáticos es de gran interés, ya que éstos pueden llegar a producir efectos negativos sobre la biota acuática debido a que son altamente persistentes. Su peligrosidad radica en que pueden ser tóxicos en pequeñas concentraciones y también ser acumulados en la cadena trófica, empezando por el fitoplancton que los incorpora a la cadena alimenticia. También pueden producir un efecto de biomagnificación en los niveles más altos de la cadena ya que, al ser los organismos de estos niveles parte en la dieta hombre, constituyen un riesgo para la salud humana (Acosta y Lodeiros, 2004)

A través de experimentos en celdas húmedas y modelado hidrogeoquímico se investigaron los procesos de sorción de As y metales pesados en superficies de oxihidróxidos de Fe en el drenaje producido por una mineralización de tipo skarn de Pb-Zn-Ag. En pruebas cinéticas de columnas y celdas se investigó la influencia del pH y la concentración de metales y arsénico en solución en los lixiviados. Los residuos mineros estudiados tienen una alta la capacidad de generar Drenaje Ácido de Roca-Lixiviación de Metales, pero también existe un potencial elevado de

neutralización en el sistema. Los lixiviados presentan valores de pH casi neutros con una concentración relativamente baja de metales tóxicos en solución, a pesar de la evidencia disolución de los sulfatos. La oxidación de pirrotita y la disolución neutralizante de calcita catalizan la precipitación de la ferrihidrita (oxihidróxidos de Fe). La cual actúa como material adsorbente de metales y metaloides disueltos (As, Cu, Pb, y Zn). La sorpción por ferrihidrita en yacimientos de este tipo representa uno de los principales mecanismos de control sobre las concentraciones de As y metales pesados bajo condiciones de pH entre 6 y 8 (solución neutra) (Ortiz *et al.*, 2012)

Las zeolitas son aluminosilicatos cristalino, tridimensionales, microporosos, basada en un esqueleto estructural aniónico rígido, con canales y cavidades bien definidas. Estas cavidades contienen cationes metálicos intercambiables (Na^+ , K^+ , etc.) y pueden también retener moléculas huésped removibles y reemplazables (agua en las zeolitas naturales). Hasta la fecha se han caracterizado aproximadamente 40 estructuras de zeolitas naturales y se han desarrollado más de 130 estructuras sintéticas. Las zeolitas naturales más importantes son la analcima, chabasita, clinoptilolita, erionita, ferrierita, heulandita, laumontita, mordenita y filipsita (Ramos *et al.*, 2001)

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 membranas para el tratamiento de agua, o la excavación del sitio contaminado. Estas tecnologías tienen una serie de problemas, como pueden ser su alto costo, naturaleza disociadora, e insuficiencia para eliminar los altos niveles de metales en la mayoría de los casos. Recientemente, se ha considerado que las tecnologías biológicas como la biorremediación y la fitorremediación son posibles y prometedoras soluciones a muchos problemas de contaminación, debido a sus ventajas como el costo, que no son disociadoras y sí de fácil mantenimiento. Aunque existen problemas con estos métodos, cuando los microorganismos no tienen la habilidad para degradar metales sino transformarlos, y la fitorremediación

solo es eficaz para mantener los niveles de metales pesados en el tiempo (Cartaya *et al.*, 2011)

2.6. Metales pesados en aire

Las emisiones a la atmosfera pueden incorporarse a suelos y aguas superficiales a través de procesos de depósito por vía seca y húmeda (Zamudio *et al.*, 2009). Entre las mayores capitales latinoamericanas, la zona metropolitana de Ciudad de México, única situada en el corazón del continente, a una altura de 2240 m sobre el nivel del mar, muestra una amplia variedad de sustancias contaminantes: partículas suspendidas totales, Plomo, monóxido de Carbono, óxido de Azufre, óxidos de Nitrógeno, hidrocarburos, Ozono y otros oxidantes fotoquímicos. Los problemas de la calidad del aire han provocado la reacción de la opinión pública y fuertes demandas sociales. Responder a ellas significa enfrentarse a uno de los más grandes retos de esta urbe de dimensiones y complejidades extremas, que se ha ganado la atención mundial por sus problemas ambientales, especialmente la contaminación atmosférica (Placeres *et al.*, 2006)

En la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, la población ha manifestado desde hace mucho años su inquietud respecto de la calidad del aire que se respira, existen antecedentes para esta ciudad de medición de PST de 1990 a 1995, reportándose que todos estos años se rebasó el máximo permisible anual de 75 ug/m^3 con promedios anuales que fluctuaban de 126 hasta 565 ug/m^3 . En cuanto a metales en aire para esta ciudad, se identificó un estudio en el que se evaluó Pb cuyas concentraciones promedio se encontraban entre 0.28 y 0.37 ug/m^3 (Campas *et al.*, 2013)

Las partículas atmosféricas están conformadas por una mezcla de emisiones directas generadas desde una gran variedad de fuentes y se forman por diferentes mecanismos tales como la conversión gas-partícula. El diámetro de una partícula se puede determinar geoméricamente, a partir de microscopia óptica o

electrónica, por su movilidad eléctrica o por su comportamiento aerodinámico. El diámetro es una propiedad obvia de una partícula esférica; sin embargo muchas veces las partículas atmosféricas pueden ser cúbicas, cilíndricas o amorfas, debido a esto sus diámetros son a menudo descritos como diámetros equivalentes (Murillo *et al.*, 2010)

En el siglo veinte, se distinguen en especial las letales neblinas invernales londinenses las que después de la segunda guerra mundial pasaron a ser densas, olorosas y altamente desagradable. Estos han sido eventos extremos de contaminación que fueron causados por el alto contenido de dióxido de sulfuro y de partículas en el aire, provenientes éstos del uso de carbón como combustibles tanto en fábricas como en viviendas, junto a las bajas temperaturas reinantes. Como consecuencia de condiciones medio ambientales tan deplorables, se introdujo, a la par de nuevas tecnologías más eficientes y nuevos materiales menos polucionantes en la producción industrial y el uso de la energía, y el traslado de muchas de las plantas manufactureras fuera de los confines urbanos, el establecimiento de regulaciones nacionales para el cuidado ambiental desde los años 1970, como las actas sancionadas en EE.UU y en el Reino Unido. Todos estos cambios produjeron un drástico mejoramiento de la calidad del aire urbano (Cherni, 2001)

Dentro de los diferentes contaminantes atmosféricos, la Organización Mundial de la Salud (OMS) considera que el material particulado (PM) sobrepasa con mayor frecuencia los niveles críticos de concentración, lo cual incide en la salud humana causando el deterioro de la salud pública en grandes ciudades. Los efectos en la salud del PM van desde una simple tos hasta bronquitis e infecciones severas. Similarmente, se ha identificado la incidencia de la contaminación por material particulado en diferentes enfermedades cardiovasculares y diabetes, así como en las tasas de morbilidad y mortalidad (Gaviria *et al.*, 2012)

Existe un gran número de contaminantes atmosféricos con distintas repercusiones en la atmósfera. Entre ellos destacan CO₂, CO, SO₂, NO, NO₂, O₃ (el ozono actúa positivamente en la atmósfera ya que reduce la radiación

ultravioleta, pero en la troposfera tiene efectos negativos por su elevado poder oxidante), NH₃, H₂S, material particulado atmosférico (incluyendo metales, compuestos inorgánicos secundarios y una gran cantidad de compuestos orgánicos, algunos persistentes) y un elevado número de compuestos orgánicos volátiles (Querol, 2008)

2.7. Metales pesados en alimentos

La intensificación del sistema de producción agropecuaria incrementa los flujos de energía y nutrientes y lo expone a procesos de contaminación, el *feedlot* constituye un sistema de alta concentración de excrementos y de exposición a la contaminación localizada, está ampliamente reconocido que puede alterar la calidad del agua y amenazar la salud pública si se encuentra en cercanías de poblados. Las excretas derivadas de este sistema tienen el potencial de contribuir a la contaminación del ambiente con nutrientes (como Nitrógeno y Fósforo), materia orgánica, sedimentos, patógenos, metales pesados, hormonas, antibióticos y amonio. El exceso de nutrientes en el agua superficial puede resultar en eutroficación, anoxia y en crecimiento de algas tóxicas peligrosas para la salud. La descomposición de la materia orgánica puede reducir los niveles de oxígeno y causar la muerte de peces. El Nitrógeno, en la forma de nitrato, puede contaminar el agua subterránea. Esto cobra relevancia si se la utiliza como agua de bebida (Adrian *et al.*, 2003)

En América Latina se ha realizado investigaciones sobre el análisis de los metales pesados en algunos organismos, indicadores potenciales de la contaminación. La espectroscopía de absorción atómica en sus distintas formas es uno de los métodos analíticos para metales pesados más utilizados y preferido actualmente (Osuna *et al.*, 1988)

Debido a que los metales pesados se encuentran distribuidos a lo largo de toda la cadena alimentaria, los métodos analíticos utilizados para cuantificarlos deben

ser capaces de generar información precisa y exacta. En estos métodos se requiere, primeramente de la destrucción del material orgánico; este es el paso crítico en el análisis, ya que generalmente es lo que determina los límites bajos de la detección e influye en el blanco analítico, además de ser la etapa más lenta en la investigación (Rico y Marini, 1996)

2.8. Efecto de metales pesados en la salud

Según la EPA, la exposición al Plomo en el agua potable puede dar como resultado el retardo en el desarrollo físico o neurológico en los bebés y niños, y puede provocar hipertensión y problemas renales, así como cáncer en los adultos. Es más, una gran cantidad de evidencia sugiere que puede haber efectos adversos sobre la salud incluso a niveles inferiores a 10 en la sangre, en “nivel preocupante” al cual los Centros de Control y Prevención de Enfermedades (CDC) recomiendan la intervención (Renner, 2010)

El problema de la contaminación del recurso agua es mundial. En el año 2000, alrededor de 2.4 billones de personas no tuvieron acceso a los servicios sanitario básicos. Como consecuencia, se estima que entre cinco y seis millones de personas fallecen anualmente por enfermedades transmitidas a través de agua contaminada y entre 1.3 millones de niños menores de cinco años murieron a causa de enfermedades originadas por suministro de agua de mala calidad (Holguín *et al.*, 2006).

