

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
“ANTONIO NARRO”**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA**



**EFFECTIVIDAD DE COMPUESTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN DIVERSO Y  
GIRASOL ORNAMENTAL EN LA FITORREMEDIACIÓN DE UN SUELO  
ALCALINO CONTAMINADO CON PLOMO**

Por:

Willian Alfredo Narvárez Ortiz

**TESIS**

Presentada como Requisito Parcial para  
Obtener el Título de:

Ingeniero Agrícola y Ambiental

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Enero del 2010

**UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"**

**DIVISIÓN DE INGENIERIA**

**EFFECTIVIDAD DE COMPUESTOS ORGÁNICOS DE ORIGEN DIVERSO Y  
GIRASOL ORNAMENTAL EN LA FITORREMEDIACIÓN DE UN SUELO  
ALCALINO CONTAMINADO CON PLOMO**

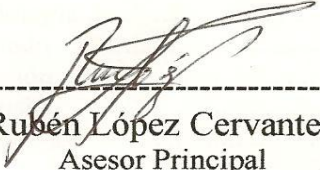
Por:


**Willian Alfredo Narváez Ortiz**

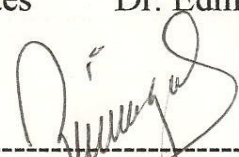
Tesis

Que somete a consideración del H. Jurado examinador  
Como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÍCOLA Y AMBIENTAL  
Aprobada**

  
-----  
Dr. Rubén López Cervantes  
Asesor Principal

  
-----  
Dr. Edmundo Peña Cervantes  
Asesor

  
-----  
M. C. María del Rosario Zúñiga Estrada  
Asesor

  
-----  
Dr. Raúl Rodríguez García  
Coordinador de la División de Ingeniería

Universidad Autónoma Agraria  
"ANTONIO NARRO"



Coordinación de  
Ingeniería

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Enero del 2010

## INDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	i
<b>DEDICATORIA</b> .....	ii
<b>Índice de Cuadros</b> .....	iv
<b>Índice de Figuras</b> .....	v
<b>Resumen</b> .....	vi
<b>INTRODUCCION</b> .....	1
Objetivo.....	3
Hipótesis.....	3
<b>Revisión de Literatura</b> .....	4
Las Substancias Húmicas .....	4
Propiedades de los Ácidos Fulvicos .....	4
La Fitorremediación .....	5
Plantas Hiperacumuladoras de Metales Pesados .....	9
<b>Materiales y Métodos</b> .....	15
Características generales del área .....	15
Metodología.....	16
Resultado.....	19
Discusión .....	31
Conclusión.....	33
Literatura citada.....	34

## AGRADECIMIENTOS

**A Dios** por darme la vida por haberme dado la fortaleza suficiente para seguir adelante. Por permitirme gozar esta satisfacción de culminar una etapa más de mi vida.

**A la Secretaria de Relaciones Exteriores, ya que esta investigación fue realizada con una beca otorgada por el Gobierno de México.**

A la Republica de los Estados Unidos Mexicanos por haberme abierto las puertas y darme la oportunidad de vivir nuevas experiencias, aprender cosas nuevas y mas que todo conocer gente maravillosa que han contribuido en mi formación.

A mi “**ALMA TERRA MATER**” por haberme brindado la oportunidad de aprender y formarme como un profesional, y de crecer como persona.

**Al Dr. Rubén López Cervantes**, por haberme brindado su amistad y la confianza de realizar esta investigación, y por todo sus consejos y sugerencia para la mejora del presente trabajo.

**Al Dr. Edmundo Peña Cervantes** por haberme brindado su amistad y por su gran contribución en la realización de esta investigación.

A todos los **maestros de la Universidad**, a quienes agradezco infinitamente por transmitirme sus conocimientos y experiencias que son las bases de mi formación profesional.

**A las encargadas de los laboratorios de Química de suelos**, Fertilidad, pedología y servicios asistenciales, del departamento Ciencias del Suelo gracias por su gran apoyo en la realización de este trabajo.

**A mis amigos los Paraguayos:** Nancy, Ricardo, Carlos, Juan, Hugo, Armando, Beto, Rosalino, Osvaldo y Víctor por brindarme su amistad su apoyo, y compartir buenos momentos.

**A mis amigos de la generación CVIII de suelos:** Lulú, Lucero, Ángeles, Carlos, Marcos, Víctor, Ramiro, Alexis, Samuel, Alex, Enrique, Luis Fernando, Dayli. Gracias muchachos por su amistad, apoyo y por todos esos momentos que vivimos ya sean malos o buenos que ayudaron a consolidar una grandiosa amistad y que espero perdure de por vida.

## DEDICATORIAS

*A mis padres:*

**Maria Adelaida Ortiz Ortiz  
Manuel Moisés Narváez Medina**

Gracias por haberme dado el regalo mas valioso de este mundo “la vida”, por haberme formado como un hombre de bien, humilde y sencillo, por el amor y cariño que siempre me han demostrado, por haber tenido plena confianza en mi como estudiante y como persona, por brindarme su apoyo incondicional y sus sabios consejos que siempre me acompañan y me han ayudado a sobresalir en mi vida cotidiana. Que si bien no existen padres perfectos, no pude haber tenido unos mejores que ustedes. Y nunca les podré agradecer todo lo que han hecho por mí. Con todo cariño por que son los seres que mas amo, respeto y admiro, que Dios me los bendiga y me los conserve más tiempo.

*A mis Hermanos:*

**Johanna Araceli Narváez Ortiz.  
Edwin Esteban Narváez Ortiz.**

Por brindarme toda su confianza y apoyo, estar conmigo en los buenos y malos momentos por todo lo bellos q hemos pasado, a ustedes les debo el estar donde estoy. Los quiero mucho. Y a ti hermanita por tu incondicional apoyo eres mi gran ejemplo a seguir, los adoro y los llevo en mi corazón.

*A la M.C. Martha Ocho Balderas*

Con mucho cariño y respeto por estar siempre pendiente de mi, y por todo el apoyo y las facilidades que me brindó durante todo este tiempo en este maravilloso país que es México.

*A la Familia De La Mora Rosales*

Por haberme abierto las puertas de su hogar y el hacerme sentir que aunque este lejos de mi familia y seres queridos, me han cobijado como parte de ustedes, y el sentir que tengo una familia acá, los aprecio mucho y gracias por los lindos momentos que me hicieron vivir, espero seguirlos teniendo cerca, muchas gracias Sra. Lourdes, Sr. Rubén, Lulú, Laurita y Víctor.

### *A mis buenos amigos*

Con quienes pase mucho tiempo y llegue a apreciarlos, gracias por todo esos bonitos momentos que me hicieron pasar durante mi estancia en México como estudiante, y me enseñaron a valorar muchísimo una amistad y el saber que cultivar un verdadero amigo requiere dedicación y tiempo, y amigo es el que esta en las buenas y en las malas. Gracias a ustedes: Lourdes de la Mora, Lucerito Rodríguez, Cristal Gaytan, Marco Carrasco, Víctor Basabe, Víctor Pérez, Dayli News, Samuel Saenz, Marcos Rolfi, Alberto, Ramiro Martínez, Alex Gómez, Ricardo Villalba, Carlos Sibaja, Armando Juárez, Miriam Flores.

“GRACIAS A TODOS”

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Numero de algunas plantas hiperacumuladoras de metales en el mundo.....	10
Cuadro 2. Tratamientos con su respectiva su dosificación.....	16
Cuadro 3. Las características generales de las compost .....	17
Cuadro 4. Acidez total (AT), grupos funcionales libres carboxilos (-COOH) Y grupos funcionales libres oxidrilos fenolicos (-OH) De diversos compuestos orgánicos.....	17
Cuadro 5. Otras características determinadas al suelo al inicio del experimento.....	17
Cuadro 6. Resultado de las determinaciones para la caracterización del suelo.....	19
Cuadro 7. Análisis de varianza (ANVA) para la variable altura de la planta del cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	20
Cuadro 8. Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso fresco del tallo de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	21
Cuadro 9. Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso fresco del hoja de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	22
Cuadro 10. Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso fresco del capitulo de "cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	23
Cuadro 11. Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso seco del tallo de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	24
Cuadro 12. Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso seco de la hoja de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	25
Cuadro 13. Análisis de varianza (ANVA) para la variable peso seco del capitulo de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	26
Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) para la variable plomo en hoja de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	27
Cuadro 15. Análisis de varianza (ANVA) para el variable plomo en capítulos de cv. "Sunbrighth" girasol ornamental en suelo contaminado con plomo .....	28

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del sitio experimental .....	15
Figura 2 .Altura de planta de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	20
Figura 3. Peso fresco del tallo en (gr) de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	21
Figura 4. Peso fresco en hoja en (gr) de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	22
Figura 5. Peso fresco del capitulo en (gr) de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	23
Figura 6. peso seco del tallo en (gr) de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	24
Figura 7. Peso seco de la hoja en (gr) de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	25
Figura 8. Peso seco del capitulo en (gr) de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado de plomo. ....	26
Figura 9. concentracion (mg Kg <sup>-1</sup> ) de plomo en follaje de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo. ....	27
Figura 10. Concentracion (mg Kg <sup>-1</sup> ) de plomo en capítulos de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo. ....	28
Figura 11 . concentracion (mg Kg <sup>-1</sup> ) de calcio en tallo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo. ....	29
Figura 12. concentracion (mg Kg <sup>-1</sup> ) de calcio en follaje de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo. ....	30
Figura 13. concentracion (mg Kg <sup>-1</sup> ) de calcio en capítulos de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo. ....	30
Figura 14. Concentración de Calcio y Plomo en el tejido vegetal de follaje, tallo y capitulo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.....	31



## RESUMEN

Con el objetivo de, determinar la efectividad de compuestos orgánicos de origen diverso y girasol ornamental en la fitorremediación de un suelo alcalino, contaminado con plomo, en una “cama” de siembra, con plástico se separaron nueve parcelas de 1 m<sup>3</sup>, en un suelo contaminado con 834 mg Pb kg<sup>-1</sup> de suelo. El suelo fue removido y se aplicaron 1 y 2 ton ha<sup>-1</sup> del compost denominada Miyaorganic® (MI) y de una lombricomposta (LO), elaborada a base de estiércol de bovino. Se sembró un híbrido de girasol ornamental, cv. “Sunbrigh”, con 36 plantas.m<sup>-2</sup>. Se aplicaron 4 y 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de dos ácidos fúlvicos: los primeros extraídos del compost MI (AFM) y los segundos del producto comercial, denominado K-tionic (KT). Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), peso fresco de tallo (PFT), de hoja (PFH) y capitulo (PFC); peso seco de tallo (PST), de follaje (PSF) y de capitulo (PSC). La planta fue colectada al ras del suelo y se le midió el contenido de Plomo y Calcio, al tejido vegetal de tallo (TVT), de follaje (TVF) y de capitulo (TVC). Los resultados arrojaron que al adicionar 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los ácidos fúlvicos extraídos del compost MI y 2 ton ha<sup>-1</sup> del compost MI, los valores de AP, PFT, PFH, PFC, PST, PSF y de PSC, fueron superiores; además, con la adición del mismo ácido fúlvico del compost, se acumuló la mayor cantidad de Plomo y Calcio en el tejido vegetal de follaje y capitulo, del girasol ornamental. Se concluye que los ácidos fúlvicos extraídos del compost Miyaorganic®, tienen efectos positivos en la altura de planta; además, junto con este mismo compost, lo efectuaron en todas las demás variables agronómicas medidas y en la acumulación de Plomo y Calcio en el tejido vegetal de follaje y capitulo.

**Palabras Clave:** *metales pesados, remediación de suelos, sustancias húmicas*

## INTRODUCCIÓN

Entre los contaminantes inorgánicos más nocivos para los seres vivos están los metales pesados y entre ellos el plomo (Pb), el cual provoca la pérdida irreversible de los recursos naturales debido a que no es biodegradable. Las fuentes de emisión de plomo al ambiente son múltiples e incluyen las fundidoras, las fábricas de baterías, algunas pinturas, la loza de barro vidriado cocida a baja temperatura y las gasolinas.

