

Acumulación de metales pesados en *Helianthus annuus* desarrollado en residuos de mina

Elizabeth Hernández-Acosta, Yaneth Juárez-Santos, Edmundo Robledo-Santoyo,
Procoro Díaz-Vargas y David Cristobal-Acevedo
Departamento de Suelos
Universidad Autónoma Chapingo
Texcoco, Méx.; México
elizahac@yahoo.com.mx

Abstract— The object of this study is to evaluate the sunflower (*Helianthus annuus* L.) development and its capability for heavy metals extraction in a mine tailing; under the influence of nutrients and compost, in order to propose this species as phytoremediator. The content of heavy metals of the mine tailing was obtained and a physical and chemical characterization was realized. Subsequently, an experiment was made in a greenhouse using the mine tailing as a substrate. High and low dose of compost, nitrogen and phosphorous were applied. Sixty days after transplanting, the plants were harvested and dried for analysis of roots, stem and leaves samples. Heavy metals were quantified by wet digestion and atomic absorption spectrophotometry. Also, a physical and chemical analysis and quantification of heavy metal content were realized in compound substrate by extraction with DTPA and atomic absorption spectrophotometry. The results obtained indicate that any of the heavy metals passed above permissible limits. Manganese was the most concentrated element in the mine tailing. Under greenhouse conditions, the plants had not developed appropriately because of the mine tailings effect. The most accumulation of lead, zinc and cadmium were in the stem. Copper, nickel, and manganese were found most in the roots. The incorporation of compost and nutrients had not any positive effect for the plant development.

Keyword— *Girasol, jal, compost, fertilizer, phytoremediation.*

Resumen— Se evaluó el desarrollo de *Helianthus annuus* L. y su capacidad de extracción de metales pesados en residuos de mina; bajo la influencia de nutrientes y composta, para proponerla como planta fitorremediadora. Se caracterizó física y químicamente y obtuvo el contenido de metales pesados del jal. En invernadero se utilizó al jal como sustrato y agregó dosis altas y bajas de Composta, Nitrógeno y Fosforo. A los 60 días después del trasplante (ddt), se cosecharon y secaron las plantas para obtener muestras de raíz, tallo y hoja; a éstas se aplicó la técnica de digestión en húmedo, para cuantificar por espectrofotometría de absorción atómica (EAA) el contenido de metales pesados. Al sustrato se determinó las propiedades químicas y el contenido de metales pesados, esto último mediante la extracción con Ácido dietileno triamino pentaacético y la cuantificación por EAA. Los resultados indicaron que ninguno de los metales pesados rebasó los límites permisibles y que el manganeso fue el que se encontró en mayor concentración en el jal de mina. En invernadero, la planta no se desarrolló adecuadamente por efecto de los residuos de mina. En planta la mayor acumulación de plomo, zinc y cadmio se presentó en el tallo y el cobre, níquel y manganeso, se concentraron en mayor cantidad en las raíces. No se observó ningún efecto positivo para el desarrollo de la planta con la incorporación de composta y nutrientes.

Palabras claves— *sunflower, jal, composta, fertilizante, fitorremediación.*

I. INTRODUCCIÓN

El creciente desarrollo industrial y las actividades propias de este han traído consigo una gran generación de residuos, muchos de ellos contaminados con metales pesados que, al encontrarse en el ambiente y en cantidades que superan los límites máximos permisibles pueden ser perjudiciales para el medio ambiente, las plantas y los animales incluido el hombre (Maqueda, 2003). Una de las actividades que contribuye a la generación de residuos contaminados con metales pesados en la superficie de la tierra, es el aprovechamiento minero, por medio de la deposición de residuos en grandes superficies a la

intemperie, estas zonas son comúnmente llamadas jales de mina (Romero, Armienta, Gutierrez y Villaseñor, 2008).

Actualmente se han aplicado diferentes métodos para rehabilitar las zonas contaminadas, cada una de ellos tiene sus ventajas y desventajas en cuanto a costos y eficiencia. Una de las técnicas más utilizadas actualmente es la fitorremediación que consiste en el uso de plantas para la remediación de estas zonas, se pretende que los metales en el suelo sean capturados por las raíces de las plantas y de esta manera pasen a tallos y hojas donde serán acumulados para su posterior tratamiento (Volke, Velasco y De la Rosa, 2002).