Diversos compuestos de Cromo son contaminantes ambientales presentes en agua, suelo y efluentes de industrias, debido a que dicho metal es ampliamente utilizado en distintas actividades manufactureras. En la naturaleza los estados más estables del Cromo son el Cr (III) y el Cr (VI); este último es altamente tóxico para diferentes organismos, en los que puede inducir alteraciones genéticas. El Cr (VI) usualmente se encuentra en forma de los iones cromato (CrO_4^{2-}) o dicromato ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$), los cuales atraviesan fácilmente las membranas biológicas. El Cr (III) se

encuentra en forma de óxidos, hidróxidos o sulfatos, los cuales son insolubles a pH cercano a 5.5: el Cr (III) frecuentemente se encuentra unido a materia orgánica en suelos y ambientes acuáticos (Cervantes *et al.*, 2006)

El Plomo es un metal pesado altamente tóxico que afecta la fisiología de los seres vivos y al que no se le atribuyen funciones esenciales para la vida. Ha sido conocido por la humanidad por unos 7000 años; no obstante, recién a partir de la revolución industrial y de su uso intensivo para la fabricación de diversos productos se ha convertido en un metal de características ubicuas. Pero la fuente primaria de envenenamiento en aves silvestre ha sido y sigue siendo la ingestión de municiones de Plomo desechadas en el ambiente por la actividad cinegética. Los primeros documentos que alertan sobre la intoxicación por Plomo en aves silvestres datan del siglo XIX en Alemania (Ferreira, 2011)

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos, indica que una cantidad de 15 µg de plomo por litro, es preocupante, porque puede causar daño en el cerebro y el sistema nervioso. En algunos suelos de las Sabana de Bogotá, se han encontrado concentraciones altas de Plomo, que en algunos casos superan los promedios mundiales (Guzmán y Prieto, 2012)

Durante los últimos veinte años se ha incrementado el interés en cuanto al papel biológico que juegan los metales pesados en el organismo humano. El Plomo es un metal pesado que, hasta donde se sabe, no cumple ninguna función fisiológica normal en el hombre. La intoxicación por este elemento es tan frecuente que desde épocas remotas se han documentado manifestaciones clínicas de envenenamiento o saturnismo. Este padecimiento llegó a ser considerado un importante problema de salud pública, ya que es capaz de provocar alteraciones renales, daño cerebral y muerte súbita entre los afectados. En lo referente al cadmio, se sabe que éste causa daño tóxico severo a los riñones y al hígado, y se deposita no sólo en estos órganos, sino también en huesos y dientes (González *et al.*, 1997)

El Plomo es un metal pesado no esencial ya conocido en Egipto al menos 4.000 años antes de Cristo. Los efectos tóxicos del Plomo fueron descritos hace más de 2000 años por Nicander, un poeta griego quien escribió sobre una enfermedad conocida como plumbismo, causada por una intoxicación aguda por Plomo. Posteriormente, a la intoxicación por plomo se le llamó saturnismo porque la alquimia consideraba al plomo como el origen de los demás metales, y por ello fue dedicado al dios Saturno, considerado en la mitología como el primero de los dioses. El Plomo tiene la capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria. El Plomo y sus derivados se encuentran en todas partes del medio ambiente, como por ejemplo, en el aire, en las plantas y animales de uso alimentario, en el agua de la bebida, en los ríos, océanos y lagos, en polvo, en el suelo. El agua de mar contiene entre 0.003 y 0.20 mg/L de plomo por lo que las concentraciones de este metal en aguas marinas contribuyen a la contaminación de los peces que habitan en ellas. En el suelo de terrenos no cultivados se han encontrado de 8 a 20 mg Pb/Kg mientras que en terrenos cultivados puede llegar a encontrarse por encima de 360 mg Pb/Kg y cerca de fuentes de contaminación industrial, el suelo alcanza contenidos de 10 g Pb/Kg o más (Gutiérrez *et al.*, 2004)

Se ha documentado que el plomo constituye un actor de riesgo para aborto espontáneo, bajo peso al nacer y ganancia de peso en el primer mes posparto; disminución del perímetro cefálico e inhibición del desarrollo cognoscitivo. En lo que se refiere a su efecto tóxico en el periodo de gestión existen estudios toxicológicos en animales, en lo que se han documentado efectos sobre la implantación del óvulo, supresión subclínica de las concentraciones circulatorias de la hormona luteínica, la folículo estimulante y estradiol, sin producir signos visibles de irregularidad menstrual, alteraciones persistentes en el ciclo menstrual e incluso, probablemente, una menopausia prematura (Tamayo *et al.*, 2003)

En la actualidad se reconoce que contaminantes ambientales como el Cadmio, el Plomo y el arsénico tienen un papel importante en la génesis de la insuficiencia renal crónica. Estudios epidemiológicos han demostrado la fuerte

asociación entre exposición a estos metales y la presencia de daño renal crónico. Los mecanismos fisiopatológico de daño renal por metales son complejos y aún se desconocen varios aspectos de su metabolismo y mecanismos de daño en el organismo (Sabath y Osorio, 2012)

La presencia en los recursos hídricos de metales pesados y sustancias orgánicas complejas, entre otras, han sido responsables de innumerables situaciones de impacto sobre el ecosistema acuático y la salud pública en general. Se han presentado casos críticos en Japón, como la contaminación por cadmio en el río Jintsu y por metilmercurio en la bahía de Minamata. En los dos casos muestran daños a la salud de las poblaciones afectadas y registraron estos ejemplos cómo la presencia de sustancias tóxicas en el medio ambiente acuático puede afectar la salud pública. Metales como Cadmio, Plomo y Zinc. Junto al mercurio, están considerados dentro de los mayores agentes tóxicos asociados a contaminación ambiental e industrial. El Cadmio se obtiene como subproducto del tratamiento metalúrgico del Zinc y del Plomo, a partir de sulfuro de Cadmio y con formación de óxido de Cadmio, compuestos altamente tóxicos. La acumulación de cadmio en el riñón e hígado depende de la intensidad, del tiempo de exposición y del estado óptico de la función de excreción renal. Se ha descrito también que las concentraciones renales de Zinc se incrementan al aumentar las de Cadmio y que la capacidad de almacenamiento es limitada a 300 mg/g. ciertos metales pesados, como Cadmio, Plomo y Cromo, se acumulan en tejidos humanos, especialmente como riñón y pulmón, alterando sus funciones básicas y provocando efectos tóxicos como neumonía, disfunción renal y enfisemas (Rodríguez y León, 2006)

2.9. Normas oficiales mexicanas en materia de agua.

2.9.1. NOM-001-SEMARNAT-1996

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

2.9.2. NOM-002-SEMARNAT-1996

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

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (mg/l)			
PARAMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros 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

2.9.3. NOM-003-SEMARNAT-1997

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

2.9.4. NOM-001-CNA-2011

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

2.9.5. NOM-002-CNA-1995

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

2.9.6. NOM-003-CNA-1996

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

2.9.7. NOM-004-CNA-1996

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

2.9.8. NOM-005-CNA-1996

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

2.9.9. NOM-006-CNA-1997

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

2.9.10. NOM-007-CNA-1997

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

2.9.11. NOM-008-CNA-1998

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

2.9.12. NOM-009-CNA-2001

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

2.9.13. NOM-010-CNA-2000

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

2.9.14. NOM-011 -CNA-2000

Conservación del recurso agua-que establece las especificaciones y el método para determinar la disponibilidad media anual de las aguas nacionales. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 2 de agosto de 2001.

2.9.15. NOM-011 -CNA-2000

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

2.9.16. NOM 012-SSA1-1993

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

2.9.17. NOM 013-SSA1-1993

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

2.9.18. NOM 014-SSA1-1993

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

2.9.19. NOM-041-SSA1-1993

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

2.9.20. NOM-127-SSA1-1994

Salud ambiental, agua para uso y consumo humano-límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización. Publicado en el Diario Oficial de la Federación el día 30 de noviembre de 1995.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE (mg/l)
Aluminio	0,20
Arsénico (Nota 2)	0,05
Bario	0,70
Cadmio	0,005
Cianuros (como CN ⁻)	0,07
Cloro residual libre	0,2-1,50
Cloruros (como Cl ⁻)	250,00
Cobre	2,00
Cromo total	0,05
Dureza total (como CaCO ₃)	500,00

Fenoles o compuestos fenólicos	0,3
Fierro	0,30
Fluoruros (como F ⁻)	1,50
Hidrocarburos aromáticos en microgramos/l:	
Benceno	10,00
Etilbenceno	300,00
Tolueno	700,00
Xileno (tres isómeros)	500,00
Manganeso	0,15
Mercurio	0,001
Nitratos (como N)	10,00
Nitritos (como N)	1,00
Nitrógeno amoniacal (como N)	0,50
pH (potencial de hidrógeno) en unidades de pH	6,5-8,5
Plaguicidas en microgramos/l:	
Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0,03
Clordano (total de isómeros)	0,20
DDT (total de isómeros)	1,00
Gamma-HCH (lindano)	2,00
Hexaclorobenceno	1,00
Heptacloro y epóxido de heptacloro	0,03
Metoxicloro	20,00
2,4 – D	30,00
Plomo	0,01
Sodio	200,00
Sólidos disueltos totales	1000,00
Sulfatos (como SO ₄ ⁼)	400,00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0,50
Trihalometanos totales	0,20
Yodo residual libre	0,2-0,5
Zinc	5,00

Nota 1. Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

2.9.21. NOM-160-SSA1-1995

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

2.9.22. NOM-179-SSA1 -1998

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

2.9.23. NOM-201-SSA1-2002

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

2.10. Tratamientos adsorbentes

2.10.1. Zeolita

Son sólidos con una estructura cristalina bien definida, que determina las dimensiones de poros, canales, y a veces cavidades y que son capaces de tamizar moléculas según la forma y tamaño. Estos sólidos microporosos poseen un esqueleto cristalino formado por unión tridimensional de tetraedros unidos entre sí por átomos de oxígeno (Arriagada *et al.*, 1991)

2.10.2. Aplicación de la zeolita natural

Aplicación de zeolita natural en tratamiento de efluentes líquidos

Uso	Remoción de especies o tratamiento
Residuos de jabones y detergentes	NH ₄ ⁺
Aguas de calderas	FE ³⁺
Condensadores de productos de carbonato de sodio	NH ₄ ⁺ y aceites
Estación generadora de agua caliente	NH ₄ ⁺
Tratamiento de agua potable	30,000 m ³ /d planta piloto, NH ₄ ⁺
Recuperación de nutrientes de aguas de desechos	240 m ³ /d de planta
Desperdicios textiles	Caprolactama y lubricantes
Aguas de desechos	aceites
Producción de organoclorados y limpieza	Tricloroetileno
Metales no ferrosos	Zn

(Pavón *et al.*, 2000)

2.10.3. Ruminal health

Es un suplemento a base minerales alcalinizantes, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, así como de promotores de consumo. Su formulación está enfocada a tratar de manera sistémica los problemas de acidosis subaguda y aguda, en cuatro vertientes básicas: (neutralización de la acidosis y estabilización del pH ruminal), (estimulación del crecimiento de algunas cepas bacterianas, incrementando y optimizando la flora ruminal), (acción detoxificante y protectora del hígado), (aprovechamiento de todos los recursos nutricionales) (Dcm, 2012)

2.10.4. Arena verde

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 para la salud (Ucla, 2003)

2.10.5. Característica de 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. En la dureza es la resistencia que ofrece su superficie lisa a la abrasión, se mide en un ensayo de dureza y es de 7.0 en la escala de MOH (Carbyfilco, 2009)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características generales del sitio

3.2. Localización del estudio

El presente trabajo se realizó en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna.

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.

3.3. Características ecológicas del sitio

Según la clasificación de Koppen modificado por García (1981): Clima seco desértico o estepario cálido con lluvias en el verano e inviernos frescos.

Precipitación pluvial = 258 mm.

Temperatura media anual = 22.1 °C con rangos de 38.5 como media máxima y 16.1 como media mínima.

La evaporación anual media aproximadamente es de 2,396 mm.

La presencia de las heladas se presentan de noviembre a marzo y raras veces en octubre y abril. Mientras que la presencia de granizadas se da entre mayo y junio.

3.4. 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

3.5. Acondicionador

- Cloruro férrico (FeCl_3)
- Plomo y Cobre con una concentración de 1000 ppm

3.6. Materiales a evaluar

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

3.7. Agua a utilizar

Se prepararon dos soluciones problemas la primera que contenga una concentración de 0.2 ppm y la segunda 0.4 ppm en el primer experimento de metales pesados, cada solución en 24 litros de agua destilada. Y Se utilizó un estándar de alta pureza del Plomo y Cobre. En el segundo experimento se utilizó una solución de 0.8 ppm de Plomo y Cobre.

3.8. Preparación del cloruro férrico 0.5 molar

Se pesaron 67.57 gr 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.