La presencia de metales pesados en los suelos agrícolas, se debe al uso inadecuado y prolongado de agroquímicos, incluyendo fertilizantes y pesticidas. Los fertilizantes fosforados contienen plomo, zinc, arsénico y cadmio, porque la roca fosfórica de donde los elaboran, los contiene y el uso de ciertos plaguicidas ha contribuido a aumentar los niveles de plomo, arsénico, mercurio y cobre, ya que algunos poseen hasta más del 25 por ciento de alguno de estos elementos.

Los suelos agrícolas del noreste de México se caracterizan por poseer pH de 7.8 a 8.7, menos del uno por ciento de materia orgánica, arcillas de tipo illitas y montmorillonitas y más del 25 por ciento de carbonatos de calcio ( $\text{CaCO}_3$ ) (FAO/UNESCO, 1994), lo cual provoca la fijación de iones metálicos. En este tipo de suelos, el Pb es poco soluble o insoluble, por lo que la recuperación de estos suelos con esta técnica, es uno de los problemas más difíciles de resolver por los especialistas en remediación de suelos.

Actualmente existen estudios tendientes a resolver la contaminación originada por metales pesados en suelos, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de extraer y acumular metales pesados; proceso denominado “fitorremediación”. Es decir, la “fitorremediación”, es una técnica que consiste en aprovechar la habilidad de las plantas que son cultivadas en un suelo contaminado y pueden ser cosechadas, incineradas o compostadas (Boye, 2002).

En la “fitorremediación”, se han empleado ciertos agentes quelatantes (compuestos orgánicos ligantes sintéticos de cationes), los cuales facilitan la disponibilidad de iones metálicos para el crecimiento de las plantas (Raskin *et al.*

1997). Así, por ejemplo, el EDTA (ácido ethilenedraminetetraacético), es particularmente efectivo ya que facilita la fitoextracción de cadmio (Cd), cobre (Cu), níquel (Ni), plomo (Pb) y zinc (Zn) a la adición de 10 mmol kg<sup>-1</sup> de un suelo contaminado con 1200 mg kg<sup>-1</sup> de Pb, esto resultó con una acumulación de 1.6 por ciento en tallos de *B. juncea* y el agente quelatante sintético fue efectivo cuando se aplicó algunos días antes de cosechar las plantas (Blaylock *et al.* 1997).

Recientemente se ha encontrado que los ácidos húmicos (AH) y los ácidos fúlvicos (AF), ambos procedentes de la materia orgánica, pueden complejar y/o quelatar cationes, debido a su alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados. En los AH dominan los grupos funcionales carboxilos y para los AF, los oxhidrilos fenólicos, porque más del 80 por ciento de la estructura molecular de dichos ácidos, está formada por éstos grupos (Schnitzer, 2000), sin embargo, contrario a lo anterior encontró López (2002), al analizar compuestos húmicos extraídos de compost.

Evangelou *et al.* (2004), emplearon DTPA con hierro (DTPA-Fe), AH obtenidos de leonardita como agentes quelatantes y plantas de tabaco (*N. Tabacum* SR-1), en laboratorio, para fitoextraer cadmio (Cd) de un suelo contaminado y concluyen que los AH tienen un efecto positivo en la biohabilidad del metal pesado y aceleran la fitoextracción de éste. Además, los ácidos no tienen efectos negativos como el DTPA-Fe, al emplearse como agentes quelatantes en el crecimiento de las plantas de tabaco. Sin embargo, debido al gran esfuerzo realizado para obtener los AH en grandes cantidades para poder emplearlos en la fitoextracción del Cd, hace lento el proceso.

Los agentes quelatantes sintéticos son costosos, difíciles de conseguir y ser manejados por personal técnico, por lo que se hace necesaria la búsqueda de agentes quelatantes naturales y económicos, además, que sean correctivas y no afecten a la naturaleza. Debido a lo anterior, es necesario reducir los niveles de contaminación y minimizar los elevados costos de restauración de suelos, lo que representa un enorme reto para la humanidad.

### **OBJETIVO**

Determinar la efectividad de compuestos orgánicos de origen diverso y girasol ornamental en la fitorremediación de un suelo alcalino, contaminado con plomo.

### **HIPÓTESIS**

Al menos un compuesto orgánico y el girasol ornamental, tienen efecto positivo en la extracción de plomo, de un suelo alcalino.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Las Substancias Húmicas

Schnitzer (1978), divide a la materia orgánica del suelo, en dos grupos: sustancias no húmicas y húmicas. Las sustancias no húmicas son carbohidratos, proteínas, grasas, ceras, resinas, pigmentos y compuestos de bajo peso molecular (ácidos orgánicos) (Aleksandrova, 1994; Schnitzer y Schulten, 1995 y Yano *et al.* 1998). Las sustancias húmicas (SH), son una mezcla heterogénea de macromoléculas orgánicas, con estructura química compleja, distinta y más estable que su forma original; provienen de la descomposición de residuos de plantas y animales, así como de la actividad de síntesis de microorganismos (Schnitzer, 1978 y Stevenson, 1982).

Las SH son divididas en tres grupos de acuerdo a su solubilidad en soluciones ácidas y básicas concentradas y son: los ácidos húmicos (AH), los ácidos fúlvicos (AF) y las huminas residuales (HR). Los AH y AF, son macromoléculas aromáticas complejas, muy estables, con estructura polimérica en forma de círculos, cadenas y racimos (Schnitzer y Schulten, 1995), y ciclos aromáticos, con aminoácidos, aminoazúcares, peptidos y compuestos alifáticos (Schnitzer, 2000). Los AH son moléculas más grandes y complejas que los AF, además, presentan contenidos más altos de nitrógeno (N), pero menor de grupos funcionales libres (Meléndez, 2003).

### Propiedades de los Ácidos Fúlvicos

Los AF, se distinguen de los AH por su coloración más clara, por el contenido relativamente bajo en carbono (menos del 55 por ciento) y por su alta solubilidad en agua, alcohol, álcalis y ácidos minerales. Los AF pertenecen al grupo de los ácidos hidroxicarboxílicos y en la hidrólisis ácida forman sustancias reductoras; además, tienen alta capacidad de cambio (hasta 700 meq 100 g de sustancia), actúan destructivamente sobre los minerales, son propensos a formar complejos  $R_2O_3$  que poseen gran movilidad, por lo tanto parece ser que ya no existen

dudas sobre los AF como grupos independientes de materias húmicas con propiedades distintas a la de los AH. A parte de los AF propiamente dicho se han descubierto hidratos de carbono, glucósidos, sustancias de naturaleza fenólica, ácidos urónicos y ácidos orgánicos nitrogenados. Datos obtenidos de espectroscopia infrarroja, dan testimonio de la presencia de elementos de naturaleza aromática. Sobre la baja aromatización de los AF hablan los datos de la composición elemental en el cual el porcentaje de carbono es significativamente más bajo y el de hidrógeno supera el de los AH (Meléndez, 2003).

Los AH y los AF, poseen un alto contenido de grupos funcionales libres oxigenados (-COOH y -OH), que pueden complejar y/o quelatar cationes, sobre todo metálicos, ya que son mas rápidamente adsorbidos que los alcalino-térreos (Harter y Naidu, 1995). En los primeros compuestos orgánicos, dominan los grupos funcionales carboxilos (entre 500 y 900 meq/100g) y para los segundos, los grupos oxhidrilos fenólicos (no mas de 1400 meq/100g), por que mas del 80 por ciento de la estructura molecular de dichos ácidos, esta formado por los grupos funcionales mencionados (Harter y Naidu, 1995; Schnitzer, 2000). Contrario a lo anterior encontró López (2002), al analizar compuestos húmicos extraídos de compost.

Los AF, es la porción soluble en agua bajo todas las condiciones de pH. Ellos permanecen en solución después de la separación de los AH por acidificación. Los AF son de color amarillo claro a café-amarillento, de bajo peso molecular (de 170 a 2000 Kda), 45 por ciento de carbono y 48 por ciento de oxígeno (12 por ciento más que los AH); en otras palabras, tienen bajo peso molecular, alto contenido de oxígeno, pero bajo contenido de carbono; contienen más grupos funcionales de naturaleza ácida, particularmente carboxilos (COOH). La acidez total es de 900 a 1400 meq/100g y considerablemente mas altos que los AH (400 a 870 meq/100g) (Stevenson, 1982).

### **La Fitorremediación**

El termino “fitorremediación” (fito = planta y remediación = remediar), es relativamente nuevo y fue usado por primera vez en 1991. Entre las metodologías de limpieza para suelos contaminados por metales pesados, la técnica de

“fitoextracción” a través de los tejidos de las plantas, presenta ventajas ecológicas y económicas. Esta opción de limpieza depende principalmente, de las condiciones del suelo y de la planta acumuladora (Pulfort y Watson, 1993). Para mejorar los procesos de “fitoextracción”, la biodisponibilidad del contaminante hacia las raíces, puede facilitarse a través de la adición de agentes acidificantes, de fertilizantes o quelantes (Prasad y Freitas, 2003).

En México, al igual que en EE.UU., la mayor parte de los suelos contaminados están sometidos a tratamientos de remediación “*in situ*” (88%), más que tratamientos “*ex situ*” (12%). Del total de las empresas autorizadas para remediar suelos en México, más de la mitad emplean métodos biológicos, como el composteo y la biolabranza. El lavado de suelos, la oxidación química y la separación física, constituyen otra parte importante de las tecnologías de remediación más empleadas. Ninguna empresa ofrece servicios para la remediación de suelos contaminados con metales pesados (Volke y Velasco, 2002).

En Holanda, país pionero, se emplea una gama de técnicas de remediación, siendo la más común la excavación, remoción y confinamiento fuera del sitio de los materiales contaminados (40 a 60% de los casos). Sin embargo, el confinamiento tenderá a usarse cada vez menos en el futuro por dos razones: 1) el costo está incrementándose por los requerimientos ambientales que se han impuesto últimamente al confinamiento y 2) por que está previsto que el Ministro del Ambiente, prohíba la disposición de suelos contaminados en confinamientos si es técnicamente posible su limpieza. Holanda ha sido el líder en “bioremediación”, sobre todo fuera del sitio, aunque también ha empleado frecuentemente la incineración (Cortinas, 2002).

Las limitaciones para la fitorremediación son: que el contaminante debe estar dentro de la zona radicular de la planta, la cual crece activamente. Esto también implica al agua, profundidad, nutriente, atmósfera, limitaciones física y químicas. Además, el sitio debe ser lo bastante grande para aplicar las técnicas de cultivo apropiadas. No debe representar un peligro eminente para la salud humana o adicional el daño ambiental. También puede haber tiempo considerable entre las

técnicas de fitorremediación y técnicas convencionales de cavar y confinar (Cunningham y Ow, 1996).

La información necesaria para efectuar la “fitorremediación”, proviene de incluir una gran variedad de áreas de investigación, como son: lodos residuales, derramamiento de hidrocarburos y acumulación de metales en plantas agrícolas. El término ha sido ampliamente usado desde su principio, como una variedad de significados específicos. La “fitorremediación” se usa para significar la idea global de tecnologías ambientales basadas en utilizar plantas sin ninguna aplicación específica de algún producto químico (Research Laboratory Office of Research and Development U.S. A., 2000).

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 (Chaney *et al.*, 1997). Este grupo de fitotecnologías, reúne un gran número de ventajas, especialmente la limpieza y la economía; no utilizan reactivos químicos peligrosos, ni afectan negativamente a la estructura del suelo, sólo aplican prácticas agrícolas comunes; además, el proceso se realiza *'in situ'* evitando costosos transportes (Cunningham *et al.* 1995).

