

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DISMINUCIÓN DE LA CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN EL SUELO CON LA  
TÉCNICA DE ELECTROREMEDIACIÓN EN UNA CELDA CONSTRUIDA EN EL  
LABORATORIO**

**POR**

**EUGENIA PÉREZ RAMOS**

**T E S I S**

**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL**

**TÍTULO DE:**

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO**

**MAYO DE 2017**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

TESIS DEL C. **EUGENIA PÉREZ RAMOS**, QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACION DEL H. JURADO EXAMINADOR COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

**PRESIDENTE:**

\_\_\_\_\_  
DR. ANSELMO GONZALEZ TORRES

**VOCAL:**

\_\_\_\_\_  
ING. JOEL LIMONES AVITIA

**VOCAL:**

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

**VOCAL:**

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

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

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARREAS AGRONÓMICAS**

**TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.**

**MAYO DE 2017.**



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

Disminución de la concentración de plomo en el suelo con la técnica de electroremediación en una celda construida en el laboratorio.

POR:

**EUGENIA PÉREZ RAMOS**

TESIS:

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

**INGENIERO EN PROCESOS AMBIENTALES**

REVISADA POR EL COMITÉ ASESOR:

ASESOR PRINCIPAL: \_\_\_\_\_

DR. ANSELMO GONZÁLEZ TORRES

ASESOR: \_\_\_\_\_

ING. JOEL LIMONES AVITIA

ASESOR: \_\_\_\_\_

DR. MARIO GARCÍA CARRILLO

ASESOR: \_\_\_\_\_

DR. ALFREDO OGAZ

M.E. VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

**COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

TORREÓN, COAHUILA, MÉXICO.

MAYO DE 2017.



## **AGRADECIMIENTOS**

### **AGRADEZCO A TI DIOS.**

Por ayudarme a terminar este proyecto, gracias por darme la fuerza y el coraje para hacer este sueño realidad, por estar conmigo en cada momento de mi vida. Por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por bríndame una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

### **DR. ANSELMO GONZÁLEZ TORRES.**

Por la orientación y ayuda que me brindo para la realización de esta tesis, por su apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más que lo estudiado en el proyecto.

### **AL ING. JOEL LIMONES AVITIA, DR. MARIO GARCÍA CARRILLO Y AL DR. ALFREDO OGAZ**

Por su apoyo que me brindaron para la realización de esta tesis.

### **JUAN CARLOS MEJÍA CRUZ**

Por darme siempre ánimos y por brindarme material para la elaboración del proyecto.

### **MARÍA ISABEL BLANCO CERVANTES Y PERLA KRYSTAL LOZANO OROPEZA**

Por siempre darme ánimos, consejos, apoyo y amistad que me permitieron aprender mucho más.

### **SILVERIO ÁLVAREZ VALADEZ**

Por darme siempre ánimos, consejos y amistad que me permitieron aprender mucho más.

Al departamento de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro de Torreón Coahuila, por permitirme el uso de sus laboratorios.

### **A TODOS MIS PROFESORES**

De la licenciatura en Ingeniero en Procesos Ambientales que me enseñaron de la profesión como de la vida, impulsándome siempre a seguir adelante.

### **JORGE MEZA VELÁZQUEZ**

Por brindarme material para hacer los análisis para la elaboración del proyecto y aprender mucho más.

## **DEDICATORIAS**

### **EN PRIMER LUGAR A DIOS,**

Que me ha brindado una vida llena de alegrías y aprendizaje, permitiéndome vivir una muy grata experiencia en mi etapa universitaria.

### **A MIS PADRES CANDELARIA RAMOS CRUZ Y ARMIN PÉREZ SANTIZO**

Que siempre me han apoyado, guiado y cuidado con mucho amor. Gracias de corazón por todas las oportunidades que me han brindado.

### **A MIS HERMANAS CIELO YOANA PÉREZ RAMOS Y CLAUDIA PAOLA PÉREZ RAMOS**

Que nunca titubearon para ayudarme y apoyarme en todo momento. Gracias por sus tiempos, sus consejos, sus apoyos incondicionales y sus cariños.

### **A MIS AMIGAS (OS)**

Que siempre estuvieron a un lado mío para ayudarme, escucharme, aconsejarme y en muchas ocasiones guiarme.

### **A MI AMIGA ANA KAREN TAPIA GUTIÉRREZ**

Por brindarme su amistad, ser mi compañera y hermana, apoyarme y aconsejarme.

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la disminución de la concentración de plomo en el suelo con la técnica de electroremediación en una celda construida en el laboratorio. Se construyó una celda con medidas de 20 x 10 x 5 cm obteniendo un volumen de  $1000\text{cm}_3$ , para la electroremediación del suelo contaminado por plomo. Las condiciones para realizar los experimentos fueron aplicando una corriente de 20 y 40 V, con un amperaje de 1 y 2, utilizando como solvente agua destilada y ácido acético por un tiempo de 24 horas. Los resultados de la concentración de Plomo en suelo, de los 9 experimentos realizados, solo 2 de los tratamientos obtuvimos mejores resultados de concentración del metal. En el experimento E aplicando un voltaje de 20, 2 Amper, con agua destilada fue posible la remoción del Plomo y el experimento H aplicando un voltaje de 40, 1 Amper, con ácido acético fue posible la remoción del Plomo. La mejor diferencia entre la sección con menor concentración y la de mayor concentración fue en el experimento H con un voltaje de 40 y 2 Amper, utilizando como solvente ácido acético con un tiempo de 24 horas con una diferencia de 469 ppm.

**Palabras Clave:** contaminación de suelos, metales pesados, plomo, electroremediación, tecnologías de remediación.

## INDICE.

### Contenido

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIAS</b> .....	iii
<b>RESUMEN</b> .....	iv
<b>INDICE</b> .....	v
<b>Índice de figuras</b> .....	vii
<b>Índice de tabla</b> .....	ix
<b>I.- INTRODUCCION</b> .....	1
<b>II.- OBJETIVO</b> .....	4
<b>2.1- OBJETIVO ESPECIFICO.</b> .....	4
<b>2.2- HIPÓTESIS</b> .....	4
<b>III.- REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	5
<b>3.1- ANTECEDENTE</b> .....	5
<b>3.2.- SUELO</b> .....	6
<b>3.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELO</b> .....	7
<b>3.3.1.- SUELOS ARCILLOSOS</b> .....	7
<b>3.3.2- SUELOS LIMOSOS.</b> .....	8
<b>3.3.3.- SUELOS ARENOSOS.</b> .....	8
<b>3.3.4.- SUELOS MARGOSOS.</b> .....	9
<b>3.3.5.-SUELOS GREDOSOS</b> .....	9
<b>3.3.6.-SUELOS PANTANOSOS</b> .....	9
<b>3.4.- METALES PESADOS</b> .....	9
<b>3.5.-NIVELES DE PLOMO EN NIÑOS</b> .....	12
<b>3.6.- ANTECEDENTES DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SUELO</b> .....	13
<b>3.7.- IMPACTO AMBIENTAL</b> .....	14
<b>3.8.- PLOMO</b> .....	16
<b>3.9.- TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN</b> .....	18
<b>3.9.1.- BIORREMEDIACIÓN</b> .....	18
<b>3.10.- FITORREMEDIACIÓN</b> .....	18
<b>3.10.1.- FITOEXTRACCIÓN</b> .....	19
<b>3.10.2.- FITOESTABILIZACIÓN.</b> .....	19

3.10.3.- FITOINMOVILIZACIÓN.....	19
3.10.4.- FITOVOLATILIZACIÓN. ....	19
3.10.5.- FITODEGRADACIÓN.....	20
3.10.6.- RIZOFILTRACIÓN. ....	20
3.11.- ELECTROBIORREMEDIACIÓN .....	20
3.12.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE ELECTRORREMEDIACIÓN .....	21
3.13.- CELDAS DE ELECTROQUÍMICAS.....	24
3.13.1.- TIPOS DE CELDAS.....	24
3.13.2 CELDA ELECTROLITICA.....	24
IV.- MATERIALES Y METODOS .....	26
4.1.- LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.....	26
4.1.1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMARCA LAGUNERA .....	26
4.1.2.- LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA .....	26
4.1.3.- LOCALIZACION DE LA MUESTRA .....	27
4.2.- DISEÑO EXPERIMENTAL .....	27
4.2.1.- PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS .....	27
4.3.- ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO.....	30
4.4.- CONTAMINACIÓN Y ELECTRORREMEDIACIÓN DEL SUELO .....	34
4.5.- DIGESTIÓN.....	36
V.- RESULTADOS .....	40
5.1. DIFERENCIA ENTRE SECCIONES DENTRO DE CADA CELDA DEL EXPERIMENTO.....	49
VI.- DISCUSIÓN .....	51
VII.- CONCLUSION .....	53
VIII.- RECOMENDACIONES.....	55
IX.- LITERATURA CITADA.....	56

## Índice de figuras

<b>FIG 1 Muestreo de suelo .....</b>	<b>28</b>
<b>FIG 2. Muestras de suelo tamizadas .....</b>	<b>30</b>
<b>FIG 3. Muestra de suelo para la digestión.....</b>	<b>30</b>
<b>FIG 4. Muestra de suelo con ácido nítrico.....</b>	<b>31</b>
<b>FIG 5. Muestras de suelo en baño maría.....</b>	<b>31</b>
<b>FIG 6. Muestras en proceso de agitación.....</b>	<b>32</b>
<b>FIG 7. Filtrado de muestras .....</b>	<b>33</b>
<b>FIG 8. Muestras para análisis de Plomo.....</b>	<b>33</b>
<b>FIG 9. Solución estándar 1000ppm Pb .....</b>	<b>34</b>
<b>FIG 10. Contaminación y electrorremediación del suelo .....</b>	<b>35</b>
<b>FIG 11. Muestras de suelo remediado .....</b>	<b>35</b>
<b>FIG 12. Suelo tamizado para la digestión.....</b>	<b>36</b>
<b>FIG 13. Muestra de suelo para la digestión.....</b>	<b>36</b>
<b>FIG 14. Muestra con ácido nítrico .....</b>	<b>37</b>
<b>FIG 15. Muestra en baño maría .....</b>	<b>37</b>
<b>FIG 16. Muestra de suelo en proceso de agitación .....</b>	<b>38</b>
<b>FIG 17. Filtrado de muestras .....</b>	<b>38</b>
<b>FIG 18. Análisis de concentración de muestras .....</b>	<b>39</b>
<b>FIG 19. ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20, con un amperaje de 1 y el solvente utilizado fue agua destilada. ....</b>	<b>40</b>
<b>FIG 20ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada. ....</b>	<b>41</b>
<b>FIG 21Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético. ....</b>	<b>42</b>
<b>FIG 22Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada. ....</b>	<b>43</b>
<b>FIG 23Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético. ....</b>	<b>44</b>
<b>FIG 24Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada. ....</b>	<b>45</b>

<b>FIG 25Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético. ....</b>	<b>46</b>
<b>FIG 26Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada. ....</b>	<b>47</b>
<b>FIG 27Ppm de Plomo en suelo Electro remediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético. ....</b>	<b>48</b>

## Índice de tabla

Tabla 1. Análisis inicial de suelo.....	29
Tabla 2. Condiciones experimentales .....	39
Tabla 3. Experimento A ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20, con un amperaje de 1 y el solvente utilizado fue agua destilada. ....	40
<i>Tabla 4. Experimento C ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5. Experimento D Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 6. Experimento E Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada.....</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 7. Experimento F Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 8. Experimento G Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada.....</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 9. Experimento H Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 10. Experimento I Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 11. Experimento J Ppm de Plomo en suelo Electro remediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.....</i>	<i>48</i>
Tabla 12. DIFERENCIA ENTRE SECCIONES DENTRO DE CADA CELDA DEL EXPERIMENTO .....	54

## I.- INTRODUCCION

El suelo es el cimiento sobre el que ocurre un sin fin de fenómenos físicos, químicos y biológicos. Es el resultado de la constante interacción de la litósfera con la hidrósfera y la atmósfera, convirtiéndose así, en uno de los más importantes sistemas naturales encargados de mantener el ecosistema en un constante y deseable equilibrio que garantice la supervivencia de la vida en el planeta (Reyes Guzmán y Avendaño Prieto, 2012).