3.9. Acondicionamiento de la zeolita

Se molió la zeolita en una maya de 2 mm, posteriormente se pesó en la balanza analítica de 120 gr de esta. Finalmente acondicionada con cloruro férrico ($\text{FeCl}_3 - 6\text{H}_2\text{O}$) 0.5 molar. Evaporar y dejar en la estufa, hasta quitarle la humedad.

3.10. Acondicionamiento de la arena verde

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

3.11. Procedimiento experimental

Para la realización del trabajo se utilizaron 12 columnas de PVC, en cada una se colocaran 20 gr de cada material de zeolita acondicionada, arena verde acondicionada, arena verde y ruminal health (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 de 0.2 ppm de Plomo y Cobre con un tiempo de adsorción de 15 minutos respectivamente, de la misma manera se realizó un análisis pero con 2 litros de agua a una concentración de 0.4 ppm de plomo y cobre con un tiempo de adsorción de 30 minutos respectivamente. Con los mismos materiales y tratamientos se realizó un segundo experimento agregando 2 litros de aguas con una concentración de 0.8 ppm de Plomo y Cobre con un tiempo de adsorción de 15 minutos respectivamente.

3.12. Relación material-volumen y tiempos de retención a usar

Para el primero experimento se evaluaron los siguientes tratamientos adsorbentes/volumen de agua: zeolita acondicionada 20 gr/2 litros, arena verde acondicionada 20 gr/2 litros, arena verde 20 gr/2 litros y ruminal health 20 gr/2 litros, con 15 y 30 minutos de retención. Para la retención de 15 minutos, se utilizó la solución problema de 0.2 ppm de Plomo y Cobre, para la de 30 minutos se utilizó la solución problema de 0.4 ppm de Plomo y Cobre. En el segundo análisis se realizó la misma relación pero con un tiempo de adsorción de 15 minutos utilizando una solución problema de 0.8 ppm de Plomo y Cobre respectivamente.

3.13. Parámetros a evaluar

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

- El pH: se evaluó con el potenciómetro marca TERMO ORION modelo 420.
- La Conductividad eléctrica: se evaluó con el conductivímetro marca ORION modelo 162.
- Para la evaluación de la concentración de plomo en el agua: se utilizó un espectrofotómetro de absorción atómica PERKIN ELMER modelo 2380.
- También se evaluó la capacidad de intercambio catiónico de los materiales adsorbentes con el método de extracción con cloruro de bario.

3.14. Descripción de los Tratamientos

Cuadro 1. Distribución de los tratamientos y respectivas repeticiones

Tratamientos	Repeticiones	Materiales
T1	R1	Zeolita acondicionada
T1	R2	Zeolita acondicionada
T1	R3	Zeolita acondicionada
T2	R1	Arena verde acondicionada
T2	R2	Arena verde acondicionada
T2	R3	Arena verde acondicionada
T3	R1	Arena verde
T3	R2	Arena verde
T3	R3	Arena verde
T4	R1	H.R(Ruminant Health)
T4	R2	H.R (Ruminant Health)
T4	R3	H.R (Ruminant Health)

T1 (zeolita acondicionada) T2 (arena verde acondicionada) T3 (arena verde) T4 (ruminant health)

3.15. 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, se realizaron correlaciones y análisis de varianza.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

Cuadro 2. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención del Plomo a una concentración de 0.2 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Plomo (ppm)			
	R1	R2	R3	Promedio
Zeolita acondicionada	0.10	0.11	0.04	0.08
Arena verde acondicionada	0.12	0.11	0.08	0.10
Arena verde	0.05	0.12	0.06	0.08
Ruminal health	0.13	0.04	0.03	0.07

Cuadro 3. Resultados del análisis de varianza

FV	GL	SC	CM	Fc	Sig
Tratamiento	3	0.002	0.001	0.371	0.776
Error	8	0.014	0.002		
Total	11	0.016			

Tratamiento	Media
1	0.088
2	0.105
3	0.082
4	0.070

En el cuadro 3 se muestra el análisis de varianza de los resultados obtenidos donde indica que el tratamiento 2 (arena verde acondicionada) adsorbió una cantidad de 0.095 ppm de plomo correspondiente a 47.5 % de adsorción, el T1 (zeolita acondicionada) adsorbió 0.112 ppm correspondiente a 56 % de adsorción

de Plomo, posteriormente el tratamiento 3 (arena verde) adsorbió 0.118 ppm que corresponde a 59 % adsorción. El tratamiento 4 (ruminal health) adsorbió la cantidad de 0.13 ppm de plomo que corresponde a 65 % de adsorción, de acuerdo a los resultados se observa que el tratamiento 4 es el más eficiente para la adsorción de Plomo. Los resultados obtenidos se encuentran arriba de lo que marca la agencia de protección ambiental (EPA) lo cual indica un límite máximo permisible de 0.015 ppm de plomo.

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

Cuadro 4. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	pH	Plomo (ppm)
Testigo		3.43	0.2
T1	R1	2.21	0.10
T1	R2	2.41	0.11
T1	R3	2.25	0.04
T2	R1	2.41	0.12
T2	R2	2.46	0.11
T2	R3	2.53	0.08
T3	R1	4.61	0.05
T3	R2	3.58	0.12
T3	R3	3.75	0.06
T4	R1	8.12	0.13
T4	R2	8.25	0.04
T4	R3	8.23	0.03

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

En el cuadro 4 se aprecia que el pH tiene una gran variación en los tratamientos, (entre 2.21 y 8.25), la zeolita y arena verde acondicionada presentan un pH ácido debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico. Asimismo, se observa que el pH aumenta a medida que disminuye la concentración de Plomo en la solución. En el tratamiento 4 (ruminal health) se aprecia un pH que se

mantiene de medianamente a ligeramente básico esto debido a que el material se caracteriza por tener un potencial de hidrogeno moderadamente alto de aproximadamente 6.0 a 7.5, esto puede ir en aumento dependiendo de la estructura química de los materiales con que se mezclen (Krause y Oetzel, 2006)

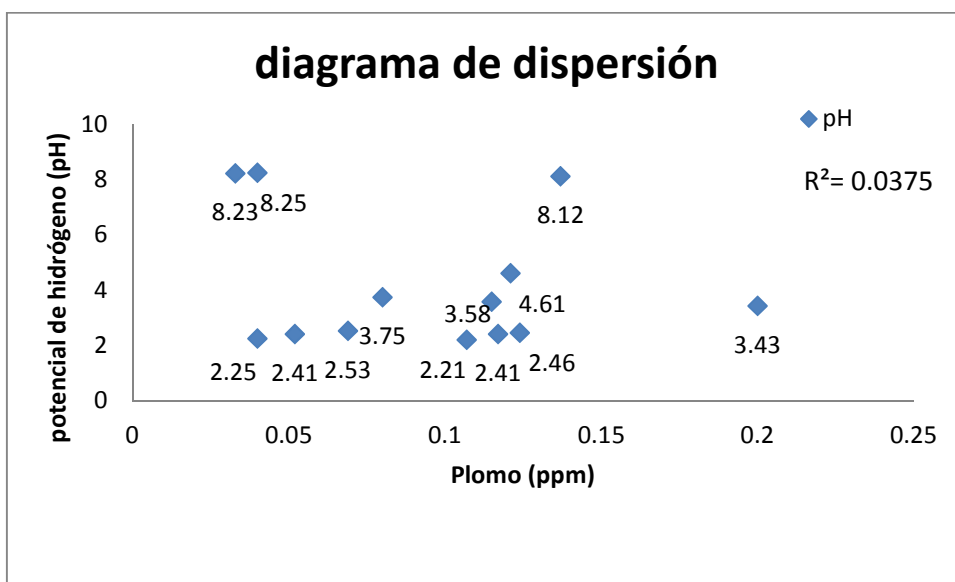


Figura 1. Correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua

Cuadro 5. Coeficiente de correlación entre concentración de Plomo y el pH del agua

	ppm	pH
ppm	1	
pH	-0.19377694	1

En la figura 1 y cuadro 5 se percibe la correlación que existe entre las concentraciones de plomo y el pH, esto indica que es inversa y tiene relaciones moderadas con una $R^2 = 0.0375$.

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

Cuadro 6. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	C.E(μ S/cm)	Plomo (ppm)
Testigo		0.20	0.2
T1	R1	7.22	0.10
T1	R2	4.29	0.11
T1	R3	6.64	0.04
T2	R1	5.12	0.12
T2	R2	4.98	0.11
T2	R3	4.01	0.08
T3	R1	0.10	0.05
T3	R2	0.17	0.12
T3	R3	0.15	0.06
T4	R1	3.46	0.13
T4	R2	3.75	0.04
T4	R3	1.98	0.03

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

Como puede verse en el cuadro 6 la conductividad eléctrica presenta una gran variación (entre 7.22 y 0.10 μ S/cm). En el tratamiento zeolita y arena verde acondicionada se observa una C.I.C alta, esto se debe que en su estructura contiene cationes que pueden ser liberados, al ponerlos en solución pueden reaccionar formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica. 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.

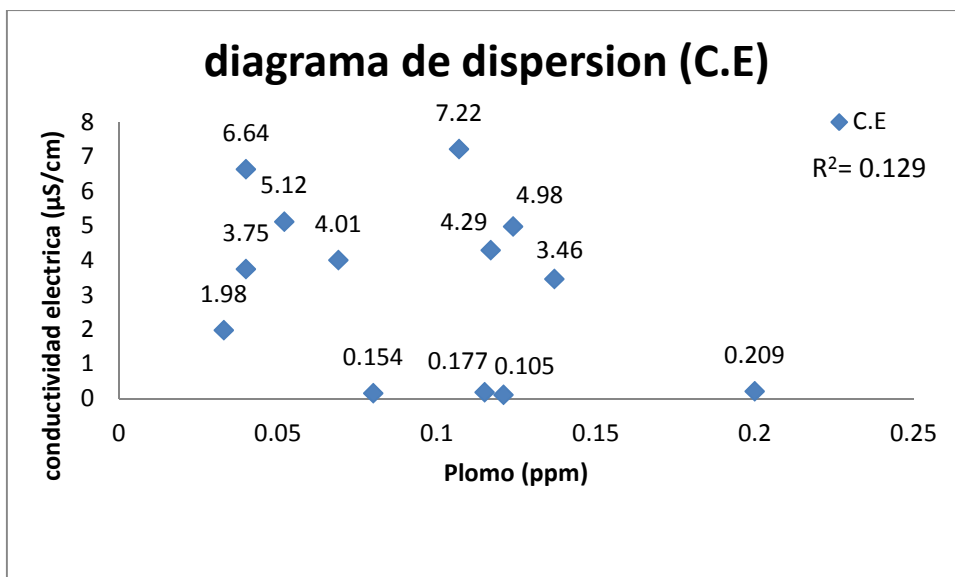


Figura 2. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.E del agua

Cuadro 7. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.E

	ppm	C.E
ppm	1	
C.E	-0.35919742	1

En la figura 2 y cuadro 7 se observa la relación que existe entre las concentraciones de plomo y la C.E, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente bajas con una $R^2 = 0.129$.

4.3. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Plomo (ppm)

Cuadro 8. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.I.C.

Tratamientos	Promedios	C.I.C (meq/100)
Zeolita acondicionada	0.08	3
Arena verde acondicionada	0.10	6
Arena verde	0.08	10
Ruminal health	0.07	13

En el cuadro 8 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 la capacidad de intercambio catiónico sea elevado.