Según Chaney (1997), la “fitorremediación” es una estrategia que se utiliza en la remediación de suelos contaminados. Este proceso de descontaminación involucra el empleo de plantas que pueden remover, transferir, estabilizar, descomponer y/o degradar contaminantes de suelo, sedimentos y agua, como solventes, plaguicidas, hidrocarburos poliaromáticos, metales pesados, explosivos, elementos radiactivos y fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta (McGrath *et al.* 2001; Macek *et al.* 2000; Raskin *et al.* 1994).

Esta técnica se encuentra todavía en su etapa inicial de investigación y de desarrollo, ya que el número de pruebas de campo realizadas hasta la fecha es pequeña (Brown *et al.* 2003; Chen, 2001) y está surgiendo como un método terapéutico atractivo debido a su costo relativamente bajo. Además de la remoción de



contaminantes, ésta técnica mejora la estructura y otras propiedades del suelo, así como su fertilidad y ofrece también la posibilidad de bio-recuperación de ciertos contaminantes como por ejemplo, metales pesados (Chaney *et al.*, 2000). Aunque el conocimiento básico de que las plantas pueden ser usadas para remediación del ambiente ha sido desde décadas pasadas, solo recientemente ha sido reconocido completamente el valor de las plantas acumuladoras de metales en la recuperación de suelos contaminados (Salt *et al.* 1997).

Después de una minuciosa investigación, la “fitorremediación” se está convirtiendo en una tecnología alternativa realmente útil, económica y efectiva de remediación de suelos contaminados con metales pesados. Esta nueva técnica de enmienda está basada en prácticas agronómicas, es eficiente y consiste en cultivar plantas en un lugar contaminado, después cosecharlas y estas plantas llenas de metales pesados podrían venderse a compañías de energía eléctrica como fuente de biomasa para producir energía, la que a su vez podría generar ganancias. Las cenizas resultantes de la incineración, también podrían ser llevadas a una fundición para recuperar el metal y nuevamente crear un flujo de ingresos (Raskin *et al.* 1997; Salt *et al.* 1995).

Varios análisis han demostrado que el costo de “fitoextracción” de metales es solo una fracción de aquellos asociados con técnicas de ingeniería convencionales. Además, debido a que remedia el suelo “*in situ*”, la fitorremediación evita una ruptura dramática del terreno y preserva el ecosistema. Es importante que la fitorremediación, comparada con otras técnicas de descontaminación de suelos, ofrece ventajas adicionales a la limpieza de suelos y mantos freáticos, al desarrollar alguno de los siguientes mecanismos: incremento en la actividad y población microbiana en el subsuelo, que eleva la cantidad de carbono orgánico, mejoras en la aireación del suelo por liberación de oxígeno por las raíces, retrasa el movimiento e intercepción de compuestos orgánicos y algunos metales, estimula la transformación de compuestos tóxicos a compuestos de menor toxicidad, captación de hidrocarburos volátiles por la hoja, que sirve de “tapadera” a los lugares contaminados (Lasat, 2002).

En la fitorremediación es necesario considerar que hay muchas limitantes que se necesitan ser superadas, por ejemplo, los mecanismos moleculares, bioquímicos y fisiológicos son pocos conocidos e insuficientemente entendidos, al igual que los procesos que desarrollan las plantas hiperacumuladoras, un gran número de este tipo de plantas todavía pueden descubrirse e identificarse (Freitas *et al.*, 2004; Prasad y Freitas, 2003; Raskin *et al.*, 1994). El proceso de fitorremediación es lento porque el índice de acumulación es directamente proporcional al crecimiento de la planta, porque no hay planta con toda las características adecuadas con los criterios ideales de una hiperacumuladora eficaz (crecimiento rápido y raíces extensas de biomasa alta, fáciles de cosechar, plantas acumuladoras de una amplia gama de metales tóxicos), por lo que es necesario modificarlas genéticamente para mejorarlas y emplearlas satisfactoriamente como agentes en el proceso de fitorremediación (Clemens *et al.*, 2002; Maagher *et al.*, 2000; Lovley y Coates, 1997).

La fitorremediación debe considerarse como una tecnología de largo plazo, que puede requerir de varios ciclos de cultivos para reducir la concentración de los contaminantes a niveles aceptables. El tiempo requerido depende de la concentración y tipo de contaminante(s), de la duración del periodo de crecimiento y de la eficiencia de remoción de la especie utilizada y puede tomar entre uno y 20 años (Prasad y Freitas, 2003). Esta técnica se encuentra todavía en su etapa inicial de investigación y de desarrollo, el número de pruebas de campo realizadas hasta la fecha, es no obstante pequeña (Brown *et al.* 2003), y esta surgiendo como método de rehabilitación atractivo debido a su simplicidad, además su costo es relativamente bajo.

### **Plantas Hiperacumuladoras de Metales Pesados**

Todas las plantas poseen un potencial 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. Una notable excepción de esta regla, es un pequeño grupo de plantas que pueden tolerar, absorber y translocar altos niveles de ciertos metales, como son los metales pesados, estas plantas reciben el nombre de hiperacumuladoras (Chen *et al.* 2001). Una definición propone que si una planta contiene mas de 0.1 por ciento de níquel (Ni), cobalto (Co), cobre (Cu), cromo

(Cr), plomo (Pb) y cinc (Zn) en las hojas sobre una base del peso seco, ésta puede ser llamada una “hiperacumuladora”, independientemente de la concentración del metal en el suelo (Robinson *et al.* 2003).

Las primeras plantas hiperacumuladoras caracterizadas son miembros de las familias *Brassicaceae* y *Fabaceae*. El gran interés despertado por las plantas hiperacumuladoras, especialmente para detoxificar un ambiente contaminado, obliga también a resolver otros problemas relativos a otras disciplinas, Lasat (2002), hace hincapié en ello y destaca que, cuando se intensifique la investigación conjunta de diversos campos como botánica, fisiología vegetal, agronomía, química y genética, probablemente se inicie un brillante futuro para la fitorremediación. El entorno de las plantas hiperacumuladoras revela la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios que aumenten la rentabilidad y eficacia de dichas plantas: sus aplicaciones son interesantes en muchas áreas y particularmente importantes en la protección del ambiente (Cuadro 1) (Lasat, 2002).

Cuadro 1. Número de algunas plantas hiperacumuladoras de metales en el mundo.

Metal	Número de taxones	Número de familias
Arsénico	2	1
Cadmio	2	1
Cobalto	26	11
Cobre	35	15
Plomo	14	7
Manganeso	9	5
Níquel	317	37
Selenio	20	7
Zinc	13	5

(Basado en registros de Reeves y Baker 2000).

Salt *et al.* (1998), Establece que el botánico A. Baumann, al trabajar en los límites entre Bélgica y Alemania, observó que las hojas de ciertas especies de plantas que crecían en suelos enriquecidos naturalmente con zinc y contenía altas concentraciones de este elemento, registró especies como la violeta (*viola aclamaria*) y la mostaza (*thlaspi calaminare*), recientemente clasificada como *Thlaspi caerulescens*; las que contenían cerca de 1 y 1.7 por ciento de zinc en el peso seco de las hojas. Éstas fueron comparadas con los niveles de cinc ente 0.001 y 0.02 por ciento del peso seco de hojas de otras plantas.

Estudios realizados en Estados Unidos de América, reportaron al selenio, como un componente de la planta responsable de trastornos en ciertos animales en Dakota del Sur. Esta investigación indujo al descubrimiento de plantas capaces de acumular selenio arriba de 0.6 por ciento en la biomasa seca de los brotes. Una década mas tarde, dos botánicos italianos, Minguzzi y Vergnano (1948), descubrieron plantas que acumulan níquel; ellos observaron que las hojas secas de *Alyssum bertolonii*, que crecían en suelos serpentinos ricos en níquel, cerca de Florencia, Italia y contenían alrededor de 1 por ciento de níquel, por arriba de 100 a 1000 veces más alto que otras plantas que crecían cercanas al sitio.

En investigaciones realizadas por Chaney, al evaluar plantas llamadas “hiperacumuladoras”, encontró que la especie conocida como *Thlaspi caerulences* acumula hasta 30 000 ppm de zinc y hasta 6000 ppm de cadmio en sus hojas, sin reducir el rendimiento de la planta (Brown *et al.* 1995). Otras especies como *Chichorium intybus*, *Erigeron canadensis* y *Eupatorium capillifolium*, han sido investigadas como especies que indican la biodisponibilidad de estos metales contaminantes, por incorporarlos sin mostrar síntomas de toxicidad. El *Amaranthus reflexus* ha demostrado ser efectiva en absorber el amenazador cesio-137 radiactivo; también resulta muy prometedora como hiperacumulador de plomo y el helecho, originario de florida (*Pteris vittata*), es capaz de absorber el peligroso arsénico, lo mas curioso es que el helecho crece mejor en suelos que contienen elevados cantidades de arsénico que en los que carecen de él (Martín *et al.* 1996).

El cadmio (Cd) se puede acumular en el girasol (*Helianthus annuus*) (Davies *et al.* 2001; Simon, 1998). El girasol es una rizofiltradora potencial de cadmio,

níquel, cobre, cinc, cromo y plomo; así como los radioisótopos (Brooks, 1998). Existen plantas que al mismo tiempo que son hiperacumuladoras de cobre, lo son del cobalto, entre ellas algunas especies de la familia *Asteraceae* (Brooks 1998). Desde el punto de vista ecológico, el papel de las plantas hiperacumuladoras no está aun completamente claro, pero se ha supuesto que éstas suministran protección contra el ataque de hongos patógenos e insectos. Las recientes evidencias, han confirmado la función de protección de la acumuladora de níquel contra hongos y bacterias patógenos en *Steptanthus polygaloides* e insectos herbívoros en *S. Polygaloides* y *T.montaum* (Li *et al.*, 2003). El efecto contra los insectos herbívoros está bien demostrado en *Thlaspi caerulescens*, que es una planta hiperacumuladora de zinc.

Las plantas hiperacumuladoras, con esta extraordinaria habilidad de acumular metales pesados, pueden ser usadas en actividades de remediación en el ambiente; además, constituyen un importante recurso biológico en las futuras revegetaciones y fitorremediaciones de áreas contaminadas con metales pesados. Sin embargo, las aplicaciones máximas todavía no se han logrado; una razón importante es la falta de conocimientos de los mecanismos moleculares y procesos biológicos involucrados que permiten tolerar, la adquisición, el transporte y acumulación de los metales en las plantas, incluso que se puedan alimentar de los metales (Lovley, 1997).

En las últimas décadas, la búsqueda se ha conducido a investigar la biología de la fitoextracción de metales, pero a pesar de los éxitos significativos, la comprensión del mecanismo de las plantas que permiten la extracción del metal, emerge lentamente. El éxito natural de especies de plantas capaces de acumular extraordinariamente altos niveles de concentraciones, hace de la investigación un proceso particularmente interesante. Como resultado, se están obteniendo los primeros avances para la comprensión de los mecanismos a nivel molecular, por los cuales las plantas son capaces de tolerar los excesos y absorber metales pesados, que serían venenos y peligrosos para otras especies, mientras que las hiperacumuladoras los incorporan como nutrientes (Huang *et al.* 1997).

Los genes responsables de la hiperacumulación de los metales pesados, en los tejidos finos de la planta, se han identificado y se han reproducido. El metabolismo de los ácidos orgánicos, desempeña un papel importante en las plantas que toleran

metales pesados. En el proceso de fitorremediación de metales pesados en el ambiente, los ácidos orgánicos desempeñan un papel importante en la tolerancia del metal (Hall, 2002).

Para Baker y Walter (1997), en fitorremediación se necesitan plantas de rápido crecimiento, con una alta capacidad de incorporación de metales y una rápida ganancia de biomasa, para que puedan interferir en la biodisponibilidad de metales tóxicos en suelos y las limitaciones de las plantas hiperacumuladoras, son su pequeña biomasa radicular, su restringida selectividad de los elementos, el pobre conocimiento acerca de la agronomía, la genética y las enfermedades de estas plantas. En su gran mayoría, las plantas que acumulan metales, son especies silvestres, pequeñas en tamaño y tienen tasas de crecimiento lento, como ejemplo, se tiene a *Thlaspi caerulescens*, que es una planta no micotrófica y de lento crecimiento, las que son características limitantes en el porcentaje de la fitoextracción.