La contaminación de suelos es un problema muy serio, debido a que los contaminantes pueden ser absorbidos por las plantas y trasladados a los animales y a las personas a través de la cadena alimenticia (Sauerbeck, 1982).

La contaminación de suelos con metales pesados ha sido ampliamente documentada y se han desarrollado diferentes tecnologías para eliminar o reducir esos problemas (Miteva *et al.*, 2000).

Las fuentes antropogénicas de las que provienen los metales pesados contenidos en la capa superficial del suelo, están dadas por deposiciones atmosféricas, escorrentía de aguas contaminadas, riego con aguas residuales, acumulación de desechos y basuras y el uso inadecuado en la agricultura de fertilizantes, plaguicidas y productos similares. Debido a su fuerte sorción a la materia sólida, estos elementos se acumulan fácilmente y muchas veces sus niveles tóxicos son alcanzados y en algunos casos excedidos (Guzmán. y Prieto., 2012.).

La Electrorremediación es una tecnología en desarrollo que aprovecha las propiedades conductivas del suelo y tiene como objetivo separar y extraer contaminantes orgánicos (hidrocarburos) e inorgánicos (metales) de suelos, lodos y sedimentos, con el uso de un campo eléctrico que permite remover las especies cargadas (iones). La Electrorremediación implica la aplicación al suelo contaminado de una corriente directa de bajo voltaje o un gradiente de potencial bajo a través de

un electrodo positivo (ánodo) y uno negativo (cátodo) para separar el contaminante (Lorena. y Antonio., 2003).

La distribución de varias formas de metales pesados en el suelo depende de la interacción que éstos sostengan con las distintas fases del suelo, como son los minerales de arcilla, óxidos de Fe, Mn, Al y carbonatos. Sin embargo, los factores que tiene influencia significativa son el pH del suelo, la calidad y en menor grado el contenido de materia orgánica.

La dificultad de los estudios geoquímicos radica en que la asociación metal-materia orgánica es compleja, considerando que los metales no necesariamente permanecen fijos, sino que también pueden ser removilizados por una nueva suspensión física, removilización geoquímica de materia orgánica, disolución de óxidos de Fe-Mn, biometilación y otros procesos biológicos dependientes de las condiciones del medio (Rodríguez *et al.*, 2008.).

El aumento en el desarrollo de las actividades industriales en el mundo ha derivado un problema ambiental asociado a sus efluentes residuales. Uno de los grupos de contaminantes contenidos en estos y que ha captado en mayor medida la atención de la comunidad ambiental son los metales pesados. Los metales pesados son potencialmente devastadores para el ambiente ya que contaminan el aire, el agua y la tierra, utilizados por las plantas y los demás eslabones de las cadenas tróficas, incluso para el ser humano en el cual se producen enfermedades letales por este tipo de contaminación (Lugo-Lugo *et al.*, 1012).

La concentración de metales pesados en el suelo depende básicamente de la forma en que estos elementos se muevan dentro del sistema natural. Los mecanismos de movilidad, transporte y distribución están íntimamente ligados con la forma química y con las interacciones fisicoquímicas que estos metales sostengan con las demás especies del medio. Estos mecanismos básicamente son: procesos de dilución, adsorción, precipitación, oclusión, migración, acomplejamiento, difusión en los

minerales, unión con constituyentes orgánicos, absorción por la microbiota y volatilización, entre otros (Paradelo *et al.*, 2011.).

Numerosos estudios se han llevado a cabo para identificar los efectos de los metales pesados en plantas cultivadas y en algunas especies consideradas como hiperacumuladoras. Sin embargo, pocos esfuerzos se han dedicado a la evaluación de los efectos de los metales pesados en poblaciones vegetales nativas y sus efectos colaterales en los ecosistemas y la diversidad genética y biológica (Landeros-Márquez *et al.*, 2010).

El plomo (Pb) es un contaminante ambiental mayor y altamente tóxico para el hombre. Su presencia en el ambiente se debe principalmente a actividades antropogénicas como la industria, minería, fundición y al uso que se dio de gasolinas con plomo (Chaney y Ryan, 1994).

El plomo es un metal usado en numerosos tipos de actividades industriales, como reparación de radiadores, fabricación de acumuladores, pinturas, barnices, cobertura de cables y soldaduras. En países como México se utiliza barnices con plomo para vidriar diferentes tipos de cerámica; otro uso es como antidetonante en la gasolina. El plomo no cumple ninguna función vital en el organismo humano y resulta tóxico incluso en dosis bajas, dando lugar a efectos agudos y crónicos (DeSilva, 1981; Télles-Rojo *et al.*, 2006.).

La Nom-147-SEMARNAT/SSA1-2004 que establece los criterios para determinar las concentraciones de remediación de suelo contaminado por plomo que es de 800 mg/kg por uso industrial (DOF., 2007.).

## **II.- OBJETIVO**

### **2.1- OBJETIVO ESPECIFICO.**

Evaluar la técnica de electro remediación de un suelo contaminado con plomo, en una celda construida en el laboratorio.

### **2.2- HIPÓTESIS**

La electrorremediación es una técnica eficiente para disminuir las concentraciones de Plomo que contamina el suelo.

### III.- REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1- ANTECEDENTE

En la ciudad de Torreón, Coahuila, se asienta desde hace más de 100 años la empresa metalúrgica MetMex, Peñoles, S.A. de C. V., la cual es considerada una de las empresas más grandes a nivel mundial en su género, siendo el complejo fundidor primario y secundario de plomo más grande de Latinoamérica y el cuarto a nivel mundial. Este complejo metalúrgico fue un productor importante de arsénico hasta 1976, año en que interrumpió esta rama productiva, y en los últimos 25 años ha desarrollado una capacidad industrial creciente en la producción de plata, zinc, cadmio, bismuto, entre otros metales (G. *et al.*, 2007).

La actividad industrial prolongada durante más de 100 años, de los cuales 80 fueron operados prácticamente sin control ambiental, así como la existencia de una legislación laxa, rezagada y con poca capacidad de operación y supervisión, provocó un impacto ambiental grave y de magnitud no bien estudiada, hasta 1995. Fue en este año, cuando se realizó un estudio de muestreo y determinación de plomo en los polvos de las principales rutas de auto-transporte a la planta y de las colonias aledañas a la metalúrgica exponiendo información valiosa sobre la magnitud de la contaminación en suelos y polvos de la ciudad (Benin *et al.*, 1999).

La empresa de Met-Mex Peñoles es una de las fundidoras más grandes en América Latina ocupando así el cuarto lugar a nivel mundial, esta fue establecida en la ciudad de Torreón en el año de 1901. Desde su fundación esta empresa ha emitido contaminantes al ambiente. El problema de la contaminación por metales pesados en la ciudad de Torreón, Coahuila se debe a tres principales elementos: plomo, cadmio y arsénico, los cuales son altamente dañinos para la salud humana sin embargo estudios, denuncias y acciones que se han realizado en torno a este problema ponen como al principal actor al plomo en 1999, cuando las autoridades dictaminaron que Peñoles es la principal emisor de este metal (F., 1999).

### 3.2.- SUELO

Un suelo contaminado puede definirse como aquel donde se encuentran presentes uno o más materiales peligrosos y/o residuos de toda índole y que pueden constituir un riesgo para el ambiente y la salud (Saval, 1999).

El suelo es alterado como resultado de las actividades mineras. Una de las anomalías biogeoquímicas que se generan al momento de la extracción, es el aumento de la cantidad de microelementos (Seoanes calvo, 1999).

La contaminación de un suelo supone en sí misma, una pérdida de un recurso natural, pero además los contaminantes pueden alcanzar determinados receptores produciendo efectos negativos en los mismos. De este modo surge el concepto de riesgo probabilidad de que un determinado fenómeno adverso ocurra, entonces, lo que se valora es la probabilidad de que la contaminación de un suelo produzca efectos en determinados receptores como son la salud humana y el medio ambiente (I.G.M.E., 1996).

en el suelo convirtiéndolos a niveles de macro elementos los cuales afectan negativamente la biota y calidad de suelo; estos afectan el número, diversidad y actividad de los organismos del suelo, inhibiendo la descomposición de la materia orgánica del suelo (H., 2003).

### **3.3.- CLASIFICACIÓN DE LOS SUELO**

Existen los siguientes tipos de suelos según (Seoanes calvo, 1999).

#### **3.3.1.- SUELOS ARCILLOSOS.**

Formados fundamentalmente por arcilla. La arcilla está constituida esencialmente por silicato de aluminio hidratado. Es un tipo de suelo que, cuando está húmedo o mojado, resulta pegajoso pero, cuando está seco es muy fino y suave dado que la arcilla está formada por partículas diminutas de menos de 0.005 milímetros de diámetro.

Desde un punto de vista de la textura, tiene consistencia plástica y puede ser modelado. Son suelos que, para la agricultura, se conocen como suelos húmedos y pesados. Son muy impermeables dado que no dejan pasar el agua o el aire, todo ello propicia que sean suelos donde el agua se estanque con facilidad por lo que en este tipo de suelo se necesita realizar un sistema de drenaje adecuado porque, después de las lluvias el agua queda retenida en la superficie. Presentan un color marrón oscuro.

Los suelos arcillosos, al secarse, quedan muy compactos y duros y se caracterizan por la aparición de grietas. La ventaja principal es que son suelos que conservan fácilmente la forma que se le da al trabajarlos.

Se trata de un suelo arcilloso, cuando tomamos un pedazo del mismo en las manos, se hace fácilmente una bola. Igualmente, si colocamos un trozo de esta materia entre los dedos pulgar e índice y al trabajar con ambos dedos, se realiza cintas de hasta 5 cm con este tipo de tierra.

### **3.3.2- SUELOS LIMOSOS.**

Son suelos que contienen una proporción muy elevada de limo. Es un tipo de suelo muy compacto, sin llegar a serlo tanto como los arcillosos. Estos suelos resultan de la sedimentación de materiales muy finos arrastrados por las aguas o depositados por el viento. Suelen presentarse junto a los lechos de los ríos y son muy fértiles.

