

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Fitoextracción de Plomo de un Suelo Contaminado con el Uso de Tres Agentes  
Quelantes en Maíz e Higuierilla

Por:

**JOSÉ FRANCISCO JIMÉNEZ SOSA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Saltillo, Coahuila, México

Abril 2015

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Fitoextracción de Plomo de un Suelo Contaminado con el Uso de Tres Agentes  
Quelantes en Maíz e Higuierilla

Por:

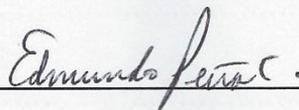
**JOSÉ FRANCISCO JIMÉNEZ SOSA**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

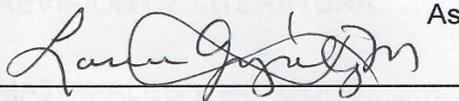
**INGENIERO EN AGROBIOLOGÍA**

Aprobada



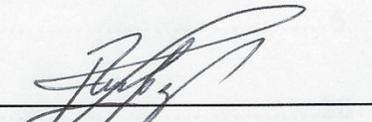
Dr. Edmundo Peña Cervantes

Asesor Principal



M.C. Laura María González Méndez

Coasesor

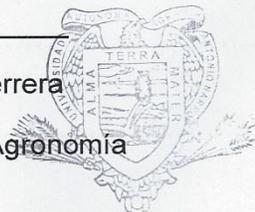


Dr. Rubén López Cervantes

Coasesor

Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación

Saltillo, Coahuila, México División de Agronomía

Abril 2015

## Índice

Dedicatoria.....	ii
Agradecimientos.....	iv
Índices de cuadro.....	v
Índices de figuras.....	vi
RESUMEN.....	vii
INTRODUCCIÓN.....	1
OBJETIVO GENERAL.....	3
Objetivos específicos.....	3
HIPÓTESIS.....	4
REVISION DE LITERATURA.....	5
MATERIALES Y MÉTODOS.....	28
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	34
CONCLUSIÓN.....	43
LITERATURA CITADA.....	44

## **Dedicatoria**

A Dios por darme la vida, y la oportunidad de concluir mis estudios profesionales.

A mis padres

**María Elena Sosa Pérez**

**José Jiménez De la Cruz**

Por ser mi ejemplo a seguir, mi mayor admiración, por darme el apoyo, el cariño y la oportunidad de crecer y desarrollarme como persona, gracias por cada llamada de atención, cada consejo, cada palabra de ánimo y por enseñarme a valorar lo que tengo, son mi regalo de Dios.

A mi hermano **Juan Antonio Jiménez Sosa**, de quién siempre he tenido un gran apoyo incondicional, con quien siempre he compartido grandes momentos de mi vida, y en quien siempre he encontrado cariño y alegrías. Dios te bendiga siempre hermano.

A mi tía **Luz María Jiménez De la Cruz**, por ser parte muy importante en mi vida, a quien admiro y respeto profundamente, gracias por brindarme su cariño, su apoyo incondicional. Dios le bendiga siempre.

A mis amigos de toda la vida, **José Rufino y Héctor**, de quien siempre he tenido su apoyo incondicional, con quienes he compartido grandes momentos de mi vida.

A mis amigos de generación, **Isaac, Javier, Miguel, Marco, Isaí, Axel, Raymundo e Iván**, en quienes encontré una gran amistad en mi paso por esta Universidad, hemos compartido grandes momentos, nervios, enojos y triunfos. Gracias por su amistad.

A mis amigos de la Rondalla Universitaria, con los que pase grandes momentos en mi alma mater y en donde conocí a grandes amigos, **Adrián, Marcos, Máximo, Miguel, Fernando, Diego, Gilfredy, Maximino, Uldrich, Erick, Alberto, Chulin y Luis** con los que compartí cuatro años excelentes en la RU.

## **Agradecimientos**

A mi Alma Mater, por permitirme realizar mis estudios profesionales en sus aulas.

Al Dr. Edmundo Peña Cervantes, por el apoyo recibido desde el momento en que lo conocí, excelente persona, maestro y asesor, por la confianza que ha depositado en mí. Gracias por la oportunidad de trabajar con usted. Por la amistad que siempre me ha brindado.

Al Dr. Rubén López Cervantes, por darme la oportunidad de trabajar con usted en este proyecto y por el apoyo incondicional recibido durante la elaboración de este trabajo de investigación.

A la M.C. Laura María González Méndez, por su apoyo y participación en este trabajo.

A todas las personas que durante el trabajo de investigación, me ayudaron en todos los aspectos de su elaboración y de quienes también recibí palabras de aliento y apoyo.

## Índice de cuadros

Cuadro 1. Límites máximos permisibles de diferentes elementos contaminantes en el suelo. Tomado de (SEMARNAT/SSA1-2004).....	7
Cuadro 2. Procesos y mecanismos que incluye la fitorremediación en la eliminación. (Ghosh y Singh, 2005).....	14
Cuadro 3. Ejemplos de especies empleadas en fitorremediación de metales pesados. Datos tomados de Saad <i>et al.</i> , 2009.....	15
Cuadro 4. Características determinadas en el suelo.....	29
Cuadro 5. Análisis de acumulación de Pb en el maíz en los diferentes tratamientos. ....	34
Cuadro 6. Análisis de Na en el maíz en los diferentes tratamientos.....	37
Cuadro 7. Análisis de Pb en higuera en los diferentes tratamientos.....	39
Cuadro 8. Análisis de Na en higuera en los diferentes tratamientos.....	41

## Índice de figuras

Figura 1. Fuentes de contaminación de plomo para el ambiente. (Pallavi y Rama, 2005).....	9
Figura 2. Fitoextracción de metales (Alkorta <i>et al.</i> , 2004).....	15
Figura 3. Localización del Invernadero donde se realizó el experimento.....	28
Figura 4. Siembra de las semillas de Maíz e Higuierilla.....	30
Figura 5. Plantas de Maíz con sus tratamientos.....	31
Figura 6. Plantas de Higuierilla con sus tratamientos.....	32
Figura 7. Comportamiento del Pb en el Maíz en los diferentes tratamientos.....	36
Figura 8. Comportamiento de Na en el Maíz en los diferentes tratamientos.....	38
Figura 9. Comportamiento del Pb en Higuierilla en los diferentes tratamientos.....	40
Figura 10. Comportamiento de Na en Higuierilla en diferentes tratamientos.....	42

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad del maíz e higuierilla en la fitoextracción de plomo (Pb). Consistió en someter a las plantas de maíz e higuierilla a cuatro tratamientos: EDTA, ácido húmico, ácido fúlvico y testigo (sin tratamiento). En una segunda fase la planta completa se lavó y se procedió a separarla en tallo y hojas, se pesó en fresco y se colocaron en bolsas de papel. De la materia seca cosechada se pesó un gramo por cada tratamiento y repetición y se procedió a realizar la digestión agregándole 10 ml de ácido nítrico y colocarlos en un digestor microondas MARS 6 con tecnología one touch. Los datos obtenidos se procesaron de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones. Los resultados del análisis de varianza realizado para el contenido de plomo en tallo y hojas de maíz con sus diferentes tratamientos mostraron que no hay diferencia significativa en la acumulación de plomo en la planta. Se puede apreciar que donde acumuló la mayor cantidad de plomo fue en la hoja, esto se vio reflejado en todos los tratamientos del maíz, en cuanto al que acumuló mayor cantidad de plomo de los 4 tratamientos, fue el tratamiento donde se le aplicó EDTA, este obtuvo  $65 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. En cambio el tratamiento que obtuvo la menor acumulación de Pb fue al que se le agregó Ac. Fúlvicos en este caso en la hoja ya que obtuvo  $27.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. En el tallo el que acumuló mayor cantidad de Plomo fue el testigo el cual obtuvo  $42.59 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb y el que acumuló la menor cantidad fueron a los que se le agregó Ac. Húmicos y Fúlvicos los cuales obtuvieron  $32.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. De esta manera el EDTA, ayudo ligeramente a incrementar la acumulación de plomo en las hojas. En cambio con el uso de los ácidos Húmicos y Fúlvicos no hubo incremento comparado con el testigo. En general se observó una tendencia de mayor acumulación de la hoja, seguido del tallo. Se puede apreciar que el tratamiento con higuierilla que acumuló mayor cantidad de plomo en la hoja fue el testigo ( $60 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb), y el que acumuló en menor proporción fue al que se le aplicó ac. Fúlvicos ( $32.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb). En cuanto al tallo el que acumuló mayor cantidad de plomo (Pb) fue el testigo ( $90 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb) y el que obtuvo menor cantidad de Pb fue el tratamiento al que se le aplicó EDTA ( $32.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb). Con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que en las especies utilizadas en este caso maíz e higuierilla se observó que la mayor acumulación de plomo (Pb) y sodio (Na) se encuentra en las hojas en ambos casos, ya que es un órgano propicio para la acumulación y en mucha menor medida en los tallos de dichas plantas. Y con respecto a los agentes quelantes se puede decir que en algunos casos lograron estimular en la acumulación de plomo y sodio, en caso particular en las hojas de maíz e higuierilla.

**Palabras clave:** Fitoextracción, plomo, ácidos húmicos, ácidos fulvicos, EDTA

Correo Electronico; jose francisco jimenez sosa, [frank88@hotmail.com](mailto:frank88@hotmail.com)

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados se ha convertido en uno de los problemas más serios para el medio ambiente en la actualidad. Esto como resultado de las actividades humanas tales como la minería, la fundición de metales, los gases de los escapes de los automóviles, la producción de energía y combustibles, y la aplicación de fertilizantes y pesticidas (Alkorta *et al.*, 2004).

Como parte de las medidas llevadas a cabo por el hombre para revertir estos problemas de contaminación por metales pesados, la fitorremediación se presenta como una alternativa viable que utiliza ciertas plantas para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales, hidrocarburos, plaguicidas y solventes clorados (Susarla *et al.*, 2002).

Todas las plantas absorben metales del suelo donde se encuentran pero en distinto grado, dependiendo de la especie vegetal y de las características y contenido de metales del suelo. Las plantas pueden adoptar distintas estrategias frente a la presencia de metales en su entorno (Barceló y Poschenriender, 2003).

En 1993 se realizaron los primeros experimentos utilizando plantas tales como el maíz y tomate para extraer metales de lugares contaminados (McGrath *et al.*, 1993 y 2006). La capacidad de adsorción por parte de la planta varía según el tipo de contaminante, tipo de suelo y pH del mismo, por lo que es posible adaptar la elección del cultivo al nivel y tipo de contaminante.

