

"APLICACION DE LA FITORREMEDIACION EN SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS UTILIZANDO *Helianthus annuus* L. EN LA ESTACION EXPERIMENTAL EL MANTARO"

"Phytoremediation APPLICATION IN HEAVY METAL CONTAMINATED SOIL USING *Annuus Helianthus* L. IN THE MANTARO EXPERIMENTAL STATION"

PEÑA RIVERA FLOR DE MARIA; BELTRAN LÁZARO MOISES ENRIQUE

RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulado "APLICACION DE LA FITORREMEDIACION EN SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS UTILIZANDO *Helianthus annuus* L. en la Estación Experimental agropecuario El Mantaro, consta de haber utilizado *Helianthus annuus* L, la cual ha sido instalado en 03 lotes (A, B, y C) de la estación experimental EL MANTARO", de la UNCP, para descontaminar los suelos contaminados por metales pesados (cobre, cadmio, cromo, hierro, manganeso, plomo, y metaloides antimonio y arsénico para ello se tomaron muestras de suelos en tres etapas diferentes, antes del cultivo, en el cultivo y después de la cosecha; para el análisis de suelos se utilizó el método analítico instrumental de ICP-Masas, analizados en el Laboratorio Certificado por la Indecopi J. Ramon: Los resultados de la concentración de metales pesados en el lote **A** son: Sb(7,00 ppm), As(48,3ppm), Cd(4,28ppm), Cu (60,0ppm), Cr (10,00 ppm), Fe (13 865.00 ppm), Mn (1 082 ppm), Pb (111,5 ppm), y Zn (777,9 ppm). Los resultados de la concentración de metales pesados en el lote **B** son: Sb (11,0 0ppm), As (32,50), Cd (3,99 ppm), Cu (38,5- 24,7 ppm), Cr (10,4 ppm), Fe (17 002.00 ppm), Mn (969,2 ppm), Pb (54,5 ppm), y Zn(554,7 ppm). Los resultados de la concentración de metales pesados en el lote **C** son: Sb (6,00 ppm), As (26,0 ppm), Cd(3,03 ppm), Cu(33,2 ppm), Cr(10,3 ppm), Fe(18 285,00 ppm), Mn(739,9 ppm), Pb (44,2 ppm), y Zn (426,1) y después de la cosecha de la planta los resultados fueron los siguientes: **Lote A** Sb(5,00 ppm), As (25,Cd (2,19 ppm),Cu (29,6ppm), Cr (5,1ppm), Fe (6 114,00 ppm), Mn (722,1 ppm),Pb (60,07 ppm), y Zn(314,8ppm) para **el lote B**: Sb (7,00ppm), As (14,8 ppm), Cd (2,59), Cu (24,7 ppm), Cr (6,00 ppm), Fe (9780,00 ppm), Mn (699,5 ppm), Pb (39,1ppm), y Zn (352,4 ppm). Y **lote C** son: Sb (5,00 ppm), As (18,6 ppm), Cd (3,11 ppm), Cu (29,6 ppm), Cr (5,8 ppm), Fe (11 126 ppm), Mn (671,4 ppm), Pb (43,6 ppm), y Zn (405,7). Los resultados de la caracterización fisicoquímica del suelo contaminado, fue analizado en la Universidad Agraria La Molina nos reportó: pH 6,93, Conductividad eléctrica 0,58, Porcentaje de carbonato 6,0, Porcentaje de Materia Orgánica 3,31, Capacidad de intercambio catiónico 15,78 y la Textura. Suelo Franco. La concentración de metales pesados fitoextraída por el *Helianthus annuus* L. fue analizado en Certificaciones del Perú, Laboratorio, el método utilizado fue el ICP-Masas y son: **Raíz**: Sb (2.00 ppm), As (10,27), Cd (2.61 ppm), Cu (18,97 ppm), Cr (2,735 ppm), Fe (3 519,0 ppm), Mn (204,88 ppm), Pb (17,45 ppm), y Zn (298,3) **Hoja**: Cd (1,72 ppm), Cu (29,22 ppm), Fe (256,85 ppm), Mn (129,435 ppm), Pb (0,899 ppm), y Zn (94,93). **Tallo**: Cu (5,582 ppm), Fe (276,05 ppm), Mn (32,135 ppm), Pb (0,3685 ppm), y Zn (100,135 ppm) **Flor**: Cu (43,90 ppm), Cr (10,23 ppm), Fe (9006,67 ppm), Mn (705,53 ppm), Pb (47,87 ppm), y Zn. **Semilla**: no se reporta concentración de metales pesados con excepción del Cd (0,228 ppm).

Palabras clave: Fitorremediación, metales pesados.

ABSTRACT

This research work entitled "APPLICATION OF CONTAMINATED SOIL phytoremediation in HEAVY METALS USING *annuus Helianthus* L. Estacion experimental Agropecuario El Mantaro has used *Helianthus annuus* L, which was installed in 03 parcels (A, B, and C) in the experimental station EL MANTARO "the UNCP, to decontaminate pollution by heavy metals (copper, cadmium, chromium, iron, manganese, lead, antimony and arsenic and metalloids) in soil, three different stages were taken at soil sampling, before crop, cultivation and after harvest. Soil analysis with instrumental analytical

method for ICP-MS was used in the Certificate Laboratory analyzed by Indecopi J. Ramon Lima City: the results of the concentration of heavy metals in group A are: Sb (7.00 ppm), As (48.3 ppm), Cd (4.28 ppm), Cu (60.0 ppm), Cr (10.00 ppm), Fe (13 ppm 865.00), Mn (1082 ppm), Pb (111.5 ppm), and Zn (777.9 ppm). The results of the concentration of heavy metals in group B are: Sb (11.0 0 ppm), As (32.50), Cd (3.99 ppm), Cu (38.5 to 24.7 ppm), Cr (10.4 ppm), Fe (17 ppm 002.00), Mn (969.2 ppm), Pb (54.5 ppm) and Zn (554.7 ppm). The results of the concentration of heavy metals in lot C are: Sb (6.00 ppm), As (26.0 ppm), Cd (3.03 ppm), Cu (33.2 ppm), Cr (10, 3 ppm), Fe (18 ppm 285.00), Mn (739.9 ppm), Pb (44.2 ppm) and Zn (426.1) and after plant harvest results were as follows: Lot A Sb (5.00 ppm), As (25, Cd (2.19 ppm), Cu (29.6 ppm), Cr (5.1 ppm), Fe (6 114.00 ppm), Mn (722.1 ppm), Pb (60.07 ppm), and Zn (314.8 ppm) for lot B: Sb (7.00 ppm), As (14.8 ppm), Cd (2.59), Cu (24.7 . ppm), Cr (6.00 ppm), Fe (9780.00 ppm), Mn (699.5 ppm), Pb (39.1 ppm), and Zn (352.4 ppm) and lot C are: Sb (5.00 ppm), As (18.6 ppm), Cd (3.11 ppm), Cu (29.6 ppm), Cr (5.8 ppm), Fe (11 126 ppm), Mn (671.4 . ppm), Pb (43.6 ppm), and Zn (405.7) The results of the physicochemical characterization of contaminated soil was used in the Agrarian University La Molina, we reported: pH 6.93, 0.58 electrical Conductivity Percent carbonate 6.0, 3.31 Percentage of Organic Matter, cation Exchange Capacity 15.78 and texture. Ground Franco. The concentration of heavy metals by *Helianthus annuus* fitoextraída L. was analyzed in Peru Certifications certified laboratory in Lima, the method used was ICP-MS and results are: Root: Sb (2.00 ppm), As (10.27) , Cd (2.61 ppm), Cu (18.97 ppm), Cr (2,735 ppm), Fe (3 519.0 ppm), Mn (204.88 ppm), Pb (17.45 ppm) and Zn (298 3) Blade: Cd (1.72 ppm), Cu (29.22 ppm), Fe (256.85 ppm), Mn (129.435 ppm), Pb (0.899 ppm), and Zn (94.93) Stem. : Cu (5,582 ppm), Fe (276.05 ppm), Mn (32,135 ppm), Pb (0.3685 ppm), and Zn (100,135 ppm) Flower: Cu (43.90 ppm), Cr (10.23 ppm), Fe (9006.67 ppm), Mn (705.53 ppm), Pb (47.87 ppm), and Zn. Seed: no heavy metal concentration is reported with the exception of Cd (0.228 ppm).