El uso de la fitorremediación con respecto a los métodos convencionales de tratamiento de suelos contaminados tiene muchas ventajas, en primer lugar, es una tecnología de bajo costo, se puede realizar *in situ*, requiere practicas agronómicas convencionales, actúan positivamente en el suelo, mejorando sus propiedades físicas y químicas y son medioambientalmente aceptables, debido a que se basan en la formación de cubierta vegetal (Harvey, Campanella, Castro, Harms, Lichtfouse, Schaffne, Smrcek and Werck, 2002; Carpena y Bernal, 2007).

Para que la fitorremediación sea exitosa es necesario que las plantas utilizadas cuenten con la capacidad de tolerar contaminantes en sus tejidos (Chico, Cerna, Rodríguez y Guerrero, 2012); el girasol (*Helianthus annuus*) es considerada una planta hiperacumuladora y tolerante a metales pesados (Adesodun, Atayese, Agbaje, Osadiaye, Mafe and Soretire, 2010). Por ello en la presente investigación, se evaluó el desarrollo del girasol en residuos de mina y su capacidad para acumular metales pesados en sus tejidos.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

A. Área de estudio.

El jal de mina Dos Carlos pertenece al distrito minero Pachuca - Real del Monte, en el cual se explotaron principalmente oro y plata; se ubica en la ciudad de Pachuca Hidalgo, México, en las coordenadas 20° 06' latitud norte y 98° 43' longitud oeste a una altura de 2437 msnm; tiene un área de 23 ha, una altura de aproximadamente 20 m y un volumen de 14, 333,492 ton. de desechos mineros (Hernández, Mondragón, Cristóbal, Rubiños y Robledo, 2009).

B. Muestreo del jal de mina.

Los residuos de mina del jal Dos Carlos, se colectaron en 30 sitios empleando el método de muestreo en zig-zag distribuidos en una superficie de 23 has; colectando aproximadamente 5 kg de suelo en cada sitio a una profundidad de 15 a 30 cm.

C. Caracterización física y química de los residuos de mina.

Esta se realizó a muestras compuestas de aproximadamente 500 gr, y se consideraron las siguientes variables con sus respectivas metodologías, de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-SEMARNAT-2000: pH medido con (potenciómetro relación suelo: agua 1:2), porcentaje de materia orgánica (Método de Walkley y Black), nitrógeno inorgánico (extraído con cloruro de potasio 2N y determinado por arrastre de vapor), fósforo (Método de Bray) y Cationes intercambiables K, Ca, Na y Mg, (extraído con acetato de amonio 1N y determinado por espectrometría de emisión de flama y absorción atómica). Para la determinación de metales pesados se consideraron el Cd, Cu, Mn, Ni, Pb y

Zn; extraído con DPTA (Ácido dietilen triamino pentaacético) relación 1:4 y se determinó por Espectrofotometría de absorción atómica a los 0 y 60 ddt.

D. Material utilizado para el manejo del jal.

Se aplicaron dos tipos de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y estiércol de bovino composteado; el material vegetal utilizado fue girasol (*Helianthus annuus*).

E. Descripción y establecimiento del experimento.

El experimento se llevó a cabo en el invernadero del Departamento de suelos de la Universidad Autónoma Chapingo. Con el material colectado se realizó una muestra homogénea, para posteriormente colocarlo en macetas de 6 kg cada una, se evaluó la aplicación de nutrientes (nitrógeno, fósforo) y composta en las siguientes dosis altas y bajas (Tabla I).

Tabla I. Descripción de dosis aplicadas.

Material	Dosis baja (b)	Dosis alta (a)	
	kg/ha		
Composta	100	200	Estiércol de bovino
Nitrógeno	40	100	Urea
Fósforo	30	100	Superfosfato

Se establecieron ocho tratamientos con cuatro repeticiones lo que hace un total de 32 unidades experimentales (Tabla II).