Otras plantas acumuladoras, con abundante biomasa, son micotróficas, tales como girasol y sauce, por lo que ahora reciben mayor atención las que asociadas con hongos micorrizicos (HMA), son tolerantes a metales y pueden por lo tanto ser consideradas para descontaminar suelos levemente contaminados. La asociación de las plantas con hongos micorrizicos, representa una serie de importantes ventajas entre las que destacan: protección contra ataque de parásitos y enfermedades, mayor área de extensión de las raíces facilitando la absorción de nutrientes; así como también contaminantes inorgánicos y orgánicos (Leyval *et al.* 2001; Ernst, 2000).

Actualmente las plantas hiperacumuladoras identificadas son 397, este número puede ser cambiado en el futuro, ya que mas plantas que crecen en suelos ricos en metales son investigados; en la mayoría de los casos, no se trata de especies raras, sino de cultivos comunes que se han ensayado con éxito como posibles especies fitorremediadoras. En el futuro, plantas como la alfalfa, la mostaza, el tomate, la calabaza, el sauce y el bambú, pueden ser empleadas. Las principales familias a las que pertenecen las plantas hiperacumuladoras son: *Asteraceae*,

*Aceraceae, Poaceae, Brassicaceae, Betulaceae, Convolvulaceae, Cyperaceae, Fabaceae, Malvaceae y Oleaceae.* (De Oliveira y Vara 1999).

El gran interés despertado por las plantas hiperacumuladoras, especialmente para detoxificar un ambiente contaminado, obliga también a resolver otros problemas relativos a otras disciplinas. Lasat (2002), hace hincapié en ellas y destaca que, cuando se potencie la investigación conjunta de diversos campos como la botánica, la fisiología vegetal, la agronomía, la química y la genética, probablemente se inicie un brillante futuro para la fitorremediación. El entorno de las plantas hiperacumuladoras revela la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios, que aumenten la rentabilidad y eficacia de dichas plantas. Sus aplicaciones son interesantes en muchas áreas y particularmente importantes en la protección del ambiente.

Miembros de las familias Brassicaceae (géneros *Alyssum* y *Thlaspi*) y Fabaceae, fueron los primeros señalados como hiperacumuladores. El género *Thlaspi* contiene especies que hiperacumulan Zn, Ni, Cd y Pb (Baker y Brook, 1989), como *T. caerulescens* que crece en suelos de calaminas y serpentinas y cuya distribución en Gran Bretaña y Bélgica esta estrechamente vinculada con las minas de Zn y Pb. Los pastos, son el género más adecuado para la fitorremediación de forma orgánicas e inorgánicas de metales, por su hábitat de crecimiento y adaptabilidad a una variedad de condiciones edáficas y climáticas (Singh *et al.* 2003). En las *Asteraceae* se ha reportado por ejemplo, tolerancia al plomo en *Sonchus oleraceus* y se le ha propuesto como especie fitorremediadora de ambientes contaminados con este metal (Xiong, 1997).

La especie *Thlaspi caurulencens*, en suelos contaminados con cinc y cadmio, logra eliminar más de 8 mg.kg de cadmio y 200 mg.kg de cinc, representado esto valores el 43 y 7 por ciento de estos metales, en un suelo agrícola, respectivamente (Lombi *et al.* 2001). El girasol (*Helianthus annus* L.), es la especie que absorbe los metales pesados en mayor cantidad en sus raíces y en sus brotes, si se cosecha la biomasa entera de la planta, por lo que se considera una planta hiperacumuladora favorable en la fitoextracción de Cd, Zn, Pb y elementos radiactivos (Christie *et al.* 2004; Reeves, 2003; Davies, 2002; Cabrera *et al.* 1999; Kumar *et al.* 1995).

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Características Generales del Área

El experimento se desarrollo en el área de prácticas del Departamento de Ciencias del Suelo del *Campus* principal de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila México, a los 25° 23’ de latitud norte y 101° 00’ de longitud Oeste y a la altura de 1742 msnm.

El clima es seco y templado con lluvias en verano. La temperatura media anual es de 13.3° C, con una oscilación media de 10.4 ° C. Los meses más cálidos son junio, julio y agosto con temperaturas máximas de 37° C. Durante Enero y Diciembre se registran las temperaturas de hasta -10° C, con heladas regulares en el periodo de Diciembre a Febrero. Los vientos predominantes son del suroeste durante casi todo el año a excepción del invierno donde predominan del noreste y se presentan con mayor intensidad los meses de febrero y marzo.

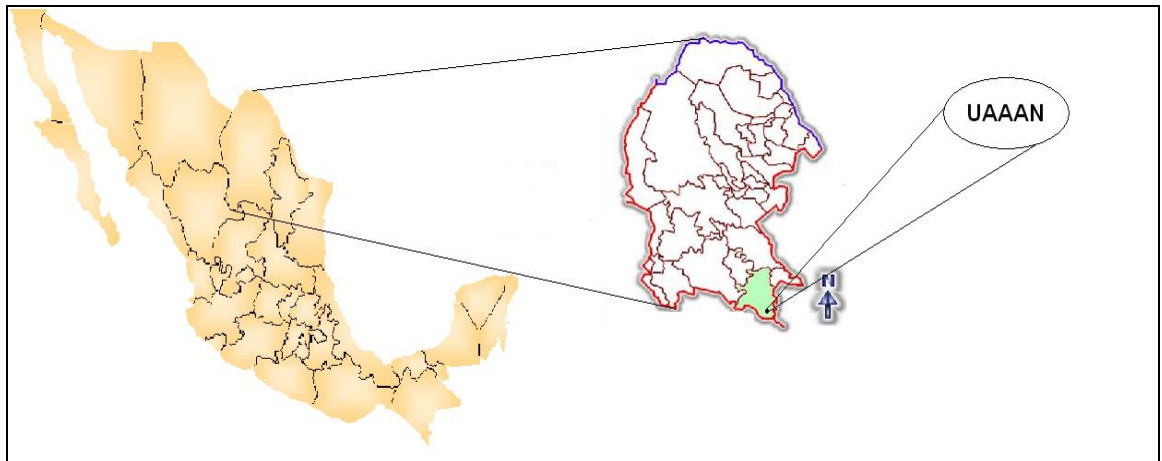


Figura 1.- Mapa de localización del sitio experimental.



## Metodología

En una “cama” de siembra del área experimental del Departamento de Ciencias del Suelo, del *Campus* principal de la UAAAN, con plástico se separaron nueve parcelas de 1 m<sup>3</sup>, en un suelo contaminado con 834 mg Pb kg<sup>-1</sup> de suelo. El suelo fue removido, se aplicaron dos tratamientos del compost denominada Miyaorganic<sup>®</sup> (MI) (compost comercial) y de una lombricomposta (LO), elaborada a base de estiércol de bovino. Posterior a ello, se sembró un híbrido de girasol ornamental, cv. “Sunbrighth” (SAKATA Seeds de México, S. A. de C. V.), a la cantidad de 36 plantas.m<sup>-2</sup>. Enseguida se aplicaron 4 y 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de dos ácidos fúlvicos: los primeros extraídos del compost MI (López *et al.* 2006). y los segundos correspondientes a ácido fulvico K-tionic (AFK) La adición de estos compuestos fue en tres ocasiones: una al momento de la siembra y las otras dos a los nueve y 18 después de la inicial. El riego fue cada cuatro días y no se presentaron problemas con plagas ni enfermedades. Las características generales de ambos compost se presentan en el Cuadro 3 y 4, Al inicio de este experimento se midieron las características presentadas en el (cuadro 5).

Cuadro 2. Tratamientos con su respectiva dosificación.

Número	Tratamientos	Dosis
1	Miyaorganic <sup>®</sup> 1	1000 kg ha <sup>-1</sup>
2	Miyaorganic <sup>®</sup> 2	2000 kg ha <sup>-1</sup>
3	Lombricomposta 1	1000 kg ha <sup>-1</sup>
4	Lombricomposta 2	2000 kg ha <sup>-1</sup>
5	AFM 4	4 ml.litro <sup>-1</sup> de agua
6	AFM 6	6 ml.litro <sup>-1</sup> de agua
7	AFK 4	4 ml.litro <sup>-1</sup> de agua
8	AFK 6	6 ml.litro <sup>-1</sup> de agua
9	Agua	-----

Cuadro 3. Las características generales de las compost.

Compost	pH	CE (mS)	Proteínas (%)	Materia orgánica (%)	Carbón orgánico (%)	Relación C/N
Miyaorganic <sup>®</sup> (Miy)	8.74	3.83	9.38	45.0	27.0	1.8/1
Lombricomposta (LO)	8.42	3.94	-----	32.8	16.9	1.7/1

Cuadro 4. Acidez total (AT), grupos funcionales libres carboxilos (-COOH) y grupos funcionales libres oxidrilos fenólicos (-OH) de diversos compuestos orgánicos, adicionados a un suelo contaminado con plomo.

Compuesto	AT (cmol kg <sup>-1</sup> )	-COOH (cmol kg <sup>-1</sup> )	-OH (cmol kg <sup>-1</sup> )	Porcentaje
K-tionic	182	74	108	25.0
AFM	702	530	172	14.0
DTPA	551	341	210	-----

Cuadro 5. Otras características determinadas al suelo al inicio del experimento.

Determinaciones	Método
Densidad aparente	Probeta
Textura	Hidrómetro de Bouyoucous
Materia Orgánica	Walkley y Black (1947)
Conductividad Eléctrica	Pasta de saturación
pH	Potenciómetro (relación 5:1 en agua)
Pb total	PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004

El trabajo se distribuyó de acuerdo a un Diseño Experimental Completamente al Azar, con cuatro repeticiones, donde cuatro plantas configuraron una repetición. El análisis estadístico consistió en el Análisis de Varianza (ANVA) y la prueba de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ), para lo cual se empleó el paquete para computador MINITAB versión 15 para WINDOWS.

Las variables evaluadas fueron: altura de planta (AP), materia seca (MS), materia fresca (MF). La planta fue colectada al ras del suelo y se le midió el contenido de Pb al tejido vegetal de tallo (TVT), de follaje (TVF) y de capitulo (TVC), por calcinación y utilizando ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) (vía seca) (espectrofotómetro de absorción atómica (EAA)- tipo Varian) (Perkin Elmer, 2380), al final del ciclo del cultivo. Esto de acuerdo con la norma oficial mexicana PROY-NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, la que norma la remediación de sitios contaminados (SEMARNAT, 2005). También, al final del ciclo, al tejido vegetal de follaje, tallo y capitulo, se le midió el contenido de calcio (Ca).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Características del Suelo

Antes de establecer el experimento, se analizó el suelo y se encontró que no hay problemas de compactación por la densidad aparente baja, que presenta el suelo, aunque la textura es limo-arcillosa; posee aceptables contenidos de materia orgánica y no hay problemas de salinidad, aunque el pH es alcalino y el suelo presenta problemas de acumulación de plomo (Cuadro 6).

Cuadro 6.- Caracterización del suelo antes de establecer el experimento.

Característica	Resultado
Densidad aparente	1.10 g cm <sup>-3</sup>
Textura	Limo - arcillosa
Materia Orgánica	3.5%
Conductividad Eléctrica	0.22 dS m <sup>-1</sup>
pH	8.2
Plomo Total	839 mg Pb Kg <sup>-1</sup> de suelo
Carbonatos totales	62 %

### Variables Agronómicas

La altura de planta (AP), de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 7), presentó diferencia altamente significativa por efecto de los tratamientos. Así, de manera general se puede establecer que al aplicar la cantidad de 2 ton.ha<sup>-1</sup> de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, superó a la agregación de la lombricomposta en sus dos dosis. Los ácidos fúlvicos extraídos de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, aventajó en esta variable al ácido fulvico K-tionic; de tal forma, que al adicionar 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los ácidos fúlvicos extraídos de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, se presentó la superior AP del girasol ornamental, porque aventajó al testigo absoluto (TA) en 21.71 por

ciento y esto quiere decir que con la adición de los compuestos líquidos, la AP fue mayor que al agregar las compostas (Figura 2).