Keywords: Phytoremediation, heavy metals

INTRODUCCIÓN

En el Perú los suelos se contaminan, entre otras razones, por derrames de residuos mineros con la Fundición Minera de La Oroya como el caso más conocido a nivel internacional. La contaminación de suelos por metales pesados es uno de los problemas ambientales más serios y tiene significativas implicaciones para la salud humana. Los metales pesados poseen una alta persistencia en el ambiente, baja solubilidad en la biota terrestre y son carcinógenos y mutagénicos (1). La fundición de metales, la galvanoplastia, los escapes de gas, la energía y la producción de combustible, la agricultura intensiva y los lodos vertidos son diversos aspectos que ayudan a la contaminación de suelos con metales (2).

La Facultad de Zootecnia de la Universidad Autónoma de Chihuahua, realizó una investigación sobre la contaminación de suelos producida por la extracción minera, generando suelos con limitaciones físicas, químicas y biológicas para el establecimiento de vegetación y riesgos a la salud. Los resultados muestran que la mayor concentración se da en sitios cercanos a los apilamientos de rocas molidas, disminuyendo la

concentración a medida que se aleja de ellos. Todos los elementos sobrepasan los rangos establecidos por las agencias internacionales. El contenido de arsénico se asoció con distancia a la fuente, textura y materia orgánica de plomo con la distancia a la fuente y textura; de cinc con la distancia a la fuente y cadmio con la distancia a la fuente, pH y profundidad de suelo.(3).

En la Universidad Autónoma Chapingo México se realizó un trabajo de investigación de recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. Se hace referencia al uso de nuevas tecnologías como la fitorecuperación y la biorecuperación para la prevención de la contaminación del suelo, agua y aire con el resultando de una alternativa de bajo costo y con enormes ventajas ambientales (4).

Algunos estudios han demostrado que la fitorremediación es una solución prometedora para la limpieza de sitios contaminados por una variedad de metales, aunque también tiene una serie de limitaciones (5). Es un proceso de descontaminación que 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, fertilizantes, para hacerlos más biodisponibles para la planta (6).

En un artículo de revisión, (7) analizó enmiendas del suelo y su uso en fitorremediación. Se evaluó tres condiciones (nutrientes suelo enmendado / Ray-grass, los nutrientes del suelo modificado / sin plantas y el suelo no enmendado / sin plantas) para la remediación de suelos contaminados con pentaclorofenol o una mezcla de hidrocarburos aromáticos policíclicos con; resultados positivos.

En la Universidad Autónoma Chapingo México se realizó un trabajo de investigación de recuperación de suelos contaminados con metales pesados utilizando plantas y microorganismos rizosféricos. Se hace referencia al uso de nuevas tecnologías como la fitorecuperación y la biorecuperación para la prevención de la contaminación del suelo, agua y aire con el resultando de una alternativa de bajo costo y con enormes ventajas ambientales (4).

El término "metal pesado" se refiere a cualquier elemento químico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados incluyen Hg, Cd, As, Cr, Tl y Pb, (8). Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (4) Abollino. Como elementos traza algunos metales pesados (por ejemplo, Cu, Se, Zn) son esenciales para mantener un correcto metabolismo en los seres vivos y, en particular, en el cuerpo humano, sin embargo, en concentraciones más altas pueden conducir a la intoxicación. El envenenamiento por metales pesados podría resultar, por ejemplo, de la contaminación del agua potable (tuberías de plomo), altas concentraciones en el aire cerca de las fuentes de emisión, vía la cadena alimenticia, por residuos industriales que son vertidos sin previos tratamientos, los que posteriormente se depositan en lagos, ríos y

distintos sistemas acuíferos (9).

La absorción de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para su entrada en la cadena alimentaria. La absorción y posterior acumulación dependen, en primera instancia, de la movilidad de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta. Algunos contaminantes son más susceptibles a ser más fitodisponibles que otros. Estos contaminantes pueden alcanzar niveles que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas como: reducción del contenido de materia orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultad en el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, la erosión del suelo y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y, como consecuencia, aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades (10)

La movilidad relativa de los elementos traza en suelos es de suma importancia en cuanto a su disponibilidad y su potencial para lixivarse de los perfiles del suelo hacia las aguas subterráneas y difiere de si su origen es natural o antrópico y del 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 intercambio (catiónico y/o aniónico), presencia de carbonatos, materia orgánica, textura, entre otras. La naturaleza de la contaminación y el origen de los metales y formas de deposición y condiciones medio ambientales producen acidificación, cambios en las condiciones redox, variación de temperatura y humedad en los suelos (11)

En general, los metales pesados incorporados al suelo pueden seguir cuatro diferentes mecanismos: 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 y se movilizan a las aguas superficiales o subterráneas (6).

Actualmente existen los estándares de calidad de suelos (ECAS), de diferentes países a nivel mundial como son España, Holanda, Canadá, USA, México, Perú en otros, con los que se puede evaluar la contaminación del suelo y ver sus límites permisibles

El objetivo del trabajo fue de Aplicar la tecnología de la Fitorremediación en la Estación Experimental “El Mantaro”; utilizando *Helianthus annuus L.* para erradicar la presencia de metales pesados.