Algunas investigaciones han demostrado que la fitoextracción parece ser la técnica más prometedora y ha recibido una creciente atención a partir del

momento en que las investigaciones fueron propuestas por Chaney *et al.*, (1983) como una tecnología para la recuperación de metales en los suelos contaminados para extraer y traslocar metales a sus partes cosechables. Estudios realizados por Dushenkov (1997) demuestran que el maíz es una planta hiperacumuladora de metales pesados.

El objetivo de la fitoextracción es reducir la concentración de metales en suelos contaminados, para regular los niveles de estos en el interior de la planta en un tiempo determinado. Este proceso de extracción depende de la habilidad para seleccionar las plantas que crecen y acumulan metales bajo el clima y las condiciones específicas del suelo existentes en el lugar remediado.

En este estudio se evaluará el maíz e higuierilla tratado con EDTA, ácidos húmicos y Fúlvicos en un suelo contaminado con plomo (Pb) y saber las cantidades de plomo en hoja y tallo.

## **OBJETIVO GENERAL**

Determinar la cantidad de plomo fitoextraído de un suelo, con el uso de tres agentes quelantes en maíz e higuierilla.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Comparar la concentración de plomo en la hoja y tallo de maíz e Higuierilla.
- Establecer el agente quelante que extraiga la mayor cantidad de plomo del suelo contaminado; así como, en que órgano vegetal se presente la mayor acumulación de metal pesado.

## HIPÓTESIS

- ✚ Al menos un agente quelatante estimula la acumulación de plomo en maíz e higuera.
- ✚ El ácido etilendiamino tetracético (EDTA), los ácidos húmicos (AH) y fúlvicos (AF) estimulan la absorción de plomo en maíz y de la higuera.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Contaminación

El término contaminación se refiere a la introducción o incremento anormal de sustancias que pueden ejercer un efecto dañino sobre los organismos en los ecosistemas. A veces la contaminación es de origen natural, pero en general, está relacionada con la actividad del hombre, que en su búsqueda de supervivencia y bienestar dispersa sustancias agresivas, algunas de las cuales pueden ser transformadas por organismos vivos. Los agentes contaminantes tienen relación con el crecimiento de la población y el consumo (combustibles fósiles, la generación de basura, desechos industriales, etc), ya que al aumentar éstos, la contaminación que ocasionan es mayor. Los contaminantes por su consistencia, se clasifican en sólidos, líquidos y gaseosos. Se descartan los generados por procesos naturales, ya que por definición, no contaminan (Bautista, 1999).

La ley general del equilibrio ecológico y protección al ambiente edición (2011), define como contaminación a la presencia en el ambiente de uno o mas contaminantes o de cualquier combinación de ellos que cause desequilibrio ecológico, y como contaminante define a toda materia o energía en cualquiera de sus estados físicos y formas, que al incorporarse o actuar en la atmósfera, agua, suelo, fauna o cualquier tipo de elemento natural que cause desequilibrio.

Juwarkar *et al.*, (2010) mencionan que el desarrollo sostenible requiere el desarrollo y la promoción en la gestión del medio ambiente y la búsqueda constante de las tecnologías verdes para tratar una amplia variedad de hábitats

acuáticos y terrestres contaminados por el aumento de las actividades antropogénicas.

### **Contaminación por metales pesados**

La contaminación del suelo por metales pesados resultantes de las actividades humanas está causando gran preocupación debido a su riesgo potencial.

Acosta *et al.*, (2007) mencionan que la contaminación del agua, aire y suelo por metales pesados es uno de los problemas ambientales más severos, además de ser muy difícil de resolver.

La contaminación por metales pesados se ha convertido en uno de los problemas más serios para el medio ambiente en estos días. Esto como resultado de las actividades humanas tales como la minería, la fundición de metales, la galvanoplastia, los gases de los escapes, la producción de energía y combustible y la aplicación de fertilizantes y pesticidas (Alkorta *et al.*, 2004).

Carpena y Bernal (2007) mencionan que los metales pesados en el suelo, suponen un riesgo por su movilización hacia aguas superficiales y subterráneas, absorción por las plantas y también por el paso a la cadena trófica. Además de que cuando se dan niveles muy altos de biodisponibilidad, tanto los elementos esenciales (Cu, Zn, Mn, Fe, Mo) como los no esenciales (Cd, Ni, 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.

En México, la secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales es la encargada de establecer los criterios para el muestreo, caracterización y determinación de las concentraciones de remediación se suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, níquel, plomo, selenio, talio y vanadio por medio de un proyecto de norma oficial mexicana NOM-147-SEMARNAT/SS1-2004 (Cuadro 1).

Cuadro 1. Límites máximos permisibles de diferentes elementos contaminantes en el suelo. (SEMARNAT/SSA1-2004)

Contaminante	Uso agrícola/residencial (mg/kg)	Uso industrial (mg/kg)
Arsénico	22	260
Berilio	150	1900
Cadmio	37	450
Cromo hexavalente	280	510
Mercurio	23	310
Níquel	1600	20000
Plomo	400	750
Selenio	390	5100
Talio	5.2	67
Vanadio	550	7200

Los efectos ecológicos de metales pesados en los suelos están estrechamente relacionados con el contenido y especiación de los elementos en las fases sólida y líquida de los suelos (Bruemmer *et al.*, 1986).

Vullo (2003) menciona que para que los metales pesados puedan ejercer su toxicidad sobre un ser vivo, estos deben encontrarse disponibles para ser captados por este, es decir, el metal debe estar biodisponible, este concepto, se encuentra íntimamente relacionado con las condiciones fisicoquímicas del ambiente, que determinan la especiación y por lo tanto la concentración del metal libre y lábil. Un ejemplo de lo anterior fue demostrado por Aboulroos *et al.*, (1989) quienes encontraron que el contenido total de Fe, Mn, Zn, Cu, Pb, Cd, Ni y Co en suelos regados con aguas residuales aumentó con los años, y que las concentraciones de Cd, Co, Ni y Pb en granos de maíz y frutas de color naranja fueron varias veces superiores a lo normal, lo que reduce la aptitud para el consumo humano.

### **Contaminación por plomo**

González *et al.*, (1997) mencionan que el plomo es un metal pesado que hasta donde se sabe no cumple ninguna función fisiológica normal en el hombre, se distribuye ampliamente y posee una gran cantidad de usos.

El plomo (Pb) ha sido considerado durante muchos años como uno de los principales contaminantes ambientales, como se puede apreciar en la figura 1, debido al extenso uso que durante décadas ha tenido como componente de la gasolina, otras fuentes de exposición al plomo son la industria de la cerámica,

pigmentos en barnices, pinturas y esmaltes, la aleación con estaño en la soldadura y la industria de acumuladores y baterías (Torres *et al.*, 2001).

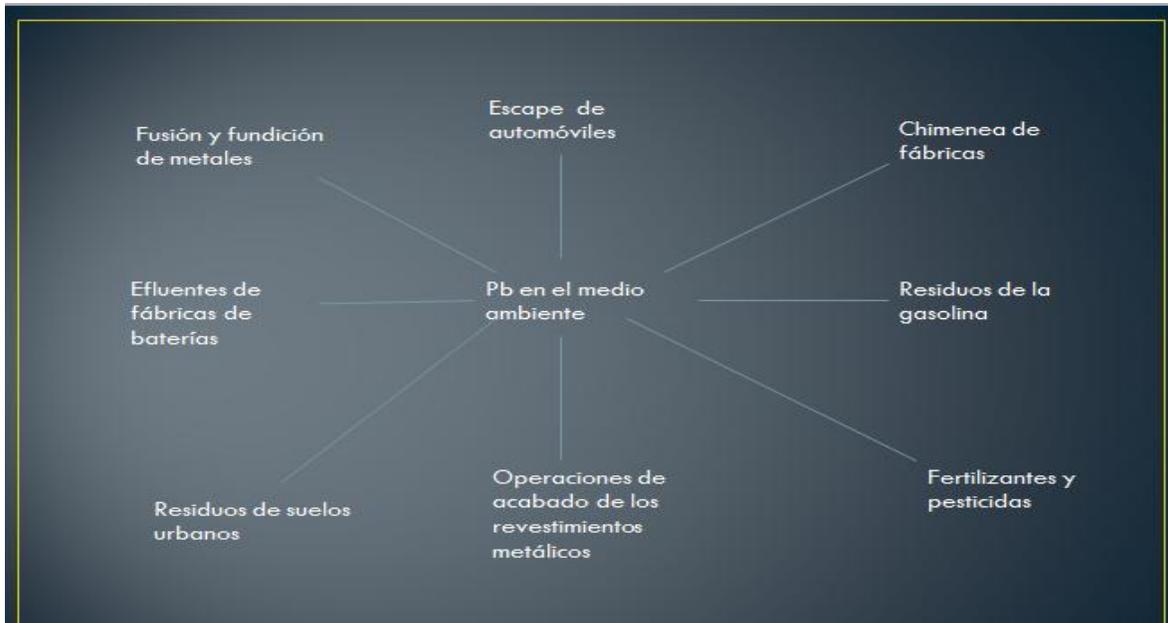


Figura 1. Fuentes de contaminación de plomo para el ambiente. (Pallavi y Rama, 2005)

El plomo no es biodegradable y persiste en el suelo, en el aire y en el agua, no desaparece si no que se acumula en los sitios donde se deposita. (Valdés y Cabrera, 1999). Por lo anterior, la contaminación por plomo ha sido foco de atención de muchas investigaciones recientes para determinar, cuál es la mejor manera de gestionar al plomo para el ser humano y el medio ambiente.

### **Características del plomo**

El plomo se encuentra en forma natural en la corteza terrestre de un modo relativamente abundante. Fue uno de los primeros metales extraídos por el hombre, a partir de la galena ( $Pb S$ ), la cerusita ( $Pb CO_3$ ) y la anglesita ( $Pb SO_4$ ).

El metal se produce primariamente por fundición del mineral. Los principales yacimientos de éste están en Australia, Canadá, Estados Unidos y La Unión Soviética. La producción mundial minera es de aproximadamente 3,300,000 ton/año; en América Latina se produce el 14% de este total, siendo los más importantes productores de Perú (212,600 ton/año) y México (184,261 ton/año). La tendencia al incremento en la producción y el consumo de plomo en América Latina ha aumentado el riesgo de exposición y de daños en la salud de la población (Gómez *et al.*, 2001).