Tabla II. Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
1	$C_b + N_b + P_b$
2	$C_b + N_b + P_a$
3	$C_b + N_a + P_b$
4	$C_b + N_a + P_a$
5	$C_a + N_b + P_b$
6	$C_a + N_b + P_a$
7	$C_a + N_a + P_b$
8	$C_a + N_a + P_a$

C=composta, N=nitrógeno y P=fósforo; a=dosis alta, b=dosis baja.

La germinación de las semillas se realizó en semilleros con sustrato húmedo (*peat most*) a una profundidad de dos centímetros, el trasplante se realizó a los 15 días de la siembra, en macetas previamente preparadas. Las variables que se evaluaron en el desarrollo de la planta, en un intervalo de cada 15 días, fueron: altura, coloración, vigor de la planta (de manera cualitativa), mientras que el peso seco se determinó al final del experimento.

F. Análisis del tejido vegetal.

Después de realizar la cosecha del material vegetal cada muestra se lavó con agua potable, se separó en hojas, tallo y raíz y se guardaron en bolsas de papel previamente etiquetadas y perforadas, el material se secó a temperatura ambiente y una vez secas se molieron. El análisis del tejido vegetal se realizó por digestión en húmedo y posteriormente se realizó la cuantificación de metales pesados por espectrofotometría de absorción atómica, los metales cuantificados fueron: Cadmio, Cobre, Manganeso, Níquel, Plomo y Zinc.

G. Análisis estadístico.

Para conocer el efecto de cada tratamiento en la acumulación de metales pesados en la planta de girasol y en el suelo, los datos de las diferentes variables se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) y a pruebas de diferencia de medias o de comparaciones múltiples, se utilizó el programa estadístico SAS V 9.3.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Caracterización química del jal de mina.

De acuerdo a la NOM-021-SEMARNAT-2000, el pH obtenido en el jal se considera fuertemente ácido a medianamente alcalino, valores similares se obtuvieron en estudio realizado por Ramos, Avelar, Medel, Yamamoto, Godinez, Ramírez, Guerra y Rodríguez (2012), en tres jales de mina en el estado de Durango, donde se encontró que el pH fue alcalino, mientras que Delfín y Duran (2008), encontraron valores cercanos a la neutralidad a ácidos, el contenido de materia orgánica es baja, valores muy bajos que van de 0.7 a 1.14 fueron reportados por Hernández, Mondragón, Cristóbal, Rubiños y Robledo (2009) para este sitio; mientras que Ramos, Avelar, Medel, Yamamoto, Godinez, Ramírez, Guerra and Rodríguez, (2012) encontraron en el distrito minero de Guanajuato valores que van de muy pobre (0.05%) a pobre (5.96 %), el contenido de fósforo fue medio, valores menores encontraron Hernández, Mondragón, Cristóbal, Rubiños y Robledo (2009) para este mismo sitio, el contenido de nitrógeno fue bajo, mientras que Delfín y Durán (2008) no reportaron valores de N en un jal de mina rico en pirita en el Estado de México, en tanto que los cationes intercambiables fueron altos (Tabla III).

Tabla III. Características químicas del jal de mina.

Muestra	pH	MO %	N -- mg kg ⁻¹ --	P	K	Ca ----- Cmol(+)kg ⁻¹ -----	Mg	Na
1	7.89	0.0	9.3	2.57	240.0	8857.0	616.0	234.0
2	3.49	3.40	18.6	17.38	32.0	3672.0	181.0	96.0
3	7.32	0.13	7.4	12.28	252.0	136.0	215.0	142.0
4	4.7	0.13	27.8	14.12	72.0	3454.0	245.0	143.0

B. Concentración de metales pesados en el jal de mina.

De los metales pesados el manganeso fue el que presentó mayor concentración con un contenido promedio de 65.1 mg kg^{-1} , seguido del zinc con 15.35 mg kg^{-1} , los metales que presentaron contenidos más bajos fueron el cadmio y níquel con un contenido de 0.225 mg kg^{-1} y $0.5308 \text{ mg kg}^{-1}$ respectivamente (Tabla IV).

Tabla IV. Concentración de metales pesados en el jal de mina.