Se trata de suelos limosos porque, al igual que los arcillosos, permiten formar bolas aunque estas se rompen con facilidad. A diferencia de los arcillosos no permiten formar cintas entre los dedos.

### **3.3.3.- SUELOS ARENOSOS.**

El suelo arenoso está formado principalmente por arena. La arena son partículas pequeñas de piedra de carácter silicio con un diámetro entre (0.02 y 2) mm. A diferencia de la arcilla cuando esta húmeda o mojada no se engancha. Los suelos arenosos no retienen el agua que rápidamente se hunde a capas más profundas. Son suelos considerados secos en donde hay muy poca humedad. A diferencia de los suelos anteriores requieren un riego continuo y un trabajo constante para darle una forma determinada porque la pierden con facilidad. Presentan colores claros.

Sabemos que se trata de este tipo de suelo porque al coger un poco de él entre los dedos, somos incapaces de formar una bola. Este tipo de tierra, por mucho que lo manipulemos, seguirá estando suelto.

### **3.3.4.- SUELOS MARGOSOS.**

El suelo margoso es un suelo compuesto de arcilla, limo y arena con abundante cantidad de materia vegetal descompuesta (humus). Se trata de un suelo que presenta un color oscuro poco apelmazado y ligero. Podríamos decir que presenta las características positivas de los tres suelos anteriores: mantiene la suficiente humedad pero, al mismo tiempo, permite la permeabilidad hacia las capas inferiores. Es el tipo de suelo preferido por los jardineros.

### **3.3.5.-SUELOS GREDOSOS**

Un suelo gredoso es aquel que procede de la descomposición de las cretas o piedras calizas que contienen mucho carbonato cálcico. Es un tipo de tierra ligero y con un buen drenaje. Presenta un color marrón claro o blanquecino.

### **3.3.6.-SUELOS PANTANOSOS.**

Se considera que un suelo es pantanoso a aquel que se ha formado en lugares que se encuentran habitualmente inundados. Son suelos que tienen muy poca riqueza mineral y con una acidez muy elevada. Su color es negro.

## **3.4.- METALES PESADOS**

El término de metal pesado refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros (Constantino. *et al.*, 2004).

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Abollino. *et al.*, 2001).

Los metales pesados son sustancias propias de la naturaleza de peso molecular alto, muy difundidos y en muchos casos muy útiles, como por ejemplo, el plomo que se utiliza mucho para tubería, y el cadmio. Hablando ya de la contaminación, los metales pesados tienen efectos en la salud y afectan diferentes órganos (Romero Ledezma, 2009).

La disponibilidad de metales pesados (MP) y otros elementos químicos en el suelo es un fenómeno que no sólo es importante para los usos productivos del suelo, sino también para la protección de la superficie y los manantiales. La determinación de los niveles de MP en suelos es una de las cuestiones básicas para apoyar decisiones de manejo de riesgos en proyectos de restauración ambiental. La toxicidad potencial de un metal pesado en el suelo depende de su especialización y disponibilidad. El origen de elevados contenidos de metales pesados en suelos de forma natural es dependiente de la geoquímica de una región en particular (Kumar y Kumar, 2013).

Los metales pesados contribuyen fuertemente a la contaminación ambiental, la cantidad de metales disponibles en el suelo está en función del pH, el contenido de arcillas, contenido de materia orgánica, la capacidad de intercambio catiónico y otras propiedades que las hacen únicas en términos de manejo de la contaminación (Sébastien. *et al.*, 2000).

Los metales pesados, como el mercurio, el cadmio y el plomo, contenidos en estas mezclas, contaminan el ambiente acuático, atmosférico y terrestre, y provienen de actividades antropogénicas como la minería de oro y la fundición de metales, la producción química, la industria de cloro-álcali, la manufactura de cemento, los

residuos industriales, municipales y hospitalarios, las emisiones de los rellenos sanitarios, la agricultura y algunas prácticas forestales (A., 2002b).

El estudio de metales pesados toma interés debido al impacto ambiental por su grado de contaminación, potencial tóxico y de eco toxicidad (H., 2002).

Metales pesados como el Cd, Cu, Pb y Cr son importantes contaminantes ambientales particularmente en áreas con alta concentración urbana. La presencia de metales pesados en la atmósfera, suelo y agua puede causar serios problemas en todos los organismos y efectos bioacumulativos en especies, como es el caso de la vegetación (Suruchi., 2011).

A pesar del gran potencial de la fitorremediación y los muchos experimentos realizados para establecer una adecuada metodología, el empleo de plantas para la descontaminación de suelo está todavía en la fase de desarrollo; hay todavía una necesidad urgente de la investigación que apunte fundamentalmente al conocimiento de mecanismos implicados en el suelo y la deposición de los metales en la planta, así como proyectos de demostración para optimizar los procesos de fitorremediación y convencer a tomadores de decisión y al público sobre las ventajas de la técnica (Van Der Lelie *et al.*, 2005.).

Mencionan que excesivas concentraciones de metales en el suelo podrían impactar la calidad de los alimentos, la seguridad de la producción de cultivos y la salud del medio ambiente, ya que estos se mueven a través de la cadena alimenticia vía consumo de plantas por animales y estos a su vez por humanos (L. *et al.*, 1996).

La contaminación por metales pesados deriva de fuentes como la actividad agrícola e industrial y se convierte en uno de los principales problemas de salud en el mundo y sistemas ecológicos (Jorge. *et al.*, 2012).

### 3.5.-NIVELES DE PLOMO EN NIÑOS

En el año de 2001 se publican datos obtenidos en 1997 donde se presenta evidencia sólida que muestra que más del 90 % de los niños escolares residentes en una colonia aledaña a la empresa metalúrgica tienen niveles de plomo en sangre superiores a 10 mg/dL, el cual es el valor considerado como límite seguro por agencias internacionales (CDC, 1991) y aceptado por la actual normatividad mexicana (NOM-199-SSA1-2000). Estas evidencias provocan el surgimiento de interrogantes sobre la contaminación, en matrices ambientales que pudieran bosquejar el desarrollo de las rutas de exposición, que explicara la intoxicación por plomo en niños de la región y plantear así las medidas de intervención ambiental que conduzcan a la solución y/o mitigación del problema ambiental (G. *et al.*, 2001).

La concentración de plomo en la sangre promueve manifestaciones clínicas particulares donde la progresión de daños en los infantes inicia con concentraciones menores que en adultos (Maitreyi. *et al.*, 2011).

El plomo se absorbe por ingestión o por inhalación. La relación entre la exposición y los niveles de plomo sanguíneo constituye un proceso dinámico en el cual el plomo que se encuentra en la sangre representa el producto de exposiciones recientes, excreción y equilibrio con otros tejidos. Los niños que tienen deficiencias de hierro, proteínas, calcio y/o zinc, absorben con mayor facilidad el plomo, cuya mayoría se almacena en los huesos (Van Der Lelie *et al.*, 2005.).

### **3.6.- ANTECEDENTES DE CONCENTRACIÓN DE PLOMO EN SUELO**

A través de la historia y especialmente desde la Revolución Industrial, los hombres han producido contaminantes muy peligrosos, los cuales han sido gradualmente depositados en el ambiente (V., 1993).

Expresó que los altos niveles de metales tóxicos no biodegradables, encontrados en sectores urbanos, son el resultado de una actividad antropogénica indiscriminada. En la Antigüedad, el plomo era común y probablemente fue usado primero con propósitos cosméticos y para hacer adornos (L., 1960).

Los metales pesados, como el mercurio, el cadmio y el plomo, contenidos en estas mezclas, contaminan el ambiente acuático, atmosférico y terrestre, y provienen de actividades antropogénicas como la minería de oro y la fundición de metales, la producción química, la industria de cloro-álcali, la manufactura de cemento, los residuos industriales, municipales y hospitalarios, las emisiones de los rellenos sanitarios, la agricultura y algunas prácticas forestales (A., 2002a).

Como bien se mencionó, la actividad humana, a lo largo del último siglo es el principal precursor de la contaminación del medio en este caso hablaremos del suelo, debido a las actividades industriales, muchos de estos contaminantes entran al medio mediante, la combustión de combustible fósil, la minería y en los procesos de fundición (C. y S., 1991).

La minería es una actividad de gran importancia económica, sin embargo, en la mayoría de los casos se hace con muy poco seguimiento ambiental. Una de las consecuencias de la actividad asociada a la explotación de los recursos metálicos, es la producción de grandes cantidades de residuos que generan focos de emisión de contaminantes que pueden contener elementos potencialmente tóxicos, como los metales pesados, según los parámetros de la Environmental Protection Agency (EPA) de los Estados Unidos. En este caso, su peligrosidad es mayor debido a que no se han degradado o destruido, por lo que, una vez emitidos, pueden permanecer

en el ambiente durante muchos años, aumentar su concentración en los seres vivos y acumularse (Brian. *et al.*, 2010).

### **3.7.- IMPACTO AMBIENTAL**

El impacto ambiental de los contaminantes metálicos en suelos y sedimentos es estrictamente dependiente de la capacidad de acomplejamiento de éstos con componentes del medio ambiente y su respuesta a las condiciones fisicoquímicas y biológicas de su entorno. Los metales son especies químicas no degradables. Por tal motivo, una vez volcados al medio ambiente, sólo pueden distribuirse entre los entornos aire - agua - suelo, a veces cambiando su estado de oxidación, o incorporarse a los seres vivos.

Los procesos de adsorción y la formación de complejos en medios naturales son responsables de que la mayor parte de los vestigios de metales pesados se acumulen en los sólidos en suspensión, incorporándose rápidamente a los sedimentos, donde se presentan los mayores niveles de concentración de estos contaminantes. Como resultado de estas interacciones, los sedimentos juegan un papel muy importante en la regulación de la calidad del agua. Por su parte, las aguas intersticiales, en contacto directo con los sedimentos, actúan como fuente o sumidero de estos contaminantes y en ellas se observan concentraciones intermedias entre las aguas superficiales y los sedimentos (K. y R., 1998; Ruben. y Hans.,1997; S., 2000).

La relación entre la contaminación ambiental del As y el Pb y el potencial de riesgos para la salud humana de un sitio contaminado, puede ser estimada. El uso de metodologías de evaluación de riesgos permite establecer criterios preliminares para realizar una adecuada caracterización del riesgo ambiental; los cuales se basan en la importancia de recopilar y analizar la información existente del sitio contaminado y en construir su modelo conceptual (MC) (Chávez *et al.*, 2011).

El riesgo ambiental asociado a la contaminación de suelos se valora a partir de la concurrencia de tres factores: la concentración de contaminantes en el suelo, la exposición a la contaminación por diferentes vías y la toxicidad de las sustancias. Los suelos no contaminados tienen concentraciones de Pb inferiores a 50 mg kg<sup>-1</sup>, los que sí están contaminados en muchas áreas urbanas exceden los 200 mg kg<sup>-1</sup>, mientras que zonas próximas a las minas de plomo, a las industrias que emplean este metal y a las fundiciones pueden tener niveles de contaminación del suelo superiores de 60 000 mg kg<sup>-1</sup> (O., 1979).