Sierra (2006), menciona que este elemento es una de las bases en la civilización tecnológica, ya que infinidad de industrias lo utilizan como materia prima o como componente básico de sus productos. Su intenso uso se debe a una serie de propiedades que lo hacen poco menos que imprescindible en algún tipo de industrias. Entre estas propiedades las más importantes son: densidad elevada, punto de fusión bajo, inercia química entre los ácidos, ductilidad, muchas de sus sales son corrosivas y algunas de sus sales son fuertemente tóxicas. La contaminación natural por plomo es pequeña. La contaminación artificial, es decir aquella procedente de la actividad humana es grande. Dos son las principales fuentes: emisiones industriales (fundiciones de hierro, zinc, cobre y plomo; fábricas de pinturas, cerámicas, cristalería, pólvoras y explosivos; combustión del carbón, etc.) y emisiones producidas por vehículos.

Debido a la alta concentración de plomo en suelos se busca la manera de extraer este metal en estos tipos de suelos, por medio de alternativas que no tengan un

costo elevado, utilizando plantas que puedan descontaminar el suelo, acumulando este metal en sus tejidos.

### **Remediación de suelos**

El término tecnología de remediación, implica el uso de cualquier operación unitaria o conjunto de ellas, que altere la composición de un contaminante peligroso a través de acciones químicas, físicas o biológicas de manera que reduzcan su toxicidad, movilidad o volumen en el material contaminado (Volke *et al.*, 2005). Así el tratamiento y recuperación de suelos contaminados se puede definir como el conjunto de operaciones realizadas con el objetivo de controlar, disminuir o eliminar los contaminantes en el suelo (Coria, 2007).

La remediación de sitios contaminados con metales tóxicos es particularmente difícil, pues a diferencia de los compuestos orgánicos, los metales no pueden ser degradados, y la limpieza por lo general requiere su eliminación (Lasat, 2002).

Hasta hace poco, las únicas tecnologías de descontaminación de suelos estaban basadas en técnicas fisicoquímicas. Estas técnicas, en general, tienen un alto costo económico, implican un elevado consumo de energía y sobre todo, conlleva un impacto negativo, en ocasiones irreversible, sobre la integridad y funcionalidad del recurso suelo. Respecto a esto, en los últimos años, han surgido una serie de tecnologías biológicas de descontaminación de suelos entre las que se puede destacar la biorremediación (Garbisu *et al.*, 2007)

El uso de procesos biológicos ha sido propuesto para la detoxificación de residuos y remediación de sitios afectados debido a que han demostrado ser más prácticos

y económicamente factibles para el manejo y tratamiento de diferentes tipos de residuos (Ferrera *et al.*, 2006)

### **Fitorremediación**

La fitorremediación es una tecnología nueva y prometedora que utiliza las plantas para degradar, asimilar, metabolizar o detoxificar metales, hidrocarburos, plaguicidas y solventes clorados (Susarla *et al.*, 2002)

Muñoz *et al.*, (2010) remarcan que la enorme versatilidad metabólica con que cuentan las plantas, aunada a las complejas interacciones que establecen con la rizósfera, confiere a esta tecnología importantes ventajas entre las que resalta la gran variedad de contaminantes para los que pueden ser aplicada. Sin embargo, hacen falta estudios que clarifiquen tanto la manera en que se presentan las interacciones plantas-microorganismos rizosféricos, como el papel que juegan las enzimas de ambos en los procesos de fitorremediación.

Marmioli y Monciardini (1999) explican que la aplicación práctica de la fitorremediación, todavía requiere más estudios en varios campos, incluyendo la biología, la sociología, la legislación y la educación.

Con el fin de establecer un sitio de fitorremediación, es necesario que:

- (1) No tenga efectos perjudiciales que sean transferidos al medio ambiente circundante.
- (2) La gestión del sitio sea eficaz desde el punto de vista económico y social.
- (3) La estrategia general sea económicamente ventajosa sobre otras técnicas

Ciertas plantas silvestres, así como plantas de cultivo, son llamadas hiperacumuladoras, porque son capaces de acumular grandes cantidades de metales pesados en las partes aéreas. Esta propiedad puede ser explotada para la limpieza de suelos contaminados por metales (fitorremediación), si el rendimiento y la acumulación de metales son lo suficientemente grandes para terminar la remediación en un plazo razonables (Felix, 1997).

Shuhe *et al.*, (2009) indican que una de las claves en el proceso de la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados es todavía la identificación de plantas que sean acumuladoras e hiperacumuladoras de estos metales.

Khan *et al.*, (2000) opinan que para mejorar la fitorremediación como una estrategia viable, es necesario el rápido crecimiento de las plantas, además de su habilidad para acumular altas cantidades de metal y el aumento rápido de su biomasa.

Cuadro 2. Procesos y mecanismos que incluye la fitorremediación. (Ghosh y Singh, 2005)

No.	Proceso	Mecanismo	Contaminante
1.	Rizofiltración	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos/inorgánicos
2.	Fitoestabilización	Complejación	Inorgánicos
3.	Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
4.	Fitovolatilización	Volatilización por hojas	Orgánicos/inorgánicos
5.	Fitotransformación	Degradación en la planta	Orgánicos

### **Fitoextracción**

Dentro del campo de la fitorremediación, a la fitoextracción se les conoce como a la utilización de las plantas para transportar y concentrar metales del suelo a la raíz y las partes cosechables de la planta (Garbisu y Alkorta, 2001).

En la figura 2 se puede observar el proceso de fitoextracción, donde el metal existente en el suelo, es captado por las raíces, se traslocan a las partes aéreas de la planta para su acumulación, donde luego es cosechado, para su eliminación o recuperación.



Figura 2. Absorción de metales (Alkorta *et al.*, 2004)

También Dushenkov *et al.*, (1997) consideran a la fitoextracción como un subgrupo de la fitorremediación, que se basa en el uso de plantas de cultivo de alta biomasa en combinación con un sistema de enmiendas del suelo para extraer los metales pesados, y que podría proporcionar una manera económica de restaurar el valor de las tierras contaminadas.

Cuadro 3. Ejemplos de especies empleadas en fitorremediación de metales pesados. Saad *et al.*, (2009).

<b>Especie Vegetal</b>	<b>Contaminante</b>
<i>Typha (Cattail) Juncus (Rush)</i>	Metales pesados
<i>Silene vulgaris</i>	Cd y Zn
<i>Astragalus bisulcatus</i>	Selenio
<i>Arabidopsis</i>	Mercurio y selenio
<i>Penisetum purpureum,</i>	Cromo
<i>Solanum lycopersicum</i>	Níquel

<i>Bidens maximowicziana</i>	Plomo
<i>Arabidopsis halleri</i>	As, Cd, Pb y Zn
<i>Athyrium yokoscense</i>	Cu, Pb, Fe y Zn
<i>Sesbania cannabina</i>	Fe, Mn, Zn, Cu, Pb y Ni

Se han encontrado que diferentes especies de plantas como *Astrogalus spp.*, *Solanum melongena*, *Capsicum annum* y *Lycopersicum esculentum* han sido evaluadas por su capacidad de acumular y tolerar cantidades de arsénico (Alcántara *et al.*, 2001).

También *Suaeda fruticosa* se estudió debido a su alta biomasa y su capacidad fitoextractora de metales, y se concluyó que se puede emplear en la rehabilitación de los efluentes de suelos contaminados usando pequeñas dosis del agente quelante Etilen Diamino Tetra Acético (EDTA), ya que la mayor cantidad de Cr fue acumulado por las hojas de *S. fruticosa*, seguido por las raíces y tallo. (Bareen y Anjum, 2001).

Greber y Landberg (1999), estudiaron las propiedades del sauce para acumular altos niveles de iones de cadmio y zinc y demostraron la capacidad y la posibilidad de utilizar al sauce (*Salix sp.*) en la fitoextracción.

Vidal *et al.*, (2010) determinaron la influencia del grado de contaminación, la aplicación de ácido cítrico y el tiempo de crecimiento del guarumo (*Cecropia peltata*), sobre la tasa de remoción de mercurio (Hg) en suelo. Encontraron que después de 4 meses de crecimiento, los porcentajes estuvieron entre 15.7% y 33.7% debido a la capacidad del guarumo para acumular grandes cantidades del

metal sin presentar efectos tóxicos considerables, así como el alto contenido de mercurio biodisponible en los suelos contaminados, lo que conllevó también a que el ácido cítrico no tuviera influencia significativa sobre la recuperación de Hg; por lo cual se concluyó, que el guarumo es una especie con capacidad fitorremediadora.

### **Fitoextracción de plomo**

El balance de plomo en los suelos, sugiere que esta tecnología solo será económicamente factible si los sistemas a emplear, incluyen plantas con alta biomasa que pueden llegar a acumular más del 1% del plomo en sus hojas (Huang *et al.*, 1997).

Buscando cumplir con esto último, se estudió a *Sesbania drummondii*, para demostrar su capacidad como hiperacumuladora de plomo, y se encontró que las concentraciones de más de 4% de plomo en las hojas, fueron obtenidas al ser cultivadas en una solución de Hoaglan modificada que contenía 1g  $Pb(NO_3)_2/L$ , además de que la acumulación de plomo en el tejido depende de la concentración de este en la solución nutritiva (Sahi *et al.*, 2002).

En base al factor de traslocación del plomo dentro de las plantas colectadas, analizadas e identificadas, se determinó que *Schoenoplectus americanus*, *Baccharis neglecta* y *Brickellia veronicaefolia* pueden acumular plomo (Alarcón y Flores, 2005).

En el estudio de campo para determinar la eficacia de un cultivo de girasol (*Helianthus annuus*) y ambrosia (*Ambrosia trifida*) se realizaron una serie de

acciones para restablecimiento de la vegetación y el tratamiento de suelos severamente contaminados con plomo, cadmio y zinc, las enmiendas incluyeron el uso de composta urbana, lodos secos, ácido cítrico y ácido etilen diamino tetra acético (EDTA), resultando que el cultivo mixto fue capaz de crecer en todos los tratamientos (Jacob *et al.*, 2007).

Los resultados obtenidos al estudiar los efectos de la combinación de EDTA y la fitohormona ácido indol-3-acético (IAA) en la absorción de plomo de la alfalfa (*Medicago sativa*), muestran que esta planta no solo es hiperacumuladora, si no que con esta combinación de compuestos orgánicos, se puede aumentar su potencial como hiperacumuladora. (López *et al.*, 2005).