MATERIAL Y MÉTODOS

Lugar de ejecución

Estación Experimental El Mantaro

Material biológico: Semillas híbridas de *Helianthus annuus L.*

Materiales, equipos e instrumentos analíticos de laboratorio

Muestreador de suelos

Saca picos

Bolsas de papel

Plumones

Tarjetas de identificación

Malla N° 2 mm

Material de vidrio

Semillas de Girasol (*Helianthus annuus L.*) variedad jaspeado

Insumos y reactivos

01de ICP-Masas Marca: Perkin Elmer Modelo: 7300 DV

01 pH-metro

01 Conductímetro

MÉTODOS

Descripción del lugar

El Distrito Mantaro del Departamento de Junín, está situado en el extremo nororiental del territorio peruano, al sureste de la Provincia de Jauja, Departamento de Junín, a una altitud de 3,325 m.s.n.m. Los suelos del lugar presentan una formación geológica del paleozoico medio e inferior con formación ecológica de bosque seco tropical en la costa, bosques húmedos en la parte media y alta. La irrigación de la zona se da por el canal de riego

de la margen izquierda (CIMIR), el cual está contaminado por metales pesados: Plomo, Cadmio, Cobre, Zinc, Cromo, Fierro, Manganeseo, Arsénico y antimonio, según lo confirma el proyecto “El Mantaro Revive”

Diseño del experimento

El ensayo se llevó a cabo en parcelas de cultivo de dimensiones: lote A 375 m², lote B 325 m², y lote C 350m², en la Estación Experimental Mantaro, el cual se encuentra irrigado por el canal CIMIR. Las semillas de *Helianthus annuus L.* que se utilizaron han sido seleccionadas, por sus características de: resistencia a las enfermedades y mayor rendimiento, es un híbrido cuya variedad es el jaspeado. Se instalaron 6 semillas por golpe en el suelo, a 60 cm de distancia entre planta y planta. Al mes de crecimiento se procedió al desahijamiento de plantas, que consistió en retirar las plantas pequeñas y se dejaron solo tres plantas que presentaron buenas características fisiológicas, como buen tamaño, tallos gruesos y bien erguidos. El cuidado que se les brindo a las plantas desde el primer brote fue el riego en el primer mes, el deshierbo de malezas, el aporque hasta que alcanzaron una edad de dos meses, no se continuó con el riego ya que se entró a la época de lluvias.

RESULTADOS

Muestras de suelos de la Estación Experimental El Mantaro

A continuación se muestra el plano de la Estación Experimental el Mantaro (Fig N° 1.)



Figura 1. Mapa de la Estación Experimental El Mantaro-Junín

CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS

Se tomaron muestras de suelo de los tres lotes (A, B y C)

Tabla 1. Análisis de caracterización fisicoquímica de suelos

PARÁMETROS	UNIDAD	NIVEL DE REFERENCIA	LOTE A	LOTE B	LOTE C
pH	-	6 – 8	7.23	6.75	6.75
C.E.	dS/m	< 2	0.52	0.54	0.53
	%	1 – 15 >15 tóxico para los cultivos	2.10	0.00	0.00
M.O.	%	> 3.9	2.97	2.97	3.17
P	ppm	16 – 32	33.4	33.4	14.6
K	ppm	91 – 140	154	154	176
Arena	%	Franco	50	50	30
Limo	%		32	32	44
Arcilla	%		18	18	26
Clase textural			Franco	Franco	Franco
CIC		> 11	13.28	13.28	15.04
	meq/100g	> 7	10.32	10.32	11.85
		> 3	2.48	2.48	2.67
K ⁺		> 0.5	0.34	0.34	0.33
Na ⁺		< 1.5	0.13	0.13	0.20
N	%	> 0.2	0.17	0.17	0.20
C	%	C/N=8 – 12	1.72	1.72	1.84
B	ppm	< 2	0.7	0.8	0.7
Nitratos	mg/kg	20	35.70	35.04	28.51

Fuente: Universidad Agraria La Molina

Resultados de las concentraciones de metales en suelos por el método instrumental ICP-MASAS

Tabla 4. Resultados de análisis químico de metales del lote A, B Y C

ELEMENTOS	UNIDAD	NIVEL DE REFERENCIA (suelos de uso agrícola)	LOTE A		LOTE B		LOTE C	
			PRIMERA TOMA DE MUESTRA	ULTIMA TOMA DE MUESTRA	PRIMERA TOMA DE MUESTRA	ULTIMA TOMA DE MUESTRA	PRIMERA TOMA DE MUESTRA	ULTIMA TOMA DE MUESTRA
Sb	mg/kg	20	7	5	11	7	6	5
As	mg/kg	12	48,3	25,1	32,5	14,8	26,0	18,6
Cd	mg/kg	1.4	4,28	2,19	3,99	2,59	3,03	3,11
Cu	mg/kg	63	60,0	29,5	38,5	24,7	33,2	29,6
Cr	mg/kg	64	10,0	5,1	10,4	6,0	10,3	5,8
Fe	mg/kg		13865	6114	17002	9780	18285	11126
Mno	mg/kg		1082	722,1	969,2	699,5	739,9	671,4
Pb	mg/kg	70	111,5	60,9	54,5	39,1	44,2	43,6
Zn*	mg/kg	200	777,9	314,8	554,7	352,4	426,1	405,7

Fuente: Elaboración propia.

*Valores que exceden el límite permisible de acuerdo a las Directrices Canadienses sobre la Calidad del Suelo para la Protección de la Salud Ambiental y Humana.

Análisis estadístico

Cuadro 1. Resumen de los cuadrados medios de los analisis de varianza del analisis quimico de suelo

F de V	G.L.	Sb		As		Cd		Cu		Cr	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Repeticiones (lotes)	2	14.778	n.s.	97.174	n.s.	0.041	n.s.	115.538	n.s.	0.280	*
Tratamientos (Monitoreos)	2	34.778	n.s.	240.421	n.s.	0.993	n.s.	387.668	n.s.	31.080	**
Error	4	39.278		34.694		0.423		321.149		0.025	
Desviación estándar		6.267		5.890		0.650		17.921		0.158	
Promedio		10.444		29.811		3.147		40.589		9.233	
Coefficiente de variabilidad (%)		60.01		19.76		20.67		44.15		1.71	

F de V	G.L.	Fe		Mn		Pb		Zn	
		C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.	C.M.	Sig.
Repeticiones (lotes)	2	23999288.44	**	18360.2411	n.s.	932.964	n.s.	3122.40111	n.s.
Tratamientos (Monitoreos)	2	101227950.78	**	52380.6011	*	394.964	n.s.	43280.9411	n.s.
Error	4	612694.11		7335.094		275.428		16391.9528	
Desviación estándar		782.748		85.645		16.596		128.031	
Promedio		15286.111		777.856		57.289		450.622	
Coefficiente de variabilidad (%)		5.12		11.01		28.97		28.41	

Cuadro 2. Resumen de las pruebas de significación de los promedios del analisis quimico de suelo para los lotes repeticiones), según duncan.

O.M.	Antimonio (Sb)			Arsénico (As)			Cadmio (Cd)			Cobre (Cu)			Cromo (Cr)		
	Lo-tes	Prome-dio	Significa-ción	Lo-tes	Prome-dio	Significa-ción	Lo-tes	Prome-dio	Significa-ción	Lo-tes	Prome-dio	Significa-ción	Lo-tes	Prome-dio	Significa-ción
1	2	13.00	a	1	36.37	a	3	3.23	a	2	46.63	a	2	9.50	a
2	1	9.33	a	3	26.93	a	2	3.19	a	1	40.90	a	3	9.30	a
3	3	9.00	a	2	26.13	a	1	3.01	a	3	34.23	a	1	8.90	b
	A.L.S.(D)0.05= 14.22; 14.51			A.L.S.(D)0.05= 13.36; 13.64			A.L.S.(D)0.05= 1.48;1.51			A.L.S.(D)0.05= 40.66; 41.49			A.L.S.(D)0.05= 0.36; 0.37		

Cuadro 3. Resumen de las pruebas de significación de los promedios del analisis quimico de suelo para los monitoreos (tratamientos), según Duncan.