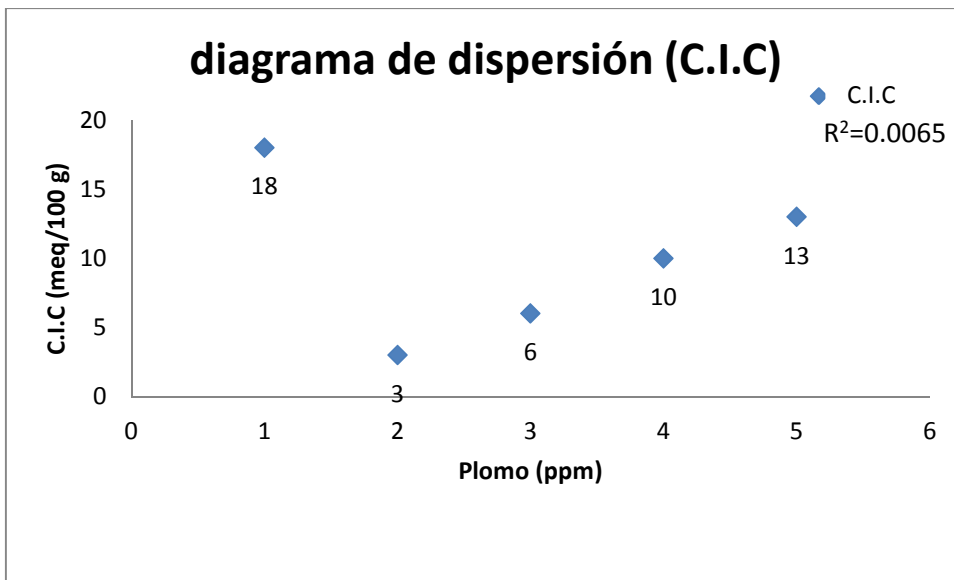


Figura 3. Correlación entre la concentración del Plomo y la C.I.C

Cuadro 9. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C

	ppm	C.I.C
ppm	1	
C.I.C	-0.73759364	1

En la figura 3 y cuadro 9 se aprecia la relación que existe entre las concentraciones de plomo y la C.I.C, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente moderadas con una $R^2 = 0.129$.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el primer experimento con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm de plomo.

Cuadro 10. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención de Plomo a una concentración de 0.4 y un tiempo de retención de 30 minutos

Tratamientos	Plomo (ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.07	0.16	0.08	0.10
Arena verde acondicionada	0.28	0.22	0.25	0.25
Arena verde	0.21	0.28	0.11	0.20
Ruminal health	0.05	0.01	0.09	0.05

Cuadro 11. Resultados del análisis de varianza

FV	GL	SG	CM	Fc	Sig
Tratamiento	3	0.075	0.025	8.031	0.009
Error	8	0.025	0.003		
Total	11	0.100			

Tratamiento	Media	0.05
1	0.109	bc
2	0.256	a
3	0.204	ab
4	0.054	c

Notas: letras diferentes significa que existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados.

En el cuadro 11 se observa que el tratamiento 2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.14 ppm de plomo que corresponde a 36 %, el T3 (arena verde) adsorbió 0.19 ppm de Plomo equivalente a 49 %. El T1 (zeolita acondicionada) adsorbió 0.10 ppm de plomo correspondiente al 72.7 %, el T4 (ruminal health), representa el mejor material ya que adsorbió 0.34 ppm lo cual corresponde al 86.5 %. Asimismo se observa que hubo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, de acuerdo al análisis de varianza realizado.

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

Cuadro 12. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	pH	Plomo (ppm)
Testigo		3.43	0.4
T1	R1	2.21	0.07
T1	R2	2.41	0.16
T1	R3	2.25	0.08
T2	R1	2.41	0.28
T2	R2	2.46	0.22
T2	R3	2.53	0.25
T3	R1	4.61	0.21
T3	R2	3.58	0.28
T3	R3	3.75	0.11
T4	R1	8.12	0.05
T4	R2	8.25	0.01
T4	R3	8.23	0.09

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

En el cuadro 12 se percibe una gran variación en el valor de pH, el T4 (ruminal health) tiene un pH que va desde 8.12 a 8.25, esto se debe a que está compuesto a base de probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos que al descomponerse hace que tenga un pH elevado. Sin embargo, en la zeolita y arena verde acondicionada se observa un pH ácido, esto debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico.

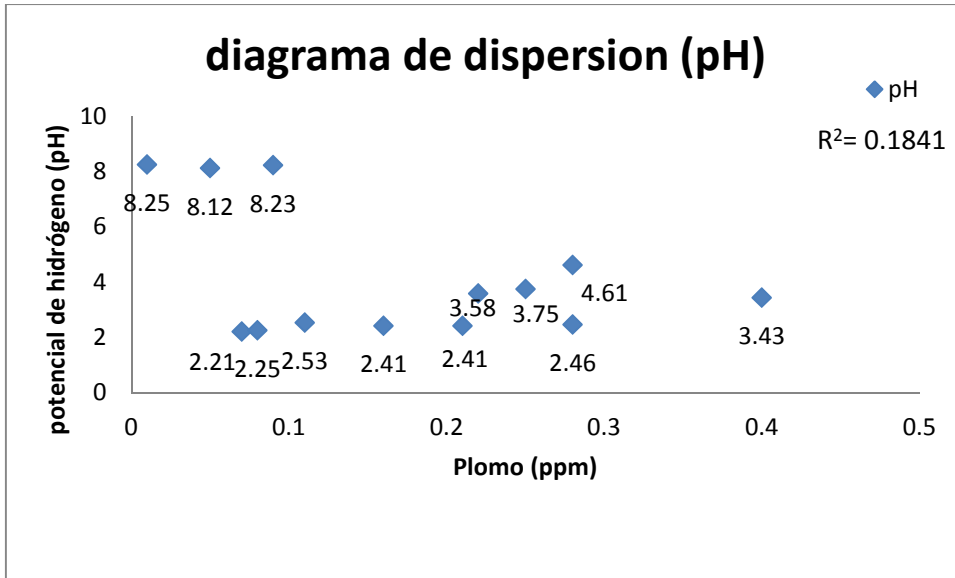


Figura 4. Correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua

Cuadro 13. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua

	ppm	pH
ppm	1	
pH	-0.42906257	1

En la figura 4 y cuadro 13 se aprecia la relación que existe entre las concentraciones de plomo y el pH, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente moderada con una $R^2 = 0.1841$.

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

Cuadro 14. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	C.E ($\mu\text{S/cm}$)	Plomo (ppm)
Testigo	Testigo	0.20	0.4
T1	R1	7.22	0.07
T1	R2	4.29	0.16
T1	R3	6.64	0.08
T2	R1	5.12	0.28
T2	R2	4.98	0.22
T2	R3	4.01	0.25
T3	R1	0.10	0.21
T3	R2	0.17	0.28
T3	R3	0.15	0.11
T4	R1	3.46	0.05
T4	R2	3.75	0.01
T4	R3	1.98	0.09

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

En el cuadro 14 se aprecia una gran variación en los valores de la conductividad eléctrica. En la zeolita y arena verde acondicionada se observa una C.E elevada, esto se debe que en sus estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución pueden reaccionar formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

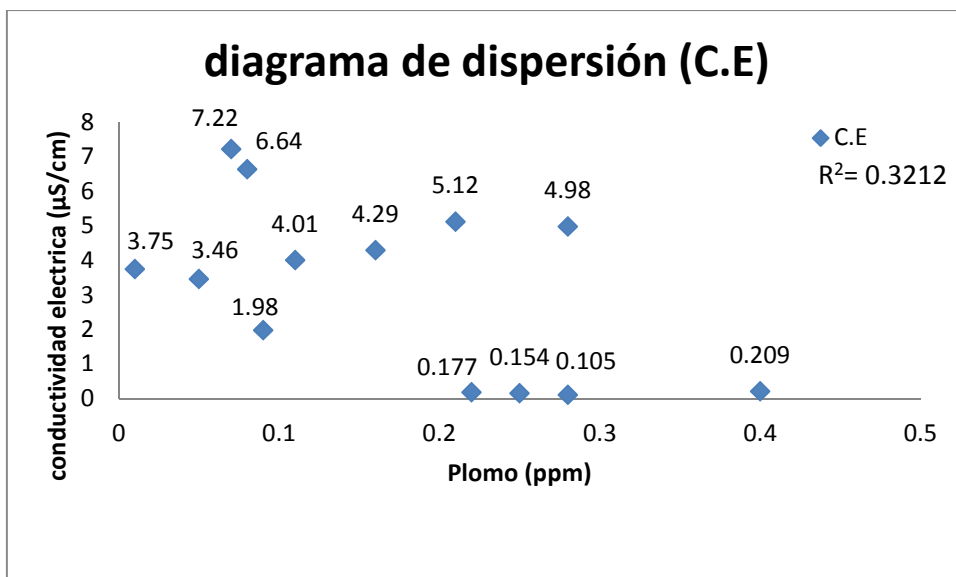


Figura 5. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.E. del agua

Cuadro 15. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.E del agua

	ppm	(C.E)
ppm	1	
C.E	-0.56670692	1

En relación a la figura 5 y cuadro 15 se aprecia la relación que existe entre las concentraciones de plomo y la C.E, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente moderada con una $R^2= 0.3212$.

4.6. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Plomo (ppm)

Cuadro 16. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.I.C

Tratamientos	Promedios	C.I.C (meq/100)
Zeolita acondicionada	0.10	3
Arena verde acondicionada	0.25	6
Arena verde	0.20	10
Ruminal health	0.05	13

En el cuadro 16 se observa una ligera variación de acuerdo a los valores de capacidad de intercambio catiónico, estos valores están en relación a la composición química de cada tratamiento, cabe resaltar que el ruminal health presenta un valor alto de C.I.C, debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, que al disociarse posiblemente hace que tenga una C.I.C alta.

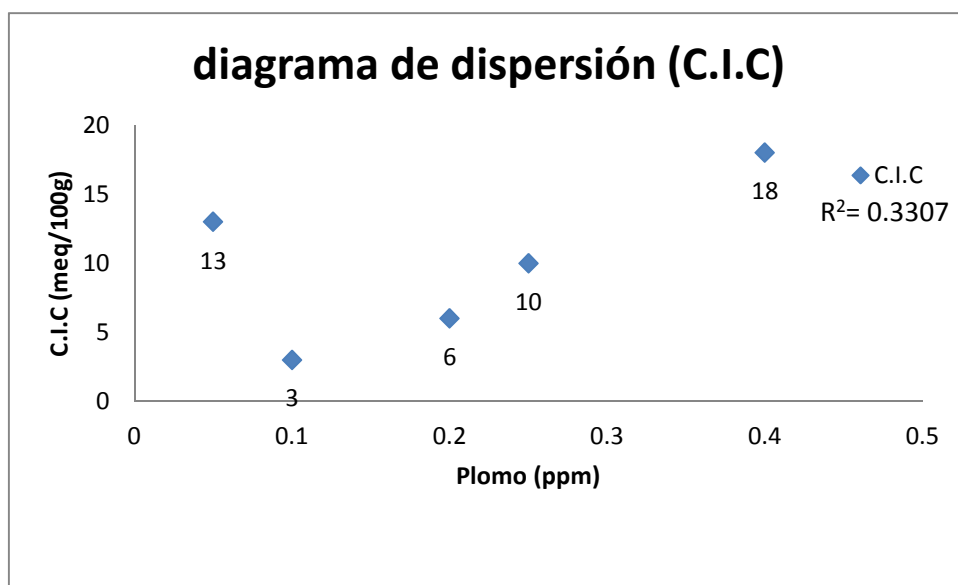


Figura 6. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C

Cuadro 17. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C

	ppm	C.I.C
ppm	1	
C.I.C	0.57504463	1

En la figura 6 y cuadro 17 se observa la relación que existe entre las concentraciones de plomo y la C.I.C, esto indica que es directa y tiene relaciones relativamente moderada con una $R^2= 0.3307$.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el primer experimento con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm de Cobre.

