



Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados

Phytoremediation with corn (*Zea mays* L.) and Stevia compost on soils degraded by contamination with heavy metals

Rubén Munive Cerrón^{1,2,*}; Oscar Loli Figueroa¹; Andrés Azabache Leyton²; Gilberto Gamarra Sánchez²

¹ Universidad Nacional Agraria La Molina, Av. La Molina s/n, Lima, Perú.

² Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.

Received April 30, 2018. Accepted November 23, 2018.

Resumen

Con la finalidad de reducir la contaminación por metales pesados en los suelos del centro del país, decidimos observar el efecto de las enmiendas orgánicas (compost y vermicompost de Stevia). Se realizó el presente trabajo utilizando maíz como planta fitorremediadora. Para ello se emplearon los suelos agrícolas de las localidades Mantaro y Muqui del valle del Mantaro, cuyos contenidos de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el suelo superan el Estándar de Calidad Ambiental (ECA) de suelos del Perú. Los resultados indican que los suelos de la localidad de Muqui, contienen la mayor cantidad de Pb y Cd, presentando efectos negativos como un menor rendimiento de materia seca de hojas, tallos y raíces del maíz, además, de un desarrollo más lento. La planta de maíz absorbe los metales pesados del suelo como lo demuestra la mayor acumulación de plomo y cadmio en la raíz de ésta, confirmando que la aplicación de las enmiendas orgánicas contribuye a solubilizar el Pb y Cd del suelo. Sin embargo, el vermicompost de Stevia fue más efectivo absorbiendo los metales pesados del suelo. Los cálculos del Factor de Bioconcentración (FBC) y de Translocación (FT), indican que el maíz es una planta exclusora o estabilizadora.

Palabras clave: enmienda orgánica; plomo; cadmio; factor de bioconcentración; factor de translocación.

Abstract

With the objective to reduce the heavy metals contamination of the soils in the center of the country, we decide to observe the effect of organic amendments (compost and vermicompost of Stevia). The present work was carried out using corn as a phytoremediating plant. The agricultural soils (Mantaro and Muqui of the Mantaro valley's localities) containing the greatest amounts of lead (Pb) and cadmium (Cd) and surpassing the Peruvian Environmental Quality Standards (SQE), were used. The Muqui soils contained the greatest amount of Pb and Cd, presenting negative effects such as a lower yield of leaves dry matter, stems and corn roots, in addition to a slower development. The corn absorbs the heavy metals from the soil as evidenced by the greater accumulation of lead and cadmium in the corn roots, thus confirming that the organic amendments contributes to solubilize the soil's Pb and Cd. However, the Stevia's vermicompost was more effective at absorbing the heavy metals from the soil. Calculations of bioconcentration Factor (BCF) and translocation (TF) indicate that corn is a plant exclusionary or stabilizing.

Keywords: organic amendment; lead; cadmium; bioconcentration factor; translocation factor.

1. Introducción

La contaminación del suelo con metales pesados, debido a la descarga de desechos mineros no tratados, es una amenaza importante para la integridad

ecológica y el bienestar humano (Ávila *et al.*, 2018). Es un problema que ha ido en aumento debido principalmente a actividades antrópicas. Entre las principales fuentes de contaminación se encuentran la

* Corresponding author
E-mail: rmunive21@hotmail.com (R. Munive).

minería, la metalúrgica, la agricultura, los vehículos automotores y el aporte natural en ciertos acuíferos (Covarrubias y Cabriales, 2017).

La minería es una de las principales causas de la contaminación ambiental por metales pesados, debido principalmente al manejo inadecuado de sus residuos denominados “jales mineros”, lo que ocasiona problemas de contaminación en estados como Zacatecas, San Luis Potosí, Guerrero y Sonora. (Yáñez *et al.*, 2003; Meza-Figueroa *et al.*, 2009; Mireles *et al.*, 2012; Cortés-Jiménez *et al.*, 2013). Como resultado de la explotación minera, se genera continuamente gran cantidad de residuos o jales. Estos se caracterizan generalmente por presentar concentraciones muy elevadas de diversos elementos potencialmente tóxicos (EPT) que pueden ser tóxicos (Zn, Cd, As, Cu, entre otros (Sánchez-López *et al.*, 2017).

