

# FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR HIDROCARBUROS DE PETRÓLEO

## PHYTORREMEDIATION OF SOILS CONTAMINATED LAND BY PETROLEUM HYDROCARBONS

Hildebrando Buendía Ríos<sup>1</sup>, Fray Cruz Reyes<sup>1</sup>, Carlos Meza Arquiniño<sup>1</sup>,  
Juan Arévalo Zumaeta<sup>2</sup>

---

### RESUMEN

La fitorremediación es una tecnología que usa plantas para recuperar suelos contaminados con compuestos orgánicos o inorgánicos. Con el objetivo de conocer la capacidad de la planta de girasol *Helianthus annuus L.*, para crecer, absorber y acumular metales pesados como el plomo en sus tejidos, se instaló un experimento en el Laboratorio de Fertilidad de la Universidad Agraria La Molina, que duró 60 días. Se utilizó el diseño estadístico completamente al azar, con tres repeticiones. Las muestras de suelos fueron tomadas de los alrededores de la refinería Maple Gas – Pucallpa con acondicionadores: humus de lombriz, aserrín de bolaina blanca y perlita blanca; y como planta fitoextractora, el girasol *Helianthus annuus L.*

Los resultados y la prueba de significación estadística arrojaron que el tratamiento T4 (suelo contaminado más humus y aserrín de bolaina) y el tratamiento T6 (suelo contaminado más humus y perlita) obtuvieron un mejor crecimiento en altura y peso seco de los tejidos de la planta (raíz, tallo y hojas). Además extrajeron y acumularon mayor cantidad de metales pesados de los hidrocarburos de petróleo, como es el Pb, en comparación con los demás tratamientos. Esto confirma que la planta de girasol es un buen fitoextractor por haber acumulado plomo en un rango de 21.03 y 26.99 ppm de Pb.

**Palabras clave:** Contaminante del suelo, fitorremediación, suelo agrícola, parámetro, plomo, fitoextracción, partes por millón (ppm)

### ABSTRACT

Phytoremediation is a technology used to recover plants contaminated with organic or inorganic soils. In order to determine the capacity of the plant *Helianthus annuus L.* sunflower to grow absorb and accumulate heavy metals like lead, an experiment was installed in the Laboratory of Fertility Universidad Agraria La Molina, which lasted 60 days. Statistical design was used completely randomized with three replications, soil samples were taken from the vicinity of the Refinery Mapple Gas - Pucallpa with conditioners: Worm compost, sawdust white bolaina and white perlite, and as plant phyto extractor *Helianthus annuus L.* sunflower

The results and statistical significance test showed that the T4 ( more contaminated sawdust bolaina more humus and T6 ( more contaminated soil humus more perlite ) soil treatment , therapy had better height growth and dry weight of plant tissues (root , stem and leaves ) , and further extracted and accumulated higher amounts of heavy metals from petroleum hydrocarbons such as Pb comparatively to other treatments. Confirming that the sunflower plant is a good fitoextractor lead by accumulating range of 21.03 and 26.99 ppm Pb.

**Keywords:** soil pollutant, phytoremediation, agricultural soil parameter lead phytoextraction, parts per million (ppm)

---

1 Facultad de Ciencias Sociales de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Lima Perú. E-mail: hbuendiar@yahoo.es

2 Facultad de Ciencias de la Universidad Agraria La Molina-CGTA-Lima. Perú. E-mail: juanarevalo38@yahoo.com

## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los problemas más señalados por la sociedad a nivel mundial y que ocupa un lugar prominente es la progresiva degradación de los recursos naturales causada por la gran diversidad de contaminantes tóxicos orgánicos e inorgánicos, tanto en la atmósfera, el agua, el suelo y subsuelo, procedentes de diversas actividades industriales que generan un irremediable deterioro en el planeta.