Por otro lado Huang y Cunningham (1997) compararon que la fitoextracción de plomo en maíz (*Zea mays*) y ambrosia (*Ambrosia artemisiifolia*) contra *Thlaspi aestivum*, *Thlaspi rotundifolium*, *Thlaspi caerulescens* y *Brassica juncea*, usando una solución nutritiva y suelo contaminado con plomo, y encontraron que las especies de plantas difieren significativamente en la absorción y traslocación de plomo. El maíz fue quién acumulo la mayor cantidad de plomo por lo que se sugiere que en combinación con enmiendas podría ser utilizado para la limpieza de suelos contaminados con este metal.

Chen *et al.*, (2004) estudiaron el pasto vetiver (*Vetivarie zizanioides*) por su potencial uso en fitoextracción de suelos contaminados con metales pesados, y los resultados mostraron que tiene la capacidad de tolerar altas concentraciones de plomo en los suelos.

Salas (2007), encontró que *Acacia farnesiana* y *Dodonea viscosa* son especies que toleran concentraciones de Pb de hasta 500 mg/L, y que ambas tienen capacidad para acumular el metal en sus tejidos en concentraciones mayores a 1000 mg kg<sup>-1</sup> en presencia de EDTA (1 mM). Por lo anterior, pueden considerarse especies con potencial para la fitorremediación de sitios contaminados totales de plomo menor o igual a 500 mg/L.

Mientras que Wang *et al.*, (2007) encontraron que *Bidens maximowicziana* es una nueva hiperacumuladora de plomo, que no solo tiene notable tolerancia, sino que también una extraordinaria capacidad para acumular Pb. La máxima concentración de plomo encontrada en su estudio fue de 1509 mg kg<sup>-1</sup> en raíces y 2164.7 mg kg<sup>-1</sup> en los tejidos superficiales, por lo que esta planta resulta ser adecuada para la remediación de suelos contaminados por plomo.

El mezquite (*Prosopis* spp.) es capaz de acumular altos niveles de plomo en las raíces y también de traslocar este metal a sus partes aéreas, cuando se adiciono EDTA se observó que existió una mayor acumulación de plomo en los tejidos, y un mayor movimiento hacia las hojas. (Aldrich *et al.*, 2004).

El plomo se mueve predominantemente dentro del apoplasto de la raíz en una forma radial a través del córtex y se acumula cerca de la endodermis la cual actúa como una barrera parcial al movimiento del plomo entre la raíz y la parte aérea (García, 2006).

Pourrut *et al.*, (2011) indican que el contenido de plomo inhibe fuertemente la germinación de semillas, la elongación de las raíces, desarrollo y crecimiento de plántulas, la transpiración y el contenido de agua y proteínas.

Mensah *et al.*, (2008) usaron riegos con plomo a una concentración de 30 mg/l para un cultivo de repollo, lechuga y zanahoria. Y encontró que la tasa de transpiración se redujo en un 56.6%, 11.1% y 35.9% para el repollo, la lechuga y las zanahorias respectivamente, mientras que a una concentración de 50 mg/L de Pb la tasa de transpiración del repollo, la lechuga, y la zanahoria se reducen en un 72.9%, 41.7% y 24.5% respectivamente en comparación con el testigo.

### **Acumulación de Sodio Intercambiable en suelos**

Las partículas del suelo adsorben y retienen cationes a consecuencia de las cargas eléctricas que existen en la superficie. Una vez que los cationes adsorbidos se han combinado químicamente con las partículas del suelo, pueden ser reemplazados por otros cationes. Los cationes de sodio, calcio y magnesio son rápidamente intercambiables. Otros cationes como el potasio y el amonio pueden quedar retenidos en determinada posición sobre las partículas del suelo, de manera que se intercambian con gran dificultad, diciéndose entonces que se han fijado. El calcio y el magnesio son los principales cationes que se encuentran en la solución del suelo. Cuando en estos suelos se acumula un exceso de sales solubles, generalmente es el catión sodio el que predomina en la solución del suelo y, en esta forma, el sodio puede ser el catión predominante al cual está sujeto el suelo, debido a la precipitación de los compuestos de calcio y magnesio. A medida que la solución del suelo se concentra más a consecuencia de la

evapotranspiración del agua y su adsorción por las plantas, los límites de solubilidad del sulfato y carbonato de magnesio casi siempre se exceden, por lo cual se precipitan, causando el correspondiente aumento en las proporciones relativas de sodio. En general, más de la mitad de los cationes solubles debe ser sodio, antes de que sean adsorbidas cantidades de importancia por el complejo de intercambio, sin embargo, en algunas soluciones de los suelos salinos, prácticamente todos los cationes son sodio, por lo que es el catión adsorbido predominantemente.(Pantoja,2005).

### **Características generales de quelatos**

Calderón (1996) define la quelatación como la formación de complejos solubles de iones metálicos en presencia de agentes químicos que normalmente producirían precipitados en soluciones acuosas. El mismo término se utiliza para describir la solubilización en agua de precipitados de iones metálicos. Los dos procesos son idénticos en el sentido de que el equilibrio se alcanza para el mismo conjunto dado sus componentes. Los compuestos capaces de ligar iones metálicos de tal manera que ellos no exhiban sus reacciones normales en presencia de agentes precipitantes se conocen como agentes secuestradores y/o secuestrantes. El término secuestación se ha entendido en los últimos años para incluir aquellos sistemas en los cuales el agente secuestrante se usa para enmascarar la actividad química o biológica de un ión metálico en reacciones diferentes a los procesos de precipitación.

Es importante enfatizar que la reacción de secuestación es frecuentemente parte de un proceso global en el cual se ha encontrado deseable incrementar o inhibir

una reacción influenciada por un ión metálico, la cual tiene lugar independientemente de la reacción de coordinación, o para alterar la influencia de un ión metálico sobre la estabilidad de un producto o componente. Vullo (2002)

### **Uso de quelatos en fitorremediación**

Debido a que contaminantes tales como el plomo (Pb) tienen una biodisponibilidad limitada en el suelo y facilitar su transporte a los brotes de las plantas es vital para el éxito de la fitorremediación. Blaylock *et al.*, (1997) demostraron la capacidad de las plantas para acumular altas concentraciones de Pb utilizando mostaza de la india (*Brassica juncea*) en suelos contaminados con plomo. La acumulación de Pb en el tejido corresponde a la concentración de EDTA (quelatos) añadida al suelo. La investigación indica que la acumulación de metal en los brotes de *B. juncea* puede mejorarse mediante la aplicación de quelatos sintéticos para el suelo, lo que facilita la acumulación de una mayor biomasa.

Hernández (2001), estudió el nivel de tolerancia al plomo en plantas de *Medicago sativa L.*, *Avena sativa.*, *Lillium multiflorum* y *Phaseolus vulgaris L.* a una concentración de 1000 y 5000 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, estas especies se sometieron a soluciones de 200, 600, 1200, 2 000 mg kg<sup>-1</sup> de Pb disuelto con EDTA. La acumulación de Pb ocurre en forma proporcional con el contenido metálico en el sustrato. En cambio con EDTA el Pb es absorbido en una proporción mucho mayor. No obstante el Pb absorbido se acumula mayormente en las partes aéreas de la planta que en la raíz. Las especies de avena, alfalfa y frijol poseen una capacidad similar de acumular plomo.

Sierra (2006), trabajó con el pasto *Rye grass* como fitorremediador de un suelo contaminado con plomo. En general los tratamientos variaron entre 558.16 y 243.8 mg kg<sup>-1</sup> de Pb extraído lo que denota disponibilidad de Pb. Cuando se modificaron las características físicas del suelo por acción de los tratamientos, también se presentaron problemas en el desarrollo del cultivo, como lento crecimiento; a pesar de esto, el cultivo logro extraer plomo. Todos los tratamientos en comparación con el suelo inicial, disminuyo el contenido de Pb en el suelo, lo anterior se debe a la absorción, lixiviación y dilución del metal pesado. Los valores finales de Pb, sobrepasan los límites máximos permisibles para suelos contaminados, según el uso del suelo, en este caso industrial, cuyo límite máximo es de 750 mg kg<sup>-1</sup>.

García (2011) demostró que en las especies vegetales utilizadas, existe una relación inversamente proporcional entre la densidad estomática y la transpiración con respecto a la acumulación de plomo en la planta. Así mismo observó que la mayor acumulación de este metal se encuentra en las raíces y las hojas por ser órganos propicios para la acumulación y en mucha menor medida en los tallos por ser órgano de conducción.

Todas las plantas poseen una capacidad para absorber una amplia variedad de metales del suelo, pero la mayor parte de las plantas tienden solamente a absorber los que son esenciales para su supervivencia y desarrollo (Chen y Cutright, 2001). Sin embargo (Trinidad, 2006) menciona en su investigación, que la adición de quelantes incrementa la disponibilidad de metales y favorece la fitoextracción, *Beta vulgaris*, posee potencial de absorción de Pb relativamente

bajo, cuyo valor fue de 62.36 mg Pb/kg de biomasa, sin embargo la adición de quelatos provocó incrementos altamente significativos en su capacidad de absorción de Pb, entre los quelatos aplicados el EDTA se observó como el mejor, ya que a medida que se incrementó la concentración aplicada, incrementó también significativamente la capacidad de absorción de Pb de la planta de *Beta vulgaris*, la aplicación de EDTA a 1600 mg kg<sup>-1</sup> incrementó su capacidad a 737.30 mg kg<sup>-1</sup> Pb de biomasa, el EDTA a la misma concentración incrementó el potencial de la planta a 647.10 mg kg<sup>-1</sup> Pb de biomasa. Considerando el valor obtenido de la capacidad natural de absorción de Pb de la planta de *Beta vulgaris* como un 100%, el EDTA a 1600 mg kg<sup>-1</sup> incrementó esa capacidad a 1085%, el DTPA a la misma concentración lo incrementó a 892%.

Huang *et al.*, (1997). Realizaron estudios sobre la disponibilidad de añadir quelatos de Pb a suelos contaminados para aumentar la acumulación de Pb en las plantas. La adición de quelatos a un suelo contaminado con plomo (Pb total del suelo de 2500 mg kg<sup>-1</sup>) aumento de las concentraciones de Pb brotes de maíz (L. cv. Fiesta) y arveja (L. cv. Sparkle) de menos de 500 mg kg<sup>-1</sup> a más de 10.000 mg kg<sup>-1</sup>. El aumento de la acumulación de plomo en estas plantas se asoció con el aumento del nivel de plomo en la solución del debido a la adición de quelatos al suelo. Para los quelatos probados, el orden de eficacia en el aumento de Pb desde el suelo era EDTA > HEDTA > DTPA > EGTA > EDDHA. También se encontró que el EDTA aumentó significativamente la translocación de plomo de las raíces a los brotes. Dentro de 24 horas después de la aplicación de solución de EDTA (1.0 g EDTA kg<sup>-1</sup> de suelo) para el suelo contaminado, la concentración de Pb en el

maíz, la savia del xilema aumentó 140 veces, y la translocación de Pb neto de las raíces a los brotes aumentó de 120 veces en comparación para el control (sin EDTA). Estos resultados indican que los quelatos mejoran tanto la absorción del Pb del suelo, como la facilitación del transporte del Pb en el xilema y el aumento de la translocación de Pb de las raíces a los brotes. Los resultados de este estudio sugieren que con un manejo cuidadoso, la fitoextracción de Pb asistido por quelatos puede ser una estrategia costo-efectiva del suelo en descontaminación.