Las aguas del río Mantaro utilizada en el riego de suelos agrícolas en el valle del Mantaro presentan concentraciones por encima del límite máximo permisible de arsénico, cadmio, cobre, cromo, plomo y zinc; es así que han sido encontrados elevados contenidos de arsénico, cadmio y plomo en los suelos, tal como lo confirman estudios efectuados por la Pontificia Universidad Católica del Perú, con presencia de elementos pesados por encima de límites permitidos (Cerrón, 2009).

Se entiende que recuperar suelos degradados es restablecer sus principales funciones biológicas, físicas y químicas, para lo que se puede utilizar diferente métodos y estrategias, entre estas la incorporación de enmiendas orgánicas de los residuos de las actividades agrícolas como el compost y el vermicompost (Porta *et al.*, 2013; Delgado-Moreno y Peña, 2009; Melgarejo, 1997; Orozco *et al.*, 2016), técnicas biológicas y el uso de la materia orgánica como el estiércol, compost y abono verde (Sastre-Conde *et al.*, 2015).

La fitorremediación es una tecnología emergente basada en plantas superiores y microorganismos asociados al a rizósfera, que constituye una opción para la remoción in situ o ex situ de contaminantes. En ecosistemas naturales las plantas actúan como filtros que buscan remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar, concentrar o estabilizar contaminantes (orgánicos e inorgánicos) en suelo, lodos, agua y sedimentos (Machado, 2007; Cho *et al.*, 2008; Alarcón y Ferrara, 2013). Asistida con enmiendas orgánicas es un procedimiento eficaz para reducir la biodisponibilidad de los Elementos Potencialmente

Tóxicos (EPTs), tanto en suelos contaminados como en residuos de mina. Además de la inmovilización de EPTs en el suelo, las enmiendas pueden mejorar la fertilidad del residuo mediante incremento del pH, contenido de materia orgánica y la actividad biológica, que facilitan el establecimiento de plantas (Branzini y Zubillaga, 2010).

La implementación de técnicas de fitorremediación es recomendable, debido a que generalmente no altera los ecosistemas, se realiza sin atender contra ellos, es una técnica pasiva, amigable y sostenible con el ambiente; y se puede usar junto con métodos mecánicos tradicionales o en algunos casos en reemplazo de ellos (Bernal, 2014). La adición de materiales orgánicos también se ha analizado como enmiendas útiles en la estabilización de EPTs, como el caso de estiércol, compost y vermicompost (Carrillo-González *et al.*, 2014).

Por estas razones en el presente estudio experimental, se buscó solubilizar los elementos contaminantes (Plomo y Cadmio) presentes en el suelo agrícolas del valle del Mantaro con enmiendas orgánicas como el compost y vermicompost de Stevia a fin que puedan ser extraídos por fitorremediadoras como el cultivo de maíz, de esa manera efectuar la descontaminación de los suelos agrícolas. Siendo los objetivos evaluar el efecto de la aplicación de compost y vermicompost a base de Stevia sobre los metales pesados y la fertilidad de los suelos agrícolas del valle del Mantaro con la aplicación de la técnica de fitorremediación, utilizando el maíz; se determinó la extracción de los elementos pesados del suelo, evaluando la capacidad de fitorremediación del maíz para acumular metales pesados (cadmio y plomo) en interacción con las enmiendas orgánicas.

2. Materiales y métodos

Zona de estudio

La investigación se llevó a cabo a una altura de 230 m.s.n.m., en la Universidad Nacional Agraria la Molina, ubicada en el distrito de La Molina, provincia de Lima, Perú (latitud sur 12°05'06'' y longitud oeste 76°75'00''). Variación de temperatura promedio de 14,6 °C a 28,7 °C, y precipitación promedio anual de 60 mm (Vega y Mejía, 2017).

Componentes del estudio

Planta fitorremediadora: Maíz (*Zea Mays*) Variedad Cuzqueado - Hualhuas.