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 acumular metales pesados. Este proceso denominado “fitorremediación” consiste en la remoción, transferencia, estabilización y/o degradación y neutralización de compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que resultan tóxicos en el suelo. Por tal sentido, el Ministerio del Ambiente, de conformidad con lo dispuesto en la ley 28611, artículo 1, decreta aprobar los estándares de calidad ambiental (ECA) para suelos (Minam, 2012).

Esta novedosa tecnología tiene como objetivo degradar y/o asimilar los metales pesados presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados. En primer lugar, es una tecnología económica, de bajo costo; en segundo lugar, posee un impacto regenerativo en áreas donde se aplica; y por último, su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal (Harvey et al., 2002).

Por lo expresado, la tecnología de fitorremediación de suelos es factible especialmente con materia orgánica, como aserrín de bolaina, humus de lombriz, entre otros cuyos costos son bajos.

Existen muchos mecanismos de fitorremediación, por lo que la investigación consideró como planta indicadora al girasol (*Helianthus annuus*).

## II. ANTECEDENTES

Se define que el término genérico fitorremediación está constituido por un prefijo griego:

Phyto: planta y Remedium: eliminar algo pernicioso.

Hans et al. (2003). La contaminación del suelo por metales pesados está fundamentalmente relacionada con diferentes tipos de actividades humanas. Una vez en el suelo, estos pueden quedar retenidos en él, pero también pueden ser movilizados en la solución del suelo mediante diferentes mecanismos biológicos y químicos (Pagnanelli et al. 2004). Los metales pesados adicionados a los suelos se redistribuyen y reparten lentamente entre los componentes de la fase sólida. Dicha redistribución se caracteriza por una rápida retención inicial y posteriores reacciones lentas, dependiendo de las especies del metal, propiedades del suelo, nivel de introducción y tiempo.

Burt et al. (2003). La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixiviarse de los perfiles del suelo al agua subterránea y difiere de si su origen es natural o antrópico y, dentro de este último, al tipo de fuente antrópica. Los factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son: Características del suelo: pH, potencial redox, composición iónica de la solución del suelo, capacidad de cambio, presencia de carbonatos, materia orgánica, textura; naturaleza de la contaminación: origen de los metales y forma de deposición y condiciones medioambientales: acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad (Sauquillo et al. 2003).

Minam (2012). Los estándares de calidad ambiental (ECA) para proyectos de fitorremediación son de alcance nacional y se basan en la técnica aplicada por EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) y el Instituto Alemán de Estandarización.

Guitart (2005). El Pb en el suelo se encuentra principalmente en forma de  $Pb^{2+}$ , también es conocido su estado de oxidación +4. Algunos de los compuestos insolubles son  $Pb(OH)_2$ ,  $PbCO_3$ ,  $PbS$ ,  $PbSO_4$ . La velocidad de oxidación depende de factores como la humedad, la temperatura, el pH, el potencial redox, la cantidad de materia orgánica o la roturación de los suelos.

Seoáñez (1999). Este elemento es una de las bases de 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 indus-

trias. 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; en cambio, la contaminación artificial, es decir aquella procedente de la actividad humana, es grande. Son dos 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 los vehículos. Actualmente se está restringiendo el contenido de plomo de las gasolinas, para reducir así las emisiones a la atmósfera. La excavación de minas, la remoción de minerales y el proceso y la extracción de metales pueden causar daños ambientales y, en casos extremos, destruir el ecosistema; por ejemplo, se pueden dañar tierras de cultivo, favorecer la erosión y contaminar cuerpos de agua con sales solubles de elementos potencialmente tóxicos (EPT), como As, Se, Pb, Cd, óxidos de S, entre otros. Asimismo, el material subterráneo puede generar volúmenes de residuos hasta ocho veces superiores al original (Volke et al., 2005).