Los elementos tóxicos, principalmente los metales pesados, se encuentran generalmente en bajas concentraciones en el medio ambiente, aunque, como resultado de actividades antropogénicas, sus niveles se han incrementado. Así, se considera que existe contaminación del suelo cuando la composición del mismo se desvía de su composición "normal", denominado nivel o fondo biogeoquímico. También se define la contaminación del medio como la presencia de algún constituyente, causado por la actividad humana, en una concentración tal que afecta negativamente a su funcionamiento y a los organismos vivos presentes en él.

Los metales pesados en el suelo, suponen un riesgo por: su lixiviación hacia aguas superficiales y subterráneas, absorción por las plantas, y finalmente, el paso a la cadena trófica. Cuando se dan niveles muy altos de biodisponibilidad, tanto los elementos esenciales (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo) como los no esenciales (Cd, Pb, Hg, Cr) pueden ser tóxicos. La amenaza que suponen para la salud humana y animal se agrava por su larga persistencia en el suelo. Para la descontaminación de elementos tóxicos en suelos se han empleado las técnicas de fitoextracción y fitoestabilización o fitoinmovilización (O. y Pilar., 2007).

### 3.8.- PLOMO

El plomo (del latín plumbum) se denomina con el símbolo Pb, es un metal gris, blando y maleable, presente de forma natural en la corteza terrestre. Es un catión divalente que se une fuertemente a los grupos sulfhidrilo de las proteínas (Herbert., 2004).

El plomo es un metal pesado, cristalino, de sabor ligeramente dulce, soluble en agua y extremadamente tóxico, que desde comienzos de la civilización ha sido un aditivo en la manufactura de numerosos productos comerciales como pinturas, tintes, soldaduras para envases metálicos de comestibles, como estabilizante en la fabricación de algunos tipos de plástico, en algunos tipos de gasolina, pero principalmente en la formación de la capa vidriosa de ciertos objetos de loza de barro, piezas de alfarería y cerámica (Helena. *et al.*, 1998).

El plomo es un metal pesado no esencial ya conocido en Egipto al menos 4.000 años antes de Cristo. Sus aleaciones con Sb y Sn se remontan a la antigüedad. Los efectos tóxicos del plomo fueron descritos hace más de 2000 años.

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. La clase dirigente romana padeció saturnismo debido a la conservación de ciertos alimentos en recipientes de cobre recubiertos interiormente con planchas de plomo (Rubio *et al.*, 2004.).

Su uso generalizado ha tenido gran impacto en la contaminación ambiental y, en consecuencia, un incremento considerable en su exposición a la población que ha generado graves problemas de salud pública. Entre las principales fuentes de contaminación ambiental destacan la explotación minera, metalurgia y en algunos países el uso persistente de pinturas, gasolinas y aditivos. Este metal también se utiliza en muchos otros productos de uso cotidiano (OMS., 2016).

Los niveles de Pb en el suelo pueden tener una influencia importante sobre la salud humana y la animal (I. *et al.*, 1990).

El plomo es nocivo para la mayor parte de los sistemas del cuerpo e interfiere con el metabolismo y la función celular. Las concentraciones elevadas de éste producen efectos dañinos sobre los sistemas hematopoyético, hepático, renal, reproductivo y gastrointestinal (J., 1990; K., 1990).

La exposición al plomo y la consecuente intoxicación constituyen un problema de salud pública en todo el mundo, particularmente en los países en desarrollo. El plomo no tiene ninguna función biológica en los organismos vivos; sin embargo, su utilización en diversas actividades humanas constituye una fuente de exposición para todos los grupos de edad tanto para los ocupacionalmente expuestos como para la población en general. El creciente interés que ha surgido en México con respecto al estudio y la prevención de los efectos adversos para la salud que ocasionan las fuentes potenciales de intoxicación por plomo, ha dado lugar a la realización de estudios epidemiológicos en los cuales se indican las concentraciones de plomo en sangre, así como los factores de riesgo para la población de la ciudad de México (Carlos. *et al.*, 1999).

### **3.9.- TECNOLOGÍAS DE REMEDIACIÓN**

Existen numerosas tecnologías de remediación de suelos contaminados que pueden clasificarse en 3 tipos: a) biológicos (biorremediación, bioestimulación, fitorremediación, biolabranza, etc.), en donde las actividades metabólicas de ciertos organismos permiten la degradación, transformación o remoción de los contaminantes a productos metabólicos inocuos; b) fisicoquímicos (electrorremediación, lavado, solidificación/ estabilización, etc.), aquí se toma ventaja de las propiedades físicas y químicas de los contaminantes para destruir, separar o contener la contaminación; y c) térmicos (incineración, vitrificación, desorción térmica, etc.), en los cuales se utiliza calor para promover la volatilización, quemar, descomponer o inmovilizar los contaminantes en un suelo (A. *et al.*, 2014).

#### **3.9.1.- BIORREMEDIACIÓN**

La biorremediación es un proceso biológico en donde diversos microorganismos (m.o.) degradan diversos contaminantes hasta compuestos no tóxicos presentes en suelo, agua o aire, trabajando de manera individual o coordinadamente (mediante sinergias), dentro de un consorcio microbiano (J. *et al.*, 2007).

La biorremediación se considera una alternativa económica, relativamente sencilla, ambientalmente amigable y aplicable a grandes áreas que permite, bajo condiciones ambientales y edáficas ideales, la mineralización completa de contaminantes a compuestos menos tóxicos o inocuos, como: CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (J. y C., 2000).

#### **3.10.- FITORREMEDIACIÓN**

La fitorremediación se define como el uso de plantas verdes para remover contaminantes del ambiente o transformarlos en compuestos menos tóxicos (D. y R., 1993).

La fitorremediación de suelos contaminados se basa en el uso conjunto de plantas, enmiendas del suelo y técnicas agronómicas para eliminar, retener, o disminuir la toxicidad de los contaminantes del suelo (L. *et al.*, 1997).

Estas fitotecnologías se pueden aplicar tanto a contaminantes orgánicos como inorgánicos, presentes en sustratos sólidos, líquidos o en el aire. Se distinguen:

#### **3.10.1.- FITOEXTRACCIÓN.**

Uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del suelo mediante su absorción y concentración en las partes cosechables.

#### **3.10.2.- FITOESTABILIZACIÓN.**

Uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio.

#### **3.10.3.- FITOINMOVILIZACIÓN.**

Uso de las raíces de las plantas para la fijación o inmovilización de los contaminantes en el suelo. Junto con la anterior son técnicas de contención.

#### **3.10.4.- FITOVOLATILIZACIÓN.**

Uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización, y para eliminar contaminantes del aire.

### **3.10.5.- FITODEGRADACIÓN.**

Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos.

### **3.10.6.- RIZOFILTRACIÓN.**

Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos.

### **3.11.- ELECTROBIORREMEDIACIÓN**

La electrobiorremediación es una técnica que combina las ventajas de la tecnología electrocinética con las ventajas de la biorremediación para el tratamiento de suelos contaminados con un nivel de baja, media o alta permeabilidad. Esta es una técnica barata y muy eficiente; sin embargo, se debe poner gran atención en que los microorganismos utilizados sean capaces de degradar los contaminantes a los que están dirigidos (Esperanza. *et al.*, 2014).

Dentro de los tratamientos fisicoquímicos, la remediación electrocinética también conocida como electrorremediación, es una tecnología emergente y promisoría que aprovecha las propiedades conductivas del suelo, cuyo objetivo es separar y extraer contaminantes orgánicos e inorgánicos (metales) de suelos, lodos y sedimentos, con el uso de un campo eléctrico que permite remover las especies cargadas (iones). Implica la aplicación de una corriente directa de baja intensidad o potencial entre un electrodo positivo y uno negativo (Alshawabkeh *et al.*, 1999; Reddy *et al.*, 2002.).

La remediación electrocinética esencialmente involucra la instalación de electrodos y la aplicación de una corriente directa continua, o de un gradiente de potencial a través de éstos, durante cierto tiempo (Mei. *et al.*, 2004).

### **3.12.- FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE ELECTORREMEDIACIÓN**

Varios factores fisicoquímicos influyen en el transporte de los contaminantes y así la efectiva remediación del suelo contaminado; estos factores se expresan de la siguiente manera (A. *et al.*, 2007).

#### **A).- PH.**

Promueve reacciones de los metales con sustancias que se encuentran en el suelo. Regula la movilidad de los contaminantes en el proceso de electrorremediación, de existir metales pesados absorbidos, estos son solubilizados por el frente ácido y transportado hacia el cátodo.

#### **B).- CONTENIDO DE AGUA.**

Genera el movimiento del electrolito, el grado de saturación del suelo es indispensable para el proceso de electrorremediación.

#### **C).- CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.**

Es la capacidad de un medio o espacio físico para permitir el paso de corriente eléctrica, para cada tipo de suelo hay un valor de conductividad eléctrica. En electrorremediación los cambios de pH del suelo modifican la conductividad global del medio por lo que se forman perfiles de voltaje. En experimentos con suelos contaminados se incrementa con tiempo, debido a la penetración de los frentes ácido y alcalino, y la solubilidad de las especies iónicas o el aumento de la temperatura.

**D).- POTENCIAL ZETA.**

Se la define como la medida que determina la carga de un coloide, en función de la naturaleza y superficie, composición del medio en que está suspendido.

**E).- NATURALEZA Y QUÍMICA DEL SUELO.**

En electrorremediación de suelos contaminados influyen las siguientes características del suelo: la capacidad de adsorción; intercambio iónico y de amortiguamiento del pH en el caso de suelos arcillosos y limosos por su mayor superficie de contacto, lo que permite una mayor facilidad en la adsorción.

**F).- NATURALEZA DEL CONTAMINANTE.**

El tipo de contaminante influye significativamente en la técnica de electrorremediación, los contaminantes pueden ser sólidos precipitados, disueltos y adsorbidos a partículas del suelo o adsorbidos en materia orgánica.

**G).- NATURALEZA Y ARREGLO DE LOS ELECTRODOS.**

La estructura de los electrodos debe ser porosa que permita un buen contacto con los electrolitos y para poder liberar los gases producidos por la electrólisis. La forma, tamaño y arreglo de los electrodos, la distancia entre ellos afectan la tasa de remoción de contaminantes.

La corriente actúa como agente limpiador que moviliza los contaminantes hacia el ánodo o el cátodo, dependiendo de la carga y la dirección del flujo acuoso. Su actividad se atribuye a la electromigración, que consiste en el transporte de iones y moléculas polares en el campo eléctrico y la electroósmosis, que consiste en el flujo de un líquido iónico a través de una superficie, bajo la acción de un campo eléctrico (Acar. y AN., 1993).

Los elementos tóxicos, principalmente los metales pesados, se encuentran generalmente en bajas concentraciones en el medio ambiente, aunque, como resultado de actividades antropogénicas, sus niveles se han incrementado. Así, se considera que existe contaminación del suelo cuando la composición del mismo se desvía de su composición “normal”, denominado nivel o fondo biogeoquímico. También se define la contaminación del medio como la presencia de algún constituyente, causado por la actividad humana, en una concentración tal que afecta negativamente a su funcionamiento y a los organismos vivos presentes en él.