Cuadro 18. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención del Cobre a una concentración de 0.4 ppm y un tiempo de retención de 30 minutos

Tratamiento	Cobre (ppm)			
	R1	R2	R3	Promedio
Zeolita acondicionada	0.28	0.29	0.30	0.29
Arena verde acondicionada	0.39	0.40	0.41	0.40
Arena verde	0.29	0.30	0.31	0.30
Ruminal health	0.28	0.29	0.30	0.29

Cuadro 19. Resultados del análisis de varianza

FV	GL	SG	CM	Fc	Sig
Tratamiento	3	0.026	0.009	8524.750	0.000
Error	8	0.000	0.000		
Total	11	0.026			

Tratamiento	Media	0.5
1	0.299	c
2	0.40	a
3	0.306	b
4	0.297	d

Notas: letras diferentes significa que existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados.

En el cuadro 19, se aprecia que de acuerdo al análisis de varianza existió diferencia significativa entre los tratamientos evaluados. Se observa que el T2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.07 ppm de Cobre con un 1.75 %, el T3 (arena verde) adsorbió 0.09 ppm de Cobre que corresponde a un 23.5 %. El T1 (zeolita acondicionada) adsorbió 0.10 ppm de Cobre con un 25.25 %, el T4 (ruminal health) fue el mejor tratamiento, adsorbió 0.10 ppm de Cobre lo cual corresponde a un 25.75 %, esto se debe a su composición de enzimas, bacterias, probióticos, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, que al disociarse hace que adsorba una gran cantidad de Cobre.

4.7. Correlación entre el potencial de hidrógeno (pH) y la concentración de Cobre (ppm)

Cuadro 20. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	pH	Cobre (ppm)
Testigo		3.43	0.4
T1	R1	2.21	0.28
T1	R2	2.41	0.29
T1	R3	2.25	0.30
T2	R1	2.41	0.39
T2	R2	2.46	0.40
T2	R3	2.53	0.41
T3	R1	4.61	0.29
T3	R2	3.58	0.30
T3	R3	3.75	0.31
T4	R1	8.12	0.28
T4	R2	8.25	0.29
T4	R3	8.23	0.30

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

En el cuadro 20 se observa un valor pH con un gran variación (entre 2.21 y 8.25), el T4 (ruminal health) tiene un pH alto debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, que al disociarse hace que tenga un pH elevado. En la zeolita y arena verde acondicionada se observa un pH ácido, debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico que probablemente hace que tenga un pH bajo.

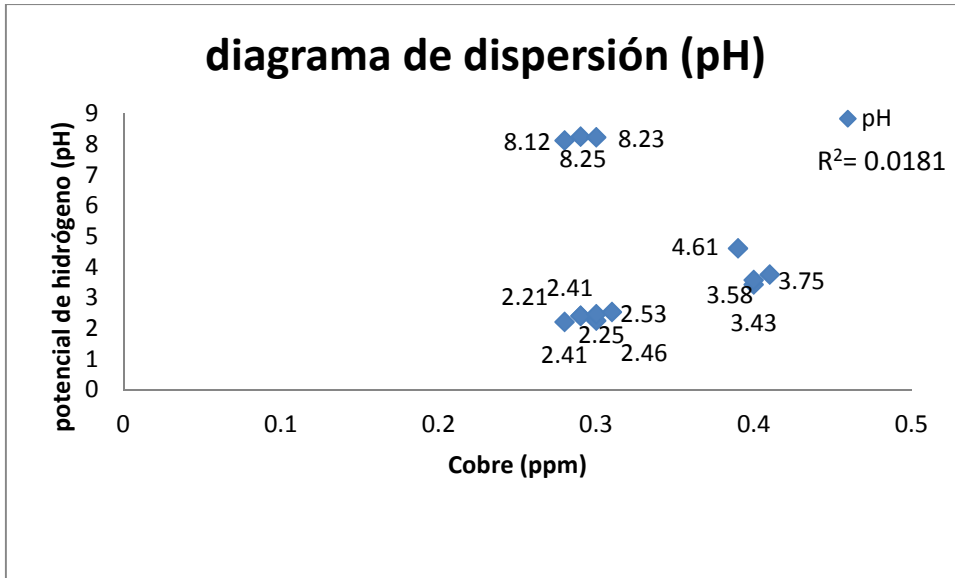


Figura 7. Correlación entre la concentración de Cobre y el pH del agua

Cuadro 21. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y el pH del agua

	ppm	pH
ppm	1	
pH	-0.13467242	1

En la figura 7 y cuadro 21 se aprecia la relación que existe entre las concentraciones de Cobre y el pH, esto indica que es inversa y tiene una relación muy baja con una $R^2= 0.0181$.

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

Cuadro 22. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	C.E ($\mu\text{S/cm}$)	Cobre (ppm)
Testigo		0.20	0.4
T1	R1	7.22	0.28
T1	R2	4.29	0.29
T1	R3	6.64	0.30
T2	R1	5.12	0.39
T2	R2	4.98	0.40
T2	R3	4.01	0.41
T3	R1	0.10	0.29
T3	R2	0.17	0.30
T3	R3	0.15	0.31
T4	R1	3.46	0.28
T4	R2	3.75	0.29
T4	R3	1.98	0.30

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

En el cuadro 22 se percibe una gran variación en los resultados de la conductividad eléctrica. Se observa un C.E elevada en el tratamiento de zeolita y arena verde acondicionada, debido a que el cloruro férrico se disocia reaccionando con algunos cationes liberados de los materiales adsorbentes, que al reaccionar forman sales, esto hace que probablemente eleve la conductividad eléctrica.

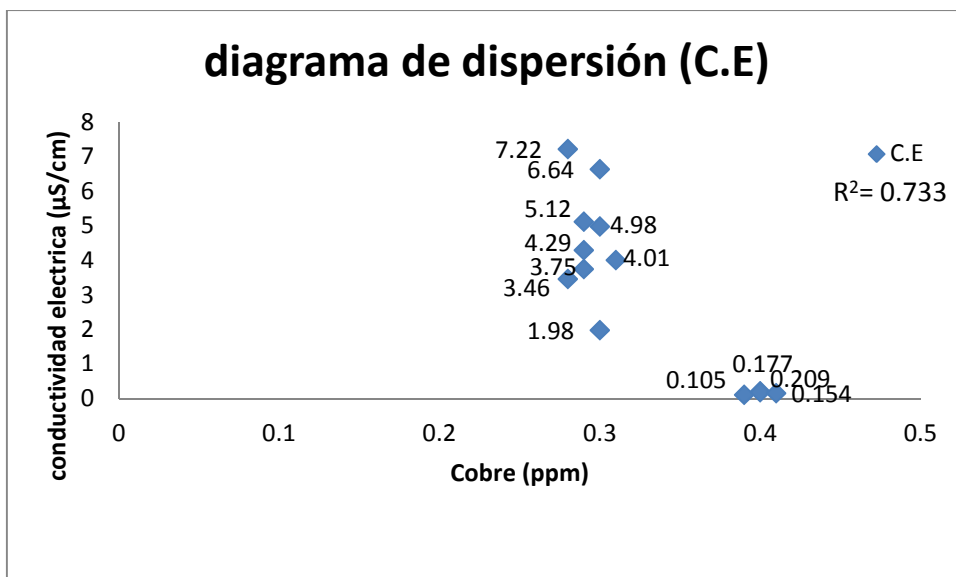


Figura 8. Correlación entre la concentración de Cobre y la C.E del agua

Cuadro 23. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y la C.E del agua

	ppm	C.E
ppm	1	
C.E	-0.85615826	1

En la figura 8 y cuadro 23 se aprecia la relación que existe entre las concentraciones de Cobre y la C.E, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente moderadas con una con $R^2 = 0.733$.

4.9. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Cobre (ppm)

Cuadro 24. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.I.C

Tratamientos	Promedios	C.I.C (meq/100)
Zeolita acondicionada	0.29	3
Arena verde acondicionada	0.40	6
Arena verde	0.30	10
Ruminal health	0.29	13

En el cuadro 24 se aprecia una gran variación en los valores de la C.I.C con respecto a las concentraciones promedio de Cobre, 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 eléctrica mayormente negativa.

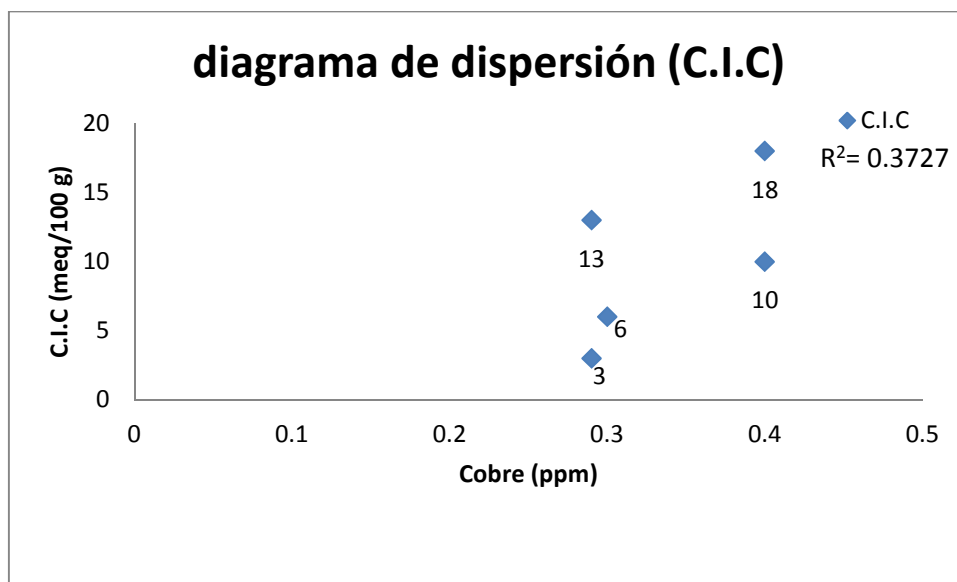


Figura 9. Correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C

Cuadro 25. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C

	ppm	C.I.C
ppm	1	
C.I.C	0.6104677	1

En la figura 9 y cuadro 25 se observa la relación que existe entre la C.I.C y las concentraciones de Cobre, esto indica que es directa y tiene relaciones relativamente moderada con una $R^2= 0.3727$.

A continuación se presentan los resultados obtenidos en el segundo experimento con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm de Plomo.

Cuadro 26. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención de Plomo a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Plomo (ppm)			
	Repeticiones			
	R1	R2	R3	Promedio
Zeolita acondicionada	0.65	0.72	0.51	0.62
Arena verde acondicionada	0.59	0.72	0.61	0.64
Arena verde	0.49	0.64	0.39	0.50
Rumen health	0.51	0.58	0.54	0.54

Cuadro 27. Resultados del análisis de varianza

FV	GL	SG	CM	Fc	Sig
Tratamiento	3	0.037	0.012	1.497	0.288
Error	8	0.067	0.008		
Total	11	0.104			

Tratamiento	Media	0.5
1	0.627	c
2	0.640	a
3	0.507	b
4	0.543	d

Notas: letras diferentes significa que existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados.