Muestra	Cobre	Plomo	Zinc mg kg-1	Cadmio	Níquel	Manganeso
1	8.68	4.89	27.42	0.29	1.44	0.01
2	9.54	2.16	12.81	0.05	0.61	0.26
3	4.89	4.63	54.29	0.56	0.07	4.66
4	10.92	49.72	165.9	0.00	0.003	0.02
media	8.51	15.35	65.1	0.22	0.53	1.24

Ruiz y Armienta (2012), encontraron valores superiores a estos en un jal de mina en Taxco Guerrero, los valores fueron: para Zn $1731.2 \text{ mg kg}^{-1}$, para Cu 418.3 mg kg^{-1} , para Cd 5.8 mg kg^{-1} y de Pb 6.166 mg kg^{-1} ; de la misma forma Moreno, Téllez y Monroy (2012), encontraron valores superiores en jales del distrito minero de Zimapan en el estado de Hidalgo (para Pb $3934.2 \text{ mg kg}^{-1}$, Zn $11363.2 \text{ mg kg}^{-1}$, Cd 609.4 mg kg^{-1} , Cu 912.7 mg kg^{-1} y Ni 85.4 mg kg^{-1}).

C. Acumulación de metales pesados en tallo, hojas y raíz del girasol.

Los metales que se concentraron en mayor cantidad en el tallo del girasol fueron el Pb, Zn y Cd, la hoja de girasol fue la parte de la planta donde se acumuló la menor cantidad de metales respecto a la raíz y tallo, mientras que la raíz concentró Cu, Ni y Mn en mayor cantidad con respecto al tallo y la hoja (Tabla V).

Resultados similares obtuvieron Garófalo, Estrela, and Sena (2011), en plantas de girasol cultivadas en residuos de mina, las concentraciones de estos metales fueron acumulados en tallos y hojas, en el siguiente orden: Zn > Cd > Cu y Cd > Zn, respectivamente. Herrero, Lopez, Ruiz, Lucas y Barbas (2003) también encontraron que la mayor acumulación de Zn se dio en el tallo de la planta de girasol cuando se cultivó en sustratos contaminados con Cd, Pb y Zn. Rivelli, De Maria, Puschenreiter and Gherbin (2012), revelo que las concentraciones de metales pesados en las raíces siempre excedieron las concentraciones presentes en tallos y hojas.

Para el caso de los metales en la hoja, un estudio realizado por Molahoseini, Feizi, and Seilsepou, (2012), en cultivos de girasol regado con aguas residuales con altas concentraciones de metales pesados, reportaron una alta concentración de Zinc y cobre en las hojas de girasol, el cadmio se presentó en una concentración menor; mientras que Herrero, López, Ruiz, Lucas y Barbas (2003), reportaron mayores concentraciones de Pb en las hojas; de la misma forma un estudio realizado por Puga, Sosa, Lebgue, Quintana y Campos (2006), con vegetación nativa de jales mineros en el estado de Chihuahua contaminados principalmente con Zn y As reportan altas concentraciones de Zinc en las hojas de zacate pata de gallo (*Cynodon dactylon*).

Tabla V. Prueba de Tukey para la concentración de metales en tallo, hoja y raíz de girasol a los 60 ddt.