### **Ácidos Húmicos y Fúlvicos en nutrición vegetal**

Las sustancias húmicas son derivadas del mineral Leonardita (forma oxidada del lignito). El termino humus es una connotación universal y hace referencia a la mayor fertilidad del suelo ya que constituye la mayor parte de materia orgánica. La reactividad de las sustancias húmicas se debe a su alta superficie específica, al tamaño molecular, acidez y grado de condensación de las moléculas, las cuales se asocian con cationes como aluminio, hierro, silicio, calcio y magnesio, entre otros presentes en el suelo, permiten la formación de sales, complejos y quelatos, influyen en la estabilidad física, química y biológica del suelo y en su fertilidad. (*Elizarrarás et al., 2009*).

La utilización de productos orgánicos que permiten a los agricultores obtener mayores rendimientos sin alterar el medio ambiente es una de las tendencias mundiales de nuestros tiempos. En este sentido, los ácidos fúlvicos están despertando el interés de los productores del campo, ya que entre sus múltiples beneficios posibilitan un mejor aprovechamiento de fertilizantes foliares y

radiculares, además de estimular el crecimiento general de la planta, lo cual se traduce en mayores rendimientos y mejor calidad de cosechas. Asimismo permiten el mejoramiento de la estructura del suelo al favorecer la formación de agregados y la reproducción exponencial de microorganismos. La recuperación del suelo, debido a la multiplicación de microorganismos propiciada por los ácidos fúlvicos, es sumamente rápida. (Revista 2000Agro, 2001)

#### Beneficios de los ácidos fúlvicos

Aumentan rendimientos y mejoran la calidad de las cosechas al:

1. Estimular el crecimiento general de la planta.
2. Mejorar notablemente la absorción y traslocación de nutrimentos y agroquímicos vía foliar y radicular.
3. Mejorar los suelos al promover de manera exponencial la reproducción de los microorganismos y la formación de agregados.
4. Actúa como bioestimulante al catalizar procesos bioquímicos de la planta y al promover la formación de ácidos nucleicos por su alto contenido de aminoácidos.
5. Quelata y pone a disposición de la planta nutrimentos de difícil absorción.

#### Recomendaciones de aplicación

Vía foliar : 100-150 g de ácido fúlvico por hectárea solo, o mejor mezclado con fertilizantes y agroquímicos en general.

Vía radicular : 3-4 kilos de ácido fúlvico por hectárea y por ciclo, repartido en un mínimo de tres aplicaciones (Revista 2000 Agro, 2001).

Los efectos que provocan los ácidos húmicos sobre las plantas tienen lugar en muchos aspectos de la misma. Por ejemplo, aplicando una solución diluida de humato sobre ellas antes de la siembra, estimula las membranas celulares, sus actividades metabólicas y con ello su poder germinativo. En las raíces aumenta su capacidad de absorción de elementos nutritivos, que junto con el incremento de la fotosíntesis de sus hojas, aumenta el vigor y productividad. La incidencia de los ácidos húmicos sobre los frutos o semillas, aumenta su riqueza en materia seca, mejorando factores organolépticos, conservación y transporte. También posee influencias sobre el estado de sanidad de las plantas, ya que los ácidos húmicos favorecen la actividad y vigor de las plantas y con ello su fortaleza ante problemas fitosanitarios. Sin olvidar que estimulan la actividad de microorganismos útiles en el suelo y ayuda a un equilibrio biológico más natural alrededor del sistema radicular de la planta. (Campos, 2011).

## MATERIALES Y METODOS

### Descripción del sitio

El experimento se realizó en el invernadero No. 2 del Departamento de Ciencias del Suelo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, cuyas coordenadas geográficas corresponden a los 25°23' de latitud norte y 101°00' de longitud oeste y a una altura de 1742 msnm.



Figura 3. Localización del Invernadero donde se realizó el experimento.

### Características del invernadero

El invernadero cuenta con una estructura metálica con cubierta de policarbonato. Los soportes son tubos de acero galvanizado y tienen una separación inferior 5m x 8m. La altura máxima del invernadero es de 5m. En las bandas laterales se tiene una altura de 3,5 m. El ancho de esta nave es de 9 m. La ventilación es mediante

extractores colocados en la entrada del invernadero estos ayudan a expulsar el aire más caliente, mientras que permiten entrar aire fresco proveniente de una pared húmeda.

Cuadro 4. Características del suelo utilizado

Características	Resultado	Interpretación
pH	7.5	Medianamente básico
Textura	16% arcilla, 28% limo y 56% arena	Migajón Arenoso
Conductividad eléctrica	0.45	No salino
Materia orgánica	4.4%	Muy alto
Plomo	1200 mg kg <sup>-1</sup>	Contaminado

El experimento constó de dos fases:

Características del suelo utilizado

Fase I

Antes de establecer el experimento se realizaron diversos análisis al suelo para su caracterización los resultados muestran que este suelo presenta una

concentración de  $1200 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb, y de acuerdo a los límites máximos permisibles establecidos por (Nom-147.SEMARNAT/SSA1-2004)

Lo primero que se realizó fue conseguir semillas de maíz y de higuera, en el departamento de fitomejoramiento, después se pasó a la preparación del suelo el cual fue traído del estado de Michoacán. Lo siguiente fue la preparación del suelo, el cual se cribó a dos milímetros y se colocaron 5 kg de suelo en cada maceta. En este caso fueron 32 macetas para realizar la siembra.



Figura 4. Siembra de las semillas de Maíz e Higuera

De las 32 macetas se dividieron a 16 y se sembraron con semillas de maíz y 16 de semilla de higuera., las cuales se etiquetaron con el tratamiento y el número de repetición correspondiente. Se sembró a una profundidad de un centímetro colocando de 2 a 3 semillas por cavidad, una vez realizado esto se le aplicó un ligero riego. El riego fue cada 3 días hasta que emergieron. Una vez que las plantas emergieron se separaron los tratamientos, en este caso fueron 4 tratamientos con 4 repeticiones tanto del maíz como de higuera.

En el maíz e higuierilla se separaron en cuatro tratamientos, al primer tratamiento el testigo, a los tratamientos dos, tres y cuatro que fueron respectivamente el ácido húmico, el ácido fulvico y el EDTA se le aplicó la cantidad necesaria para en cada caso dar  $1200 \text{ mg kg}^{-1}$ .



Figura 5. Plantas de Maíz con sus tratamientos



Figura 6. Plantas de Higuera con sus tratamientos

## Fase II

Primero se hizo la preparación de los materiales cosechados para luego pasar a la medición de plomo. Cuando las plantas cumplieron 70 días, se procedió a cosechar las plantas completas previamente desarrolladas en el suelo contaminado con plomo. Posteriormente la planta completa se lavó y se procedió a separarla en tallo y hojas, se pesó en fresco y se colocaron en bolsas de papel. Se introdujeron a una estufa de secado modelo 18 em, a una temperatura de 70°C por un tiempo de 72 horas, se registró el peso seco y se molieron. De la materia seca cosechada se peso un gramo por cada tratamiento y repetición y se procedió a realizar la digestión agregándole 10 ml de ácido nítrico y colocarlos en un digestor microondas MARS 6 con tecnología one touch, posteriormente se

recuperó el producto de la digestión y se aforo a 50 ml, lo cual se llevo a leer el plomo y sodio por absorción atómica en un equipo Varian 5.

Los datos obtenidos se procesaron de acuerdo a un diseño experimental completamente al azar con cuatro tratamientos y cuatro repeticiones.

Tratamiento 1 \_\_\_\_\_ Testigo

Tratamiento 2 \_\_\_\_\_ Ac. Húmicos

Tratamiento 3 \_\_\_\_\_ Ac Fúlvicos

Tratamiento 4 \_\_\_\_\_ EDTA

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Antes de establecer el experimento se realizaron diversos análisis al suelo para su caracterización los resultados muestran que este suelo presenta una concentración de  $1200 \text{ mg kg}^{-1}$  de plomo, y de acuerdo a los límites máximos permisibles establecidos por la Nom-147.SEMARNAT/SSA1-2004 para la regulación de sitios contaminados, no puede tener uso agrícola ni industrial. Por lo cual, puede ser utilizado para procesos de fitoextracción para su rehabilitación.

Cuadro 5. Análisis de acumulación de Pb en el maíz en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Hoja N/S ( $\text{mg kg}^{-1}$ )	Tallo N/S ( $\text{mg kg}^{-1}$ )
Testigo	57.50	42.50
Maíz + Ac. Húmicos	55.00	32.50
Maíz + Ac. Fúlvicos	27.50	32.50
Maíz + EDTA	65.00	35.00

Los resultados del análisis de varianza realizado para el contenido de plomo en tallo y hojas de maíz con sus diferentes tratamientos mostraron que no hay diferencia significativa en la acumulación de plomo en la planta. (Cuadro 5).

Sin embargo en este cuadro se puede apreciar que donde acumuló la mayor cantidad de plomo fue en la hoja; esto se vio reflejado en todos los tratamientos del maíz; en cuanto al que acumuló mayor cantidad de plomo de los 4 tratamientos, fue el tratamiento donde se le aplicó EDTA, este obtuvo  $65 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. En cambio el tratamiento que obtuvo la menor acumulación de Pb fue al que se le agregó Ac. Fulvicos en este caso en la hoja ya que obtuvo  $27.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. En el tallo el que acumuló mayor cantidad de Plomo fue el testigo el cual obtuvo  $42.59 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb y el que acumuló la menor cantidad fueron a los que se le agregó Ac. Húmicos y Fúlvicos los cuales obtuvieron  $32.50 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. De esta manera el EDTA, ayudo ligeramente a incrementar la acumulación de plomo en las hojas. En cambio con el uso de los ácidos Húmicos y Fúlvicos no hubo incremento comparado con el testigo. En general se observó una tendencia de mayor acumulación de la hoja, seguido del tallo.