En el cuadro 27, se observa que el T2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.16 ppm de plomo que corresponde al 20 %, el T1 (zeolita acondicionada) adsorción 0.173 ppm de plomo que pertenece a un 21.62 %, posteriormente en el T4 (ruminal health) adsorción 0.257 ppm de plomo que corresponde a un 32.12 %, el T3 (arena verde) fue el mejor material ya que adsorbió una concentración de 0.293 ppm de plomo que corresponde a un 36.62 %. Asimismo se observa que existió diferencia significativa entre los tratamientos evaluados de acuerdo al análisis de varianza realizado. Los resultados obtenidos se encuentran por encima de la NOM-127-SSA1-1994 que indica un límite máximo permisible de 0.01 ppm de Plomo en agua para consumo humano.

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

Cuadro 28. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	pH	Plomo (ppm)
Testigo		3.43	0.8
T1	R1	2.21	0.65
T1	R2	2.41	0.72
T1	R3	2.25	0.51
T2	R1	2.41	0.59
T2	R2	2.46	0.72
T2	R3	2.53	0.61
T3	R1	4.61	0.49
T3	R2	3.58	0.64
T3	R3	3.75	0.39
T4	R1	8.12	0.51
T4	R2	8.25	0.58
T4	R3	8.23	0.54

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

En el cuadro 28 se aprecia una amplia variación en los valores de pH, de acuerdo a la zeolita y arena verde acondicionada se mantiene un pH ácido debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico, esto hace que su pH sea bajo. En el T4 (ruminal health) se observa un elevado potencial de hidrogeno debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, que al disociarse hace que tenga un pH ligeramente alcalino.

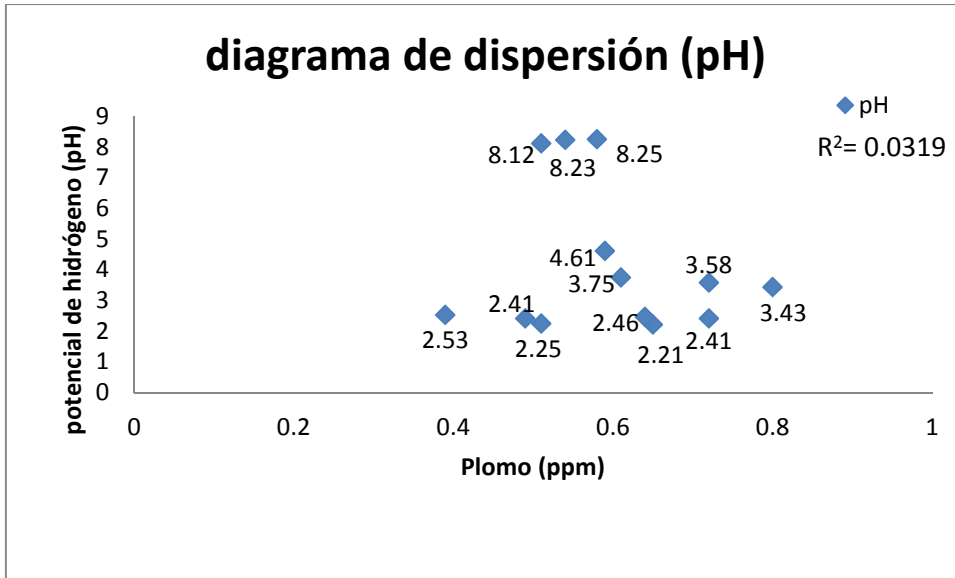


Figura 10. Correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua

Cuadro 29. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y el pH del agua

	ppm	pH
ppm	1	
pH	-0.0911852	1

En la figura 10 y cuadro 29 se observa la correlación que existe entre la concentración del plomo y el pH, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente mínima con una $R^2= 0.0319$.

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

Cuadro 30. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Plomo (ppm)
Testigo		0.20	0.8
T1	R1	7.22	0.65
T1	R2	4.29	0.72
T1	R3	6.64	0.51
T2	R1	5.12	0.59
T2	R2	4.98	0.72
T2	R3	4.01	0.61
T3	R1	0.10	0.49
T3	R2	0.17	0.64
T3	R3	0.15	0.39
T4	R1	3.46	0.51
T4	R2	3.75	0.58
T4	R3	1.98	0.54

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

En el cuadro 30 se observa que la conductividad eléctrica tiene una variación irregular con respecto a las concentraciones de Plomo. En el tratamiento de zeolita y arena verde acondicionada se aprecia un valor alto de alto de C.E, esto se debe a que en sus estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución reaccionan formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica. Una explicación similar puede darse en el ruminal health ya que esta compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos que al descomponerse puede reaccionar formando sales y elevar la conductividad eléctrica.

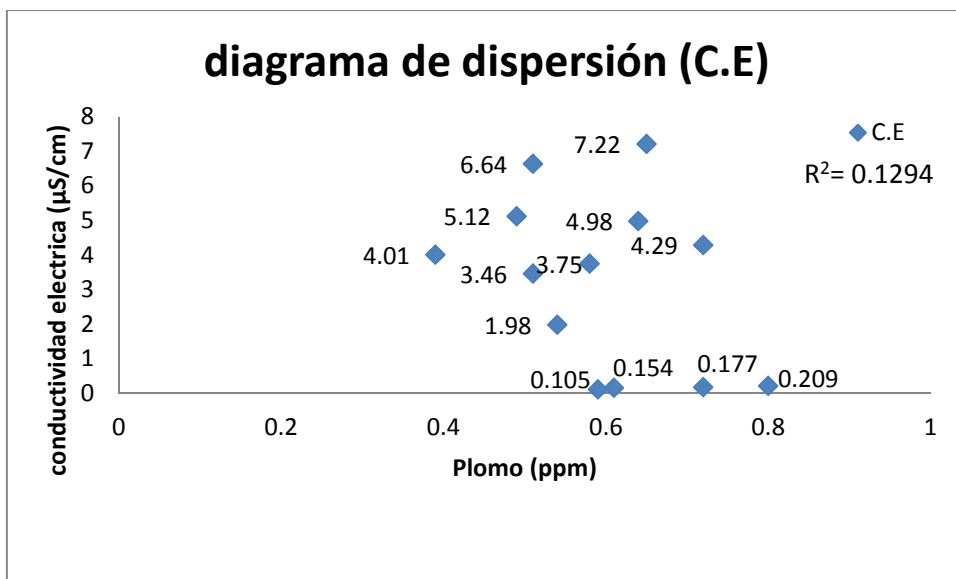


Figura 11. Correlación entre la concentración de Plomo y la C.E del agua

Cuadro 31. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.E del agua

	ppm	C.E
ppm	1	
C.E	0.00124702	1

En la figura 11 y cuadro 31 se percibe la correlación que existe entre la concentración del plomo y la C.E, esto indica que es directa y tiene relaciones relativamente baja con una $R^2 = 0.1294$.

4.12. Correlación entre la capacidad de intercambio catiónico (C.I.C) y la concentración de Plomo (ppm)

Cuadro 32. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Plomo y la C.I.C

Tratamientos	Promedios	C.I.C (meq/100)
Zeolita acondicionada	0.62	3
Arena verde acondicionada	0.64	6
Arena verde	0.50	10
Ruminal health	0.54	13

En el cuadro 32 puede verse que no existe variación de acuerdo a las concentraciones promedio de Plomo en los tratamientos y los valores de capacidad de intercambio catiónico, estos valores están en relación a la composición química de cada tratamiento, cabe resaltar que el ruminal health muestra un valor alto de capacidad de intercambio catiónico debido a que esta compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepático.

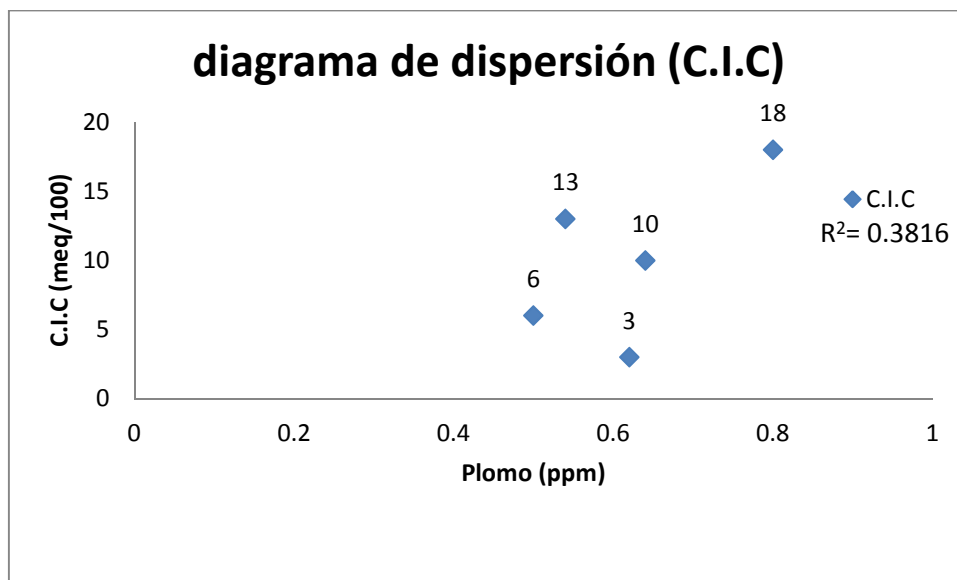


Figura 12. Correlación entre la concentración del Plomo y la C.I.C

Cuadro 33. Coeficiente de correlación entre la concentración de Plomo y la C.I.C

	ppm	C.I.C
ppm	1	
C.I.C	-0.66728309	1

En la figura 12 y cuadro 33 se observa la relación que existe entre la C.I.C y las concentraciones de Plomo, esto indica que es inversa y tiene relaciones relativamente moderada con una $R^2= 0.3816$.

A continuación se presentan los resultado obtenidos en el segundo experimento con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm de Cobre.

Cuadro 34. Resultados obtenidos en la evaluación de los materiales adsorbentes para la retención del Cobre a una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos

Tratamientos	Cobre (ppm)			
	Repeticiones			Promedio
	R1	R2	R3	
Zeolita acondicionada	0.79	0.85	0.71	0.78
Arena verde acondicionada	0.67	0.85	0.73	0.75
Arena verde	0.69	0.79	0.59	0.69
Rumen health	0.82	0.78	0.79	0.79

Cuadro 35. Resultados del análisis de varianza

	FV	GL	SG	CM	Fc	Sig
Tratamiento		3	0.020	0.007	1.143	0.389
Error		8	0.040	0.006		
Total		11	0.068			

Tratamiento	Media	0.5
1	0.783	c
2	0.750	a
3	0.690	b
4	0.797	d

Notas: letras diferentes significa que existe diferencia estadística entre los tratamientos evaluados.

En el cuadro 34 indica que el tratamiento 4 (ruminal health) adsorbió 0.3 ppm de Cobre que corresponde a 0.37 %, el T1 (zeolita acondicionada) adsorbió 0.017 ppm de Cobre con un 2.12 %. El T2 (arena verde acondicionada) adsorbió 0.05 ppm con un 6.25 %, finalmente el tratamiento 3 (arena verde) fue el mejor material ya que, adsorción 0.11 ppm de Cobre con un 13.75 %. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) indica un límite máximo permisible de 1.3 ppm de Cobre en agua, por lo tanto, el tratamiento 3 cumple con lo establecido con la norma indicada.