El plomo se fija a las enzimas y altera la estructura y función de muchas proteínas, interfiere así con la acción y la finalidad de muchos tipos diferentes de células del cuerpo. Estos cambios pueden ocasionar daños permanentes a los órganos en crecimiento y desarrollo, en especial al sistema neurológico de los niños, y es muy difícil revertir los efectos. Penetra en el cuerpo no solo por vía oral, sino también por las vías respiratorias. Los niños que viven cerca de una fundición de plomo o una planta manufacturera de

García y Dorronsoro (2005). En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes vías: quedan retenidos en el suelo, ya sea disueltos en la fase acuosa del suelo, ocupando sitios de intercambio o específicamente adsorbidos sobre constituyentes inorgánicos del suelo, asociados con la materia orgánica del suelo y/o precipitados como sólidos puros o mixtos; pueden ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas; pasan a la atmósfera por volatilización; o se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas. Para elucidar el comportamiento de los metales pesados en los suelos y prevenir riesgos tóxicos potenciales, se requiere la evaluación de la disponibilidad y movilidad de los mismos. La toxicidad de los metales depende no solo de su concentración, sino también de su movilidad y reactividad con otros componentes del ecosistema (Abollino et al., 2002). Se ubica en el grupo IVA (metales) en la tabla periódica. El Pb es un metal gris azulino que se presenta en forma natural y en pequeñas cantidades (0.002%) en la corteza terrestre. Este elemento es generalmente obtenido de la galena (PbS), la anglesita (PbSO<sub>4</sub>) y la cursita (PbCO<sub>3</sub>). El Pb es tóxico para el sistema nervioso y se asocia con la depresión de muchas funciones endócrinas, aunque no hay evidencia de efectos teratogénicos o carcinogénicos. El uso más amplio del Pb elemental es para la fabricación de acumuladores; también es usado para la fabricación de tetraetilo de plomo, pinturas, cerámicas, forros para cables, elementos de construcción, vidrios especiales, pigmentos, soldadura suave y municiones. Señalan que la planta al crecer en suelos contaminados por petróleo reduce en un 67% las concentraciones de aceite de motor en suelos sembrados con girasol después de un periodo de 150 días de crecimiento, en condiciones de invernadero. El girasol es una planta que se muestra poco eficiente en el aprovechamiento del agua cuando dispone de ella en abundancia. En condiciones de sequía su sistema radicular profundo le permite extraer agua del suelo, a una profundidad a la que otras especies no pueden llegar. Además, dispone de mecanismos fisiológicos que le permiten mantener los estomas abiertos en condiciones de estrés hídrico y, por tanto, puede seguir fotosintetizando y acumulando materia seca.

**Tabla 01: Límites máximos permisibles en el Perú**

Contaminante	Suelo Agrícola (ppm)	Suelo Industrial (ppm)
Plomo total	70	1,200
Cromo VI	0.4	1.4

Fuente: Ministerio del Ambiente del Perú -2012

baterías para vehículos corren el gran riesgo de quedar expuestos a la toxicidad de ese elemento (Buka, 2001). Según la tabla 1.

Durante la época de crecimiento activo, y sobre todo en el proceso de formación y llenado de las semillas, el girasol consume importantes cantidades de agua. Respecto a la intensidad de luz, el fotoperiodo acelera o retrasa el desarrollo del girasol durante la fase de formación de las hojas. Cuando se inicia la fase reproductiva, la luz deja de tener influencia sobre la planta como factor fotoperiódico y empieza a tener importancia su intensidad y calidad como factores determinantes del rendimiento. El girasol no es muy exigente en suelos, ya que tolera tanto los de textura franco-arenosa de fertilidad media como los de textura arcillo-arenosa con buen drenaje. Se comporta muy bien en terrenos franco-aluviales fértiles, profundos, con adecuado drenaje y que retienen agua. Los suelos deben ser bien nivelados y con un pH de 6 a 7.5.

Mani et al. (2007). El Girasol *Helianthus annuus* L es una planta reconocida como fitorremediadora, porque absorbe metales pesados en grandes cantidades, por lo que se le considera como planta hipercumuladora de Cd, Pb, Zn, y elementos radiactivos.