Los metales pesados en el suelo, suponen un riesgo por: su lixiviación hacia aguas superficiales y subterráneas, absorción por las plantas, y finalmente, el paso a la cadena trófica. Cuando se dan niveles muy altos de biodisponibilidad, tanto los elementos esenciales (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo) como los no esenciales (Cd, Pb, Hg, Cr) pueden ser tóxicos. La amenaza que suponen para la salud humana y animal se agrava por su larga persistencia en el suelo. Para la descontaminación de elementos tóxicos en suelos se han empleado las técnicas de fitoextracción y fitoestabilización o fitoinmovilización (O. y Pilar., 2007).

### **3.13.- CELDAS DE ELECTROQUÍMICAS.**

#### **3.13.1.- TIPOS DE CELDAS.**

La electroquímica es la interrelación que se establece entre los sistemas químicos y los sistemas eléctricos, cuando ambos fenómenos inciden en un proceso.

Las celdas electroquímicas se pueden clasificar, en tres tipos muy generales: celdas galvánicas o voltaicas, celdas electrolíticas:

En una celda galvánica, la reacción electroquímica acontece de manera espontánea y la energía química se transforma en energía eléctrica. Esto se debe a que uno de los analitos es un reductor (un donador redox) con un  $pK_r$  menor al que tendrá el otro analito que es un oxidante (un aceptor redox) con un  $pK_r$  mayor comparativamente, sobre una escala de  $pe$ .

En una celda electrolítica la reacción electroquímica se lleva a cabo por la imposición externa de un voltaje mayor al del potencial reversible de celda. También es posible la imposición de una corriente de electrólisis que permita la transformación electroquímica de los analitos en el medio. Este tipo de celdas se utilizan en la electrosíntesis de diversos compuestos, en el análisis de parámetros fisicoquímicos o bien, en la dilucidación de mecanismos de reacción (Baeza y García, 2011).

#### **3.13.2 CELDA ELECTROLITICA.**

En ambas celdas, el electrodo en el que ocurre la reducción se llama cátodo; mientras que el electrodo en el que ocurre la oxidación se llama ánodo. Por tanto, para que se lleve a cabo la reacción electroquímica se debe provocar una perturbación de carácter eléctrico y como consecuencia se obtiene una respuesta de tipo eléctrico, de donde se obtiene información del compuesto analizado y los procesos de reacción en la interface conductor sólido – disolución que acompañan a la reacción.

En una celda electrolítica la reacción electroquímica se lleva a cabo por la imposición externa de un voltaje mayor al del potencial reversible de celda. También es posible la imposición de una corriente de electrólisis que permita la transformación electroquímica de los analitos en el medio. Este tipo de celdas se utilizan en la electrosíntesis de diversos compuestos, en el análisis de parámetros fisicoquímicos o bien, en la dilucidación de mecanismos de reacción (Baeza y García, 2011).

## **IV.- MATERIALES Y METODOS**

### **4.1.- LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO.**

El presente trabajo se realizó durante el ciclo de invierno 2016 – primavera del 2017, en el laboratorio de ingeniería de suelos, ubicado en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, unidad laguna (UAAAN-UL). Ubicada en el periférico Raúl López Sánchez, sin. Núm., Colonia Valle Verde en la Ciudad de Torreón Coahuila.

#### **4.1.1.- UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LA COMARCA LAGUNERA**

La Comarca Lagunera se localiza entre los paralelos ( $25^{\circ} 05'$  y  $26^{\circ} 54'$  N) y los meridianos ( $101^{\circ} 40'$  y  $104^{\circ} 45'$  O) teniendo una altitud de 1,139 m sobre el nivel del mar, en la parte suroeste del estado de Coahuila y Noroeste del estado de Durango, al norte con el estado de Chihuahua y al sur con el estado de Zacatecas.

#### **4.1.2.- LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA**

El municipio de Torreón es una ciudad de México, situada al norte del país, en el Estado de Coahuila; específicamente en la parte oeste sur de este estado norteño. Limita al norte y al este con el municipio de Matamoros; al sur y al oeste con el estado de Durango. Se localiza a una distancia aproximada de 265 kilómetros de la capital del estado. Cuenta con una superficie de 1,947.70 kilómetros cuadrados, que representan el 1.29% del total de la superficie del estado de Coahuila.

Su clima es seco desértico, con lluvias en verano e invierno fresco, la precipitación pluvial media anual es 258 mm y la evaporación media anual es 2000 mm, por lo cual la relación precipitación - evaporación es 1:10; la temperatura media anual es  $21^{\circ}\text{C}$  con máxima de  $33.7^{\circ}\text{C}$  y mínima  $7.5^{\circ}\text{C}$ .

#### **4.1.3.- LOCALIZACION DE LA MUESTRA**

El lugar donde se tomaran las muestras fue en la Plaza de la tortuga, ubicada en la colonia Torreón Jardín, de la ciudad de Torreón, Coahuila, México. Esta plaza es una de la más cercana a la planta metalúrgica, Met-Mex, Peñoles.

#### **4.2.- DISEÑO EXPERIMENTAL**

##### **4.2.1.- PROCEDIMIENTO DE RECOLECCIÓN DE MUESTRAS**

###### **A) RECOLECCIÓN DE MUESTRA**

Se tomaron muestras de suelo en 5 puntos de la plaza, con profundidades de 0-20 cm, 20-40 cm. Las muestras de suelo se colocaron en bolsas de plástico donde se identificaron por secciones y profundidad, fueron llevadas al laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL donde se realizó el análisis inicial y remediación del suelo contaminado.

En total fueron 15 muestras. Con el objetivo de evaluar la técnica de electrorremediación del suelo contaminado con plomo. Así mismo con la información lograda se tratará de ver si la técnica de electrorremediación es eficiente y se pueda ser utilizada.

## B) ANÁLISIS INICIAL DEL SUELO.

Se secaron las muestras del suelo por 24 horas; se tomaron 1kg de cada sección con las profundidades de 0-20 y 20-40 cm.



*FIG 1 Muestreo de suelo*

Se hicieron los análisis de textura, materia orgánica, medición de pH, conductividad eléctrica y un análisis de concentración inicial de plomo en el suelo.



FIG 2. Análisis de textura, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica

<b>Muestras</b>	<b>Textura</b>	<b>% M.O</b>	<b>Ph</b>	<b>C.E</b>	<b>Ca +Mg</b>	<b>Ca</b>	<b>Na</b>
1	Franco arcilloso	7.1	8.26 Medianamente alcalino	2.18 ms/cm	4 Meq/Lt	3.6 Meq/Lt	17.8 Meq/Lt
2	Franco	1.7	8.01 Medianamente alcalino	4.43 ms/cm	12.4 Meq/Lt	4.8 Meq/Lt	31.9 Meq/Lt
3	Franco	3.3	8.31 Medianamente alcalino	1.9 ms/cm	8 Meq/Lt	5.6 Meq/Lt	11.7 Meq/Lt
4	Franco	1.7	7.76 Medianamente alcalino	2.18 ms/cm	8 Meq/Lt	5.6 Meq/Lt	13.8 Meq/Lt
5	Franco	3.0	8.25 Medianamente alcalino	2.16 ms/cm	8.8 Meq/Lt	6 Meq/Lt	12.8 Meq/Lt

Tabla 1. Análisis inicial de suelo

#### 4.3.- ANÁLISIS DE MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO.

Tras la recolección de dichas muestras se prosiguió analizarlas en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Cada muestra fue analizada mediante la terminación de plomo por el método de espectrofotometría de absorción atómica, Perkin Elmer 2380 que se encuentra en el Laboratorio de Suelos. Siguiendo el procedimiento que a continuación se describe.

##### A) SACAR Y TAMIZAR EN MALLA DE 2 MM LA MUESTRA DE SUELO.



*FIG 2. Muestras de suelo tamizadas*

##### B) PESAR 5 G DE SUELO Y COLOCARLOS EN BOTES DE PLÁSTICO CON TAPÓN.



*FIG 3. Muestra de suelo para la digestión*

**C) AGREGAR 50 ML DE ÁCIDO NÍTRICO 4 MOLAR (260 ML/LITRO) Y MARCAR EL NIVEL DEL LÍQUIDO.**



*FIG 4. Muestra de suelo con ácido nítrico*

**D) COLOCAR EN BAÑO MARÍA DE 4 A 12 HR. A 70°C.**



*FIG 5. Muestras de suelo en baño maría*

**E) SACARLO DEL BAÑO MARÍA, DEJARLO A TEMPERATURA AMBIENTE Y NIVELAR EL VOLUMEN QUE TENÍA, TAPARLO BIEN.**



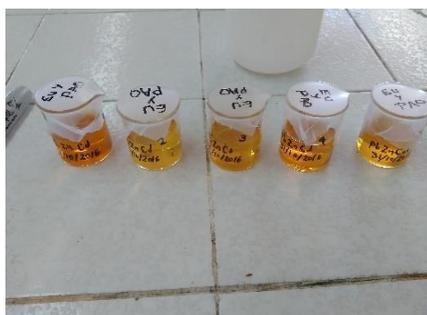
**F) AGITARLO POR 1 HORA.**



*FIG 6. Muestras en proceso de agitación*

**G) FILTRAR Y RECOGER EL FILTRADO.**

*FIG 7. Filtrado de muestras*

**H) ANALIZAR EN ABSORCIÓN ATÓMICA.**

*FIG 8. Muestras para análisis de Plomo*

#### 4.4.- CONTAMINACIÓN Y ELECTORREMEDIACIÓN DEL SUELO

Se realizaron un total 10 experimentos.

Se preparó una solución estándar de 1000ppm de plomo utilizando agua destilada y ácido acético 0.1 m.

Preparación de la solución estándar



*FIG 9. Solución estándar 1000ppm Pb*

Se agregó 1 kg de suelo mezclado de los 5 puntos muestreados obteniendo una muestra compuesta, el suelo se contaminó con una solución estándar de 1000 ppm de cadmio utilizando como solvente agua destilada y ácido acético (con el fin de evaluar la influencia del agente humectante). Se humectó el suelo hasta un punto de saturación.

Se conectó la celda a una fuente de poder modelo BK Precisión multirango de corriente directa de 0-60V y 0-10 A, un multímetro modelo UNI-T UT33A. La celda de electrorremediación tiene una medida de 20 x 10 x 5 cm obteniendo un volumen de 1000cm<sup>3</sup>.

Se aplicó una diferencia de potencial de 20 y 40 V, durante un tiempo de remediación de 24 horas.



*FIG 10. Contaminación y electrorremediación del suelo*

Después de la remediación se dividió la celda en 4 partes y se tomaron muestras, que posteriormente se secaron en la estufa Felisa a una temperatura de 105°C. Se tamizó la muestra de suelo en una malla de 2mm para ser la digestión.



*FIG 11. Muestras de suelo remediado*

#### 4.5.- DIGESTIÓN

Tras la recolección de dichas muestras se prosiguió analizarlas en el laboratorio de suelos de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro Unidad Laguna. Cada muestra fue analizada mediante la terminación de plomo por el método de espectrofotometría de absorción atómica. Siguiendo el procedimiento que a continuación se describe.