Tratamiento	Cobre	Plomo	Zinc	Cadmio	Níquel	Manganeso
mg kg ⁻¹						
Acumulación de metales en tallo						
C _b +N _b +P _b	32.50a	20.25b	75.00ba	2.75a	19.25a	498.80ba
C _b +N _b +P _a	33.00a	175.50a	92.50ba	8.00a	33.50a	598.50a
C _b +N _a +P _b	31.50a	16.00b	121.50a	2.50a	35.00a	354.5bac
C _b +N _a +P _a	30.70a	18.75b	61.50ba	0.00a	30.50a	203.80c
C _a +N _b +P _b	34.00a	1.50b	56.25ba	3.50a	28.50a	485.80ba
C _a +N _b +P _a	21.75a	3.50b	85.75ba	0.25a	17.25a	396.50ba
C _a +N _a +P _b	27.00a	0.00b	41.00ba	0.00a	32.00a	187.00bc
C _a +N _a +P _a	42.00a	39.00b	0.00b	0.00a	23.00a	6.00c
Acumulación de metales en hoja						
C _b +N _b +P _b	41.60a	19.90a	114.88a	4.32a	25.15ba	1948.90a
C _b +N _b +P _a	21.55b	0.00a	52.20ba	0.85a	11.25bac	584.10ba
C _b +N _a +P _b	29.50ba	7.30a	45.75ba	0.00a	25.65a	482.50ba
C _b +N _a +P _a	20.97b	0.00a	55.55ba	0.00a	21.20bac	306.80b
C _a +N _b +P _b	18.35b	11.85a	78.03ba	4.90a	15.725bac	803.60ba
C _a +N _b +P _a	14.50b	0.00a	88.38ba	0.50a	9.225bc	836.20ba
C _a +N _a +P _b	16.50b	0.00a	78.10ba	0.00a	25.90a	254.10b
C _a +N _a +P _a	15.20b	0.00a	19.80b	0.00a	6.80c	347.60b
Acumulación de metales en el raíz mg kg ⁻¹						
C _b +N _b +P _b	61.00a	0.00a	44.48ba	4.20a	56.30a	365.00a
C _b +N _b +P _a	40.90a	0.00a	17.75ba	0.00a	27.75a	145.00a
C _b +N _a +P _b	55.85a	0.00a	98.45a	0.00a	71.65a	178.00a
C _b +N _a +P _a	72.55a	0.00a	81.45ba	5.35a	88.58a	129.00a
C _a +N _b +P _b	48.75a	0.00a	47.18ba	0.00a	45.75a	206.00a
C _a +N _b +P _a	96.15a	0.00a	68.33ba	0.05a	105.28a	2564.00a
C _a +N _a +P _b	16.9a	0.00a	4.50b	0.00a	14.80a	127.00a
C _a +N _a +P _a	51.3a	0.00a	44.7ba	0.00a	42.30a	284.00a

Los valores son las medias de cuatro repeticiones por tratamiento; letras iguales no presentan diferencias estadísticamente significativas (Tukey $\alpha \geq 0.05$); C=composta, N=nitrógeno y P=fósforo; _a=dosis alta, _b=dosis baja.

El Cu, Ni y Mn se acumularon en mayor cantidad en esta parte de la planta con respecto al tallo y la hoja. Resultados similares reportaron Garófalo, Estrela and Sena (2011), al estudiar el efecto del Cd, Cu y Zn en el desarrollo del girasol y la concentración de estos en las partes de la planta, los resultados obtenidos mostraron altas concentraciones de Cu en la raíz del girasol con respecto a hojas y tallo; otro estudio realizado por Rivelli, De Maria, Puschenreiter, and Gherbin (2012), con plantas de girasol en suelos contaminados con Cd, Zn y Cu, revelo que las concentraciones de metales pesados en las raíces siempre excedieron las concentraciones presentes en tallos y hojas.

D. Disponibilidad de metales pesados a los 60 días de la siembra.

Al aplicar las composta, N y P, no se tuvieron diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos; sin embargo los datos muestran ligeras diferencias entre cada uno (Tabla VI). El aumento de la concentraciones de los metales se atribuye a los materiales aplicados (composta, N y P), los cuales también pueden ser una fuente de contaminación, según Sánchez (2003), Micó (2005), Peris (2006) y Delgado (2008), los fertilizantes fosfatados pueden aportar de 7 a 225 mg kg⁻¹ de plomo, Cd de 0.1 a 170 mg kg⁻¹, en Cu de 1 a 1300 mg kg⁻¹, Zn de 50 a 1450 mg kg⁻¹, y Ni de 7 a 34 mg kg⁻¹; mientras que los fertilizantes nitrogenados aportan plomo de 2 a 27 mg kg⁻¹, Cd de 0.05 a 8.5 mg kg⁻¹, en Cu de 1 a 15 mg kg⁻¹, y Zn de 1 a 42 mg kg⁻¹, y Ni 7 a 34 mg kg⁻¹; mientras que Díez (2008), Rueda, Rodríguez, and Madriñán, (2011) y Vaquero, Santiago, Quintana, González y Lafuente, (2010), afirman que la entrada de fertilizantes promueve cambios en el pH y los metales tienden a liberarse, la aplicación de N promueve la lixiviación de cationes y aniones y aumenta la disponibilidad de metales, adicionalmente la disponibilidad y la movilidad de estos, se determina por las características particulares de cada suelo, como la cantidad de materia orgánica.