### III. MÉTODO

#### 3.1 Diseño Estadístico

Se aplicó el diseño completamente al azar, con seis tratamientos y tres repeticiones, tal como se muestra en la tabla 2; las dosificaciones de los tratamientos, en la tabla 3, y su distribución en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Universidad Agraria La Molina, en la figura 1.

Tabla 2. Diseño completamente al azar (DCA)

Fuente de variabilidad	Grado de libertad
Tratamiento (T-1)	6
Error	12
Total (Total unidades experimentales (T-1))	18

Tabla 3. Dosificación de los tratamientos

TRATAMIENTOS	DOSIFICACIONES	REPETICIONES
T1	SC:1000 gr	3
T2	SC+B: 900 gr+100 gr	3
T3	SC+HL : 900 gr+100 gr	3
T4	SC+HL+B: 900 gr+50 gr+50 gr	3
T5	SC+Per: 900 gr+100 gr	3
T6	SC+HL+Per: 900 gr+50 gr+50 gr	3
Total		18 unidades experimentales

SC: Suelo contaminado por hidrocarburos, B: Aserrín de bolaina, HL: Humus de lombriz, Per: Perlita

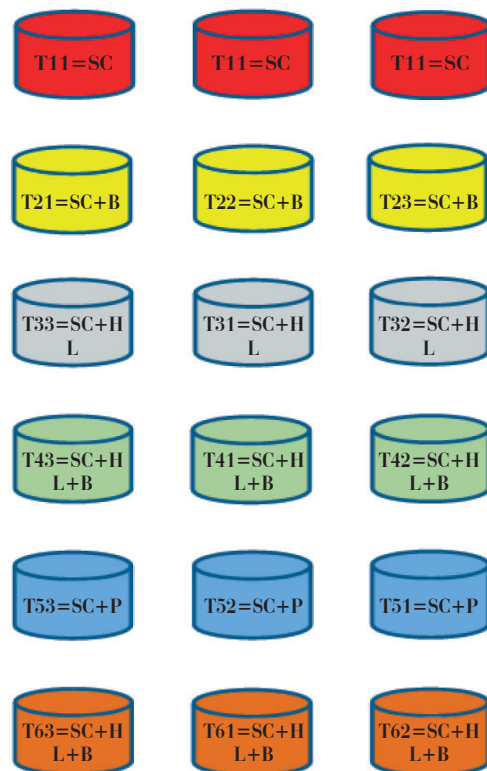


Figura 1. Distribución de unidades experimentales en el Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la UNALM

### 3.2 Muestreo de suelos y descripción del experimento

Las muestras de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo fueron tomadas con una pala plana en los alrededores del complejo de la refinería Maple Gas – Pucallpa. Limpiando previamente la capa superficial, se extrajeron las muestras en forma de V y en zigzag. Posteriormente, se depositó las muestras en una manta de polietileno para su homogenización y extracción de la muestra compuesta para su análisis de TPH, metales pesados y caracterización físico-química.

Luego la muestra compuesta se llevó al Laboratorio de Fertilidad de Suelos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, donde se procedió a secar a temperatura ambiente por 48 horas. Pasado este periodo, se efectuó el tamizado con una malla para obtener tamaños menores de 2 mm., según se aprecia en la figura 2.



Figura 2. Tamizado de suelo en malla de 2 mm.

Luego se efectuó el análisis del suelo contaminado en el Laboratorio de Envirolab Perú SAC, que determinó que la concentración de hidrocarburos totales de petróleo (TPH) es 8,508 mg/kg de suelo. Dicha concentración supera al estándar máximo de concentración de TPH establecido por el Ministerio de Energía y Minas en 5,000 mg/kg de suelo, por lo que se hace necesario efectuar prácticas de remediación y fitorremediación utilizando plantas fitoextractoras de metales pesados. Además se efectuó la caracterización físico-química del suelo contaminado, así como la concentración de metales pesados en el Laboratorio de Fertilidad de la Universidad Agraria La Molina, según se muestra en la tabla 04.