##### A) SACAR Y TAMIZAR EN MALLA DE 2 MM LA MUESTRA DE SUELO.



*FIG 12. Suelo tamizado para la digestión*

##### B) PESAR 5 G DE SUELO Y COLOCARLOS EN BOTES DE PLÁSTICO CON TAPÓN.



*FIG 13. Muestra de suelo para la digestión*

**C) AGREGAR 50 ML DE ÁCIDO NÍTRICO 4 MOLAR (260 ML/LITRO) Y MARCAR EL NIVEL DEL LÍQUIDO.**



*FIG 14. Muestra con ácido nítrico*

**D) COLOCAR EN BAÑO MARÍA DE 4 A 12 HR. A 70°C.**



*FIG 15. Muestra en baño maría*

**E) SACARLO DEL BAÑO MARÍA, DEJARLO A TEMPERATURA AMBIENTE Y NIVELAR EL VOLUMEN QUE TENÍA, TAPARLO BIEN.**



**F) AGITARLO POR 1 HORA.**



*FIG 16. Muestra de suelo en proceso de agitación*

**G) FILTRAR Y RECOGER EL FILTRADO.**



*FIG 17. Filtrado de muestras*

## H) ANALIZAR EN ABSORCIÓN ATÓMICA.



FIG 18. Análisis de concentración de muestras

<b>Experimento</b>	<b>Potencia</b>	<b>Contaminante</b>	<b>Tiempo</b>
		Solución estándar 1000 ppm	
A	20 V, 1 A	Pb	24 horas
C	20 V, 1 A	Pb	24 horas
D	20 V, 1 A	Pb	24 horas
E	20 V, 2 A	Pb	24 horas
F	20 V, 2 A	Pb	24 horas
G	40 V, 1 A	Pb	24 horas
H	40 V, 1 A	Pb	24 horas
I	40 V, 2 A	Pb	24 horas
J	40 V, 2 A	Pb	24 horas

Tabla 2. Condiciones experimentales

## V.- RESULTADOS

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
A1	PB	20	1	24 HR	H2O	690.15
A2	PB	20	1	24 HR	H2O	644.72
A3	PB	20	1	24 HR	H2O	705.3
A4	PB	20	1	24 HR	H2O	720.44

Tabla 3. Experimento A ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20, con un amperaje de 1 y el solvente utilizado fue agua destilada.



FIG 19. ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20, con un amperaje de 1 y el solvente utilizado fue agua destilada.

En la figura 19 se muestra que en el experimento **A** se trabajó con un voltaje de 20, y 1 amper, se utilizó como solvente agua destilada por un tiempo de 24 horas, de la sección A1 de la celda, se muestra una disminución de concentración por ppm de 690, la sección A2 muestra menor disminución de concentración por ppm de 644, la sección A3 muestra un aumento de concentración por ppm de 705 y la sección A4 muestra un alto aumento de concentración 720 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
C1	PB	20	1	24 HR	H2O	803.73
C2	PB	20	1	24 HR	H2O	803.73
C3	PB	20	1	24 HR	H2O	788.59
C4	PB	20	1	24 HR	H2O	774.96

*Tabla 4. Experimento C ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*



*FIG 20. ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*

En la figura 20 se muestra que en el experimento **C** se trabajó con un voltaje de 20, y 1 amper, se utilizó como solvente agua destilada por un tiempo de 24 horas, de la sección C1 de la celda, se muestra una alta concentración por ppm de 803, la sección C2 muestra una constante concentración por ppm de 803, la sección C3 muestra una disminución de concentración por ppm de 788 y la sección C4 muestra una menor disminución de concentración de 774 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
D1	PB	20	1	24 HR	AC.AC 0.1M	796.16
D2	PB	20	1	24 HR	AC.AC 0.1M	740.13
D3	PB	20	1	24 HR	AC.AC 0.1M	758.3
D4	PB	20	1	24 HR	AC.AC 0.1M	731.04

*Tabla 5. Experimento D Ppm de Plomo en suelo Electroremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*



*FIG 21. Ppm de Plomo en suelo Electroremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*

En la figura 21 se muestra que en el experimento **D** se trabajó con un voltaje de 20, y 1 amper, se utilizó como solvente ácido acético por un tiempo de 24 horas, de la sección D1 de la celda, se muestra una alto aumento de concentración de 796 ppm, la sección D2 muestra una disminución de concentración por ppm de 740, la sección D3 muestra un aumento de concentración por ppm de 758 y la sección D4 muestra una menor disminución de concentración de 731 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
E1	PB	20	2	24 HR	H2O	737.1
E2	PB	20	2	24 HR	H2O	759.81
E3	PB	20	2	24 HR	H2O	781.01
E4	PB	20	2	24 HR	H2O	871.88

*Tabla 6. Experimento E Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*



*FIG 22. Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*

En la figura 22 se muestra que en el experimento **E** que se trabajó con un voltaje de 20, amperaje de 1, se utilizó como solvente agua destilada, de la sección E1 de la celda, se muestra una menor disminución de concentración por ppm de 737, la sección E2 muestra un ligero aumento de concentración por ppm de 759, la sección E3 muestra un aumento de concentración por ppm de 781 y la sección E4 muestra un alto aumento de concentración de 871 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
F1	PB	20	2	24 HR	AC.AC 0.1M	690.15
F2	PB	20	2	24 HR	AC.AC 0.1M	553.86
F3	PB	20	2	24HR	AC.AC 0.1M	690.15
F4	PB	20	2	24 HR	AC.AC 0.1M	765.87

*Tabla 7. Experimento F Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*



*FIG 23. Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 20 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*

En la figura 23 se muestra que en el experimento **F** que se trabajó con un voltaje de 20, amperaje de 1, se utilizó como solvente ácido acético, de la sección F1 de la celda, se muestra una disminución de concentración por ppm de 690, la sección F2 muestra una mayor disminución de concentración por ppm de 553, la sección F3 muestra un aumento de concentración por ppm de 690 y la sección E4 muestra un alto aumento de concentración de 765 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
G1	PB	40	1	24 HR	H2O	705.3
G2	PB	40	1	24 HR	H2O	712.87
G3	PB	40	1	24HR	H2O	717.41
G4	PB	40	1	24 HR	H2O	682.58

*Tabla 8. Experimento G Ppm de Plomo en suelo Electroremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*

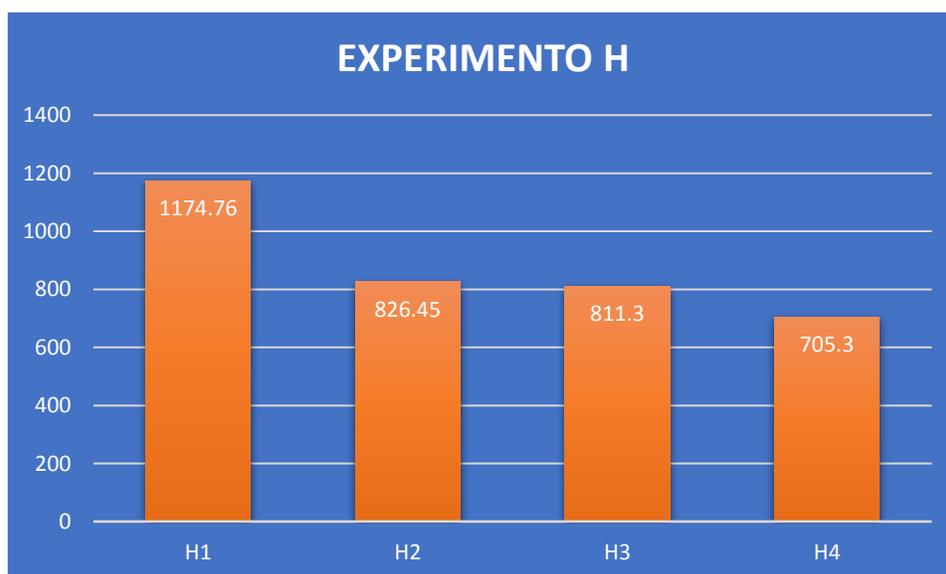


*FIG 24. Ppm de Plomo en suelo Electroremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*

En la figura 24 se muestra que en el experimento **G** que se trabajó un voltaje de 40, amperaje de 1, se utilizó como solvente agua destilada, de la sección G1 de la celda, se muestra una disminución de concentración por ppm de 705, la sección G2 muestra un aumento de concentración por ppm de 712, la sección G3 muestra un mayor aumento de concentración por ppm de 717 y la sección G4 muestra una menor disminución de concentración de 682 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
H1	PB	40	1	24 HR	AC.AC 0.1M	1174.76
H2	PB	40	1	24 HR	AC.AC 0.1M	826.45
H3	PB	40	1	24HR	AC.AC 0.1M	811.3
H4	PB	40	1	24 HR	AC.AC 0.1M	705.3

*Tabla 9. Experimento H Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*



*FIG 25. Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 1 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*

En la figura 25 se muestra que en el experimento **H** que se trabajó con un voltaje de 40, amperaje de 1, se utilizó como solvente ácido acético con un tiempo de 24 horas, de la sección H1 de la celda, se muestra un alto aumento de concentración por ppm de 1174, la sección H2 muestra una disminución de concentración por ppm de 826, la sección H3 muestra una ligera disminución de concentración por ppm de 811 y la sección H4 muestra una menor disminución de concentración de 705 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
I1	PB	40	2	24 HR	H2O	826.45
I2	PB	40	2	24 HR	H2O	712.87
I3	PB	40	2	24HR	H2O	432.71
I4	PB	40	2	24 HR	H2O	659.86

*Tabla 10. Experimento I Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*

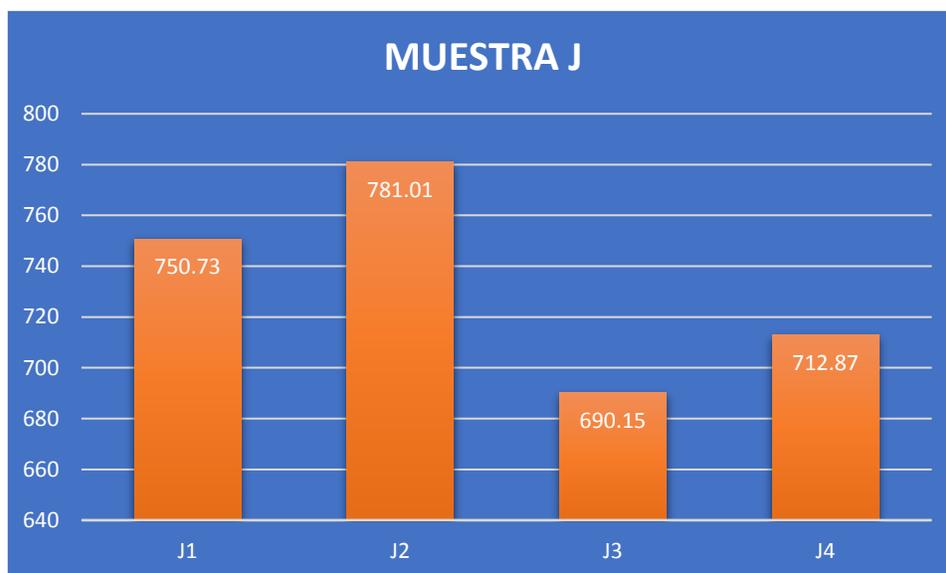


*FIG 26. Ppm de Plomo en suelo Electrorremediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue agua destilada.*

En la figura 26 se muestra que en el experimento I que se trabajó un voltaje de 40, amperaje de 2, se utilizó como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas, de la sección I1 de la celda, se muestra un alto aumento de concentración por ppm de 826, la sección I2 muestra una disminución de concentración por ppm de 712, la sección I3 muestra una menor disminución de concentración por ppm de 432 y la sección I4 muestra un aumento de concentración 659 ppm de plomo.