Al analizar la hoja se encontró que fue el órgano de la planta donde más plomo acumuló el maíz. Los resultados coinciden con los encontrados en un estudio que realizaron en el maíz como planta hiperacumuladora, donde se observaron grandes cantidades de Pb en las hojas, en comparación con los tallos. (Salas *et al.*, 2007).

Al usar agentes quelantes tales como el EDTA, se permite la absorción y traslocación del metal en las partes aéreas de la planta (Javis y Leung, 2002)

En las hojas se lograron obtener cantidades moderadas de Pb, siendo el tratamiento con mayor cantidad de Pb el que se le aplicó EDTA. Con  $65 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb. Pérez (2008) encontró una gran acumulación de plomo en hojas de *Nicotiana glauca*, de  $29 \text{ mg kg}^{-1}$  con 90 días de cultivo.

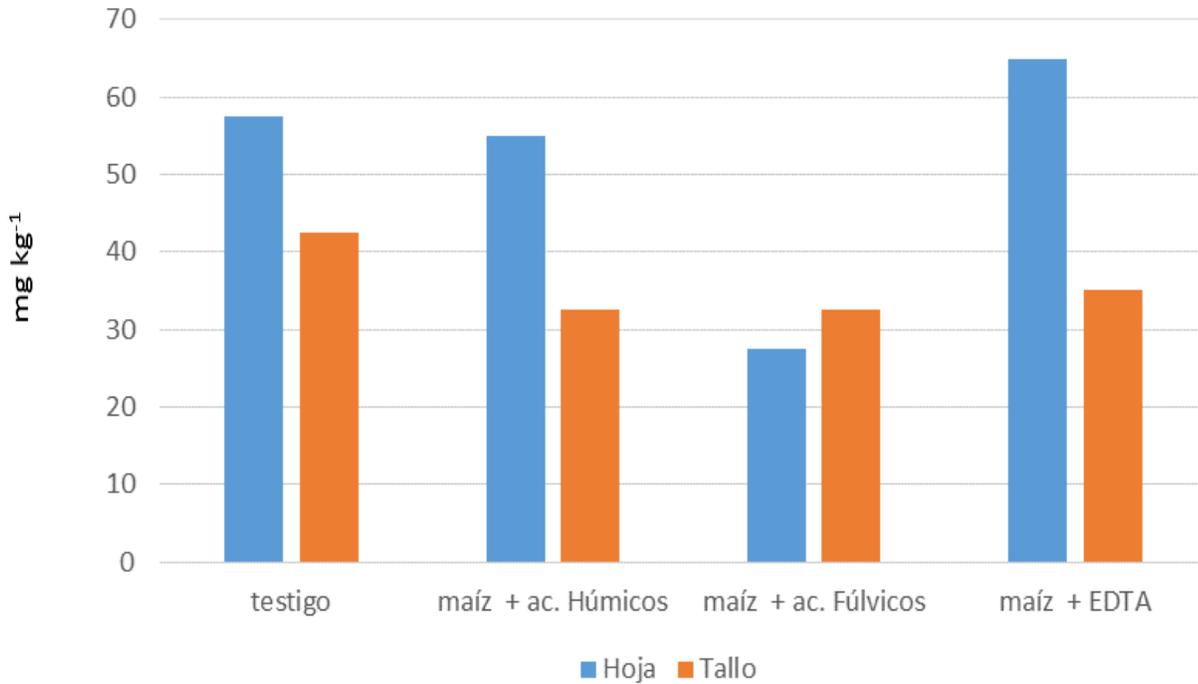


Figura 7. Comportamiento del Pb en el Maíz en los diferentes tratamientos

Cuadro 6. Análisis de Na en el maíz en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Hoja N/S (mg kg <sup>-1</sup> )	Tallo* (mg kg <sup>-1</sup> )
Testigo	817.5	735.0
Maíz + Ac. Húmicos	827.5	477.5
Maíz + Ac. Fúlvicos	822.5	220.0
Maíz + EDTA	837.5	172.5

Los resultados de sodio que se muestran a continuación se realizaron únicamente con la finalidad de ver el comportamiento de este elemento por la aplicación del EDTA Sódico y si el efecto mostrado es importante. En el cuadro 6. Se puede apreciar que el tratamiento de maíz que acumuló mayor cantidad de Sodio (Na) en la hoja fue al que se le aplicó EDTA (837.5 mg kg<sup>-1</sup> de Na); y el que acumuló en menor proporción fue en el testigo (817.5 mg kg<sup>-1</sup> de Na). En cambio en el tallo hubo diferencia significativa ya que el que acumuló mayor cantidad de Na fue el testigo (735 mg kg<sup>-1</sup> de Na) y el que obtuvo menor cantidad fue el tratamiento con EDTA (172.5 mg kg<sup>-1</sup> de Na).

En la variable tallo se encontró una diferencia significativa, donde el tratamiento que se le aplicó EDTA es el que obtuvo mayor almacenamiento de Na Maldonado

et al., (2002) reportó reportan que las plantas *T. tubiformis* acumuló  $8.05 \text{ mg kg}^{-1}$  de Na en la estructura del tallo.

La estructura del tallo fue la parte de la planta que tuvo una diferencia significativa. De la Cruz (2006) observó que al evaluar la retención del Sodio (Na) en tallos encontró una acumulación de  $61 \text{ mg kg}^{-1}$  de Na.

Al analizar la hoja se encontró que fue el órgano de la planta donde más Sodio (Na) se acumuló en la planta de maíz. Salas *et al.*, (2007) encontraron en un estudio que le realizaron en el maíz como planta hiperacumuladora, donde se observaron grandes cantidades de Na en las hojas, en comparación con los tallos y las hojas.

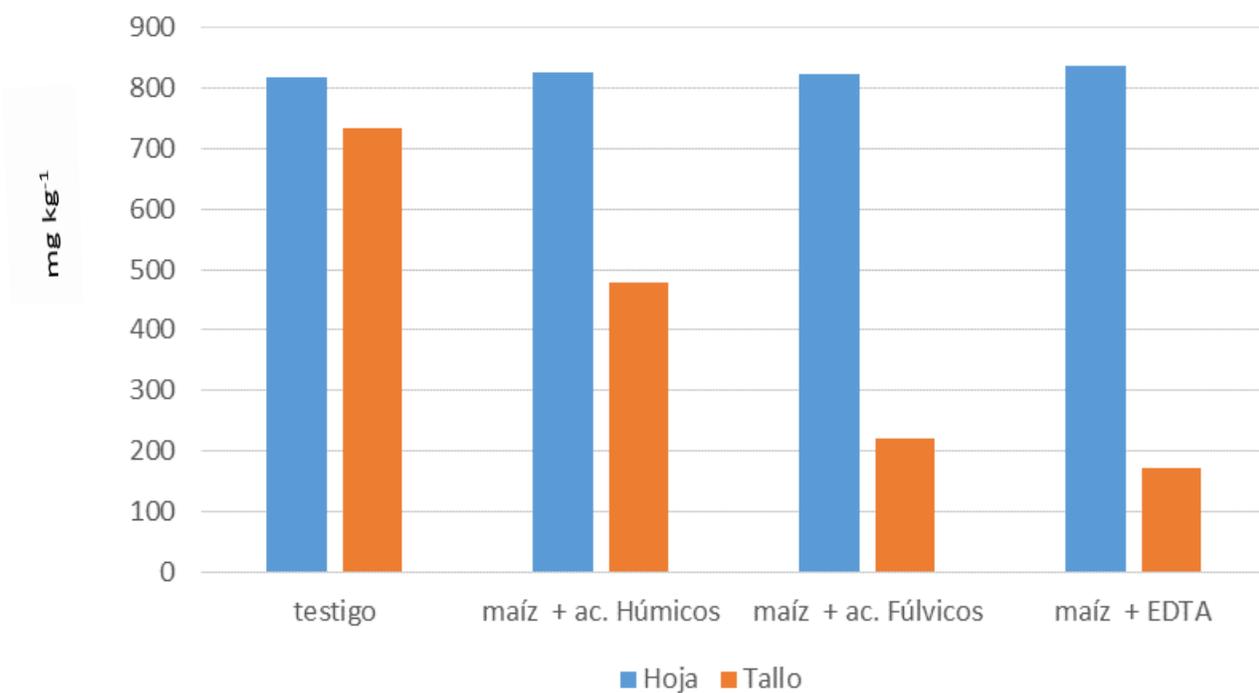


Figura 8. Comportamiento de Na en el Maíz en los diferentes tratamientos

Cuadro 7. Análisis de Pb en higuierilla en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Hoja N/S (mg kg <sup>-1</sup> )	Tallo* (mg kg <sup>-1</sup> )
Testigo	60.00	90.00
Higuerilla + Ac. Húmicos	45.00	37.50
Higuerilla + Ac. Fúlvicos	32.50	35.00
Higuerilla + EDTA	52.50	32.50

En el cuadro 7. Se puede apreciar que el tratamiento con higuierilla que acumuló mayor cantidad de plomo en la hoja fue el testigo (60 mg kg<sup>-1</sup> de Pb), y el que acumuló en menor proporción fue al que se le aplicó ac. Fúlvicos (32.50 mg kg<sup>-1</sup> de Pb). En cuanto a la variable tallo el que acumuló mayor cantidad de plomo (Pb) fue el testigo (90 mg kg<sup>-1</sup> de Pb) y el que obtuvo menor cantidad de Pb fue el tratamiento al que se le aplicó EDTA (32.50 mg kg<sup>-1</sup> de Pb. Estos resultados coinciden con los encontrados por Rodríguez *et al.*, (2006) quienes evaluaron la capacidad de tres especies vegetales para acumular plomo en suelos contaminados con este metal al aplicar EDTA, y encontraron diferencias significativas en la acumulación de plomo entre las especies de *Helianthus annuus* (Girasol), *Ricinus communis* (Higuerilla) y *Nicotiana tabacum* (Tabaco).

Por otro lado (Salas *et al.*, 2007) no concuerdan con los resultados obtenidos ya que menciona que es posible incrementar la biodisponibilidad de un contaminante metálico, como el Pb, a través del uso de ciertos quelantes como EDTA que pueden adicionarse al suelo.

En la variable tallo se encontró una deferencia significativa siendo esta vez el testigo el que acumuló la mayor cantidad de Pb. Estos resultados fueron superiores a los encontrados por Rodríguez *et al.*, (2006) quienes mencionan que *Ricinus communis* extrajo  $6.79 \text{ mg kg}^{-1}$  de Pb, los cuales 58% fue acumulado en las partes aéreas de la planta.