Tabla 4. Caracterización físico-químico del suelo contaminado

Propiedad	Unidad	Valor	Interpretación
		54% arena	
		27 % Limo	
		19 % arcilla	
Clase textural	-		Franco Arenoso
pH	-	7.3	Muy ligeramente salino
C. E.	dS/m	1.05	Normal
CaCO <sub>3</sub>	%	3.3	Bajo
M. O.	-	4.07	Medio
P disponible	ppm	3.5	Bajo
K disponible	ppm	124	Medio
CIC total	Meq/100 g	25.92	Medio
Pb	ppm	156.6	Medio
Cd	ppm	0.27	Bajo

Fuente: Laboratorio de suelos-UNALM-2013 y Laboratorio de suelos-Envirolab-2012

Según la tabla 04, el suelo tiene una buena fertilidad y buenas características físicas y químicas, así como una toxicidad por la presencia de metales pesados como el Pb (156.6 ppm), por lo cual amerita utilizar plantas fitorremediadoras como el *Helianthus annuus L* para reducir dicha concentración.

Asimismo se procedió a recolectar semillas de girasol *Helianthus annuus L*, porque es una planta ampliamente reconocida como fitorremediadora que puede llegar a extraer del 10% a 25% de los metales pesados, según refiere Mani et al. 2007. Esta especie absorbe metales pesados en grandes cantidades, por lo que se considera una planta hiperacumuladora para Cd, Zn, Pb, y elementos radiactivos.

Antes de proceder a la siembra del girasol en las respectivas macetas, se procedió a realizar la prueba de poder germinativo, que dio un resultado de 90 %, colocando sobre un papel humectante quince semillas de girasol, como se aprecia en la figura 3.



Figura ss3. Prueba de viabilidad de la semilla de girasol

Es importante mencionar que el aserrín de bolaina se adquirió del Parque Industrial de Villa El Salvador; el humus de lombriz y la perlita se obtuvieron del sector comercial

A continuación se procedió a sembrar en las macetas experimentales, debidamente dosificadas de acuerdo al diseño completamente al azar, cinco semillas de girasol/maceta, según se muestra en la Figura 4.



Figura. 4. Instalación del experimento con los tratamientos

Durante el periodo que duró el experimento, para la germinación y crecimiento del girasol se procedió a regar con agua de pozo, manteniendo su capacidad de campo hasta el término del experimento, para lo cual se controló el riego cada dos días y el registro de altura de planta, según podemos apreciar en las figura 5 y 6 respectivamente.



Figura.5. Riego de macetas con diferentes tratamientos



Figura. 6. Medición de las plantas de girasol a los 20 días

A los 60 días que terminó el experimento se procedió a medir la altura de planta de girasol, desde la base del tallo hasta el ápice de la hoja más larga. Asimismo, se determinó el peso seco de la planta, incluyendo hoja, tallo y raíz. Para ello se la llevó a una estufa a 60 grados centígrados por tres días, en bolsas de papel debidamente rotuladas, para determinar el peso seco de la planta de cada uno de los tratamientos mediante una balanza de precisión. Concluido el experimento, se procedió a preparar las muestras de cada tratamiento para efectuar el análisis foliar y determinar el porcentaje de concentración de Pb en los tejidos de la planta de girasol (raíz, tallo, hojas) Terminado esto, se procedió a preparar las muestras de cada tratamiento para efectuar el análisis especial en suelo y determinar el porcentaje de concentración de Pb.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

##### 4.1 Altura y peso seco de los tejidos de la planta de girasol.

A continuación se presenta el promedio de la altura y peso seco de los tejidos de la planta de girasol, considerando las hojas, tallo y raíces (Tabla 5 y figura 7).