O.M.	Antimonio (Sb)			Arsénico (As)			Cadmio (Cd)			Cobre (Cu)			Cromo (Cr)		
	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación
1	2	14.33	a	1	35.60	a	1	3.77	a	2	49.93	a	2	11.83	a
2	3	9.00	a	2	34.33	a	2	3.04	a	1	43.90	a	1	10.23	b
3	1	8.00	a	3	19.50	b	3	2.63	a	3	27.93	a	3	5.63	c
	A.L.S.(D)0.05= 14.22; 14.51			A.L.S.(D)0.05= 13.36; 13.64			A.L.S.(D)0.05= 1.48;1.51			A.L.S.(D)0.05= 40.66; 41.49			A.L.S.(D)0.05= 0.36; 0.37		

O.M.	Hierro (Fe)			Manganeso (Mn)			Plomo (Pb)			Zinc (Zn)		
	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación	Monitoreo	Promedio	Significación
1	2	20467.67	a	2	930.37	a	1	70.07	a	1	586.23	a
2	1	16384.00	b	3	705.53	b	2	53.93	a	2	408.00	a
3	3	9006.67	c	1	697.67	b	3	47.87	a	3	357.63	a
	A.L.S.(D)0.05= 1776.04; 1812.20			A.L.S.(D)0.05= 194.33; 198.28			A.L.S.(D)0.05= 37.66; 38.42			A.L.S.(D)0.05= 290.50; 296.41		

Resultados de fitoextracción de metales pesados y metaloides por el *Helianthus annuus* L

Tabla 5. Resultados de concentración de metales pesados y metaloides absorbido por *Helianthus annuus* L. (mg/Kg). Método de ICP – Masas.

Muestras	ELEMENTOS	Partes de la planta <i>Helianthus annuus</i> L.				
		Raíz (RA-A)	Tallo (TA-A)	Hojas (HO-A)	Flores (FLO-A)	Semillas (SE-A)
A (solo)	Sb	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
	As	1,349	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
	Cd	1,516	0,799	1,005	0,261	0,347
	Cu	11,860	6,484	38,15	11,56	17,41
	Cr	1,294	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,001
	Fe	1452	304,1	114,8	39,72	29,84
	Mn	95,84	30,76	85,67	5,36	6,99
	Pb	3,642	0,400	0,846	< 0,020	0,280
	Zn	152,7	108,8	92,46	23,71	46,64
B (papas)	Sb	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
	As	14,56	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
	Cd	3,537	0,821	1,339	0,347	0,231
	Cu	21,37	4,680	20,29	17,41	18,17
	Cr	4,506	< 0,050	< 0,050	< 0,001	< 0,001
	Fe	5345	248,0	398,9	29,84	56,74
	Mn	303,9	32,51	173,2	6,99	16,10
	Pb	19,59	0,337	0,952	0,280	0,025
	Zn	334,2	91,47	97,40	46,84	77,86
C (maíz)	Sb	2,840	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020
	As	11,16	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
	Cd	2,176	0,646	0,715	0,210	0,294
	Cu	22,28	5,36	36,47	12,06	16,98
	Cr	2,508	< 0,050	< 0,050	< 0,050	< 0,050
	Fe	3370	62,17	47,52	30,17	47,26
	Mn	162,0	23,21	80,09	5,9	14,59
	Pb	28,33	0,305	1,117	< 0,020	< 0,020
	Zn	276,9	187,30	117,87	25,32	70,84

Fuente: Elaboración propia.

Porcentaje de fitoextracción y Translocación

Tabla 6. Porcentaje de fitoextracción y de translocación de elementos por el *Helianthus annuus* L. (mg/Kg). De los tres lotes A, B y C

Muestras Lotes	Elementos	Porcentaje de fitoextracción (%)	Factor de translocación
A (solo)	Sb	28,57	-
	As	48,03	-
	Cd	48,83	1,587
	Cu	49	6,206
	Cr	50,83	-
	Fe	55,90	0,336
	Mn	33,26	1,343
	Pb	45,38	1,528
	Zn	59,53	1,778
B (papa)	Sb	36,36	-
	As	54,46	-
	Cd	35,08	0,774
	Cu	35,84	2,833
	Cr	42,3	-
	Fe	42,47	0,137
	Mn	27,82	0,752
	Pb	28,25	0,081
	Zn	36,38	0,938
C (maíz)	Sb	16,66	-
	As	30,0	-
	Cd	3	0,857
	Cu	10,84	3,180
	Cr	43,68	-
	Fe	39,15	0,055
	Mn	9,25	0,764
	Pb	1,35	0,039
	Zn	4,79	1,449

Fuente: Elaboración propia

Discusión de resultados de la caracterización fisicoquímico de los suelos

Los resultados obtenidos de los análisis físicos y químicos de los tres lotes de suelos colectados se presentan en la tabla 1. De acuerdo con (12), el pH, es un factor importante para determinar la solubilidad de los metales como el Cu y el Zn y otros metales pesados en el suelo, así como también su movilidad y disponibilidad para las plantas específicamente a medida que disminuye el pH aumenta la solubilidad del Cu y Zn. De esta manera el suelo del lote A que presenta un pH igual a 7,23, ligeramente alcalino y de acuerdo con (12), este suelo presenta moderada movilidad y disponibilidad de metales pesados, especialmente con arsénico y cromo. Con respecto a los suelos de los lotes B y C que presenta pH equivalente a 6,75 de acuerdo con (13), (14), y de acuerdo a las NOM-021-REC-2000.

el pH 6.75 es considerado como pH neutro; para este tipo de suelos afirman que la movilidad de los metales pesados es menor, así mismo favorece a la población bacteriana donde se encuentra el *Rhizobium*, responsable de la fijación simbiótica de nitrógeno elemental, además el Mn+3 es abundante y los microorganismos del suelo pueden conseguir funciones como una buena reserva de Mn+2, que es soluble y está disponible para las raíces de las plantas

En la tabla 1, se muestran resultados de la conductividad para los tres lotes y varían desde 0,52 a 0,54 y según la tabla de Criterios para evaluar la salinidad de un suelo, en base a su conductividad según (140) El suelo es no salino lo que quiere decir que conjuga con la presencia de materia orgánica que está a un nivel medio según la NOM-021-REC-2000. El lote C en su textura contienen 34% de arcilla y su capacidad de intercambio catiónico es mayor igual a 16,00, por lo tanto mayor será la cantidad de metales que pueden ser retenidos sin peligro potencial, ya que se limita la solubilidad y movilidad de los metales intercambiados En general, cuanto mayor es el contenido de arcilla en un suelo mayor es la capacidad de intercambio catiónico

Los bajos niveles de carbonatos que se observan en la tabla 1, señalan que los metales pesados en estos suelos no tienden a precipitar. La movilidad de un metal depende no sólo de su especiación química, sino de una serie de parámetros del suelo tales como pH, materia orgánica, carbonatos, minerales de la arcilla, etc. Así, no todos los cationes de cambio están igualmente disponibles, sino que depende del mineral o minerales de los que están formando parte como complejo de cambio. El Cd y otros metales tienden a quedar absorbidos por los carbonatos a medida que disminuye el pH. Para el lote A el contenido de carbonatos es de 2,1, y se manifiesta que para suelos calcáreos el metal que tiene mayor retención es el cobre y está estrechamente relacionado con el pH ligeramente alcalino y en el caso de los lotes B y C y aumenta la solubilidad del Cu y Zn, así como también otros metales pesados y según la tabla de caracterización hay ausencia de carbonatos en estos dos lotes.