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

Cuadro 36. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y el pH del agua

Tratamientos	Repeticiones	pH	Cobre (ppm)
Testigo		3.43	0.8
T1	R1	2.21	0.79
T1	R2	2.41	0.85
T1	R3	2.25	0.71
T2	R1	2.41	0.67
T2	R2	2.46	0.85
T2	R3	2.53	0.73
T3	R1	4.61	0.69
T3	R2	3.58	0.79
T3	R3	3.75	0.59
T4	R1	8.12	0.82
T4	R2	8.25	0.78
T4	R3	8.23	0.79

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

En el cuadro 36 se observa una gran variación en los valores de pH con respecto a los tratamientos, la zeolita y arena verde acondicionada tiene un pH ácido debido a que los estándares utilizados fueron diluidos en ácido nítrico, esto hace que su pH sea bajo. En el T4 (ruminal health) se observa un pH elevado, debido a que está compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos, que al disociarse hace que tenga un pH ligeramente alcalino.

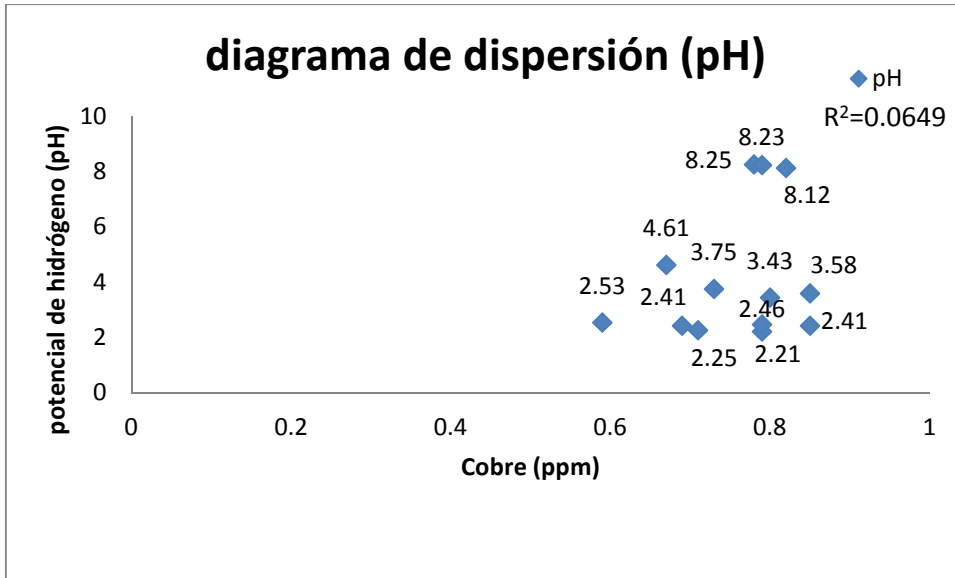


Figura 13. Correlación entre la concentración de Cobre y el pH del agua

Cuadro 37. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y el pH del agua

	ppm	pH
ppm	1	
pH	0.25472441	1

En la figura 13 y cuadro 37 se observa la correlación que existe entre la concentración del Cobre y el pH, esto indica que es directa y tiene relaciones relativamente baja con una $R^2 = 0.0649$.

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

Cuadro 38. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.E del agua

Tratamientos	Repeticiones	C.E ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Cobre (ppm)
Testigo		0.20	0.8
T1	R1	7.22	0.79
T1	R2	4.29	0.85
T1	R3	6.64	0.71
T2	R1	5.12	0.67
T2	R2	4.98	0.85
T2	R3	4.01	0.73
T3	R1	0.10	0.69
T3	R2	0.17	0.79
T3	R3	0.15	0.59
T4	R1	3.46	0.82
T4	R2	3.75	0.78
T4	R3	1.98	0.79

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

En el cuadro 38 se observa que la conductividad eléctrica tiene una considerable variación (entre 0.10 y 7.22 $\mu\text{S}/\text{cm}$), los valores aumentan y disminuyen ante la presencia de los cuatro materiales, en el tratamiento de zeolita y arena verde acondicionada se aprecia un valor alto de alto de C.E, esto se debe a que en su estructura contiene cationes que pueden ser liberados y al ponerlos en solución reaccionan formando sales que probablemente eleve la conductividad eléctrica. Una explicación similar puede darse en el ruminal health ya que esta compuesto a base de minerales, probióticos, enzimas, aminoácidos, detoxificadores y protectores hepáticos que al descomponerse puede reaccionar formando sales y elevar la conductividad eléctrica.

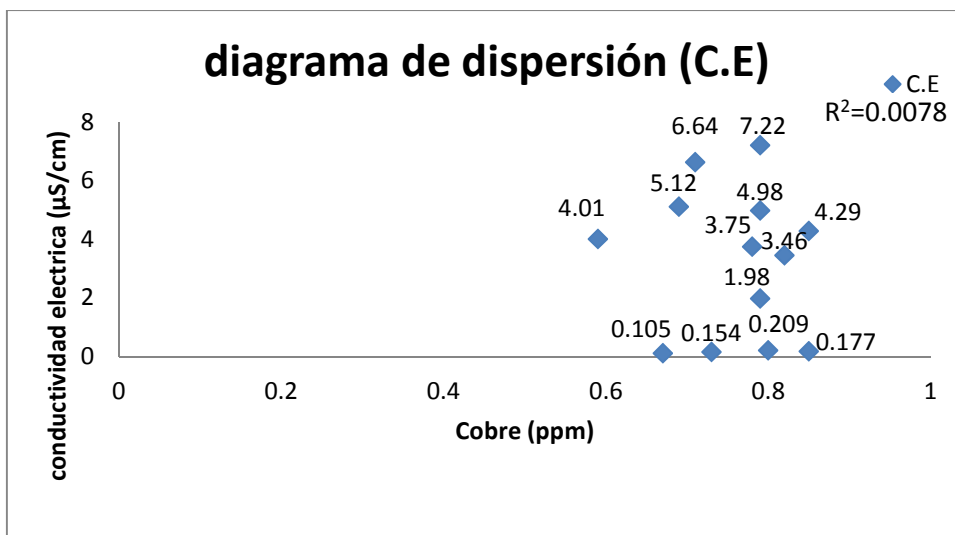


Figura 14. Correlación de la concentración de Cobre y la C.E del agua

Cuadro 39. Coeficiente de correlación de la concentración de Cobre y la C.E del agua

	ppm	C.E
ppm	1	
C.E	-0.08847157	1

En la figura 14 y cuadro 39 se aprecia la correlación que existe entre la concentración del Cobre y la C.E, esto indica que es inversa y tiene relaciones prácticamente nula con una R²= 0.0078.

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

Cuadro 40. Resultados de la evaluación de los tratamientos en relación a la concentración de Cobre y la C.I.C

Tratamientos	Promedios	C.I.C (meq/100)
Zeolita acondicionada	0.78	3
Arena verde acondicionada	0.75	6
Arena verde	0.69	10
Ruminal health	0.79	13

El cuadro 40 muestra una variación irregular con respecto a la C.I.C, esto se debe a las diferentes composiciones químicas que tiene cada material, 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 eléctrica mayormente negativa.

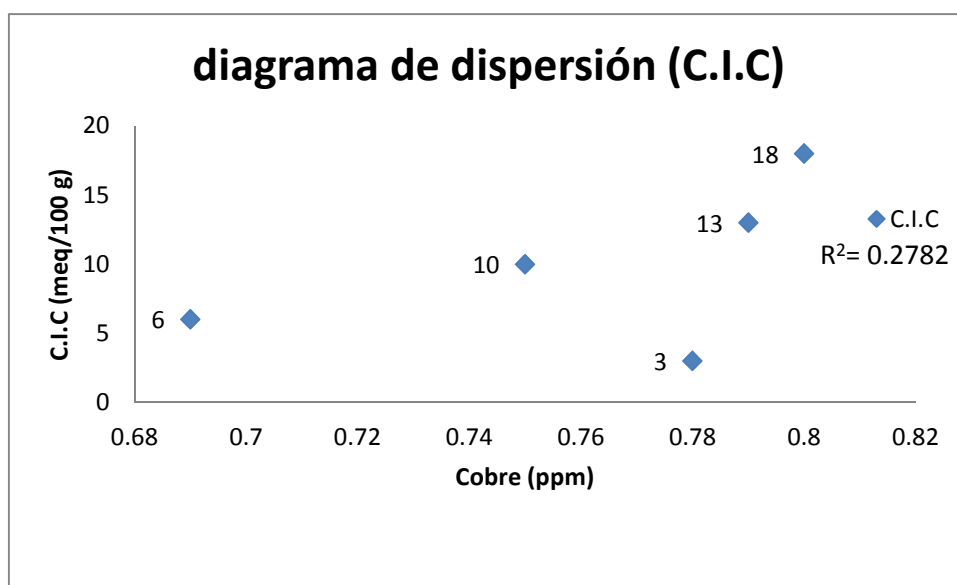


Figura 15. Correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C

Cuadro 41. Coeficiente de correlación entre la concentración de Cobre y la C.I.C

	ppm	C.I.C
ppm	1	
C.I.C	0.52742418	1

En la figura 15 y cuadro 41 se observa la correlación que existe entre la concentración del cobre y la C.I.C, esto indica que es directa y tiene relaciones relativamente moderada con una $R^2 = 0.2782$.

V. CONCLUSIONES

1. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción del Plomo del agua fue el T4 (ruminal health) ya que adsorbió 0.13 ppm que corresponde al 65 % de adsorción del Plomo del agua con un tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.2 ppm.
2. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción del Plomo del agua fue el T4 (ruminal health) que adsorbió 0.34 ppm que corresponde a 86.5 % del Plomo con un tiempo de retención de 30 minutos y con un concentración de 0.4 ppm.
3. De los tratamientos evaluados el más eficiente para la remoción de Cobre del agua fue el T4 (ruminal health) que adsorbió 0.10 ppm que corresponde al 25.75 % de la concentración de Cobre con un tiempo de retención de 30 minutos y una concentración de 0.4 ppm.
4. En el segundo experimento, de los tratamientos evaluados el material más eficiente para la remoción de Plomo en el agua, fue el T3 (arena verde) que adsorbió 0.29 ppm que corresponde al 36.62 % de la concentración de Plomo con tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm.
5. En el segundo experimento, de los tratamientos evaluados el material más eficiente para la remoción de Cobre en el agua, fue el T3 (arena verde) que adsorbió 0.11 ppm que corresponde al 13.75 % de concentración del Cobre con una tiempo de retención de 15 minutos y una concentración de 0.8 ppm.
6. Para remover el Plomo del agua el mejor tratamiento fue el T4 (ruminal health) con una concentración de 0.4 ppm con un tiempo de retención de 30 minutos.

Para disminuir la concentración de Cobre en el agua el T3 (ruminal health) fue el mejor tratamiento para una concentración de 0.8 ppm y un tiempo de retención de 15 minutos.