Tabla. 5. Altura y peso promedio de la planta.

TRATAMIENTO	ALTURA PROMEDIO (cm)	PESO SECO PROMEDIO (gr)
T1:SC	4.67	2.02
T2:SC+B	18.33	3.10
T3:SC+HL	14.67	3.23
T4:SC+HL+B	23.33	3.70
T5:SC+P	16.67	3.27
T6:SC+HL+Perlita	22.67	3.65

En la tabla 5 se aprecia que los tratamientos T4 y T6 obtuvieron una mayor altura de planta (23.33 cm y 22.67 cm) respectivamente, en comparación con los demás tratamientos, tal como se muestra en el figura 07.

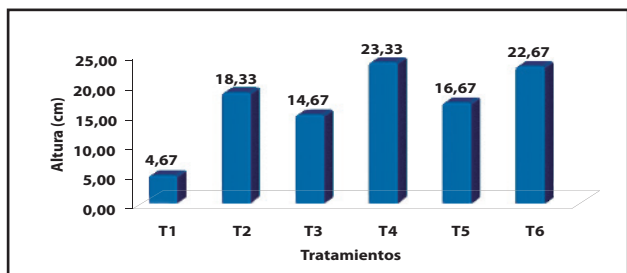


Figura 7. Altura promedio de planta.

Asimismo en la tabla 06 se aprecia que los tratamientos T4 y T6 obtuvieron el mayor peso seco de los tejidos de la planta de girasol, en comparación a los demás tratamientos, como se muestra en la figura 08.

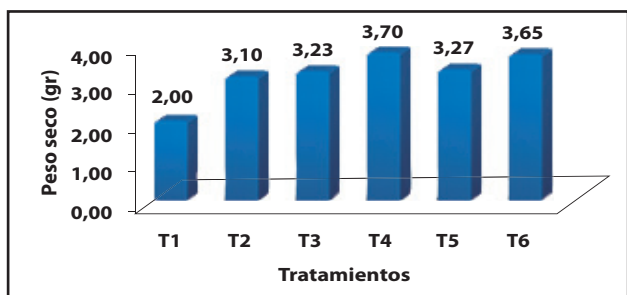


Figura 8. Peso seco de los tejidos de la planta de girasol.

#### 4.2 INTERPRETACIÓN ESTADÍSTICA DE LA ALTURA Y PESO SECO DE LOS TEJIDOS DE LA PLANTA DE GIRASOL

De acuerdo al resumen del análisis de variancia y la prueba estadística de comparación de promedios de Tuckey ( $\alpha = 0.05$ ), (P) 95%, para la variable altura de planta y peso seco se obtuvieron los siguientes resultados:

Para la altura de planta de girasol se obtuvo que la  $Pr > F$  es igual a 0.0164, resultando mayor que 0.01 y menor que 0.05, lo cual indica que los tratamientos T4 y T6 resultaron significativos (Tabla 7).

Tabla 7. Análisis estadístico de altura de planta

Tratamiento	Altura de planta		
	Altura promedio (Cm)	S	CV (%)
T1	4.67	0.06	1.28
T2	18.33	0.00	0.00
T3	14.67	0.14	0.95
T4	23.33 (*)	0.05	0.21
T5	16.67	0.23	1.38
T6	22.67 (*)	0.18	0.79
	CV		0.77
Tratamiento	F	P	
	4.41	0.0164 *	

Para el peso seco de los tejidos de la planta de girasol se obtuvo que la  $Pr > F$  es igual a 0.0007, resultando menor que 0.01, lo cual indica que los tratamientos T4 y T6 resultaron altamente significativos (Tabla 8).