Suelos contaminados: Se seleccionó dos suelos agrícolas contaminados por metales pesados en el valle del Mantaro; en base a

un muestreo previo en las márgenes derecha e izquierda que usan las aguas del río Mantaro para su riego. Se eligieron seis lugares distribuidos a lo largo del valle del Mantaro; en la margen derecha: Muqui, Orcotuna y Mito; margen izquierda: Mantaro, Matahuasi y San Jerónimo. Los análisis realizados el contenido de plomo y cadmio de los suelos de la margen derecha (Muqui, Orcotuna y Mito) superan el ECA de suelos del Perú. En la margen izquierda (Mantaro, Matahuasi y San Jerónimo) se encontró que el contenido de plomo supera al ECA solo la localidad del Mantaro, en cambio se observa que en el contenido de cadmio superan el ECA en todos los lugares. En la margen izquierda los suelos agrícolas se encuentran ubicadas relativamente alejadas del río Mantaro; ambas Márgenes son irrigadas con las aguas del río Mantaro a través de los canales de irrigación Plan MERIS (Margen Derecha) y CIMIR (Margen Izquierda). En base a los resultados se eligieron los suelos agrícolas de las localidades: Mantaro (Margen Izquierda), 3349 msnm, coordenadas UTM Zona 18 WGS 84, Este (m) 458051 Norte (m) 8692416 y Muqui (Margen Derecha), 3340 msnm, Este (m) 452900 Norte (m) 8692818 para el trabajo en Macetas.

Asimismo, al respecto Wang *et al.* (1992) menciona que, la contaminación en suelos por metales pesados ocurre cuando estos son irrigados con aguas procedentes de desechos de minas, aguas residuales contaminadas de parques industriales y municipales y filtraciones de presas de jales; siendo las aguas procedentes de desechos de minas la causa de la contaminación de los suelos agrícolas del valle del Mantaro.

Tabla 1
Análisis de caracterización de los Suelos Agrícolas

Características	Unidad	Mantaro	Muqui
Clase textural	--	Franco Arcilloso	Franco Arenoso
pH 1:1	--	7,30	7,85
C. E.	dS/m	0,18	0,38
CaCO ₃	%	0,00	15,70
M. O.	%	3,56	2,30
P disponible	mg/kg	29,7	15,80
K disponible	mg/kg	239,00	149,00
CIC total	meq/100	20,00	11,20
Saturación de bases	%	100,00	100,00
Ca	mg/kg	17,08	9,57
Mg	mg/kg	2,37	1,23
K	mg/kg	0,47	0,33
Na	mg/kg	0,09	0,07
Pb	mg/kg	208,24	1174,44
Cd	mg/kg	6,76	8,26

Fuente: Análisis de LSPAF de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.

Se observa en la **Tabla 1** que presentan diferente textura; el suelo del Mantaro textura fina (Franco Arcilloso) mientras que el suelo de Muqui textura gruesa (Franco Arenoso) característica que sirvió para evaluar el comportamiento de la planta fitorremediadora, el pH de ambos suelos son alcalinos: Mantaro 7,30 (Ligeramente) y Muqui 7,85 (Moderadamente), ambos suelos agrícolas presentan un contenido medio de materia orgánica que favoreció para evaluar el efecto de las enmiendas orgánicas (compost y vermicompost de Stevia), los contenidos de nutrientes N, P y K ambos lugares presentan contenidos de medio, alto y medio respectivamente; asimismo se observa que los contenidos de plomo y cadmio superan el ECA de suelos establecidos para el Perú con un contenido muy alto en plomo en el suelo de la localidad de Muqui respecto al suelo de la localidad del Mantaro, esta diferencia permitió observar el comportamiento de la planta fitorremediadora, el contenido de cadmio del suelo de la localidad de Muqui es ligeramente superior al suelo de la localidad de Mantaro.

Enmiendas orgánicas

Compost de Stevia: proveniente del Distrito de Pichanaqui – Junín – Perú.

Vermicompost de Stevia: proveniente del INIA Santa Ana Huancayo – Perú.

La dosis de aplicación fue al 2 por ciento (20 g por kg de suelo).

Tabla 2
Análisis de caracterización de las enmiendas orgánicas

Características	Unidad	Compost	Vermicompost
pH	--	7,23	6,82
C. E.	dS/m	1,31	1,87
M. O.	%	20,18	29,55
N	%	0,81	1,10
P ₂ O ₅	%	0,52	1,09
K ₂ O	%	0,41	0,38
CaO	%	1,61	2,30
MgO	%	0,32	0,49
Hd	%	23,58	39,74
Na	%	0,02	0,02
Pb	mg/kg	31,08	35,10
Cd	mg/kg	39,25	39,25

Fuente: Análisis de LSPAF de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú.