7. El tratamiento ruminal health disminuyo las concentraciones de Plomo, sin embargo, no fue suficiente para estar por debajo de los límites máximos permisibles que establece la NOM-127-SSA-1994 (0.025 mg/l), OMS (0.01 mg/l) y la EPA (0.01 mg/l), el cual presento una concentración de 0.06 ppm de Plomo en el agua.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, V. y C. Lodeiros 2004. "Metales pesados en la almeja tivala mactroides born, 1778 (bivalvia: veneridae) en localidades costeras con diferentes grados de contaminación en Venezuela." *Ciencias marinas* 30: 323-333.
- Adrian, A., S. Carolina, A. Catalina y R. Fernando 2003. "Impacto de un sistema intensivo de producción de carne vacuna y sobre algunas propiedades del suelo y del agua." *ria* 3: 27-56.
- Alcalá, J., M. Sosa, M. Moreno, J. C. Rodríguez, C. Quintana, C. Terrazas y O. Rivero 2009. "Metales pesados en suelo urbano como un indicador de la calidad ambiental: ciudad de Chihuahua, México." *Multequina* 18: 53-69.
- Amaya, O. M., J. L. V. García, E. A. Félix, M. T. C. Barragan y F. J. A. Tapia 2008. "Biosorción de cobre en sistema por lote y continuo con bacterias aerobias inmovilizadas en zeolita natural (clinoptilolita)." *Revista internacional de contaminación ambiental* 24: 107-115.
- Arriagada, R., R. García y R. Cid 1991. "Retención de cromo y mercurio con zeolitas naturales y sintéticas." *Facultad de ciencias químicas* 1: 213-218.
- Bermea, O. M. 2006. "Contenido de metales pesados en suelos superficiales de la ciudad de México." *Revista especializada en ciencias químico-biológicas* 9: 45-47.
- Campas, M. E. C., A. G. Álvarez, M. Q. Núñez y J. V. Salazar 2013. "Evaluación de la calidad del aire respecto de partículas suspendidas totales (PST) y metales pesados (Pb, Cd, Ni, Cu, Cr) en la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, durante un periodo anual." *Revista internacional de contaminación ambiental* 29: 269-283.

Carbyfilco 2009. "Arena de sílice." Especificaciones y ficha técnica.

Carrillo, J. L. R. y R. O. Gallard 2012. "Utilización de las abejas melíferas para monitorear metales pesados en el aire." *Apicultura sin fronteras* 6: 1-5.

Cartaya, O. E., I. Reynaldo, C. Peniche y M. L. Garrido 2011. "Empleo de polímeros naturales como alternativa para la remediación de suelos contaminados por metales pesados." *Revista internacional de contaminación ambiental* 27: 41-46.

Celaya, J. A. V., E. A. G. Galindo y G. F. Muñoz 1997. "MATERIALES PESADOS EN FRACCIONES GEOQUÍMICAS DE SEDIMENTOS DE LA REGIÓN FRONTERIZA DE BAJA CALIFORNIA, MÉXICO, Y CALIFORNIA, EUA." *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* 23: 43-70.

Cervantes, C., A. E. Saldaña, F. A. Aguilar, I. L. Rodríguez, M. R. Cano, M. A. Rodríguez, K. W. Kaczmarczyk, K. W. Zasada, J. G. Corona, J. R. Zavala y R. M. Sánchez 2006. "interacciones microbianas con metales pesados." *Revista latinoamericana de Microbiología* 48: 203-210.

Cuevas, G. y I. Walter 2004. "Metales pesados en maíz (*Zea mays* L.) cultivado en un suelo enmendado con diferentes dosis de compost de lodo residual." *Revista internacional de contaminación ambiental* 2: 59-68.

Cuizano, N. A. y A. E. Navarro 2008. "Biosorción de metales pesados por algas marinas: posible solución a la contaminación a bajas concentraciones " *Real sociedad española de química* 104: 120-125.

- Cherni, J. A. 2001. "La globalización de la insalubridad y la contaminación del aire urbano." *Revista latinoamericana de estudios urbanos regionales* 27: 1-28.
- Dcm 2012. "Ficha técnica ruminal health " *Nutrition & pharma* 1-2.
- Ferreyra, H. 2011. "Municiones de plomo y contaminación: un viejo problema mundialmente conocido pero localmente desatendido." *Hornero* 26: 65-72.
- Gaviria, Carlos, Muñoz, Juan, González y Gabriel 2012. "Contaminación del aire y vulnerabilidad de individuos expuestos: en caso de estudio para el centro de Medellín " *Revista facultad nacional de salud pública* 30 316-327.
- Giraldo, L. F. G., E. A. M. Franco y J. J. S. Arango 2001. "La foto catálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales." *Revista lasallista de investigación* 1: 83-92.
- González, M., J. A. Banderas, C. Raya, A. Báez y R. Belmont 1997. "Cuantificación de plomo, cadmio y cromo mediante sialoquímica." *Salud pública de México* 39: 179-186.
- González, M. C. y N. H. Campos 2004. "Efecto del cadmio y el cobre sobre el flujo de nitrógeno y fósforo en la interface agua-sedimento en una laguna costera tropical." *Revista de la academia colombiana de ciencia* 28: 535-543.
- González, S. 1986. "Contenido natural de metales pesados extraíbles con edta en suelos del valle aconcagua " *Agricultura tecnica (Chile)* 46: 323-327.
- Gutiérrez, R. C., M. Izquierdo, R. c. Lozano y Hardisson 2004 "El plomo como contaminante " *Revista de toxicología* 21: 72-80.

- Guzmán, M. R. y G. A. Prieto 2012. "Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo " Revista-escuela de administración de negocios 1: 66-75.
- Hernández, A. L. B., D. A. Gutiérrez, O. J. d. Blas, M. S. Guervós y B. d. M. Manzano 1998. "Estudio de los niveles de plomo, cadmio, zinc y arsénico, en aguas de la provincia de salamanca." Revista española de salud pública 72: 53-65.
- Holguín, C., H. Rubio, M. Olave, R. Saucedo, M. Gutiérrez y R. Bautista 2006. "Calidad del agua del río conchos en la región de ojinaga, chihuahua: parámetros fisicoquímicos, metales y metaloides." Revista universidad y ciencia 22: 51-63.
- Krause, K. M. y G. R. Oetzel 2006. "Understanding and preventing subacute ruminal acidosis in dairy herds." Animal feed science and technology 126: 215-236.
- Márquez, A., W. Senior y G. Martínez 2000. "Concentraciones y Comportamiento de Metales Pesados en una Zona Estuarina de Venezuela." Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal 25: 284-291.
- Martín, M. I., F. A. López, A. L. Delgado, C. Pérez y F. J. Alguacil 2004. "Posibilidades sobre el uso de residuos de la industria del acero en la eliminación de metales de efluentes líquidos." Revista de metalurgia 40: 324-328.
- Martínez, S. L., M. E. G. Martínez, L. J. P. Flores y M. G. Rojas 2005. "Mecanismos de fitorremediación de suelos contaminados con moléculas

orgánicas xenobióticas " Revista internacional de contaminación ambiental
21: 91-100.

Monroy, M., F. Barriga, I. Razo y L. Carrizales 2002. "Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgo en salud en villa de la paz-matehuala, S.L.P." Instituto de Metalurgia, U.A.S.L.P. 1: 1-7.

Murillo, H., Jorge, R. Román y Susana 2010. "Validación de un método de análisis para la determinación de metales pesados en partículas PM10 colectadas en aire ambiente." Tecnología en marcha 23: 33-46.

Nieto, E. G., L. C. Yañez, L. J. Santacruz, E. G. Gallegos, E. H. Acosta, E. B. Corona y O. G. V. Cuecuecha 2011. "Plomo y arsénico en la subcuenca del alto atoyac en tlaxcala, México." Revista chapingo serie ciencias forestales y del ambiente 17: 7-17.

Ortiz, B. A. M., A. C. Chávez, M. G. M. Fernández y G. Levresse 2012. "Influencia del pH y la alcalinidad en la adsorción de As y metales pesados por oxihidróxidos de Fe en jales mineros de tipo skarn de Pb-Zn-Ag." Revista mexicana de ciencias geológicas 29: 639-648.

Osuna, F. P., G. I. Fierro, R. I. G. Meza, F. G. Farias y J. I. O. López 1988. "Metales pesado en cuatro especies de organismos filtradores de la región costera de Mazatlan: técnicas de extracción y niveles de concentración " Contaminacion ambiental 4: 33-41.

Paris, C., H. Hadad, M. A. Maine y N. Suñe 2005. "Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados." Limnetica 24: 237-244.

- Pavón, T. B., E. Campos y M. T. Olgún 2000. "Remoción de Níquel, Cadmio y Zinc del agua, utilizando clinoptilolita heulandita." *Revista científica multidisciplinaria de la Universidad Autónoma del Estado de México* 7: 251-258.
- Pérez, G. R. 1999. "Los macroinvertebrados y su valor como indicadores de la calidad del agua." *Revista de la academia colombiana de ciencia* 23: 375-387.
- Placeres, M. R., F. D. Olite y M. Á. Toste 2006. "La contaminación del aire: su repercusión como problema de salud." *Revista cubana de higiene y epidemiología* 44: 1-14.
- Puga, S., M. Sosa, T. Lebgue, C. Quintana y A. Campos 2006. "Contaminación por metales pesados en suelos provocados por la industria minera." *Ecología aplicada* 5: 149-155.
- Querol, X. 2008. "Calidad del aire, partículas en suspensión y metales." *Revista española de salud pública* 82: 447-457.
- Ramos, R. L., M. A. S. Castillo, M. V. H. Sánchez y R. M. G. Coronado 2001. "Remoción de metales pesados de solución acuosa por medio de clinoptilolitas naturales." *Revista internacional de contaminación ambiental* 17: 129-136.
- Renner, R. 2010. "Algo no está a plomo. cuando el tratamiento del agua causa contaminación con plomo." *Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal* 52: 170-177.

- Rico, L. G. y M. E. J. Marini 1996. "Aplicación de microondas en la digestión de hígado de bovino para la cuantificación de metales pesados." *Revista internacional de contaminación ambiental* 1: 41-44.
- Rodríguez, N. J. M. y R. Á. León 2006. "Estado del conocimiento de las concentraciones de mercurio y otros metales pesados en peces dulceacuícolas de Colombia." *Acta biológica colombiana* 11: 3-23.
- Saa, G. R., J. A. R. Victoria y R. M. Molina 2011. "Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: perspectivas para Colombia " *Acta agronómica* 60: 203-218.
- Sabath, H. y M. L. R. Osorio 2012. "Medio ambiente y riñon: nefrotoxicidad por metales pesados " *Revista nefrología* 32: 279-286.
- Siebe, C. 1994. "Acumulación y disponibilidad de metales pesados en suelos regados con aguas residuales en el distrito de riego 03, tula, hidalgo, México." *Revista internacional de contaminación ambiental* 10: 15-21.
- Tamayo, J. L. G., L. H. Cadena, M. M. T. Rojo, A. d. S. M. García, M. S. González, M. H. Avila y H. Hu 2003. "Exposición al plomo y su relación con el tiempo requerido para embarazo." *Salud pública de México* 45: 189-195.
- Toriz, E. D. R., F. d. J. C. Córdova y M. A. S. Herrera 2006. "Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa " *Revista ingenierías* 9: 59-64.
- Ucla 2003. "Sílice y silicosis." *Occupational safety y health program*: 1-2.

- Vázquez, M. V., F. H. Luis, M. Lemus y C. D. Arbelo 2004. "Análisis integral del proceso de electro-remediación de Andisoles contaminados por metales pesados." *Portugaliae electrochimica acta* 22: 387-398.
- Vilar, S., A. Gutiérrez, J. Antezana, P. Carral y A. Álvarez 2003. "Estudio comparativo de diferentes métodos de extracción secuencial para metales pesados en suelos." *Boletín geológico y minero* 114: 453-461.
- Villanueva, S., A. V. Botello y F. P. Ozuna 1988. "Evaluación de algunos metales pesados en organismos del río coatzacoalcos y de la laguna del ostion, ver., mexico." *Revista de contaminación ambiental* 4: 19-31.
- Vullo, D. L. 2003. "Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente." *Revista química viva* 3: 93-104.
- Zamudio, F. M., J. L. V. García, S. A. Salinas y D. M. Figueroa 2009. "Adsorción de arsénico en zeolita natural pretratada con óxidos de magnesio." *Revista internacional de contaminación ambiental* 25: 217-227.