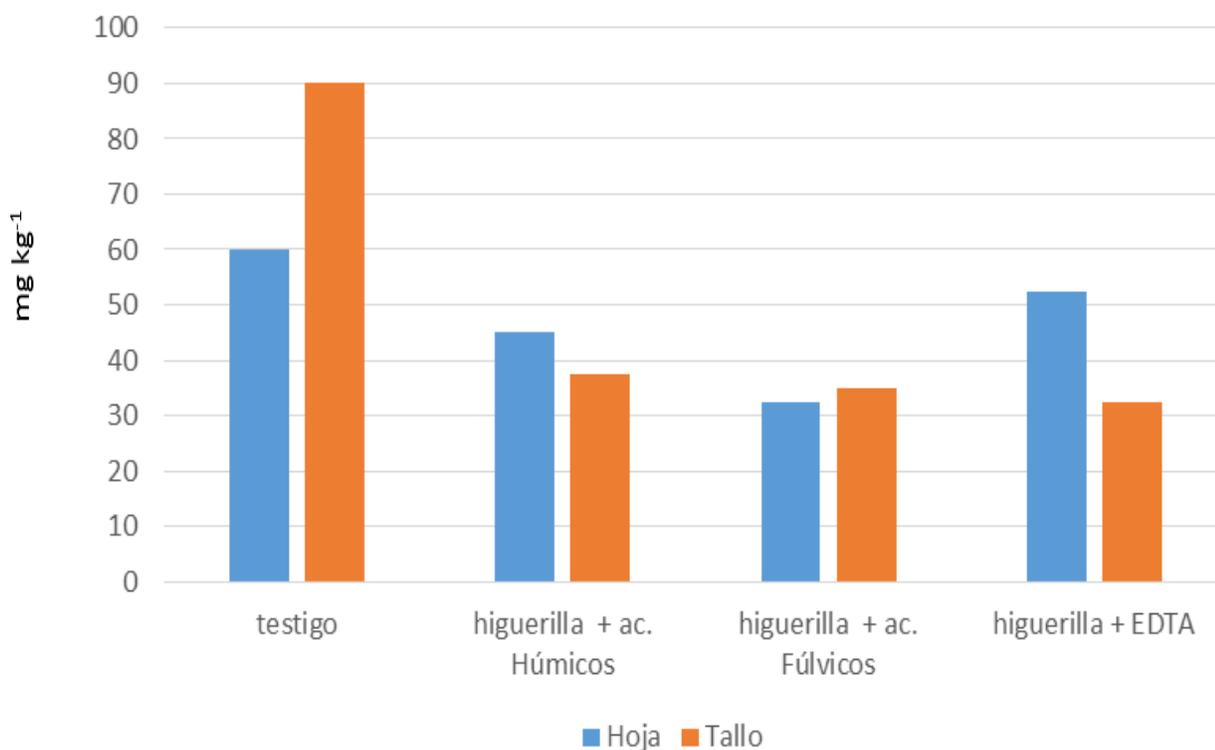


Figura 9. Comportamiento del Pb en Higuierilla en los diferentes tratamientos

Cuadro 8. Análisis de Na en higuera en los diferentes tratamientos.

Tratamientos	Hoja N/S (mg kg <sup>-1</sup> )	Tallo N/S (mg kg <sup>-1</sup> )
Testigo	807.5	417.5
Higuera + Ac. Húmicos	805.0	287.5
Higuera + Ac. Fúlvicos	812.5	212.5
Higuera + EDTA	860.0	465.0

En el cuadro 8. Se puede apreciar que donde acumuló la mayor cantidad de sodio (Na) fue en la hoja, esto se vio reflejado en el tratamiento 4 que fue al que se le aplicó EDTA (860 mg kg<sup>-1</sup> de Na) que acumuló mayor cantidad de sodio (Na) de los 4 tratamientos, en cambio en el que obtuvo la menor cantidad fue el tratamiento 2 al que se le aplicó Ac. Húmicos (805 mg kg<sup>-1</sup> de Na). En el tallo el que obtuvo la mayor acumulación de Na fue el tratamiento 4 al que se le aplicó EDTA (465 mg kg<sup>-1</sup> de Na). De lo contrario el que obtuvo en la menor cantidad Na en el tallo fue el tratamiento 3 al que se le aplicó Ac. Fúlvicos (212.5 mg kg<sup>-1</sup> de Na). Se observó una tendencia de mayor acumulación en las hojas, seguido del tallo.

En la variable tallo donde el tratamiento que se le aplicó EDTA es el que obtuvo mayor almacenamiento de sodio. Pabón., (2010) reportó que las plantas de higuerilla (*Ricinis communis*) acumuló 9.8 mg/kg de Na en la estructura del tallo.

En las hojas se lograron obtener cantidades moderadas de Na siendo el tratamiento con mayor cantidad de Na el que se le aplicó EDTA. Con 869 mg kg<sup>-1</sup> de Na. De lo contrario al que se le aplicó Ac. Húmicos obtuvo la menos acumulación de Na (805 mg kg<sup>-1</sup> de Na). González (2008) encontró una gran acumulación de Na en hojas de *Nicotiana glauca*, de 469.34 mg kg<sup>-1</sup> de Na con 60 días de cultivo de Higuerilla al aplicarle EDTA.

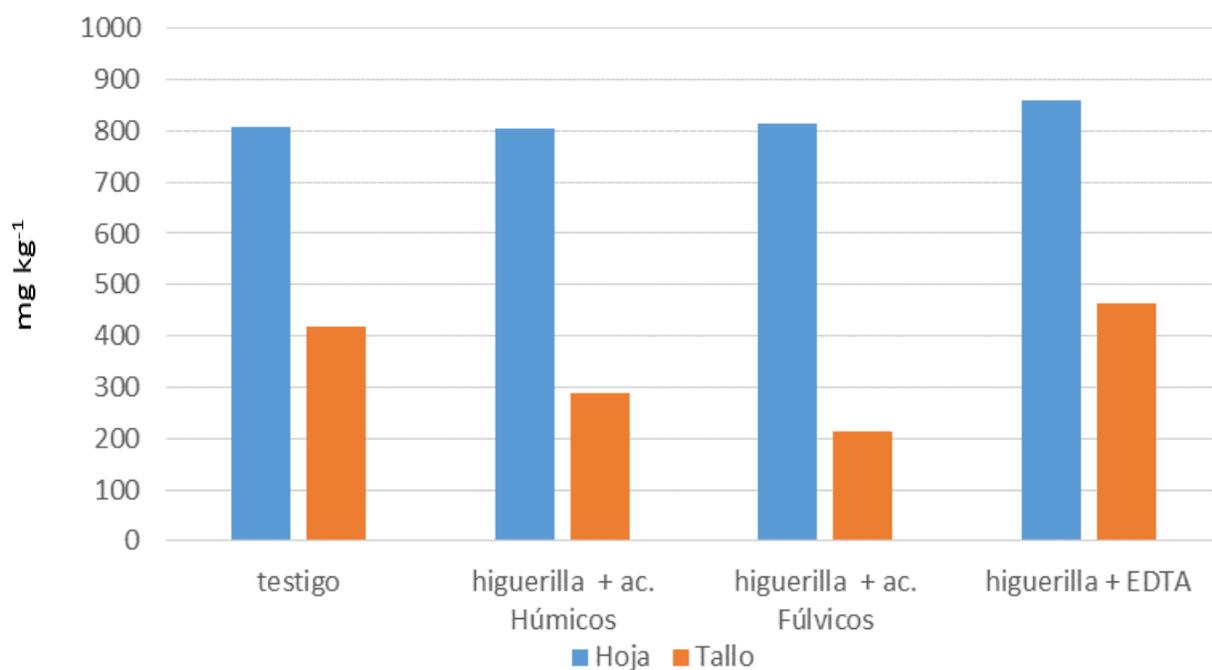


Figura 10. Comportamiento de Na en Higuerilla en diferentes tratamientos

## CONCLUSION

Con los resultados obtenidos en la presente investigación se puede concluir que en las especies utilizadas en este caso maíz e higuierilla se observó que la mayor acumulación de plomo (Pb) y sodio (Na) se encuentra en las hojas en ambos casos, ya que es un órgano propicio para la acumulación y en mucha menor medida en los tallos de dichas plantas. Y con respecto a los agentes quelantes se puede decir que en algunos casos lograron estimular en la acumulación de plomo y sodio, en caso particular en las hojas de maíz e higuierilla siendo el EDTA el que logró estimular en mayor proporción.

## LITERATURA CITADA

- Alboulroos, S. A., Holah, S. and Badawy, S. H. 1989, Influence of prolonged use of sewage effluent in irrigation on heavy metal accumulation in soils and plants. 152:51-55.
- Acosta, I; Moctezuma-Zárate, M. G; Cárdenas J. F. y Gutiérrez C. (2007). Bioadsorción de cadmio (II) en solución acuosa por biomásas fúngicas. Inf. Tec. 18: 9-14.
- Alarcón, H. M. T y Flores, T. E. 2005. Plantas tolerantes al arsénico y al plomo. Agrofaz: Publicación semestral de investigación científica. 5(1): 751-754.
- Alkorta I; Hernández-Allica, J; Becerril, J. M; Amezaga, I; Albizu, I: y Gabisu C. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead and arsenic. Reviews in Environmental Science and Biotechnology. 3: 71-90.
- Alcántara, E; Barra, R; Benlloch, M; Ginhas, A; Jorrín, V. J; López, J. A; Lora, A; Ojeda, M. A; Puig, M; Requejo, R; Romero, J; Ruso, J; Sancho, E. D; Shilev, S. I. y Tena, M. 2001. Phytoremediation of metal contaminated area in Southern Spain. Minerva biotecnológica. 13:33-35.
- Aldrich, M; Elizay, J; Peralta, V.J; González, J; Gardea, T. J. 2004. Lead Uptake and the effects of EDTA on Lead Tissue Concentrations in the Desert

Species Mezquite (*Prosopis* spp.) *International Journal of Phytoremediation*.  
6(3):195-207

Barceló, J; Poschenriender, C., Lombini, A; Llugany, M; Bech, J; Dinelli, E. 2001. Mediterranean plant species for phytoremediation. En: Abstracts Cost Action 837 WG2 workshop on Phytoremediation of Trace Elements in Contaminated Soils an waters with Special Emphasis on Zn, Cd, Pb and As. Ed. Universidad Complutense de Madrid. Faculty of Chemistry, Madrid pp.23 Disponible en: <http://ibewww.epfl.ch/COST837>.