Los resultados de la tabla 1, referidos a la materia orgánica, el lote A según la escala de la NOM-021-REC-2000 señala que tiene un valor medio de

materia orgánica, con pH ligeramente alcalino, son factores básicos que representan una moderada capacidad amortiguadora en la disponibilidad de los metales pesados en la planta, mientras que en los lotes B y C, muestran contenidos de materia orgánica medio y un pH neutro por lo que de acuerdo con (12) son suelos que amortiguan la disponibilidad de los metales pesados.

En la tabla 1, se muestra el análisis textural, el suelo experimental tiene textura media y según la NOM-021-RECENAT-2000 corresponde a un suelo de textura Franco, y se caracteriza por tener una buena aireación, retención de agua y abonos, que son apropiados para el cultivo de Girasol, para los tres lotes A, B y C. De acuerdo con (139), la entrada y la infiltración de los metales pesados en el suelo esta regulados por la textura. En los resultados se observa que en el lote A se observa mayor cantidad de arena (50%), lo que indica que los metales pesados pueden pasar más fácilmente al subsuelo y contaminarlo mientras que los lotes B y C la cantidad de arena es menor (36% y 30%) y presenta más cantidad de limo y arcilla lo cual le ayuda a fijar a los metales pesados(18).

En la tabla 1, se observa que en las muestras A, B y C, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) del suelo es considerado como medio, el cual le permite adsorber e intercambiar iones para la nutrición de la planta. De acuerdo a (19) la entrada e infiltración en el suelo está regulado por la textura de los suelos, en los resultados observamos que en el lote A hay mayor cantidad de arena, ello nos explica que carece de la capacidad para fijar a los metales pesados por lo que estos pasan directamente al subsuelo y lo contaminan, en cambio en el lote B y C presentan una textura con mayor cantidad de limo por lo que los metales pesados tienden a fijar los metales pesados en el suelo.

Análisis químico de suelos

En el cuadro 1 del resumen de los cuadrados medios de los análisis de varianza del análisis químico de suelo; se observa que, en la fuente de variabilidad de repeticiones (lotes), los elementos pesados de antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística ($P>0,05$); mientras que, en el cromo (Cr) y Hierro (Fe) muestran diferencia estadística significativa

($P<0,05$) y diferencia estadística altamente significativa ($P<0,01$), esto debido a que, los lotes tenían flujos de entrada de agua de riego individualmente y su historial de cultivos fueron diferentes.

En la fuente de variabilidad de tratamientos (monitoreos), los elementos pesados de antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística ($P>0,05$); mientras que, en el cromo (Cr), Hierro (Fe) y manganeso (Mn) muestran diferencia estadística altamente significativa ($P<0,01$) y diferencia estadística significativa ($P<0,05$); esto debido, a que las plantas han cumplido con la función de fitoextracción de estos metales pesados.

Los coeficientes de variabilidad del cromo (Cr) y hierro (Fe) de 1,71 % y 5,12 % son considerados como "muy bajo" (16), lo que indica que la presencia de dichos metales pesados dentro de cada lote es muy homogéneo; el arsénico (As) y manganeso (Mn) presentan coeficientes de 19,76 % y 11,01% considerados como "bajo", indicando que la presencia de dichos metales en los lotes es homogéneo; en los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn) presentaron promedio de 20,67 %, 28,97 % y 28,41 % considerados "moderadamente alto", el cual indica que dentro de los lotes la cantidad de dichos metales tuvo tendencia a ser heterogéneos; finalmente, el antimonio (Sb) y cobre (Cu) con 60,01 % y 44,15 % fueron considerados como "muy alto" indicando que la presencia en los lotes de estos metales fueron muy heterogéneos.

En el cuadro 2 de la prueba de significación de los promedios del análisis químico de suelo para los lotes (repeticiones); se observa que, para los elementos antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística ($P>0,05$); por presentar dentro de cada lote la homogeneidad del contenido de cada elemento o metales pesados.

Con respecto al cromo (Cr), los lotes 2 y 3 presentan mayor contenido este elemento 9,50 y 9,30 ppm respectivamente y no muestran significación estadística entre ellos; sin embargo, muestran con el lote 1 que presentó menor contenido de cromo 8,90 ppm, porque el terreno estuvo con descanso prolongado de sembrío.

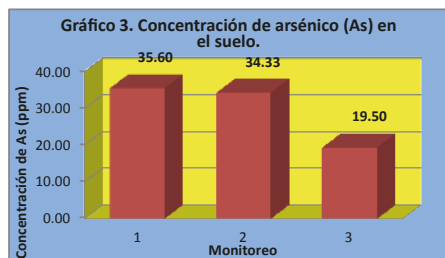
El nivel de referencia para suelos de uso agrícola (17), determina que el límite permisible del cromo es

de 64 ppm, y en los análisis demuestra que los lotes presentan menor concentración de cromo.

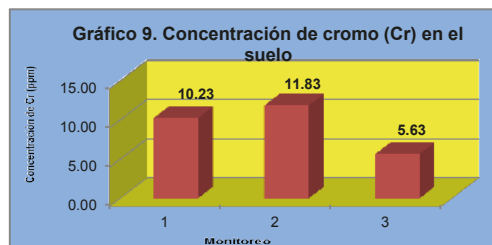
El contenido de hierro en los lotes 2 y 3 presentaron 17 442,33 y 16 332,33 ppm respectivamente y no muestran significación estadística entre ellos, sin embargo, muestran con el lote 1 que presentó 12083,67 ppm, ya que éste último lote estuvo en descanso prolongado de sembrío.

En el cuadro 3 de la prueba de significación de los promedios del análisis químico de suelo para los monitoreos (tratamientos); se observa que, los elementos antimonio (Sb), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística entre los monitoreos 1, 2 y 3, debido a su contenido homogéneo en el suelo. Mientras que, en el arsénico (As), cromo (Cr), hierro (Fe) y manganeso (Mn) muestran diferencia estadística entre los monitoreos, debido a que hay variación de monitoreo a monitoreo.