Cuadro 7. Análisis de varianza (ANVA) de la altura de la planta del girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	8367.48	1045.94	23.98	0.000**
Repetición	3	266.72	88.91	2.04	0.135NS
Error	24	1046.87	43.62		
Total	35	9681.07			

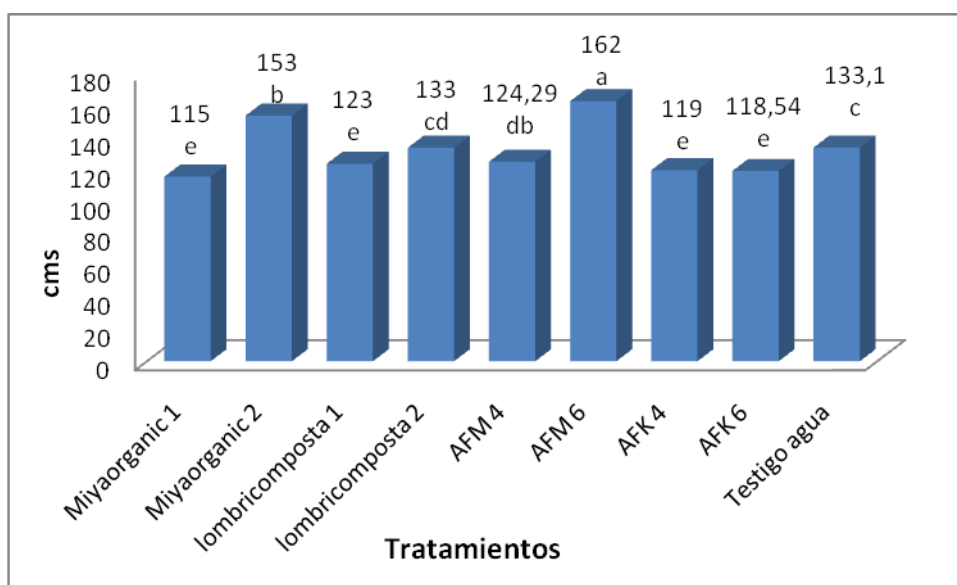


Figura 2. Altura de planta de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

En el peso fresco del tallo (PFT), los tratamientos ejercieron efectos altamente significativos (Cuadro 8). Cuando se aplicó la composta Miyaorganic<sup>®</sup> a razón de 2 ton ha<sup>-1</sup> y 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua del ácido fúlvico extraído de la misma composta, produjeron el aumento del peso fresco del tallo, porque adelantaron al TA en 72.6 y 192.1 por ciento, respectivamente. La dosis baja de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, las dos dosis de la lombricomposta, la cantidad baja de los ácidos fúlvicos extraídos de Miyaorganic<sup>®</sup> y las dos cantidades de los ácidos fúlvicos K-tionic, no ejercieron efecto sobre esta variable (Figura 3).

Cuadro 8. Análisis de varianza (ANVA) del peso fresco del tallo de girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	781685	9771.1	11.89	0.000**
Repetición	3	57425	19142	2.33	0.100 NS
Error	24	197168	8215		
Total	35	1036279			

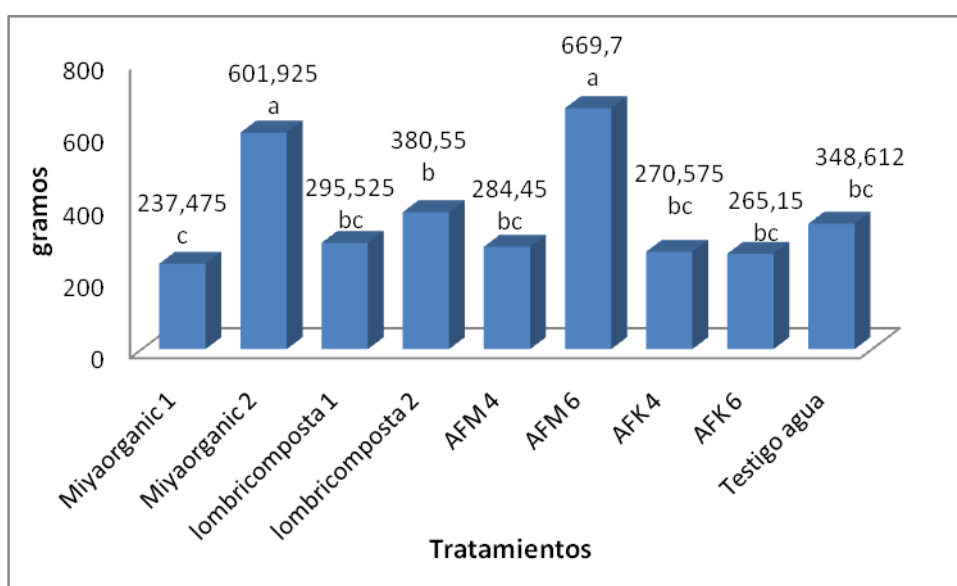


Figura 3. Peso fresco del tallo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

Los tratamientos realizaron efecto significativo en el peso fresco de hojas (PFH) del girasol ornamental (Cuadro 9). Al agregar la composta Miyaorganic® a la cantidad de 2 ton ha<sup>-1</sup> y el ácido fúlvico extraído de esta composta, a la dosis de 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua, superaron al TA en 98.5 y 63 por ciento, respectivamente (Figura 4).

Cuadro 9. Análisis de varianza (ANVA) del peso fresco de hoja de girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	185900	23238	4.28	0.003 **
Repetición	3	11514	3838	0.71	0.557 NS
Error	24	130162	5423		
Total	35	327576			

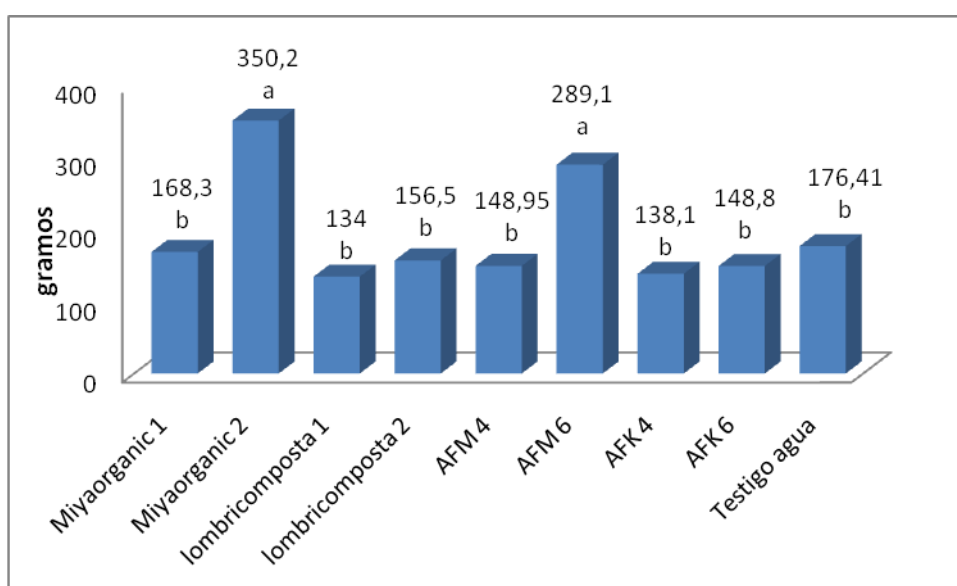


Figura 4. Peso fresco de hoja de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

En el peso fresco de los capítulos (PFC), los tratamientos no realizaron efecto significativo (Cuadro 10); sin embargo, de forma gráfica se puede establecer que al agregar la composta Miyaorganic<sup>®</sup> a la cantidad de 2 ton ha<sup>-1</sup> y el ácido fúlvico extraído de esta composta, a la dosis de 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua, superaron al TA en 34.52 y 35.62 por ciento, respectivamente (Figura 5).

Cuadro 10. Análisis de varianza (ANVA) del peso fresco del capítulo de girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	383800	4798	2.18	0.067 NS
Repetición	3	26124	8708	3.96	0.020 *
Error	24	52802	2200		
Total	35	117306			

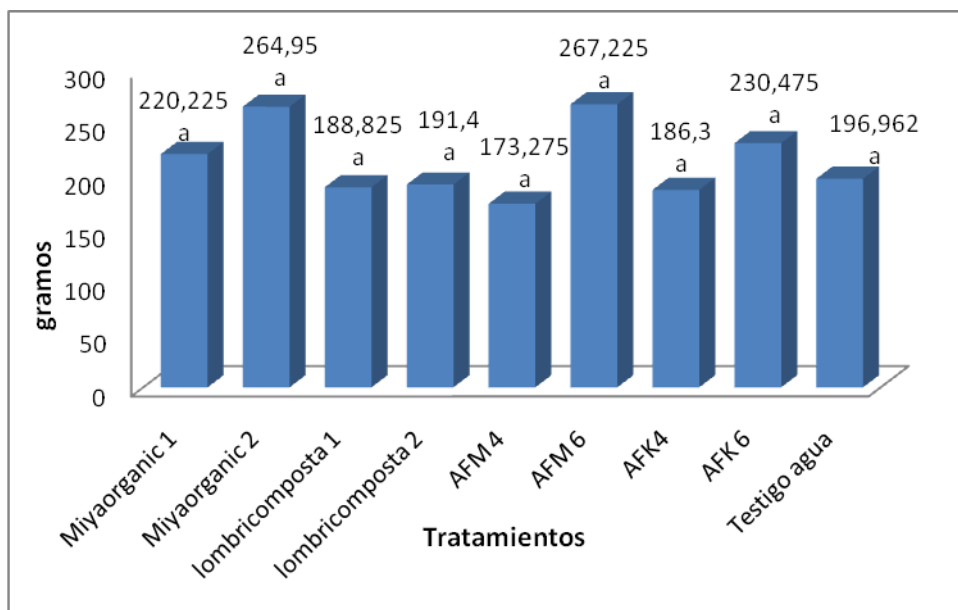


Figura 5. Peso fresco del capítulo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

En el peso de seco de tallo (PST), los tratamientos ejercieron efectos altamente significativos (Cuadro 11). Los valores mas altos se obtuvieron al adicionar Miyaorganic® 2 ton.ha<sup>-1</sup> y 6 ml.litro<sup>-1</sup> de los ácidos fúlvicos extraídos de esta misma composta, porque incrementó en 83 y 78 por ciento, respectivamente al TA (Figura 6).