Barceló, J y Poschenriender, C. 2003. Phytoremediation: Principles and perspectives. *Contributions to science* 2(3): 333-344. Institut d'Estudis Catalans, Barcelona.

Blaylock, M. J; Sal, D. E; Dushenkov, S; Zakharova, O; Gussman, C; Kapulnik, Y; Ensley, B. D; y Raskin, I. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. *Environmental Science & Technology*, 31: 860-865.

Bautista, Z. F. 1999. Introducción al Estudio de la contaminación del suelo por metales pesados. Ediciones de la Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida, Yucatán, México. 113 pp.

Calderón. 1996. En qué consisten los agentes quelantes y la quelatación? LABNEWS. Serie divulgativa No. 6 Santa Fe de Bogotá, Colombia. 4p.

- Campos, V.A. 2011. Usos de los ácidos húmicos y fúlvicos en la nutrición vegetal. Conferencia presentada en el 1er. Congreso Internacional de Nutrición de Fisiología Vegetal Aplicada.
- Carpena, R. O. y Bernal, M. P. 2007. Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas* 16(2):1-3
- Chen, H y Cutright, T. 2001. EDTA and HEDTA effects on Cd, Cr and Ni uptake by *Helianthus annuus*. Department of Civil Engineering, The University of Akron. 45(1): 21-28.
- Chen, Y; Shen, Z. y Li, X. 2004. The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals. *Applied Geochemistry*. 19(10)1553-1565.
- Coria, I. D. 2007. Remediación de suelos contaminados con hidrocarburos UAIS Sustentabilidad. 1: 13-18.
- De la Cruz, R. G. 2006. Evaluación de la retención de plomo en geranio (*pelargonium spp*). Emitido al ambiente por la industria de peñoles en Torreón, Coahuila. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Unidad Laguna. Departamento de procesos ambientales. Torreón, Coahuila, Mexico
- Dushenkov, S; Kapulnik, Y; Blaylock, M; Sorochisky, B; Raskin, I; Ensley, B. 1997. Phytoremediation: a novel approach to an old problem. *Studies in Environmental Science*. 66(C): 563-572.

Elizarrarás. L. S.; Serratos A. J. C.; López A. E; Román M. L. La aplicación de ácidos húmicos sobre características productivas de Zea mays en la región Centro-Occidente de México. Avances de la investigación Agropecuaria, Vol. 13, Núm. 3, septiembre-diciembre, 2009, pp 11-16, Universidad de Colima.

Felix H. 1997, Field Trials for in situ Decontamination of Heavy Metal Polluted Soils using Crops of Metal-Accumulating Plants. 160: 525-529.

Ferrera, C. R; Rojas, A. N.G; Poggi, V.H. M; Alarcón, A; Cañizares, V. R. O. 2006. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo y otros compuestos orgánicos. Rev. Latinoam, Microbiol. 48(2): 179-187.

Garbisu, C. y Alkorta, I. 2001. Phytoextraction: A cost-effective plant-based technology for the removal metals from the environment Bioresource Technology. 77(3): 229-236.

Garbisu, C; Becerril, J.M; Epelde, L; Alkorta, I. 2007. Bioindicadores de la calidad del suelo: herramienta metodológica para la evaluación de la eficacia de un proceso fitorremediador. Ecosistemas 16(2): 44-49.

García, V. D. 2006. Efectos fisiológicos y compartimentación radicular en plantas de Zea mays L. expuestas a la toxicidad por plomo. Tesis de Doctorado. Universidad Autónoma de Barcelona. Departamento de Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología. Barcelona, España.

- Gómez, F; Danatro, D; Laborde, A; López, B; Perona, D; Spontón, F; Tomasina, F. y Velázquez, V. 2001. Contaminación por plomo. Sindicato Médico del Uruguay.
- González, M; Banderas, J. A; Raya, C; Báez, A; Belmont, R. 1997. Cuantificación del plomo, cadmio y cromo mediante sialoquímica. Salud pública de México. 39(3): 179-186.
- González, C. 2008. La Higuierilla (*Ricinus communis* L.), notas y usos de Elia Méndez Salazar. México: Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Convenio académico con Tlahui-Educa. MX. p. 56.
- Ghosh, M. y Singh, S. P. 2005. A review on phytoremediation of heavy metals and utilization of its byproducts. Applied Ecology and Environmental Research. 3(1): 1-18.
- Greber, M. y Landberg, T. 1999. Use of willow in phytoextraction. International Journal of Phytoremediation. 1(2) 115-123.
- Huang, J. W. y Cunningham, S. D. 1997. Lead phytoremediation: Species variation in lead uptake and translocation. New Phytology. 134: 75-84.
- Huang, J. W; Chen, J; Berti, W. R and Cunningham, S. D. 1997. Phytoremediation of Lead-Contaminated soils: Role of Synthetic Chelates in Lead Phytoextraction. Environmental Science & Technology. 31(3): 800-805.

- Jacob, J. R; Hee, C. K y Pichtel, J. 2007. Amendments for field-scale phytotreatment of Pb, Cd and Zn from an Indiana Superfund soil. *Proceedings of Indiana Academy of Science*. 116(2): 148-157.
- Juwakar, A; Singh, S; Mudhoo, A. 2010. A comprehensive overview of elements in bioremediation. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*. 9(3): 215-288.
- Khan, A. G., Kuek, C., Chaudhry, T.M., Khoo, C. S., Hayes, W. J. 2000. Role of plants, mycorrhize and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*. 41(1-2): 197-207.
- Lasat, M. M, 2002. Phytoextraction of toxic metals: a review of biological mechanisms. *J Environ Qual*. 31(1): 109-120.
- López, M. S; Gallegos, M. M. E; Pérez, F. L. J y Gutiérrez, R. M. 2005. Mecanismos de fitoremediación de suelos contaminados con moléculas orgánicas xenobióticas. *Rev. Int. Contam. Ambient*. 21(2): 91-100
- Maldonado, M. J., Amezquita, F., Mendoza, D., Sosa, L.E. y Cano, C 2002. Biorremediación de metales de jales mineros con la planta de *Tithonia tubiformis*. IIBE facultad de química, Universidad de Guanajuato. 21-24.
- Marmioli, N y Monciardini, P. 1999. PHYTONET <http://www.dsa.unipr.it/phytonet>), a thematic Network Devoted to the Scientific, Economical, Environmental, and Social Aspect of Phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*. 1(2): 125-138.

Mensah, E; Odal, S. N; Ofori, E. y Kyei-Baffour, N. 2008. Influence of Transpiration on Cadmium (Cd) y lead (Pb) uptake by Cabbage, Carrots and Lettuce from Irrigation Water in Ghana. *Asian Journal of Agricultural Research*. 2(2): 56-60.

Norma Oficial Mexicana. Nom-147.SEMARNAT/SSA1-2004. Que establece los criterios para el muestreo, caracterización y determinación de las concentraciones de remediación de suelos contaminados por arsénico, berilio, cadmio, cromo hexavalente, mercurio, Níquel, plomo, selenio, talio y vanadio. Publicado en el Diario oficial de la federación de la 2007.

Pabón G.G. 2010. Estudio de las características botánicas y etnobotánicas de higuerilla (*Ricinus communis* L.). Cultivos energéticos alternativos. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. Pp. 9-23.

Pallavi, y Rama, S. D. 2005. Lead toxicity in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 17(1): 35-52.

Pourrut, B; Shahid, M; Dumat, C; Winterton, P. y Pinelli, E. 2011. Lead uptake, toxicity, and detoxification in plants. *Rev Environ. Contam. Toxicol*. 213: 113-36.

Revista 2000Agro. 2011, Revista industrial del campo. Ácidos Húmicos y Fúlvicos, más crecimiento, calidad y crecimiento. Edición 83.

- Rodríguez, O. J. C; Rodríguez, F. H; De Lira, R. G; Martínez, C. J; Lara, M. J. L. 2006. Capacidad de seis especies vegetales para acumular plomo en suelo contaminado. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 29(3): 239-245.
- Saad, I; Castillo, J. I; Rebolledo, D. 2009. Fitorremediación: un estudio de inteligencia tecnológica competitiva. Memorias del 4° Congreso Internacional de Sistemas de Innovación para la Competitividad 2009: Hacia la Inteligencia Competitiva. León, Guanajuato, México.
- Sahi, S. V; Bryant, L. N; Sharma, N. C. and Singh, S. R. 2002. Characterization of a Lead Hyperaccumulator Shrub, *Sesbania drummodii*. *Environmental Science & Technology* 36(21): 4676-4680.
- Salas, S. F; Montes de Oca, D. I; Ramírez, I. M; Gutiérrez, R.M. y Volke. S. T. 2007. Fitoextracción de plomo por *Asphodelus fistulosus* en el suelo modelo. Memorias de XII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Morelia, Michoacán, México.
- Shuhe, W; Qixing, Z; Uttam, K. S; Hong, X; Yahu, H; Liping, R and Gu, P. 2009. Identification of a Cd accumulator *Conyza Canadensis*. *Journal of Hazardous Materials*. 163(1): 32-35.
- Sierra-Villagrana, R. 2006. Fitorremediación de un suelo contaminado con plomo por actividad industrial. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico, 51 pp.

- Susarla S; Medina V.F; McCutcheon S.C. 2002. Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering*. 18(5): 647-658.
- Torres, A. O; Ocañas, G. L; Moya, A. V; Bernal, H. M. A; Piñeyro, L, A. 2001. Contaminación ambiental y salud. Parte I. Plomo: Exposición en niños y la importancia de su detección. *Ciencia UANL*. 4(1): 76-81.
- Trinidad, J. 2006. Uso de compuestos orgánicos y acelga (*Beta vulgaris* L. var. Cicla (L.)) en la fitoextracción de plomo en un suelo contaminado. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 89 pp.
- Valdés, P. F. y Cabrera, M.V. M.1999. La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México. Texas Center for Policy Studies. Torreón, Coahuila, México. 46 pp.
- Vidal, D. J; Marrugo, N. J. L; Jaramillo, C.B; Libia María Pérez C. M. P. 2010. Remediación de suelos contaminados con mercurio utilizando guarumo (*Cecropia peltata*). *Ingeniería & Desarrollo*. 27: 113-129.
- Volke, S.T; Velasco, T. J. A; De la Rosa, P.D. A. 2005. Suelos contaminados por metales y metaloides: muestreo y alternativas para su remediación. Instituto Nacional de Ecología. México. 141 pp.
- Vullo, D.L. 2003. Microorganismos y metales pesados: una interacción en beneficio del medio ambiente. *Química viva*. 2(003): 93-104.