Tratamiento	Peso seco (Raiz, Tallo, hojas)		
	Peso promedio gr	S	CV (%)
T1	2.02	0.06	2.97
T2	3.10	0.00	0.00
T3	3.23	0.14	4.33
T4	3.7 (**)	0.05	1.35
T5	3.27	0.23	7.03
T6	3.25 (**)	0.18	5.54
	CV		3.54
Tratamiento	F	P	
	9.63	0.0007 **	

Tabla 8. Análisis estadístico de peso seco

#### 4.3 CONTENIDO DE PLOMO (PPM) EN EL SUELO ANTES Y DESPUÉS DE LA FITOEXTRACCIÓN

Tratamientos	Concentración de Pb Inicial en el suelo (ppm)	Concentración Final de Pb en el suelo (ppm)
SC	156.60	65.20
SC+B	156.60	67.00
SC+HL	156.60	71.33
SC+HL+B	156.60	76.03
SC+P	156.60	66.40
SC+HL+P	156.60	75.83

Tabla 9. Concentraciones de plomo (Pb) iniciales y finales

Según la tabla 9 y figura 9, en todos los tratamientos, en comparación con el suelo inicial, disminuyó el contenido de Pb en el suelo, debido a la absorción, lixiviación y dilución del metal pesado.

Los valores finales de Pb en el suelo sobrepasaron los límites máximos permisibles para los suelos contaminados según el uso del tipo de suelo, en este caso agrícola, cuyo límite máximo es 70 ppm, según el Estándar Nacional de Calidad Ambiental para suelos).

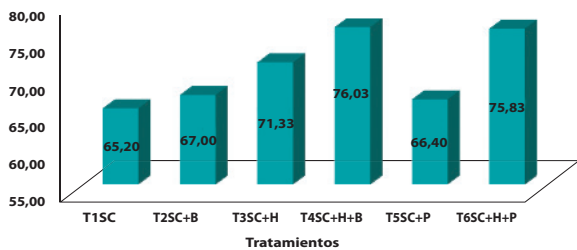


Figura 9. Contenido de Pb en el suelo antes y después de la fitoextracción.

#### 4.4 FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO (PPM) POR EL TEJIDO DE LA PLANTA DE GIRASOL

En el suelo donde no se agregó ningún acondicionador, los resultados fueron similares con los suelos tratados con aserrín de bolaina y suelos tratados con perlita, debido probablemente a que no hubo influencia de acondicionadores orgánicos, puesto que esta materia orgánica de alguna manera puede bloquear la disponibilidad del plomo en el suelo o tener una influencia por efecto de mineralización y facilitar la pérdida del Pb por lixiviación.

En el suelo contaminado donde se adicionó solo humus de lombriz, la fitoextracción de plomo fue la más baja, debido a que la materia orgánica tuvo influencias bloqueadoras de la disponibilidad de Pb en el suelo. Sin embargo, cuando a los tratamientos se les añadió humus de lombriz más aserrín de bolaina o humus de lombriz más perlita, la extracción del plomo fue mayor (26.99 y 26.90 ppm respectivamente).

como lento crecimiento, estrés, marchitez y quemaduras en las hojas. A pesar de todo, el cultivo logró extraer Pb en diferentes concentraciones, tal como se presenta en la tabla 10 y figura 10.

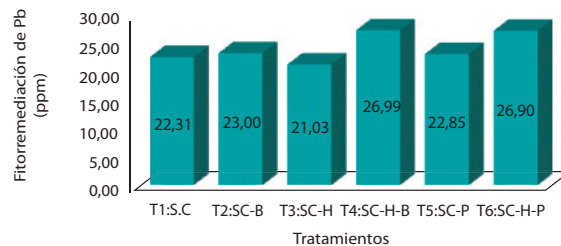


Figura 10. Fitoextracción de Pb por el tejido de la planta de girasol.

#### V. CONCLUSIONES

El cultivo de girasol es un buen fitorremediador, porque extrajo el plomo del suelo contaminado por hidrocarburos de petróleo en todos los tratamientos del experimento, que variaron entre 21.03 y 26.99 ppm de Pb.