MUESTRA	METAL	V	A	T	SOLVENTE	PPM
J1	PB	40	2	24 HR	AC.AC 0.1M	750.73
J2	PB	40	2	24 HR	AC.AC 0.1M	781.01
J3	PB	40	2	24HR	AC.AC 0.1M	690.15
J4	PB	40	2	24 HR	AC.AC 0.1M	712.87

*Tabla 11. Experimento J Ppm de Plomo en suelo Electro remediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*



*FIG 27. Ppm de Plomo en suelo Electro remediado en una celda con un Voltaje de 40 por 24 hr., con un Amperaje de 2 y el Solvente utilizado fue Ácido Acético.*

En la figura 27 se muestra que en el experimento **J** que se trabajó con un voltaje de 40, amperaje de 2, se utilizó como solvente ácido acético, de la sección J1 de la celda, se muestra una disminución de concentración por ppm de 750, la sección J2 muestra un alto aumento de concentración por ppm de 781, la sección J3 muestra una menor disminución de concentración por ppm de 690 y la sección J4 muestra un pequeño aumento de concentración 712 ppm de plomo.

## 5.1. DIFERENCIA ENTRE SECCIONES DENTRO DE CADA CELDA DEL EXPERIMENTO

Con base en los resultados obtenidos del presente proyecto de investigación se determinó que se obtuvo una remoción de Pb en todos los experimentos, el experimento A de acuerdo a cada una de las secciones hubo una variación donde la sección A2 y A4 tuvo una diferencia de 76 ppm donde se trabajó con un voltaje de 20 y 1 amper, utilizando como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas. En el experimento C de acuerdo a cada uno de las secciones hubo una variación donde la sección C4 del cátodo hubo una remoción hacia al ánodo de la sección C1 que tuvo una diferencia de 29 ppm donde se trabajó con un voltaje de 20 y 1 amper utilizando como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas. En el experimento D de acuerdo a cada una de las secciones tuvo variación, donde la sección D4 del cátodo hubo una remoción hacia el ánodo de la sección D1 que tuvo una diferencia de 65 ppm, se trabajó con un voltaje de 20 y 1 amper, utilizando como solvente ácido acético con un tiempo de 24 horas. En el experimento E de acuerdo a cada uno de las secciones fue el que dio mejor resultados, donde hubo remoción de plomo en cada uno de ellos, la variación de la sección E1 del ánodo removi6 hacia el cátodo de la sección E4 donde tuvo una diferencia de 134 ppm, se trabaj6 con un voltaje de 20 y 2 amper, utilizando como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas. En el experimento F de acuerdo a cada una de las secciones tuvo variaci6n, donde la secci6n F2 del ánodo hubo una remoci6n hacia el cátodo de la secci6n F4 que tuvo una diferencia de 212 ppm, se trabaj6 con un voltaje de 20 y 2 amper, utilizando como solvente ácido acético con un tiempo de 24 horas. En el experimento G de acuerdo a cada una de las secciones tuvo variaci6n, donde la secci6n G4 hubo una remoci6n hacia la secci6n G3 que tuvo una diferencia de 35 ppm, se trabaj6 con un voltaje de 40 y 1 amper, utilizando como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas. En el experimento H de acuerdo a cada uno de las secciones fue el que dio mejor resultados, pero fue todo lo contrario ya que el experimento E disminuy6 desde el ánodo y el experimento H desde el cátodo, donde hubo remoci6n de plomo en cada uno de ellos, la variaci6n de la secci6n H4 removi6 hacia la secci6n E4, donde tuvo una diferencia de 469 ppm, se trabaj6 con

un voltaje de 40 y 1 amper, utilizando como solvente ácido acético con un tiempo de 24 horas. En el experimento I de acuerdo a cada una de las secciones tuvo variación, donde la sección I3 del cátodo hubo una remoción hacia el ánodo de la sección I1 que tuvo una diferencia de 394 ppm, se trabajó con un voltaje de 40 y 2 amper, utilizando como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas. En el experimento J de acuerdo a cada una de las secciones tuvo variación, donde la sección J3 hubo una remoción hacia la sección J2 que tuvo una diferencia de 91 ppm, se trabajó con un voltaje de 40 y 2 amper, utilizando como solvente agua destilada con un tiempo de 24 horas.

## VI.- DISCUSIÓN

En los experimentos E y H Con base en los resultados obtenidos del presente proyecto de investigación se determinó que son los dos donde se obtuvieron mejores resultados, donde muestra que hubo una remoción de Pb en cada uno de las secciones.

En cada experimento como E se trabajó con un voltaje de 20 y 1 amper, utilizando como solvente agua destilada en un tiempo de 24 horas. El experimento H se trabajó con un voltaje de 40 y 1 amper, utilizando como solvente ácido acético con un tiempo de 24horas.

La diferencia de concentración de Pb en los experimentos E y H fueron 134 y 460 ppm donde hubo más remoción es en el experimento H.

En los experimentos se mostró que el plomo se movilizó en cada uno de las secciones dando una variación de resultados, donde el voltaje y el solvente fueron diferentes. En el resultado se observó que la remoción de plomo inicio en el ánodo para el experimento E y el cátodo para el experimento H.

(García, 2011) Señala.

Que se encontró una disminución de la concentración de plomo en todas las secciones de suelo en todos los experimentos con respecto a la inicial, pero la solución que mayor remoción presenta es la utilizada en el experimento II, alcanzándose una disminución en la concentración del 12% de remoción (98 ppm) para plomo total a un tiempo de 24 hr. con un voltaje de 20.

En los resultados se encontró, una disminución de la concentración de plomo en todas las secciones de suelo, pero los que mayor remoción presenta es la utilizada en los experimentos E y H. utilizando un voltaje de 20 y 40 en un tiempo de 24 hr.

(Rodríguez y Vázquez, 2003) Señalan.

Con este tipo de estudios a nivel de laboratorio, es posible analizar el funcionamiento de una celda de electrorremediación. Estos resultados tienen especial interés en relación al empleo de estos sistemas de descontaminación a una escala aplicada. En este sentido se verifica que, en las condiciones experimentales empleadas, puede utilizarse este método para remover iones pesados como el plomo, ya que el contaminante se obtiene en una forma menos nociva desde el punto de vista ambiental, y puede por lo tanto ser más fácilmente extraído de las soluciones de lavado.

Este tipo de sistemas permite, con un esquema experimental relativamente simple, obtener una importante colección de datos que al ser analizados de una manera integral permite un buen análisis del movimiento de los iones estudiados en los suelos contaminados.

## VII.- CONCLUSION

Con base a los resultados obtenidos en el proyecto de investigación, se obtuvo una remoción de Pb en todos los experimentos, mostrando mejores resultados en los experimentos E, y H, aplicando un potencial de 20 y 40 V, con un amperaje de 2 y 2, con un tiempo de remediación de 24 horas, utilizando los solventes agua destilada y ácido acético.

La diferencia de concentración de Pb en los experimentos E y H es de 134 y 469 ppm (mg/kg). La mayor diferencia entre la sección con menor concentración y la de mayor concentración fue en el experimento H, con un voltaje de 40 V y 1 Amper, utilizando como solvente ácido acético con un tiempo de 24 horas.

La concentración todavía se encuentra fuera del límite de la norma 147-SEMARNAT-SSA1-2004. Es posible que la remoción del contaminante sea más eficiente si aplicamos más tiempo de remediación en los tratamientos.

EXPERIMENTOS	DIFERENCIA ENTRE SECCIONES DENTRO DE CADA CELDA DEL EXPERIMENTO
A	A2-----A4 644-----720 = 76 PPM
C	C1-----C4 803-----774 = 29 PPM
D	D1-----D4 796-----731 = 65 PPM
E	E1-----E4 737-----871 = 134 PPM
F	F276-----F4 553-----765 = 212 PPM
G	G3-----G4 717-----682 = 35 PPM

H	H1-----H4 1174-----705 = 469 PPM
I	I1-----I3 826-----432 = 394 PPM
J	J2-----J3 781-----690 = 91 PPM

*Tabla 12. DIFERENCIA ENTRE SECCIONES DENTRO DE CADA CELDA DEL EXPERIMENTO*

La electrorremediación tiene un gran potencial para descontaminar diversos tipos de suelos contaminados con compuestos inorgánicos en un amplio rango de concentraciones. En la presente investigación teórica y de laboratorio se han trabajado con tres de los factores involucrados (distancia entre electrodos, tiempo de remediación y tipo de electrolito) obteniéndose buenos resultados, que permiten deducir que la electrorremediación es una técnica alternativa con gran eficiencia en la recuperación de suelos.

## VIII.- RECOMENDACIONES

De los resultados obtenidos dos fueron efectivos para una electroremediación ya que en experimento E se demostró que se puede trabajar utilizando un voltaje de 20, 2 amper y como solvente utilizado agua destilada en un tiempo de 24 horas, también con el experimento H se demostró que se puede trabajar utilizando un voltaje de 40, 1 amper y como solvente ácido acético en un tiempo de 24 horas. Los resultados logrados permiten replantear nuevas estrategias para obtener procesos de electroremediación de metales más eficiente.

La investigación debe seguir tomando en cuenta otros factores de variabilidad como son: variación de voltaje, el pH, el tipo de suelo, la conductividad eléctrica, el tipo de celda utilizada, tiempo y el potencial aplicado.