Se observa en la **Tabla 2**, diferencias entre los valores de análisis para las enmiendas orgánicas siendo superior el vermicompost en los diferentes parámetros analizados, excepto en pH lo que permitió observar un comportamiento diferente al ser incorporados a los suelos agrícolas contaminados para la fitorremediación propuesta con el maíz.

Las diferencias en los parámetros de las enmiendas orgánicas pueden obedecer a diferentes factores relacionados con la producción del vermicompost, pues la disponibilidad de los nutrientes en los abonos orgánicos no depende de su contenido total en el material, sino de la dinámica del proceso y la temperatura alcanzada que permite el desarrollo de organismos especializados; así algunos elementos pueden llegar a estar más disponibles por efecto del pH, de la humedad y la aireación. De acuerdo con estos resultados, el vermicompost presenta mejores índices de calidad: menor pH y una mayor humedad retenida, y se establece como un sustrato más adecuado para los propósitos agronómicos según [Melgarejo et al. \(1997\)](#). Esto además coincide con los resultados de otros autores que manifiestan que: el menor pH en el vermicompost puede deberse a la mineralización de los compuestos de N y P, la liberación de CO₂ y ácidos orgánicos del metabolismo microbiano, y la producción de ácidos húmicos y fúlvicos ([Fornes et al., 2012](#)), la descarboxilación inicial de los ácidos orgánicos, la formación de amonio a partir de la degradación de las proteínas ([Tognetti et al., 2005](#)).

Cultivo de maíz y toma de datos

Se colocaron 5 semillas de maíz por macetero (4 kg. de capacidad); luego de la germinación y el establecimiento de las plantas se dejó solo tres plantas por maceta. Con la finalidad de asegurar los nutrientes básicos para un desarrollo normal de las plantas se realizó una fertilización a todos los tratamientos con una dosis de 200 mg/kg N, 100 mg/kg P₂O₅ y 200 mg/kg de K₂O, utilizando como fuentes a la Urea (46% N), Superfosfato triple (46% P₂O₅) y Cloruro de Potasio (60% K₂O) y fueron aplicadas diluidas al inicio de crecimiento, solo para el nitrógeno se fraccionó en 2 partes. Se realizaron labores culturales necesarias las remociones periódicas del suelo para evitar la compactación de los suelos en la parte superior del macetero así como control de malezas. Los riegos fueron periódicos de acuerdo a la necesidad del cultivo y manteniendo a capacidad de campo. Se cosechó manualmente cuando alcanzó su madurez fisiológica se tuvo en cuenta la aparición de la inflorescencia masculina (panoja) que fue en 4 meses.

Se evaluó la altura de planta cada semana después de la emergencia del cultivo, en tres plantas de cada macetero, considerándose la altura desde la base del

tallo hasta la parte apical del tallo principal. Al momento de la cosecha se obtuvo por separado peso de las hojas, tallos y raíces en cada maceta. Se tomaron las lecturas de peso en fresco con la ayuda de una balanza digital (Sartorius CP323 S), luego fueron llevados a la estufa (Venticell LSIS-B2V/VC 222), por 24 horas a una temperatura promedio de 75 °C, para obtener materia seca.

Diseño experimental y procedimiento estadístico

El Diseño Experimental utilizado fue Completamente al Azar (DCA) con 3 Tratamientos (T1: Compost de Stevia, T2: Vermicompost de Stevia y T3: Químico) y 3 repeticiones por cada localidad, para la interpretación de resultados se compararon los tratamientos de ambas localidades: Mantaro (MA) y Muqui (MU).

Se realizó el Análisis de Varianza (ANOVA) en interacción entre ambas localidades con el programa estadístico InfoStat al encontrarse diferencias significativas entre los tratamientos, se aplicó la prueba DUNCAN ($\alpha=5\%$).

3. Resultados y discusión

Efecto en la altura de las plantas de maíz

En la [Tabla 3](#), se observa que los tratamientos aplicados a los suelos de la localidad del Mantaro (MA T2 y MA T1) presentan los mayores valores de altura de planta estadísticamente significativas a los obtenidos por los tratamientos de localidad de Muqui (MU T2, MU T1 y MU T3), los tratamientos aplicados a los suelos de la localidad del Mantaro presentan un mayor desarrollo, ello puede explicarse porque el suelo de Mantaro tiene un mayor potencial nutricional relacionado con los valores de pH, Materia orgánica, Nitrógeno, Fosforo, Potasio así como el valor de CIC del suelo, paralelamente a una menor concentración de elementos contaminantes de Pb y Cd en el suelo ([Tabla 1](#)).