Arsénico (As). Se observa en el cuadro 3, gráficos 3 que en los monitoreos 1 y 2 con promedios de 35,60 y 34,33 ppm respectivamente, no muestran significación estadística entre ellos, pero muestran con el monitoreo 3 que presentó un promedio de 19,50 ppm de concentración de arsénico (As) en el suelo, debido a que la planta de Girasol se caracteriza por extraer de preferencia a este metal del suelo (144). Sin embargo, el nivel de referencia o permisible de este metal en el suelo es de **12 ppm**, (17) y que se debe continuar con el uso de la tecnología de fitorremediación por un periodo prolongado. En la regresión polinomial existe una tendencia negativa, el cual indica que, a mayor tiempo o monitoreo la concentración de arsénico (As) disminuirá por efecto la fitoextracción de la planta (144); es decir, que haciendo un monocultivo con girasol, el arsénico va a disminuir en $-6,78$ ppm por monitoreo.

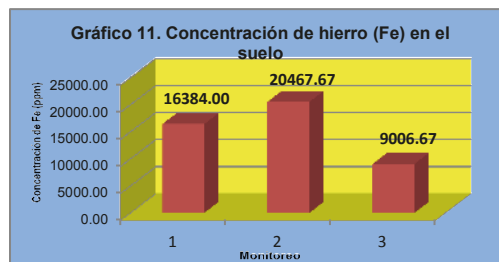


Cromo (Cr). En el cuadro 3, gráficos 9 se observa que, los tres monitoreos muestran diferencia estadística significativa entre ellos ($P < 0,05$) debido a que el contiene un promedio de 10,23 ppm de Cr, luego se incrementa la concentración con un promedio de 11,83 ppm por efecto de la aplicación de fertilizantes fosfatados (145) y que finalmente en el último monitoreo disminuye el cromo hasta un promedio de 5,63 ppm, debido especialmente a la extracción por parte de la raíz de la planta fitoextratora (18). Sin embargo, el suelo presentó un nivel bajo con relación a la referencia de este que es de **64 ppm** (17) y que se debe continuar con el uso de la tecnología de fitorremediación por un periodo prolongado. En la regresión polinomial existe una tendencia negativa, el cual indica que, a mayor tiempo o monitoreo la concentración de cromo (Cr) disminuirá por efecto la fitoextracción de la planta (144); es decir, que haciendo un monocultivo o cultivo intensivo con girasol, el cromo va a disminuir en -3.9 ppm por monitoreo.



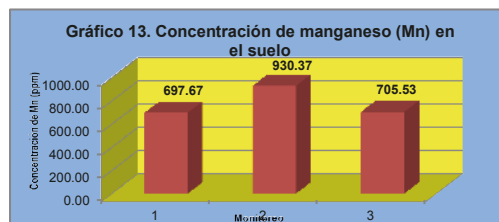
Hierro (Fe). En el cuadro 3, gráficos 11; se observa que, en los tres monitoreos existe diferencia estadística significativa $P(<0,05)$, en el primer monitoreo el promedio fue de 16 384,00 ppm de Fe, para luego incrementarse en el monitoreo 2 cuyo promedio fue de 20 467,67 ppm; debido a la presencia de sulfuros ferrosos en el agua de riego, producto de actividades antropogénicas (industria, minería y fundición de la Doe Run), finalmente en el monitoreo 3 el promedio disminuyó a 9 006,67 ppm de Fe; debido al comportamiento de la planta fitoextratora de este metal pesado. El contenido de este metal en los suelos de la sierra suele ser abundante y por lo tanto no existe un nivel de referencia permisible. En la regresión polinomial existe una tendencia negativa, el cual indica que, a mayor tiempo o monitoreo la concentración de

hierro (Fe) disminuirá por efecto la fitoextracción de la planta (144); es decir, que haciendo un monocultivo o cultivo intensivo con girasol, el hierro va a disminuir en – 7772,3 ppm por monitoreo.



Manganeso (Mn). En el cuadro 3, gráficos 13 se observa que, en el monitoreo 2 el promedio de la presencia de la concentración de Mn fue de 930,37 ppm (por efecto de la aplicación de abonos de manganeso en los campos aledaños y que éstos fueron arrastrados con el agua de riego), superando estadísticamente ($P < 0,05$) a los monitoreos 3 y 1 que presentaron promedios de 705,53 y 697,67 ppm; como se observa la planta extrae poca cantidad de manganeso.

En la regresión polinomial existe una tendencia negativa, el cual indica que, a mayor tiempo o monitoreo la concentración de manganeso (Mn) disminuirá por efecto la fitoextracción de la planta (18); es decir, que haciendo un monocultivo o cultivo intensivo con *Helianthus annuus* L. el manganeso va a disminuir en – 228,77 ppm por monitoreo. En la regresión polinomial existe una tendencia negativa, el cual indica que, a mayor tiempo o monitoreo la concentración de manganeso (Mn) disminuirá por efecto la fitoextracción de la planta (18); es decir, que haciendo un monocultivo o cultivo intensivo con *Helianthus annuus* L. el manganeso va a disminuir en – 228,77 ppm por monitoreo



Análisis químico del *Helianthus annuus* L.

Resultados de la investigación revelaron diferentes niveles de concentración de metales según raíz, tallo, hojas, flores y semillas de la planta. Se conoce que la distribución de los metales pesados en las plantas tiene un carácter selectivo, usualmente en la secuencia de raíz, tallo, hojas, frutos y semillas (20), (21). Sin embargo, hay algunos metales pesados que pueden tener predilección por acumularse en alguna parte en especial (22), (23) y (24). También se evidenció que tanto antimonio como arsénico se acumularon preferencialmente en la raíz. No se encontró concentraciones significativas en las otras partes de la planta. El transporte de As en la mayoría de especies vegetales no es generalmente muy efectivo y suele permanecer en las raíces, excepto en aquellas plantas con una capacidad excepcional de acumular As en parte aérea (25). Adicionalmente (26) afirma que la mayoría del As se encuentra en raíz, en forma complejada en plantas. Se observó que el cadmio se acumuló predominantemente en las raíces y en las hojas, encontrándose los niveles más bajos en semillas (28). Además se menciona que el cadmio en el girasol, se almacena principalmente en la raíz y en las hojas (29). No obstante, los resultados obtenidos discrepan con los de (29), quien menciona que las semillas también son potenciales lugares de acumulación (30). Por otro lado, el cromo fue significativamente absorbido en mayor proporción por las raíces que por las otras partes (27). Se afirma además que la absorción del cromo en semillas es más lenta que la de tallos y raíces, lo cual apoya al resultado obtenido (31). En el caso del plomo, zinc y cobre se acumularon principalmente en la raíz y en las hojas, ello concuerda con lo planteado por (28), quien refiere que al penetrar el plasma, estos metales se inactivan y se acumulan debido a la formación de compuestos solubles por la interacción con sustancias orgánicas. Según, (28) la concentración de cobre en las semillas también puede resultar significativa, lo cual justifica los valores similares encontrados entre estas y las raíces. La concentración de manganeso en los girasoles fue mayor en las raíces, seguida de las hojas (28), Y concluye que los suelos contaminados incrementan significativamente la concentración de manganeso en las hojas. Asimismo, las mayores concentraciones encontradas de hierro fueron en primer

lugar en las raíces, seguida de las hojas (32). Se debe de considerar además que las concentraciones altas, en raíces, tallos, hojas y flores se deben a que el *Helianthus annuus* L fue regada con aguas del canal CIMIRN.