**IX.- LITERATURA CITADA**

- A., C. J. 2002a. Contribution of spanish-american silver mines (1570-1820) to the present high mercury concentrations in the global environment: A review. *chemosphere*. 48(1): 51–57.**
- A., C. J. 2002b. Contribution of spanish-american silver mines (1570-1820) to the present high mercury concentrations in the global environment: A review. *chemosphere*. 48(1): 51-57.**
- A., D. L. R.-P. D., T.-L. M. M. Margarita. y R.-I. M. E. 2007. Electrorremediación de suelos contaminados, una revisión técnica para su aplicación en campo. . *Rev. Int. Contam. Ambient.*129-138.**
- A., M. P. M., U. M. J. y P. L. M. E. 2014. Electrobioremediation as a hybrid technology to treat soil contaminated with total petroleum hydrocarbons. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 13113-127.**
- Abollino., O., M. Aceto., M. Malandrino., E. Mentasti., C. Sarzanini. y R. Barberis. 2001. Distribution and mobility of metals in contaminated sites. Chemometric investigation of pollutant profiles. *Environmental Pollution*.177-193.**
- Acar., Y. y A. AN. 1993. Principles of electrokinetic remediation. *Environmental Science and Technology*.**
- Alshawabkeh, A., N., A. Yeung, t T. y M. Bricka, R. 1999. Practical aspects of in-situ electrokinetic extraction. *Journal of Environmental Engineering* 125(1).**
- Baeza, R., alejandro. y M. García, Arturo de jesus. 2011. Principio de la electroquímica analítica. UNAM37-38.**
- Benin, A. L., J. D. Sargent, M. Dalton y S. Roda. 1999. Higt concentrations of heavy metals in neighborhoods near ore smelters in northern mexico. *Environmental health Perspectives*. 107.279–284.**
- Brian., B., D. Ishai. y Y. Bruno. 2010. Contaminant geochemistry: Interactions and transport in the subsurface environment. *Vadose Zone Journal*.**
- C., F. J. y H. F. S. 1991. Biochemical, physiological, and structural effects of excess copper in plants. *Botanical Review*. 57(3): 246–273.**

- Carlos., J. G., R. Isabelle., R. S. A. Leticia., P. R. Eduardo. y M. Q. Lida. 1999. Exposición a plomo en niños de 6 a 12 años de edad. Salud Publica de Mex. 4172-81.**
- Constantino., C. A. L., M. Á. Suárez., R. I. B. Hernández., F. P. García. y H. P. P. Valardo. 2004. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in hidalgo state, mexico irrigated with raw wastawater. Evironment International.**
- Chaney, R. L. y J. A. Ryan. 1994. Risk based standarsds for arsenic, lead and cadmium in urban soils. Dechema, Frankfurt, Germany.**
- Chávez, T., Carlos., L. Castro, Javier, M. Díaz-Barriga, Fernanda. y F. Marcos. 2011. Modelo conceptual de riesgo ambiental por arsénico y plomo en el distrito minero de santa maría de la paz, san luis potosí, méxico. e-Gnosis. 91-25.**
- D., C. S. y B. W. R. 1993. Remediation of contaminated soils with green plants: An overview. In Vitro Cellular and Developmental biology - plant. 29(4): 207-212.**
- DeSilva, P. 1981. Determination of lead in plasma and studies on its relationship to lead in erythrocytes. British Journal of Industrial Medicine.209-217.**
- DOF. 2007. Nornma ofiacial mexicana nom-147-semarnat/ssa1-2004. Semartanat México, D.F.**
- Esperanza., M., V. José., C. Pablo. y R. M. A. 2014. Effect of a direct electric current on the activity of a hydrocarbon-degrading microorganism culture used as the flushing liquid in soil remediation processes. Separation and Purification Technology 124217–223.**
- F., L. P. 1999. Ordenan a met-mex peñoles reducir sus operaciones a la mitad. Environ Health Perspect.**
- G., G. V. G., R. A. M., R. G. M. G., G. A. R., G. A. G., C. R. J. L., M. V. R. y C. J. 2007. Contaminación por metales en suelo de la ciudad de torreón, coahuila, méxico. Revista Chapingo Serie Zonas Áridas. 6165-168.**
- G., G. V. G., R. A. M., D. R. L. M., B. A. V., V. A. E. y C. M. E. 2001. Lead exposure in children living in a smelter community in region lagunera, méxico. Journal of Toxicology and Environmental Health. 62(6): 417-429.**

- García, H., L. 2011. Electrorremediación de suelos arenosos contaminados por pb, cd y as, provenientes de residuos mineros, utilizando agua y ácido acético como electrolitos,. Sociedad Mexicana de Ciencia y Tecnología de Superficies y Materiales.
- Guzmán., M. R. y G. A. Prieto. 2012. Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo. Escuela de Administración de Negocios. 66-75.
- H., D. J. 2002. "Heavy metals" a meaningless term? (iupac technical report). The Scientific journal of IUPAC 74(5).
- H., W. M. 2003. Ecological restoration of mine degraded soils, with emphasis on metal contaminated soils. Journal Cheshmophere. 50(6): 775–780.
- Helena., S. L., G. C. Teresa., R. Isabelle. y H. A. Mauricio. 1998. Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. Revista Salud Pública.359-368.
- Herbert., N. 2004. Lead poisoning. Annu. Rev. Med.209-222.
- I., T., D. D. J. A., W. J. M. y Q. M. J. 1990. Lead exposure in young children from dust and soil in the united kingdow. environ Health Perspect. 8955-60.
- I.G.M.E. 1996. La investigación de suelos contaminados en el igme. Instituto Geológico y Minero de España.2-7.
- J., C. C. y P. J. C. 2000. Comparison of bioaugmentation and biostimulation in ex situ treatment of diesel contaminated soil. Land Contamination and Reclamation. 8.
- J., L. P. 1990. Current issues in the epidemiology and toxicology of occupational exposure to lead. environmental health Perspectives.
- J., O. E., H. M. Elizabeth. y S. G. Gloria. 2007. Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. Rev. Int. Contam. Ambient.139-154.
- Jorge., A. J., R. O. J. C., V. Z. M. Elena., H. M. Alejandra., G. A. M. Elena., B. M. Alfredo. y R. F. Humberto. 2012. Vegetación bioindicadora de metales pesados en un sistema semiárido. Revista de la facultad de ciencias agrarias. 45.
- K., K. y W. R. 1998. Mobilization of heavy metals and arsenic in polluted wetland soils and its dependence on dissolved organic matter. Science of The Total Environment. 209.(1): 27-39.

- K., S. E. 1990. Implications of new data on lead toxicity for managing and preventing exposure. *environmental health Perspectives*.
- Kumar, A. y S. Kumar. 2013. Availability of chromium, nickel and other associated heavy metals of ultramafic and serpentine soil/rock and in planst intern. . *Journal of Emerging Tech. and Advanced Eng.* v.256-263.
- L., A. 1960. *A history of metals*. Interscience Publishers.
- L., C. R., M. Minnie., Y. M. Li., B. S. L., B. E. P., A. J. Scott. y B. A. JM. 1997. Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology*. 8(3).
- L., G. B., M. K. J., K. M. J. y H. Donald. 1996. Non-orebody sources are significant contributors to blood lead of some children with low to moderate lead exposure in a major lead mining community. *Science of The Total Environment*. 181(3): 223-230.
- Landeros-Márquez, O., R. Trejo-Calzada, M. Reveles-Hernández, R. D. Valdez-Cepeda, J. G. Arreola-Ávila, A. Pedroza-Sandoval y J. Ruíz-Torres. 2010. Uso potencial del huizache (acacia farneciana I. Will) en la fitorremediación de suelos contaminados con plomo. . *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 1711-20.
- Lorena., V. S. T. y V. T. J. Antonio. 2003. Biodegradación de hidrocarburos del petróleo en suelos intemperizados mediante composteo. . *Instituto Nacional de Ecología*.
- Lugo-Lugo, V., C. Barrera-Díaz, F. Ureña-Núñez, B. Bilyeud y I. Linares-Hernández. 1012. Biosorption of cr(iii) and fe(iii) in single and binary systems onto pretreated orangepeel. *Environmental Management*.
- Maitreyi., M., B. D. C., G. Matthew., A. Kathleen., B. Janine. y N. H. L. 2011. Low-level environmental lead exposure in childhood and adult intellectual function: A follow-up study. *Environ Health*.
- Mei., Z. D., D. C. Fen. y C. Long. 2004. Electrokinetic remediation of a cu contaminated red soil by conditioning catholyte ph with different enhancing chemical reagents. *chemosphere*. 56(3): 265-273.
- Miteva, E., S. Maneva, D. Hristova y P. Bojinova. 2000. Heavy metal accumulation in virus-infected tomatoes. *J. Phytopathology*179-184.

- O., C. R. y B. M. Pilar. 2007. Claves de la fitorremediación: Fitotecnologías para la recuperación de suelo. Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente.
- O., N. J. 1979. Global inventory of natural and anthropogenic emissions of trace metals to the atmosphere. Nature.
- OMS. 2016. Intoxicación por plomo y salud.  
<http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs379/es/>.
- Paradelo, R., A. Villada y B. M.T. 2011. Reduction of the short-term availability of copper, lead and zinc in a contaminated soil amended with municipal solid waste compost. Journal of Hazardous Materials.98-104.
- Reddy, K., R., R. Saichek, E., K. Maturi y A. Prasanth. 2002. Effects of soil moisture and heavy metal concentrations on electrokinetic remediation. Indian Geotechnical journal.
- Reyes Guzmán, M. y G. Avendaño Prieto. 2012. Estudio ambiental sobre el riesgo ecológico que representa el plomo presente en el suelo. Rev. Escuela de Administración de negocios. 66-75.
- Rodríguez, L., E. Ruiz, J. Alonzo-Azcárate y J. Rincón. 2008. Heavy metal distribution and chemical speciation in tailings and soils around a Pb-Zn mine in Spain. Journal of Environmental Management. 1106–1116.
- Rodríguez, V., Juan, A. y C. Vázquez, Mario, V. 2003. Valoración de la electroremediación en andisoles contaminados, mediante el análisis de las soluciones de lavado. Revista de la facultad de ciencias. 8.
- Romero Ledezma, K. P. 2009. Contaminación por metales pesados. Científica Ciencia Médica. 1245-46.
- Rubén, K. y S. Hans. 1997. Transport of humic-coated iron oxide colloids in sandy soils: Influence of Ca<sup>2+</sup> and trace metals. Environmental Science and Technology.3497–3504.
- Rubio, C., A. Gutiérrez, R. Marín-Izquierdo, C. Revert, G. Lozano y A. Hardisson. 2004. El plomo como contaminante alimentario. Revista de toxicología. 2172-80.
- S., H. A. 2000. The relevance of speciation in the remediation of soils and sediments contaminated by metallic elements-an overview and examples from central Scotland, UK. Journal of Environmental Monitoring. (1).

- Sauerbeck, D. 1982. Welche schwermetallgehalte pflanzen dürfen nicht ubeschritten werden, um wachstumsbeeinträchtigung zu vermeiden? Landwirtsch Forsch Sonderheft 105-112.**
- Saval, S. 1999. Exitos y fracasos de la remediación de suelos en sitios contaminados con hidrocarburos. Siebe C. Consevación y Restauración.**
- Sébastien., S., H. William. y A. H. E. 2000. Solid-solution partitioning of metals in contaminated soils: Dependence on ph, total metal burden, and organic matter. Environmental Science and Technology.**
- Seoanes calvo, M. 1999. Contaminacion del suelo: Estudios, tratamiento y gestión. Casa del libro.Com.**
- Suruchi., K. P. 2011. Assessment of heavy metal contamination in different vegetables grown in and around urban areas. Research Journal of Environmental Toxicology. 162-179.**
- Télles-Rojo, M. M., D. C. Bellinger, C. Arroyo-Quiroz, H. Lamadrid-Figueroa, A. Mercado-García, L. Schnaas-Arrieta, R. O. Wringht, M. Hernández-Avila y H. Howard. 2006. Longitudinal associations between blood lead concentrations lower than 10 mg/dl and neurobehavioral development in environmentally exposed children in Mexico City. Pediatrics. 118(2).**
- V., G. 1993. Concentraciones de plomo en sangre de la población de la ciudad de Maracaibo. Universidad de Zulia.**
- Van Der Lelie, D., C. Lesaulnier, S. McCokle, J. Geets, S. Taghavi y J. Dunn. 2005. Use of single-point genome signature tags as a universal tagging method for microbial genome surveys. Applied and Environmental Microbiology. 72:2092-2101.**