Cuadro 11. Análisis de varianza (ANVA) del peso seco del tallo de girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	17944.6	2243.1	8.18	0.000 **
Repetición	3	1130.9	377.0	1.37	0.274 NS
Error	24	6580.5	274.2		
Total	35	25656.1			

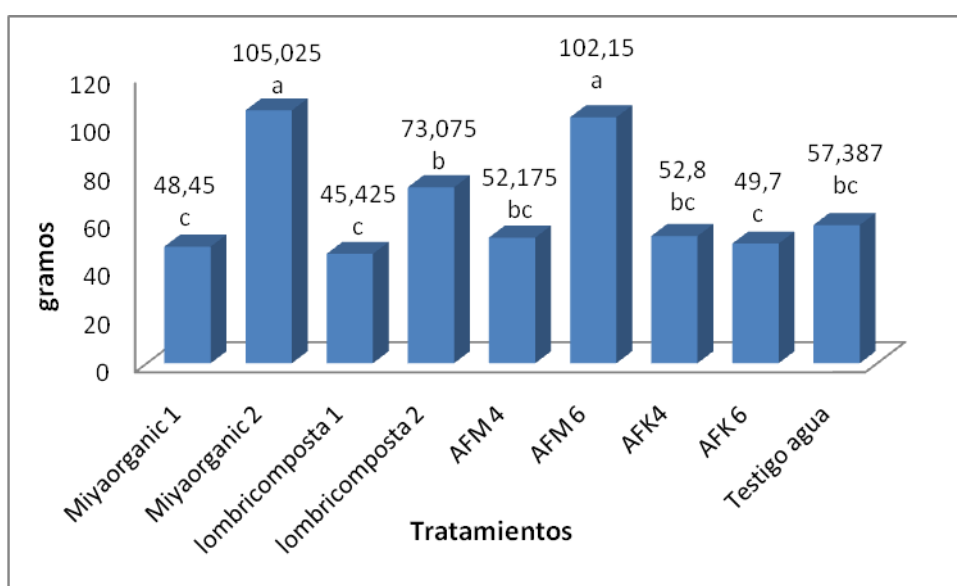


Figura 6. Peso seco de tallo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

Los tratamientos ejercieron efectos altamente significativos en el peso seco de follaje (PSF) (Cuadro 12). Con respecto a los compuestos orgánicos sólidos, al agregar la composta Miyaorganic® a la dosis de 2 ton ha<sup>-1</sup>, se presentó el valor superior, porque adelantó al TA en 102.5 por ciento. Cuando se agregaron la lombricomposta en su dosis más baja y los ácidos fúlvicos K-tionic, se presentaron los valores más bajos de esta variable (Figura 7).

Cuadro 12. Análisis de varianza (ANVA) del peso seco de follaje de girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	3500.1	437.5	3.12	0.015 **
Repetición	3	369.9	123.3	0.88	0.466NS
Error	24	3367.8	140.3		
Total	35	7237.8			

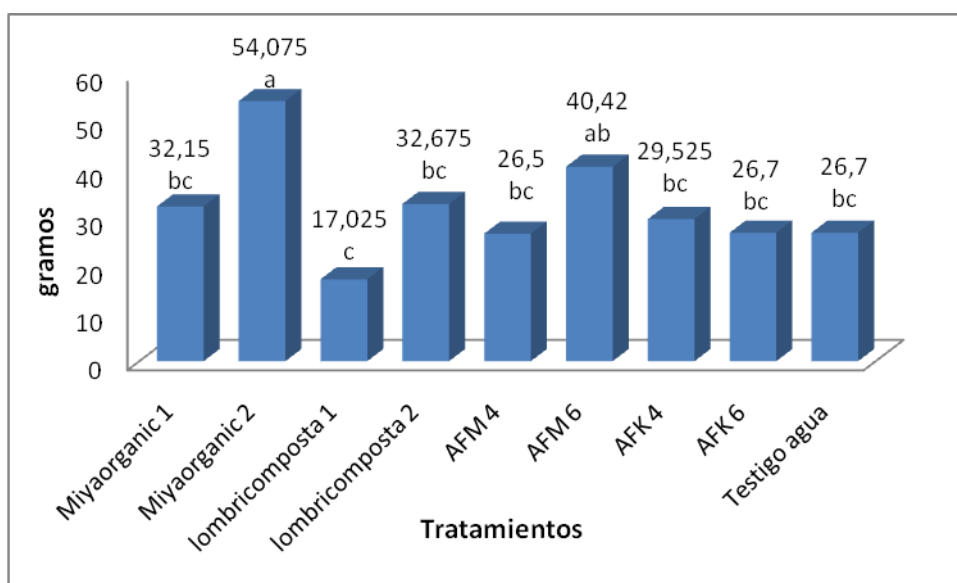


Figura 7. Peso seco de follaje de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

De acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos no ejercieron ningún efecto estadístico significativo en el peso seco del capítulo (PSC) (Cuadro 13). Aquí, los resultados presentan diferencias mínimas como al adicionar la composta Miyaorganic®, a la dosis baja y la lombricomposta a la dosis alta, pero esta variable presentó los valores más altos, ya que sobrepasaron en 47 y 33.5 por ciento, respectivamente al TA. Al adicionar los ácidos fúlvicos, se dio un caso similar al de los compuestos sólidos; aquí, el valor más alto fue al agregar 4 ml.litro<sup>-1</sup> de agua del ácido fúlvico K-tionic, porque adelantó al TA en 47 por ciento (Figura 8).

Cuadro 13. Análisis de varianza (ANVA) del peso seco del capítulo de girasol ornamental “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	303.64	37.96	1.00	0.460 NS
Repetición	3	248.07	82.69	2.18	0.116 NS
Error	24	909.22	37.88		
Total	35	1460.93			

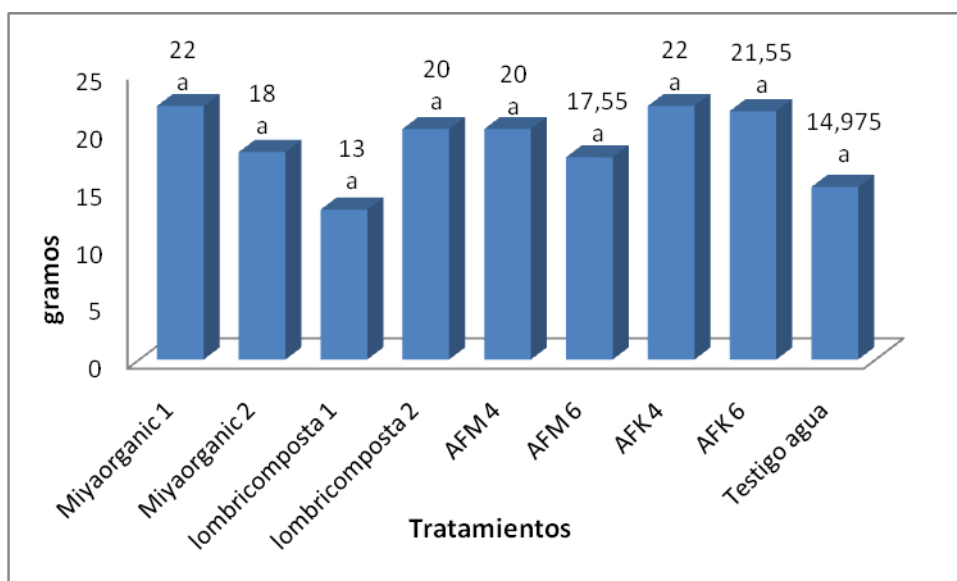


Figura 8. Peso seco de capítulo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, producido en un suelo contaminado de plomo.

### Absorción de Plomo

Los tratamientos, de acuerdo al análisis de varianza, los tratamientos no ejercieron ningún efecto estadístico significativo para la concentración de plomo en el tejido vegetal del follaje (Cuadro 14). Sin embargo, de forma gráfica, la mayor concentración de plomo en el tejido vegetal de follaje del girasol ornamental, fue al agregar 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua del ácido fúlvico extraído de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, 4 ml.litro<sup>-1</sup> de agua del ácido fúlvico K-tionic y el TA (Figura 9).

Cuadro 14. Análisis de varianza (ANVA) del contenido de plomo en el tejido vegetal de follaje del cv. “Sunbrigh” de girasol ornamental, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	4450.0	556.3	1.51	0.205NS
Repetición	3	747.2	249.1	0.68	0.575NS
Error	24	8827.8	367.8		
Total	35	14025.0			

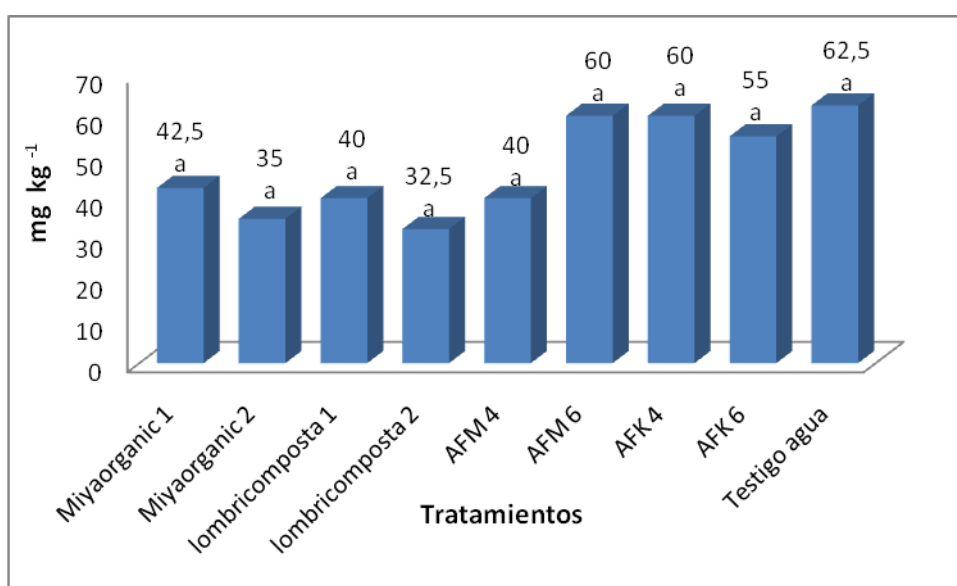


Figura 9. Concentración de plomo en el tejido vegetal de follaje de girasol ornamental cv. “Sunbrigh”, en un suelo contaminado con plomo.

Los tratamientos no ejercieron ningún efecto estadístico significativos en la concentración de plomo en capítulos (Cuadro 15). Pero, a partir de la Figura 10, se puede establecer que la mayor concentración de plomo fue de 32.5 mg Pb kg<sup>-1</sup>, la que se presentó al aplicar 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los ácidos fúlvicos obtenidos de la composta Miyaorganic®.

Cuadro 15. Análisis de varianza (ANVA) del contenido de plomo en el tejido vegetal de capitulo del cv. “Sunbrighth” de girasol ornamental, producido en un suelo contaminado con plomo.

Fuente	g.l.	S.C.	C.M.	F	P
Tratamientos	8	1050	131.25	1.67	0.157 NS
Repetición	3	191.67	63.89	0.81	0.499 NS
Error	24	1883.33	78.47		
Total	35	3125.00			

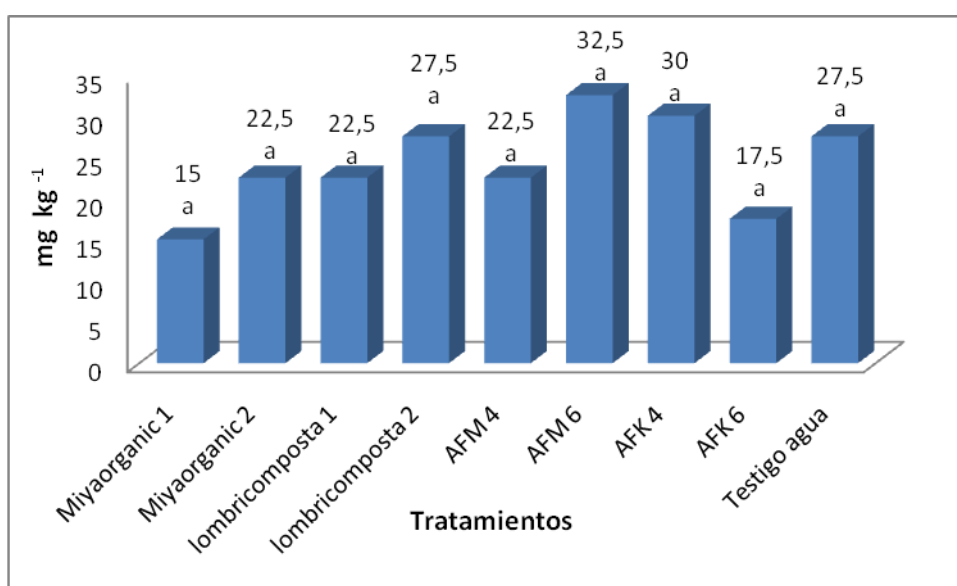


Figura 10. Concentración de plomo en el tejido vegetal de capitulo de girasol ornamental cv. “Sunbrighth”, en un suelo contaminado con plomo.