Tabla 3

Prueba de comparación múltiple de Duncan para altura de planta (cm)

O. de M.	Tratamientos	Promedio (cm)	Significación
1	MA T2 (Vermicompost)	124,89	A
2	MA T1 (Compost)	119,67	A
3	MA T3 (Químico)	108,77	AB
4	MU T2 (Vermicompost)	97,22	BC
5	MU T1 (Compost)	89,33	BC
6	MU T3 (Químico)	86,33	C

*Localidades: Mantaro (MA) y Muqui (MU)

Asimismo debido a las mejores condiciones físico-químicas que posee el suelo de la localidad de Mantaro, permite a la planta

paralelamente una mayor absorción de nutrientes, mayor actividad bioquímica dentro de la planta (Atiyeh *et al.*, 2000), aun cuando también se pueden relacionar con la actividad hormonal y con los microorganismos del suelo, muchos de los cuales se encuentran en el vermicompost y compost, suministra todos los nutrientes necesarios para un buen desarrollo de las plantas y tiene el potencial de afectar de forma positiva su crecimiento, (Beltrán-Morales *et al.*, 2016).

Por otro lado, se observa que el suelo de la Localidad de Muqui (Figura 1) presenta la menor de altura de planta siendo el tratamiento MU T3 (Químico) con 86,33 cm el de menor tamaño, posiblemente por la presencia de mayores valores de contaminantes en metales pesados (plomo y cadmio), lo que influyó en el crecimiento del cultivo de maíz.



Figura 1. Altura de plantas de maíz. (Tratamientos MU T1, MU T2, MU T3). Localidad: Muqui.

Efecto en el peso de materia seca de hojas, tallos, raíces y total de las plantas

En la evaluación de Materia Seca de las Hojas (Figura 2), según la prueba de significación de Duncan los resultados nos indican que, en el suelo de la localidad del Mantaro, el Tratamiento MA T2 (Vermicompost) supera estadísticamente a los tratamientos MA T1 y MA T3, en el suelo de la localidad de Muqui el Tratamiento MU T2 (Vermicompost) supera a los tratamientos MU T1 y MU T3.

En la evaluación de materia seca de los Tallos (Figura 3), se aprecia la misma tendencia que para la materia seca de hojas, el Tratamiento de la localidad de Mantaro MA T2 (Vermicompost) presenta el

mayor promedio con 53,64 g, sin superar estadísticamente a los tratamientos MA T1 y MA T3.

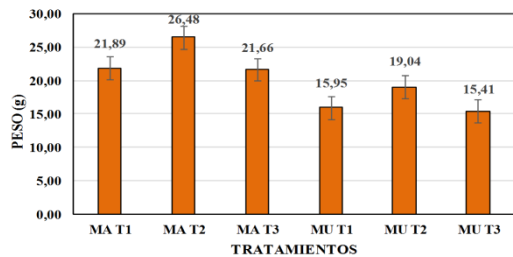


Figura 2. Materia Seca (g) de las Hojas de Maíz. Localidades: Mantaro y Muqui.

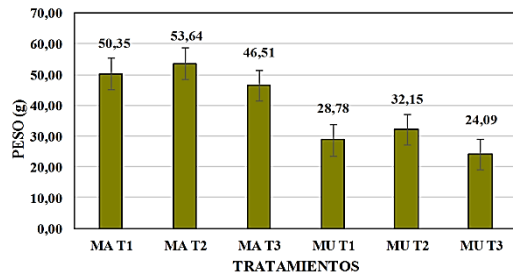


Figura 3. Materia Seca (g) de los Tallos de Maíz. Localidades: Mantaro y Muqui.

Además, se observa que los tratamientos en el suelo de la localidad del Mantaro superan estadísticamente a los tratamientos de la localidad de Muqui, siendo el Tratamiento de la localidad de Muqui MU T2 (Vermicompost) quien supera en promedio con 32,15 g a los tratamientos MU T1 y MU T3. Al respecto Jaurixje *et al.* (2013); Castelo-Gutiérrez *et al.* (2016) mencionan que las enmiendas acondicionan al suelo para que la planta pueda absorber mayor cantidad de nutrientes, la presencia de microorganismos y enzimas en el compost y vermicompost permiten entregar mejores condiciones para una mayor disponibilidad de nutrientes.