Tabla VI. Interacción composta*nitrógeno*fósforo en la disponibilidad de metales pesados, en comparación con el control.

Tratamiento	Material			----- Metales pesados -----					
	Composta	Nitrógeno	Fósforo	Cu	Zn	Mn	Cd	Ni	Pb
	Kg ha ⁻¹	-----	-----	mg kg ⁻¹	-----	-----	-----	-----	-----
1	100	40	30	5.25	55.22	395.25	1.27	1.20	5.67
2	100	40	100	6.97	63.90	342.87	1.57	1.25	7.67
3	100	100	30	5.85	60.60	272.82	1.37	1.32	5.62
4	100	100	100	7.07	60.57	215.90	1.47	1.17	7.75
5	200	40	30	6.65	52.82	240.87	1.50	1.15	7.45
6	200	40	100	6.10	45.00	295.85	1.52	1.27	6.02
7	200	100	30	6.00	39.95	222.42	1.32	1.12	6.72
8	200	100	100	5.50	40.40	239.72	1.50	1.42	4.7
9	(control)			8.51	15.35	65.10	0.22	0.53	1.24

E. Desarrollo del girasol.

El desarrollo de la planta fue diferente en cada tratamiento, sin embargo en la mayoría se observó un desarrollo lento, estrés fisiológico y muerte de algunas plantas. Las plantas del tratamiento donde se aplicaron dosis bajas para las tres fuentes de nutrientes, el tratamiento cinco donde las dosis de nitrógeno y fósforo fueron bajas y el tratamiento seis con dosis altas de composta y fósforo y baja en nitrógeno, fueron los que mostraron los mejores resultados en cuanto a altura. Los tratamientos dos, tres y cuatro

tuvieron un desarrollo menor, mientras que los tratamientos siete y ocho registraron mortalidad a los 45 días después del experimento; de la misma manera la biomasa total fue proporcional a la altura (Figura 1).

Resultados similares obtuvieron Garófalo, Estrela, and Sena (2011), al estudiar los efectos de los metales pesados (Cd, Cu y Zn) en el desarrollo de la planta de girasol, ellos obtuvieron que las concentraciones altas de estos tuvo efectos significativos en la disminución del crecimiento de la planta y la producción de biomasa foliar; mientras que Gopal y Khurana (2011), al evaluar el efecto de los metales pesados (Co, Ni, Cd, Cr y Pb) en plantas de girasol, obtuvieron que se presentan efectos de toxicidad en el orden Cd>Cr>Ni>Co>Pb; estos efectos fueron: reducción del crecimiento, clorosis, necrosis y posteriormente la muerte de la planta en diferentes tiempos después de la exposición. De la misma forma resultados obtenidos por Simone, Lupino, Antunes and Zezzi (2006), en un experimento con girasol en sustrato contaminado con Cd, Cu, Pb y Zn para evaluar su efecto en la altura y peso de este, demuestran que tanto la altura como la producción de biomasa se vio disminuida en un 35 % y 40% respectivamente, comparadas con el control.