La mayor concentración de Calcio en tallos, fue de  $240 \text{ mg kg}^{-1}$ , y se presentó al adicionar  $6 \text{ ml.litro}^{-1}$  de agua de los ácidos fúlvicos extraídos de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, porque presentó un incremento del 20 por ciento, con relación al TA, donde el girasol ornamental absorbió  $200 \text{ mg kg}^{-1}$ . Cuando se agregó  $1 \text{ ton ha}^{-1}$  de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, fue cuando el girasol absorbió la menor cantidad de Calcio (Figura 11).

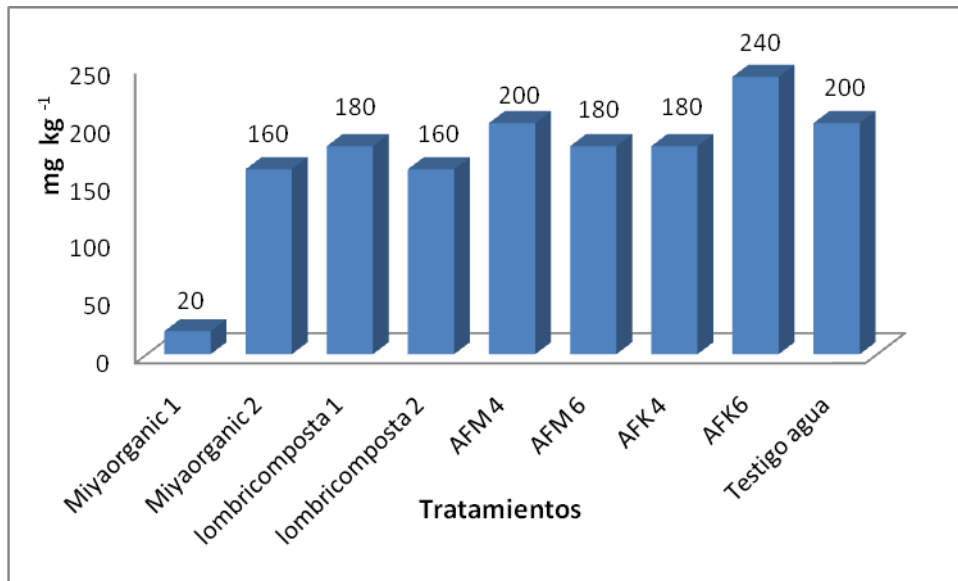


Figura 11 . Concentracion de calcio en tallo de girasol ornamental cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo.

Cuando se aplicó 1 ton ha<sup>-1</sup> de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, se presentó la menor cantidad de Calcio, porque el girasol ornamental absorbió 120 mg kg<sup>-1</sup>. Además, el valor superior de Calcio fue al agregar 2 ton ha<sup>-1</sup> de la misma composta, con el valor de 900 mg kg<sup>-1</sup>, lo que representa el 28.5 más que el TA (Figura 12).

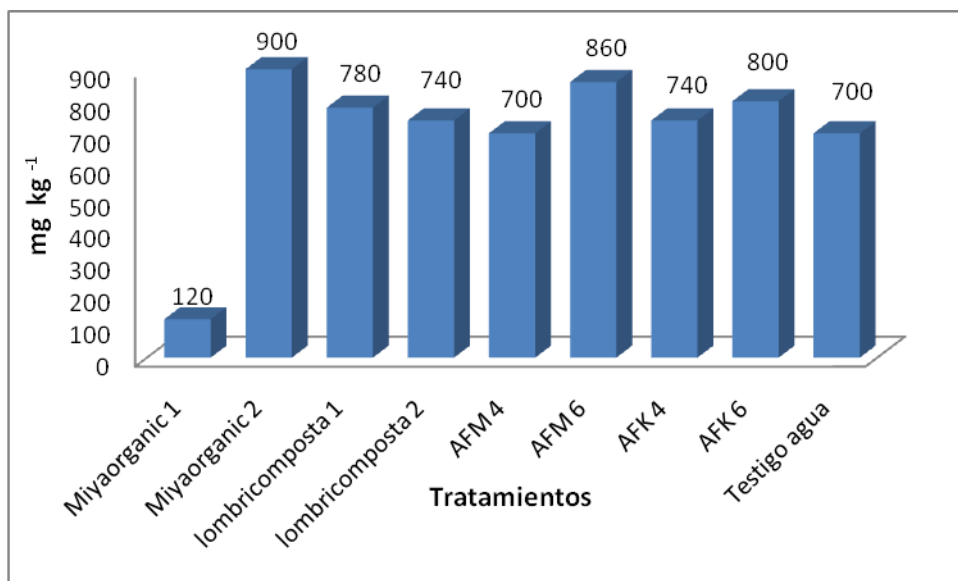


Figura 12. Concentración de calcio de tejido vegetal de follaje de girasol ornamental, cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo.

La mayor concentración de Calcio en capítulos, se presentó al agregar 1 ton ha<sup>-1</sup> de lombricomposta, porque absorbieron 700 mg kg<sup>-1</sup>, porque presentó un incremento de 723.5 por ciento, con relación al TA, el que solo absorbió 85 mg kg<sup>-1</sup> (Figura 13).

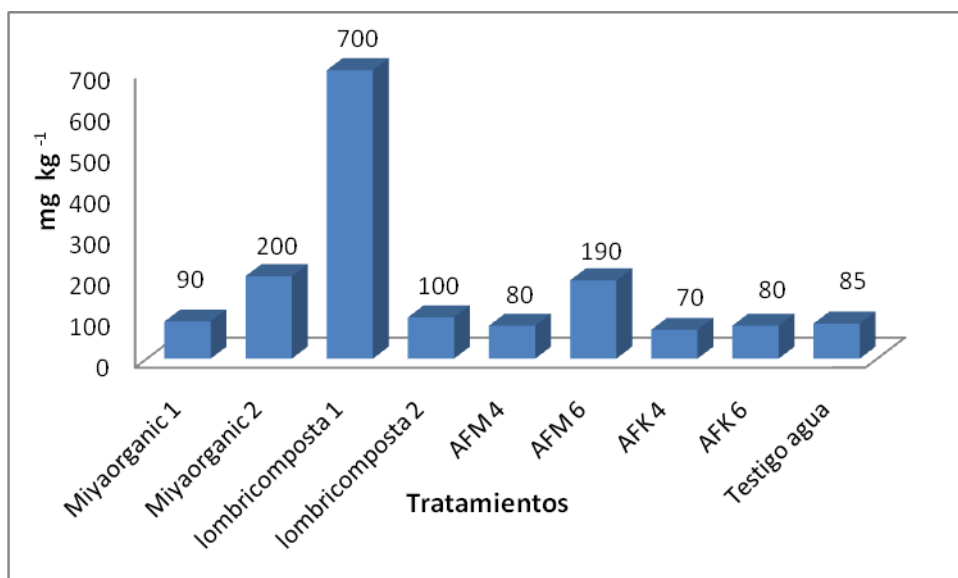


Figura 13. Concentración de calcio en el tejido vegetal de capítulo de girasol ornamental, cv. “Sunbrigh” en un suelo contaminado con plomo.

Al reunir los valores de la concentración de Plomo y Calcio, en el tejido vegetal de follaje, tallo y capitulo, se puede determinar que los valores del primer elemento no sobrepasaron el valor de  $100 \text{ mg kg}^{-1}$ ; mientras que los valores de Calcio en los diversos tejidos, fluctuó entre  $1000$  y  $1660 \text{ mg kg}^{-1}$ . De acuerdo con la Figura 14, se puede establecer que se presenta un antagonismo entre el Plomo y el Calcio, ya que a valores mayores de Calcio, los valores de Plomo son reducidos. Sin embargo, con la adición de  $6 \text{ ml.litro}^{-1}$  de agua se presentó la superior concentración de Plomo en los tres órganos vegetales y con la aplicación de  $1 \text{ ton ha}^{-1}$  de Lombricomposta, la cantidad de Calcio fue superior en los tres órganos vegetales donde se midió este elemento.

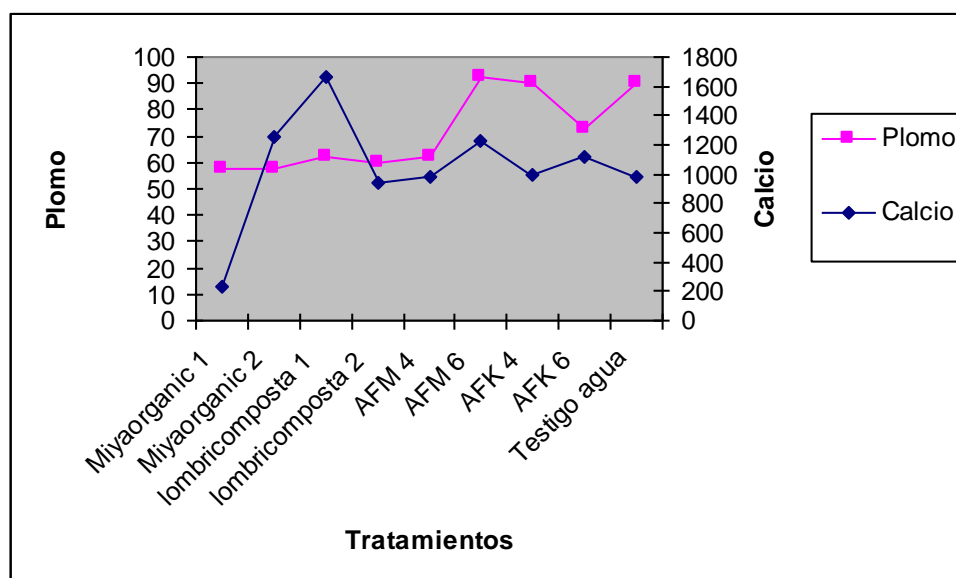


Figura 14. Concentración de Calcio y Plomo  $\text{mg kg}^{-1}$  en Planta de girasol ornamental cv. “Sunbrighth”.

A manera de discusión, con respecto a las variables agronómicas, la superior altura de planta se presentó al aplicar el ácido fúlvico extraído de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>. También, este compuesto y la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, realizaron el mayor efecto en el peso fresco y seco del tallo, follaje y capitulo. Además, cuando se adicionó el ácido fúlvico de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, se presentó la mayor acumulación de Plomo en los tres órganos vegetales; mientras que al aplicar la



Lombricomposta, se acumuló la cantidad superior de Calcio en el tejido vegetal de follaje, tallo y capitulo.

La acumulación de plomo en la materia seca del tejido vegetal de follaje, fue de 2.43 mg de plomo por planta, si consideramos una densidad de población de girasol de 360000 plantas ha<sup>-1</sup> y la cantidad de materia seca de 40.42 g por planta; en cada ciclo del cultivo, bajo estas condiciones, podemos extraer 0.87 kg de Pb ha<sup>-1</sup>, con 6 ml.litro<sup>-1</sup> de agua de los ácidos fúlvicos extraídos de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>. Con este mismo tratamiento, se presentó el valor superior de acumulación de plomo en capitulo, con 0.57 mg de plomo por planta, si consideramos la misma densidad que la anterior y una materia seca de 17.55 g por planta, en cada ciclo del cultivo, bajo estas condiciones, podemos extraer 0.20 kg de Plomo ha<sup>-1</sup>.

Aquí, se puede establecer que los grupos funcionales libres carboxilos (-COOH) de los compuestos orgánicos actuaron como ligantes naturales de los elementos nutrimentales y posteriormente los colocaron disponibles para las plantas. Esto quiere decir que los ácidos fúlvicos extraídos de la composta Miyaorganic<sup>®</sup>, están bien polimerizadas y bien oxidadas, aunque, es necesario considerar el número de cargas eléctricas negativas (de 1 a  $n$ : donde  $n$  es el número total de sitios aniónicos disponibles) de las moléculas orgánicas, las cuales pudieron ser equilibradas por cargas positivas de los cationes (Fründ *et al.* 1994). Mientras que para Evangelou *et al.* (2004), todas las moléculas que sirven como agentes quelatantes, sin importar su origen, tiene una capacidad limitada de unir moléculas o iones, dependiente de la cantidad de sitios de unión (cargas eléctricas negativas). Pero, los ácidos fúlvicos (AF) siempre estarán mas oxidados que los ácidos húmicos (AH), independientemente de la fuente de origen (Pettit, 2004).