Porcentaje de fitoextracción de metales pesados

Cabe mencionar que el lote A, fue un terreno en descanso en la cual se instaló el *Helianthus annuus* L. y según los resultados de la tabla 8. se nota que el porcentaje de fitoextracción es mayor para: cadmio, cromo, cobre, fierro, manganeso, plomo y zinc, y como manifiesta (159) los metales pesados se acumulan en el suelo. En el lote B, la concentración de metaloides Fitoextraídos es mayor: antimonio y arsénico, cabe mencionar que este lote de terreno fue acompañada con sembrío de papas, y la concentración se debe a que este lote fue tratado con fitosanitarios para proteger a las papas (34). El lote C estuvo acompañado de sembrío de maíz (*Zea mays*) y según (35) se considera al maíz como fitoextractor de metales pesados: Cu, Zn, Ni, Cd, Pb y Cr, de allí que la Fito extracción de metales pesados es menor. (Tabla 6)

Coeficiente de bioconcentración o coeficiente de fitoextracción

El coeficiente de fitoextracción en el lote A, para el cobre es mayor que 1, en los lotes lote B y C notamos que el cadmio, cobre y zinc, tienen valores mayores que 1, por lo que se puede afirmar que el *Helianthus annuus* L. es una planta hiperacumuladora de este metal, con los metales que tienen valores menores que 1 se considera que el *Helianthus annuus* L es acumulador de estos metales (36).

Factor de translocación

Para evaluar la habilidad de las plantas para translocar los metales desde la raíz hacia la parte aérea fue calculado el Factor de Translocación. Al respecto, (37) señala que un FT por encima de 1 indica que se produce una translocación de la raíz a la parte aérea, lo cual es característico de las plantas acumuladoras, y de acuerdo a la tabla 11 vemos que en el lote A el cadmio, cobre, manganeso, plomo y zinc tienen valores mayores a 1 lo que indican que se ha producido translocación de metales de la raíz a la parte aérea, en el lote B cobre y en el lote C cobre y zinc, con respecto a los otros

metales se han translocado de la raíz a la parte aérea pero en poca proporción, considerándolos metales de baja transferencia. Además, las plantas acumuladoras de metales se caracterizan por $FT > 1$ (38). Por lo tanto, aunque los FT indican una translocación hacia las partes superiores del *Helianthus annuus* L para algunos de los elementos estudiados, los valores de FBC indican que hay bajo riesgo de que los metales se transfieran significativamente a la planta como manifiesta (36) encontraron valores muy bajos de bioconcentración para Mn, Cd, Cu y Zn, todos inferiores a 1 y valores mayores en la translocación, Estos estudios indican que hay especies de plantas que toleran las concentraciones elevadas de metales en el suelo porque restringen su absorción y translocación hacia las hojas. Sin embargo, otras los absorben y acumulan activamente en su biomasa, lo que requiere una fisiología muy especializada (39). Por otro lado, algunos elementos pueden tener efectos sinérgicos o antagónicos.

CONCLUSIONES

- En los tres lotes A, B y C de suelo contaminados por metales pesados y metaloides tenemos en el lote A presenta un pH ligeramente alcalino, la Materia Orgánica se encuentra en nivel medio, la textura del suelo es franco con el 50% de arena. La capacidad de intercambio catiónico 13,28 El lote B y C coinciden en el pH neutro igual a 6,23, la textura es franco con menor porcentaje de arena (36% y 30%) y más cantidad de limo (44%) y arcilla (20% y 26%). La Capacidad de intercambio catiónico (13,12 y 15,04) y la salinidad 80,54 Y 0,53).
- Los cuadrados medios de los análisis de varianza del análisis químico de suelo; se observa que, en la fuente de variabilidad de repeticiones (lotes), los elementos pesados de antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística ($P > 0,05$); mientras que, en el cromo (Cr) y Hierro (Fe) muestran diferencia estadística significativa ($P < 0,05$) y diferencia estadística altamente significativa ($P < 0,01$).
- En la fuente de variabilidad de tratamientos (monitoreos), los elementos pesados de antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística

- ($P > 0,05$); mientras que, en el cromo (Cr), Hierro (Fe) y manganeso (Mn) muestran diferencia estadística altamente significativa ($P < 0,01$) y diferencia estadística significativa ($P < 0,05$).
- Los coeficientes de variabilidad del cromo (Cr) y hierro (Fe) de 1,71 % y 5,12 % son considerados como "muy bajo", lo que indica que la presencia de dichos metales pesados dentro de cada lote es muy homogéneo; el arsénico (As) y manganeso (Mn) presentan coeficientes de 19,76 % y 11,01 % considerados como "bajo", indicando que la presencia de dichos metales en los lotes es homogéneo; en los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y zinc (Zn) presentaron promedio de 20,67 %, 28,97 % y 28,41 % considerados "moderadamente alto", el cual indica que dentro de los lotes la cantidad de dichos metales tuvo tendencia a ser heterogéneos; finalmente, el antimonio (Sb) y cobre (Cu) con 60,01 % y 44,15 % fueron considerados como "muy alto" indicando que la presencia en los lotes de estos metales fueron muy heterogéneos.
 - La prueba de significación de los promedios del análisis químico de suelo para los lotes (repeticiones); se observa que, para los elementos antimonio (Sb), arsénico (As), cadmio (Cd), cobre (Cu), manganeso (Mn), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística ($P > 0,05$); por presentar dentro de cada lote la homogeneidad del contenido de cada elemento o metales pesados. Con respecto al cromo (Cr), los lotes B y C presentan mayor contenido este elemento 9,50 y 9,30 ppm respectivamente y no muestran significación estadística entre ellos; sin embargo, muestran con el lote A que presentó menor contenido de cromo 8,90 ppm, porque el terreno estuvo con descanso prolongado de sembrío. El nivel de referencia para suelos de uso agrícola (143), determina que el límite permisible del cromo es de 64 ppm, y en los análisis demuestra que los lotes presentan menor concentración de cromo. El contenido de hierro en los lotes B y C presentaron 17 442,33 y 16 332,33 ppm respectivamente y no muestran significación estadística entre ellos, sin embargo, muestran con el lote A que presentó 12083,67 ppm, ya que éste último lote estuvo en descanso prolongado de sembrío.
 - La prueba de significación de los promedios del análisis químico de suelo para los monitoreos (tratamientos); se observa que, los elementos antimonio (Sb), cadmio (Cd), cobre (Cu), plomo (Pb) y zinc (Zn) no muestran significación estadística entre los monitoreos A, B y C, debido a su contenido homogéneo en el suelo. Mientras que, en el arsénico (As), cromo (Cr), hierro (Fe) y manganeso (Mn) muestran diferencia estadística entre los monitoreos, debido a que hay variación de monitoreo a monitoreo.
 - La Fito extracción de metales pesados y metaloides por el *Helianthus annuus* L, fue absorbida por las raíces (arsénico, cadmio, cobre, fierro, manganeso, plomo y zinc), seguido de las hojas, tallos, flores y semillas.
 - El Porcentaje de Fitoextracción de los tres lotes de terreno indica que en el primer año de instalación de *Helianthus annuus* L se nota un porcentaje de Fitoextracción medio en el lote A, para el cromo, zinc y fierro, en el lote B para el arsénico y en el lote C se nota que la Fitoextracción es bajo, menor al 50%. Ello nos indica que se tiene que seguir cultivando *Helianthus annuus* L, por siete años
 - El coeficiente de fitoextracción de metales pesados por el *Helianthus annuus* L nos indica de que es una planta acumuladora de metales pesados
 - El factor de translocación nos indican finalmente que los metales pesados en el lote A : cadmio, cobre, manganeso, plomo y zinc, obtuvieron mejor translocación ya que alcanzaron un factor mayor que 1. En el lote B, cobre y en el lote C, cobre y zinc.
- ## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS
1. Alloway, B.J., 1995. Heavy Metals in Soils. Blackie Academic & Professional. Londres. 370 pp.
 2. Kumar r, P. B. A. N., Dushenkov, V., Motto, H., Raskin, I. 1995. Phytoextraction: The use of plants to remove heavy metals from soils. Environmental Science & Technology. 29: 1239-1245.
 3. Soraya Puga. Heavy Metals Pollution in Soils Damaged by Mining Industry. Ecología Aplicada, 5(1,2), 2006.
 4. Angeles González, 2005. Recuperación de Suelos Contaminados con Metales Pesados Utilizando Plantas y Microorganismos Rizosféricos Terra Latinoamericana VOLUMEN 23 NÚMERO 1, 2005