Todos los tratamientos del experimento redujeron el contenido del Pb en el suelo contaminado por hidrocarburos de petróleo, variando de 65.20 a 75.83 ppm.

En lo referente a la altura y el peso seco de los tejidos de la planta de girasol *Helianthus annuus L.*, el tratamiento T4 (suelo contaminado más humus de

Tabla 10. Fitoextracción de Pb por el tejido de la planta de girasol.

Tratamientos	Concentración de Pb en el suelo (ppm)	Fitoextracción de Pb (ppm) por los tejidos de la planta
SC	156.60	22.31
SC+B	156.60	23.00
SC+HL	156.60	21.03
SC+HL+B	156.60	26.99
SC+P	156.60	22.85
SC+HL+P	156.60	26.90

De manera general, la extracción de plomo varió entre 21.03 y 26.99 ppm en los tejidos de la planta. Cuando se modificaron las características físicas del suelo por acción de los tratamientos, también se presentaron problemas en el desarrollo del cultivo,

lombriz y aserrín de bolaina) y el tratamiento T6 (suelo contaminado más humus de lombriz y perlita) son los que tuvieron mayor altura y mayor peso seco, en comparación con los demás tratamientos, según la prueba estadística.



Se determinó que el Pb contenido en los hidrocarburos de petróleo, bajo condiciones experimentales descritas, afecta considerablemente el desarrollo de la planta (lento crecimiento, marchitez, estrés y quemaduras en los bordes de las hojas).

## VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda el empleo del cultivo de girasol *Helianthus annuus L* como fitorremediador de suelos contaminados por hidrocarburos con presencia de plomo.

Se recomienda el uso del humus de lombriz y aserrín de tipo suave (bolaina) como acondicionador para suelos contaminados por hidrocarburos con presencia de Pb, por ser una tecnología de bajo costo y fácil manejo.

Realizar estudios de los elementos pesados contenidos en los hidrocarburos de petróleo, como Cd, Cr, Zn, y otros, con otros cultivos nativos con capacidad de fitoextraer estos metales.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

ABOLLINO et al. (2002). "Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. Chemometric Investigation of Pollutant Profiles". En *Environmental Pollution*, 119, p. 177.

BUKA I. (2001). "Plomo y Salud Infantil". En *Boletín de la Comisión para la Cooperación Ambiental de América del Norte*.

BURT et al. (2003). "Trace Element Speciation in Selected Smelter-Contaminated Soils in and Deer

Lodge Valley, Montana, USA". En *Advances in Environmental Research*, 8, pp. 51-67.

GARCÍA y DORRONSORO, (2005). "Contaminación por Metales Pesados". En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>

GARCÍA A. (2003). *Curso de Salinidad de Suelos disponible* <http://www.gratisweb.com/ocaclevante/calidadagua.pdf>

GUITART R. y VERNON G. Thomas (2005). *Revista Española de Salud Pública* V.79 No.6. Madrid Nov.- ISSN 1135-5727.

HANS et al. (2003). *New approach. To studies of heavy metal. Redistribution in soil advances in environmental research*, pp. 113-120.

HARVEY et al. (2002) *Phytoremediation of Polyaromatic*. EE.UU.

MANI et al. (2007). *Phytoaccumulation interaction toxicity and remediation of cadmium from Helianthus annuus L*. 79:71-79.

PAGNANELLI et al. (2004). "Sequential Extraction of Heavy Metals in River Sediments of an Abandoned Pyrite Mining Area Pollution Detection and Affinity Series". En *Environmental Pollution*, 132, pp. 189-201.

SAUQUILLO et al. (2003). "Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. Trends". En *Analytical Chemistry*, 22, pp. 152-159.

SEOÁNEZ CALVO M. (1999). *Ingeniería del Medio Ambiente Aplicada al Medio Natural Continental Mundi-Prensa*, México. Pág. 60, 181y 290

VOLKE et al. (2005). *Suelos Contaminados por hidrocarburos en el mundo*. Página 87.