La gran importancia de precisar la química de la unión de metales con las Substancias Húmicas, radica en la extensión de la complejación, la estabilidad de los complejos y el efecto de la formación de los complejos en propiedades como su solubilidad, pero, esto es un tema de bastante controversia. La acidez total (AT) es generalmente considerada como la que provee una adecuada medida de la habilidad de las substancias húmicas para unirse con metales, sin embargo, existe la posibilidad de que grupos funcionales no oxigenados podrían estar involucrados (Schnitzer, 2000), además, aquí es necesario considerar la capacidad de intercambio catiónico de la raíz (Marschner, 1995).

## CONCLUSIONES

- 1.- Los ácidos fúlvicos extraídos del compost Miyaorganic®, tienen efectos positivos en la altura de planta; además, junto con este mismo compost, lo efectuaron en todas las demás variables agronómicas medidas.
- 2.- Los ácidos fúlvicos obtenidos del compost Miyaorganic® y el ácido fúlvico K-tionic, ejercieron efecto positivo en la acumulación de plomo y calcio en el tejido vegetal de follaje y capítulo.
- 3.- El Calcio y el Plomo tienen un efecto antagónico, ya que las plantas que absorbieron mayores cantidades de plomo, presentaron baja acumulación de Calcio.

## LITERATURA CITADA

- Baker, A. J.M., and Walker, P. L. (1997). Ecophysiology of Metal Uptake by Tolerant Plants. In Heavy Metal Tolerance in Plants: Evolutionary Aspects 155-177.
- Blaylock, M. J., D. E. Salt, S. Dushenkov O., C. Gussman, Y. Kapulnik, B. D. Ensley and I. Raskin. 1997. Enhanced accumulation of Pb in Indian mustard by soil-applied chelating agents. Environ Sci. Tech.
- Boye K. 2002 Phytoextraction of Cu, Pb and Zn a greenhouse study. Swedish University of Agricultural Sciences. Department of Soil Sciences. Suecia. Pag 7, 16.
- Brooks, R.R. (1998). Plants that hyperaccumulation heavy metal. CAB Interational. 380.
- Brow, S. L., Chaney, R, L., Angle, J.S., Baker, A. J. M., (1995). Zinc and Cadmium Uptake by Hyperaccumaltor *Thaspi caerulencens* an Metal Tolerant *Silene vulgaris* Grow on Sludge-Amentd Soil, Environ. Sci. And Technol. 29(6), 1581-1585.
- Brown, S.L., Chaney, R, L., Hallfrisch, J.G., y Qi Xue (2003). Effect of biosolids processing on lead bioavailability in an urban soil. Environ Qual 32, 100-108.
- Cabrera, F., Murillo, J. M., López, R. (1999). Acumulation of heavy metals in sunflowes and sorgum plants affected by the Guadamar spill. The Science of the Total Environment, 242; 281-292.
- Cortinas, de N. C. 2002. MARCO CONCEPTUAL DE LA REMEDIACIÓN DE SITIOS CONTAMINADOS. Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Proyecto Desarrollo Institucional para la Gestión de Sitios Contaminados PN:99.21.34.3. México.

- Chaney, R. L., Mallik M., Li Y. M., Brown S.L., y Brewer E.P. (1997). Phytoremediacion of soil metals. *Curr. Opin. Biotechnol* 8:279-84
- Chaney, R.L., Ryan J.A., Li Y. M., y Angle J.S. (2000). Transfer of cadmium through plants to the food chain pp. 76-86. In: J.K. Syers and M. Gochfeld (eds) *Environmental Cadmium in the Food Chain*.
- Chen, B., Christie, P., y Li, L. (2001). A modified glass bead compartment cultivation system for studies on nutrient and trace metal uptake by arbuscular mycorrhiza. *Chemosphere* 42, 185-192.
- Christie, P., Li, X., Chen, B. 2004. Arbuscular Mycohriza can Depress Translocation of Zinc To Shoots of Host Plants in Soil Moderately Polluted with Zinc. *Plant and Soil*, 261 (1-2), 209-217.
- Clemens, Stephan, Palmgren, Michael G., y Kramer, Ute. (2002). A long way ahead: underting and engineering plant metal accumulation *TRENDS in Plant Science* 7(7): 309-314.
- Cunningham, S. D. and Ow, D. W. 1996. Promises and Prospects of Phytoremediation. *Plant Physiol.* (1996) 11 O: 71 5-71 9. E. U.
- Davies, F. T. Jr., Jeffrey D. Puryear, R. J. Newton, J. N. Egilla, J. A., y Saraiva, G (2001). Mycorrhizal fungi enhance acumulation and tolerance of chromium in sunflower (*Helianthus annus L.*). *Plant Physiol.* 158, 777-786.
- De Oliveira, F., Maria, V. P., y Narasimha, F. (1999). Feasible biotechnological and bioremediation strategies for serpentine soils and mine spoils. *Electronic Journal of Biotechnology* 20-34.
- Ernst, W. H. O (200). Evolution of metal hyperaccumulation and phytoremediation. *New Phytol* 146, 357-357.

- Evangelou, M. W. H. Hactice, D. Andreas, S. 2004. The Influence of Humic Acids on the Phytoextraction of Cadmium from Soil. *Chemosphere*. 57 207—213.
- FAO/UNESCO. 1994. World Reference Base for Soil Resources. Wageningen/Rome.
- Freitas, H., Prasad, M. N. V., y Pratas, J. 2004. Heavy Metals in the Plant Community of Sao Domingo an Abandoned Mine in SE Portugal: Possible Applications in Mine Remediation, *Environmental International*, 30(1), 56-72.
- Hall, J. L. (2002). Cellular mechanisms for heavy metal detoxification and tolerance. *Journal of Experimental Botany*. Vol. 53 (366): 1-11.
- Harter, R. D. and R. Naidu. 1995. Rol of metal-organic complexation in metal sorption by soils, in *Advances in Agronomy*. (Ed.) D. L. Sparks, vol. 55: 219-263.
- Huang, J. W., Chen, J. J., Berti, W. B., y Cuninghan, S. D. (1997). Phytoremediation of lead-contaminated soil: role of synthetic chelates in lead phytoextraction. *Environ. Sci. Technol.* 31. 800-805.
- Kumar, P. B.A. N., Dushenkov, V. Motto, H., y Raskin, I. (1995).. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science-Technology* 29(5): 1232(7).
- Lasat, C. M. 2002. Phytoextraction of Toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. *Journal of Environmental Quality*. 31(1): 109-120.
- Leyval, C., Joner, E., Del Val, C., y Haselwandter. K. (2001). Potencial of arbuscular mycorrhiza for bioerediation. *Mycorrhiza*. 7 (2): 308-317.
- Li, Yin-M., Chaney, R., Brewer, E. P., Angle, J.S., y Nelkin, J. (2003). Phytoextraction of nikel and cobalt by hyperaccumulator Alyssum species grow on nickel-contaminantes soils. *Environ. Sci Technol* 73, 1463-1468.

- Lombi E, Zhao FJ, Dunham SJ and McGrath SP 2001. Phytoremediation of Heavy Metal Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation Versus Chemically-Enhanced Phytoextraccion. *Journal of Environmental Quality* 30, 1919-1926.
- López, C. R. 2002. Comportamiento de Substancias Húmicas de Diverso Origen en al Física de un Suelo Limo-Arcilloso y en la Fisiología del Tomate. Tesis Doctoral en Sistemas de Producción. Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.
- Lovley, D. R., y J. D. Coates. (1997). Bioremediation of metal contamination. *Currp. Opin. Biotechnol.* 8, 285-289.
- Macek, T., Mackova M. Kas J. (2000). Exploitation of plants for the removal of organics in environmental remediation. *Biotechnology Advances.* 18(1), 23-34.
- Martin, H. W., Young, T.R., Kaplan, D.I., Simon, L., y Adriano. D. C.(1996). Evaluation of three herbaceous index plant species for bioavailability of soil cadmuim, chromium, nickel and vanadium. *Plant Soil* 182, 199-207.
- McGrath, S.P., Lombi, E., Zhao, F.J., y Dunham, S. J. (2001). Phytoremediation of heavy metal-Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation versus Chemically Enhaced Phytoextraction. *Journal of Environmental Quality* 30 (6): 1919-1926.
- Meléndez, G. 2003. **Taller de Abonos Orgánicos.** Residuos orgánicos y la materia orgánica del suelo. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE).
- Meagher, R. B. (2000). Phytoremediation of toxic elemental and organic pollutants. *Currente Oponion in Plant Biology* 3:,153-162.
- Prasad, M. N. V. and Freitas, H. M. 2003. Metal Hyperaccumulation in Plants - Biodiversity Prospecting for Phytoremediation Technology. *Electronic Journal of Biotechnology* ISSN: 0717-3458 Vol.6 No.3, Pontificia Universidad Católica de Valparaíso. Chile. Pag. 293

- Pulfor I. D, y Watson, C. 1993. J. Environ. Inten. 29:529-540
- Raskin, I., Kumar, P.B.A.N., Dushenkov, S., y Salt, D.E. (1994). Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology* 5, 285-290.
- Raskin, I. (1995). Phytoextraccion-The use of plants to remove heavy metals from soil. *Environmental Science Techology*. 29, 1232-1238.
- Reeves, R. (2003). Tropical hyperaccumulators of metals and their potencial for phytoextraccion. *Plant and Soil* 249, 57-65.
- Robinson B. H, Lombi E, Zhao FJ and McGrath S. P. 2003. Uptake and Distribution of Nickel and other Metals in the Hyperaccumalator *Berkheya Coddii*. *New Phytologist* 158, 279-285.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, PBAN., Viatcheslav, D., y Ensley, B. D. (1995). Phytoremediation: a novel strategy for the removal of toxic metals from the environment using plants. *Bio-Technology* 13, 468-74.
- Salt, D.E., Blaylock, M., Kumar, PBAN., Dushenkov, S. Ensley, B. D., Chet, I. Raskin, I. (1997). Phytoremediation: A novel strategy for the removal of toxic metals from environments using plants. *Bio/ Tech*, 13, 468-474.
- Salt, D. E., Smith, R.D., y Raskin, I. (1998). Phytoremediation. *Annun Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49,643-668.
- Schnitzer, M. 2000. Life Time Perspective on the Chemistry of Soil Organic Matter. D. L. Sparks (Ed.). *Advances in Agronomy*, Academic Press. 98: 3-58.
- Schnitzer, M. and U. C. Gupta. 1965. Determination of acidity in soil organic matter. *Soil Science Society American Proceeding*. 29: 274-277.
- Schnitzer, M. 1978. Humic Substances: Chemistry and reactions: in *Soil Oganic Matter* (Ed.) Schnitzer and Khan. Soil Organic Matter. Elsevir, Amsterdam.

- Singh, O. V., S. Labana, G. Pandey, R. Budhiraja y R.K. Jain. 2003. phytoremediation: An Overview of Metallic Ion Decontamination From Soil. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 61, 405-412.
- Stevenson, F. 1982. *Humus Chemistry: Genesis, Composition and Reactions*. Wiley, New York, USA.
- Volke, S. T. y V. J. A. 2002. *Tecnologías de remediación para suelos contaminados*. Instituto Nacional de Ecología (INE-SEMARNAT) México 64 pp.
- Xiong, Z. T. 1997. Bioaccumulation and Physiological Effects of Excess Lead in a Roadside Pioneer Species *Sonchus Olearaceaus* L. *Environmental Pollution* 97 (3): 275-279.