Respecto a los resultados en la evaluación de materia seca de raíces (Figura 4), se observa que el Tratamiento MA T2 (Vermicompost) de la localidad del Mantaro con 19,42 g supera estadísticamente a los demás tratamientos incluidos todos los tratamientos de la localidad de Muqui, en ambas localidades los tratamientos Químicos MA T3 y MU T3 se ubican en el último lugar para cada localidad evidenciándose el efecto de las enmiendas orgánicas. Al respecto (Laich, 2011) menciona, agregar compost al suelo provoca diversos efectos benéficos como el aporte de nutrientes, estimula el desarrollo radicular e incorpora microorganismos beneficiosos al suelo implicados en el ciclo de diferentes nutrientes.

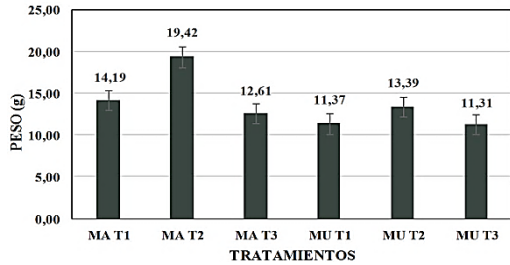


Figura 4. Materia Seca (g) de las Raíces de Maíz. Localidades: Mantaro y Muqui.

Al evaluar el peso total (Hoja, Tallos y Raíces) para obtener Materia Seca Total (Figura 5), se observa que el tratamiento MA T2 (Vermicompost) de la localidad del Mantaro presenta el mayor valor con 99,55 g. superando estadísticamente a los demás tratamientos, en ambas localidades, las enmiendas orgánicas (compost y vermicompost) superan al tratamiento 3 (Químico), este mayor peso de Materia seca total de planta nos indica que hubo los mayores valores de absorción de elementos nutritivos y metales pesados. Se aprecia un efecto favorable de las enmiendas orgánicas utilizadas compost y vermicompost que permite una mayor cantidad de materia seca total.

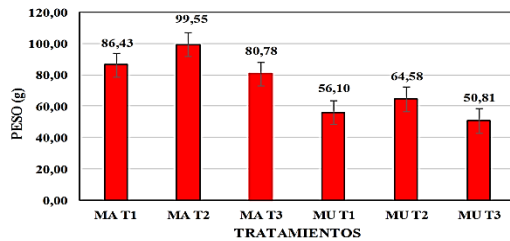


Figura 5. Materia Seca (g) Total de Maíz. Localidades: Mantaro y Muqui.

En la búsqueda de alternativas de desarrollo sostenible, procesos como el compostaje, el vermicompostaje y los productos derivados de los mismos han adquirido un especial auge por su capacidad de restituir al suelo una cierta proporción de materia orgánica para mejorar sus propiedades físicas, químicas y biológicas (Castelo-Gutiérrez et al., 2016).

Asimismo, estos resultados coinciden con otros investigadores como, Hernández (2011) quien encontró un mayor rendi-

miento de materia seca en plantas de tomate en los tratamientos con compost y vermicompost sin presentar diferencias significativas entre estos, en tanto que los menores rendimientos los obtuvo con el testigo. Asimismo Tognetti et al. (2005) señalan que, cuando se aplicaron compost y vermicompost al suelo degradado y se sembraron con ryegrass, se produjeron rendimientos significativamente mayores en comparación con los controles; que esta mejora se debió a que las enmiendas orgánicas favorecieron al incremento del pH en el suelo, la reducción de la acidez, el incremento de la disponibilidad de (Ca, Mg, K, N, y P), favoreció la capacidad de intercambio catiónico efectiva (CICE) y el porcentaje de materia orgánica. Para Beltrán-Morales et al. (2016) las enmiendas suministran todos los nutrientes necesarios para el buen desarrollo del cultivo.

Al comparar el peso de materia seca total del maíz de ambas localidades Mantaro y Muqui, se observa que los mayores valores de materia seca total en promedio fueron de la localidad del Mantaro aproximadamente en un 40 por ciento; además también se debe tener en cuenta que en la evaluación final (cosecha) del cultivo de maíz, la localidad de Muqui requirió dos semanas adicionales para que alcance el máximo desarrollo vegetativo para la cosecha inicio de floración (aparición de panoja); es decir que en el suelo de Mantaro el cultivo de maíz requirió menor tiempo para alcanzar su máximo crecimiento (Figura 6).