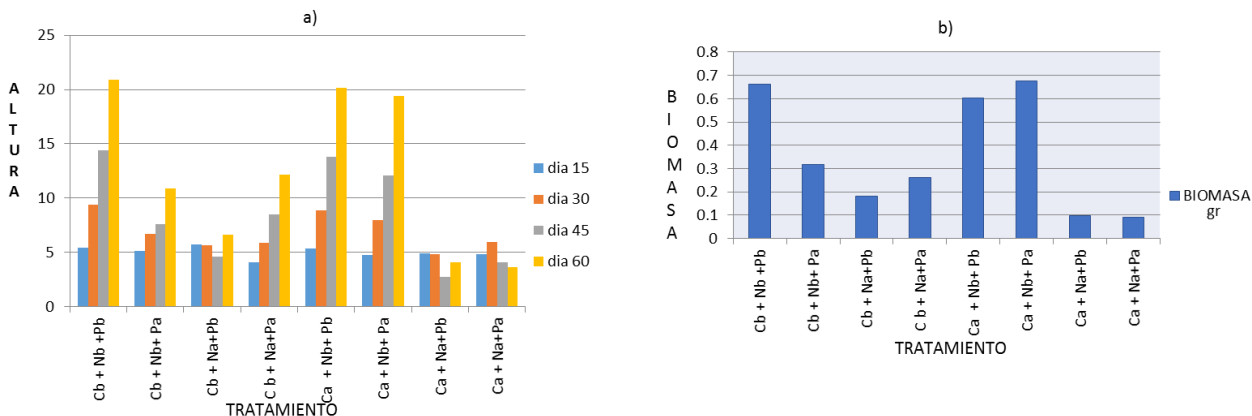


Figura 1. Características morfológicas de la planta: a) altura media en las difs. fechas de muestreo, b) biomasa media final.

CONCLUSION

Las propiedades físicas y químicas de los residuos de mina originaron un desarrollo deficiente de las plantas de girasol (*Helianthus annuus*). Sin embargo, en dichas condiciones la planta fue capaz de acumular metales pesados principalmente en las raíces y tallo. Se recomienda evaluar la capacidad de acumulación de metales pesados de dicha especie en condiciones en campo.

RECONOCIMIENTOS

Este proyecto fue realizado con el apoyo económico de la Universidad Autónoma Chapingo, a través de la Dirección General de Investigación y Posgrado.

REFERENCIAS

[1] Maqueda, A. 2003. Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados. Tesis Profesional en Ciencias Biológicas. Universidad de las Américas Puebla, 99 p.

- [2] Romero, Francisco Martín; Gutiérrez, Margarita Eugenia; Villaseñor, Guadalupe; Armienta, María Aurora; (2008). Factores geológicos y climáticos que determinan la peligrosidad y el impacto ambiental de jales mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, Sin mes, 43-54.
- [3] Volke, T, Velazco J. A. & De la Rosa A. (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados. México: INE-SEMARNAT. pp 27-50.
- [4] Harvey, P. J, Campanella, B. F, Castro P. M. L. Harms H, Lichtfouse E, Schaffner A. R, Smrcek S and Werck-Reichhart D. 2002. Phytoremediation of polyaromatic Hydrocarbons, Anilines and Phenols. *Environmental Science and Pollution Research* 9: 29-47.
- [5] Carpena. R .O. & Bernal P. 2007. Claves de la fitorremediación: Fitotecnologías para la recuperación de suelos. *Ecosistemas*, vol. 16. 1-3
- [6] Chico J., Cerna L., Rodríguez M., Guerrero, M. 2012. Capacidad remediadora de la raíz de girasol *Helianthus annuus* cuando es sometida a diferentes dosis de plomo. *Revista Científica de la facultad de ciencias biológicas*, julio-diciembre 2012. pp 13-19.
- [7] Adesodun, J. K., Atayese, M. O., Agbaje, T. A., Osadiaye, B A., Mafe, O. F., Soretire A. A. 2010. Phytoremediation Potentials of Sunflowers (*Tithonia diversifolia* and *Helianthus annuus*) for Metals in Soils Contaminated with Zinc and Lead Nitrates. *Water Air Soil Pollu*, 207:195–201.
- [8] Hernández, E., Mondragón, E., Cristóbal, D., Rubiños, J. E., Robledo, E. (2009). Vegetación, residuos de mina y elementos potencialmente tóxicos de un jal de Pachuca, Hidalgo, México. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, Vol 15. 2, 109-144.
- [9] Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. 2002. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Protección ambiental. Lodos y biosólidos. Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final. *Diario Oficial de la Federación*. México. Publicada el 13 de agosto de 2003.
- [10] Ramos G, Avelar, J, Medel, R., Yamamoto, L., Godinez, L., Ramírez, M., Guerra, R. & Rodríguez, F. (2012). Movilidad de metales en jales procedentes del distrito minero de Guanajuato, México. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28 (1) 49-59.
- [11] Delfín, A I. & Duran B, M. 2008. El micro biota presente en un desecho minero, como opción de restauración de jales. . *Revista AIDIS, Norteamérica*. Vol 1, 778-178.
- [12] Hernandez, H. A. 2011. Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlan de Juarez Oaxaca. Tesis de licenciatura. Universidad de la sierra Juarez.
- [13] Ruiz, H y Armienta, H. 2012. Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 28 (2) 103-117
- [14] MORENO TOVAR, Raúl, TÉLLEZ HERNÁNDEZ, Jesús, & MONROY FERNÁNDEZ, Marcos G. (2012). Influencia de los minerales de los jales en la bioaccesibilidad de arsénico, plomo, zinc y cadmio en el distrito minero Zimapán, México. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 28(3), 203-218. Recuperado en 20 de septiembre de 2016, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992012000300003&lng=es&tlng=es.
- [15] Garófalo, C. L. H., Estrela, M. A. & Sena de Souza, R. 2011. Effect on plant growth and heavy metal accumulation by sunflower. *Journal of Phytology* 3(12): 04-09.
- [16] Herrero, E. M., Lopez-Gonzalez, A., Ruiz, M. A., Lucas-Garcia, J. A., Barbas, C. (2003), Uptake and distribution of zinc, cadmium, lead and copper in *Brassica napus* var. oleífera and *Helianthus annuus* grown in contaminated soils. *International Journal of Phytoremediation*, 5, 153-167.
- [17] Rivelli, A. R., De Maria, S., Puschenreiter, M. and Gherbin, P. 2012. Accumulation of cadmium, zinc, and copper by *Helianthus annuus* L.: impact on plant growth and uptake of nutritional elements. *Int J Phytoremediation*. 14 (4):320-34.
- [18] Molahoseini, H., Feizi, M. and Seilsepou, M. R. 2012. The concentration of some essential elements and cadmium in sunflower, turnip and forage corn under wastewater irrigation. The 1th International and The 4th National Congress on Recycling of Organic Waste in Agriculture 26 –27 April 2012 in Isfahan, Iran.