5. Sing, 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
6. Mc Graths, S.P., Lombi, E., Zhao, F.J., y Dunham, S.J. (2001). Phytoremediation of heavy metals-Contaminated Soils: Natural Hyperaccumulation versus Chemical Industry. Elsevier applied Science. London
7. Cunningham S. 1995. What plants can and cannot do. En *Proceedings/abstracts of the fourteenth Annual Symposium, Current Topics in Plants Biochemistry, Physiology and molecular Biology Columbia- Will Plants Have a role in bioremediation Columbia, MO, USA*. Pp:47-48
8. Lucho, C.A., Álvarez, M., Beltrán, R.I., Prieto, F. and Poggi, H. 2005a. A multivariate analysis of the accumulation and fractionation of major and trace elements in agricultural soils in Hidalgo State, Mexico irrigated with raw wastewater. *Environmental International*, On Line: 0160- 4120-D 2004 doi:10.1016/j.envint.2004.08.002.
9. Kabata, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 365, 413.
10. Zang g, Y. y Y. He, 2006. Co-composting solid swine manure with pine sawdust as organic substrate. *Bioresource Technology*. 97: 2024-2031
11. Sauquillo, A., Rigol, A. y Rauret, G. 2003. Overview of the use of Leaching/Extraction Tests for Risk Assessment of Trace Metals in Contaminated Soils and Sediments. *Trends in Analytical Chemistry*, 22, pp. 152-159.
12. Weissenborn I., Leyval, C., y Berthelin, J. Cd-tolerant arbuscular mycorrhizal (A) fungi from heavy metals polluted soils. *Plant and soil* 157, 274-276.1993
13. Alloway.B.J (1990). Soil processes and the behavior of metals. In: *heavy Metals en soil* 7-28
14. Kabata, A. 2000. Trace elements in soils and plants. Third Edition. CRC Press, Inc. Boca Raton. USA. pp. 365, 413.
15. Evans L. J., 1989 Chemistry of metal retention by soils. *Environmental Science & Technology*, 23:1046-1056
16. Osorio P. Glosario de estadística y diseños experimentales . primera edición Huancayo-Perú 2000 pp 5
17. Canadian soil Quality Guidelines for the protection of environmental and human health 2007
18. Cutright ., J.T. Hiperacumulacion simultanea de varios metales pesados por *helianthus annuus* L cultivados en suelo franco arenosos contaminado. *international Journal Fitorremediacion* 12(6): 562-730. 2010.
19. Soler., A. Estudio Químico de fertilizantes sintéticos. *Environmental Science & Technology* 2004 y *Applied Geochemistry* (2005)
20. Kastori, R., Effect of excess lead on sunflower growth and photosynthesis *Journal of plant Nutrition* 21:2 341-352. 1998
21. Simon L ., Cadmium accumulation and distribution in sunflower plant. *Journal of plant Nutrition* 21:2 341-352. 1998
22. Andersen, A., Cadmium in sunflower seed Brom-NyT [Denmark]V. 9(5) p 54-60
23. El-Kobbia, T., Ibrahim, A., Response of different plant species to lead Egyptian *Journal of soil science(egypt)* V.28 (1), p 35-47
24. Reeves R. D.; Baker, A. J.M.; Borhidi. A and Berazain, R. Nickel Hyperaccumulation in the Serpentine Flora of Cuba. *Annals of Botany* 83: 29±38, Article No. anbo.1998.0786, disponible en línea en: <http://www.idealibrary.com> 1999
25. Zhao F.J., Dunham, S.J McGrath, S.P., Arsenic hyperaccumulation by different fern species. *New Phytologist* 156:27-31.
26. Vasquez S., Esteban, E., Goldsbrough, P., Arsenate-induced phytochelatin in white lupin; influence of phosphate status, *Physiology Plantarum* 124:41-49
27. Fozia A. Efecto del cromo en el crecimiento de los atributos de girasol (*Helianthus annuus* L.) Vol. 20, No 12, 2008 pp 147-1480.
28. Yankov, B. and Tahsin N. Accumulation and distribution of Pb, Cu, Zn and Cd IN Sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in an industrially polluted HELIA. Volume 24, Issue 34, Pages 131–136, ISSN (Online) 2197-0483, 2001
29. <http://balwois.com/2012/USB/paper/945.pdf>
30. <http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/1018-1806/2001/1018-18060134131Y.pdf>

31. <http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-540-95991-593>
32. <http://www.psp-parlar.de/pdf/F26308Originalpaperpp1274-1278.pdf>
33. Ortiz, C. Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. Revista Chapingo Serie Horticultura 15(2): 161-168, 2009.
34. Moreno J., Plant-based methods for remediating arsenic-polluted mine soils in Spain. [Tesis Doctoral] UMA. Departamento de Química Agrícola. pp 40-43 2010
35. Díez Lázaro Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: [tesis doctoral]. Universidad DE Santiago DE Compostela. Departamento de Edafología y Química Agrícola 2008
36. Wang, YP, Wang, MK, y Liu, CL (1992). The relationships between heavy metals in soils, waters, and sediments: Case study in Chang-Hwa Industrial park. Proyecto de informe of EPA-
37. Mendez y Mayer, R. 2008. Phytoremediation of mine tailings in temperate and arid environments. Rev. Environ. Sci. Biotechnol. 7: 47-59. 2008.
38. Baker A.J.M., 1981. Accumulators and excluders: strategies in the response of plants to heavy metals. Journal of Plant Nutrition 25: 369-386
39. Zhao F.J.; HAMON, R.E.; McLAUGHLIN, M.J. 2001. Root exudates of the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens* do not enhance metal mobilization. New Phytologist, v.151, p.613-620.