- [19] Puga, S., Sosa, M., Lebgue, T., Quintana, C. & Campos, A. (2006). Contaminación por metales pesados en suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, 5(1-2) 149-155.
- [20] Sánchez, M. I. 2003. Determinación de metales pesados en suelos de Medina del Campo – Valladolid: contenidos extraíbles, niveles de fondo y de referencia. Tesis de Doctorado. Universidad de Valladolid. Valladolid. España. 298p. en Rueda,
- [21] Micó, C. 2005. Estudio de metales pesados en suelos agrícolas con cultivos hortícolas de la provincia de Alicante. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España. 508 p en Rueda, G., Rodríguez, J. A. & Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*. 60 (3) pp: 203-218.
- [22] Peris, M. 2006. Estudio de Metales Pesados en Suelos bajo Cultivos Hortícolas de la Provincia de Castellón. Tesis Doctoral. Universidad de Valencia. Valencia. España. 436p en Rueda, G., Rodríguez, J. A. & Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*. 60 (3) pp: 203-218.
- [23] Delgado, D. 2008. Presencia de Flavonoides y Metales Pesados en el Suelo, Aplicando Residuos Agroindustriales Biotransformados de la Caña de Azúcar y el Plátano *Musa spp.* Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira. Tesis Maestría. Suelos y Aguas en Rueda, G., Rodríguez, J. A. & Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*. 60(3) pp: 203-218.
- [24] Diez, F. J. (2008). Fitocorrección de suelos contaminados por metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Departamento de edafología e química agrícola. Universidad de Santiago de Compostela, pp: 32-50.
- [25] Rueda, G., Rodríguez, J. A. & Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*. 60 (3) pp: 203-218.
- [26] Vaquero, C.; Santiago, A.; Quintana, J. R.; González, C.; Lafuente, A. L.2010. Deposición de nitrógeno y metales pesados en ambientes ácidos. Efectos en la salud ambiental. *Schironia*. (9): 18-26, 33.
- [27] Gopal., Rodríguez, J. A. & Madriñán, R. 2011. Metodologías para establecer valores de referencia de metales pesados en suelos agrícolas: Perspectivas para Colombia. *Acta Agronómica*. 60 (3): 203-218.
- [28] Simone, G. J., Lupino, G. P., Antunes, A. R. and Zezzi, A. M. A. 2006. Metal Contamination Effects on Sunflower (*Helianthus annuus* L.) Growth and Protein Expression in Leaves During Development. *J. Agric. Food Chem.*, 54 (22), pp 8623–8630