Figura 6. Plantas del Maíz próximas a la cosecha en ambas localidades Mantaro (en floración) y Muqui (inicio de floración).

Tabla 4 Extracción de plomo y cadmio (mg/kg) por el cultivo de maíz

Tratamientos	Plomo (mg/kg)				Cadmio (mg/kg)			
	Hojas	Tallos	Raíces	Total	Hojas	Tallos	Raíces	Total
MA T1 (Compost)	7,60	3,35	36,95	47,90	0,65	0,35	8,55	9,55
MA T2 (Vermicompost)	9,25	4,38	56,04	69,67	0,45	0,38	13,31	14,14
MA T3 (Químico)	7,13	4,40	70,98	82,51	1,05	0,60	13,50	15,15
MU T1 (Compost)	10,28	4,98	192,88	208,14	1,15	0,25	4,73	6,13
MU T2 (Vermicompost)	10,30	6,03	379,50	395,83	0,25	0,23	7,23	7,71
MU T3 (Químico)	14,90	11,33	309,25	335,48	0,24	0,28	6,45	6,97

Efecto en la extracción de los metales pesados por las plantas

En la [Tabla 4](#) se observa, respecto a las concentraciones de plomo en los órganos (hojas, tallos y raíces) de la planta de maíz, que acumula mayor cantidad de plomo en las raíces (80 por ciento), hojas (15 por ciento) y tallos (5 por ciento) como promedio de todos los tratamientos.

Se observa que ante un mayor contenido de plomo en el suelo como en la localidad de Muqui con menor CIC y % Arcilla (ver [Tabla 1](#)) es donde la planta de maíz presenta los mayores valores de acumulación de plomo explicado por el fenómeno de absorción de flujo de masas siendo en las raíces (93 por ciento), hojas (5 por ciento) y tallos (2 por ciento), las enmiendas orgánicas contribuyen a una mayor extracción como es el caso del tratamiento MU T2 (Vermicompost) de la localidad de Muqui con 395,83 mg/kg de Pb para el total de extracción. Esta mayor acumulación de plomo por las raíces coincide lo reportado por otros autores como [Malkowski *et al.* \(2005\)](#) quienes demostraron que la raíz es el órgano donde se acumula el plomo, en forma de Plomo-Fosfato, dado que este estimula el engrosamiento de la pared celular. No obstante, se ha demostrado recientemente que parte del flujo de metales pesados, al menos en el caso del Pb puede quedar retenido en la pared celular por la estructura de lignina y celulosa ([Marmioli *et al.*, 2005](#)). Al respecto, [Brennan y Shelley \(1999\)](#) demostraron que el proceso de absorción y de entrada de metales en el maíz se realiza vía simplástica en la raíz, pasando hacia el tallo por los tejidos xilemáticos hasta llegar a la hoja, donde puede regresar a la raíz vía floema. De acuerdo con el modelo planteado, se asume la precipitación del plomo en forma Plomo-Fosfato, en el interior de los tejidos vegetales como uno de los principales mecanismos en este sistema de absorción. [Falcón \(2017\)](#) observó que el cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc, se acumuló predominantemente en las raíces y en las hojas: hierro, manganeso y zinc encontrándose los niveles más bajos

en semillas resultados similares encontrados por [Yankov y Tahsin \(2001\)](#). Además, se menciona que el cadmio en el maíz se almacena principalmente en la raíz y en las hojas.

El plomo o el cadmio en los suelos puede tener un origen natural o antrópico, pero independientemente de ello las plantas lo absorben y puede acumularlo en distintas estructuras y proporciones ([Londono-Franco *et al.*, 2016](#); [Covarrubias y Cabriales, 2017](#)).

Por otro lado en la [Tabla 4](#), respecto a los resultados de extracción de cadmio se observa que la planta de maíz al igual que en el caso de plomo acumulan mayor cantidad en las raíces (91 por ciento) respecto a hojas (6 por ciento) y tallos (3 por ciento) como promedio en todos los tratamientos sin embargo se observa que el cadmio presenta un comportamiento diferente respecto al plomo ya que ante una ligera menor presencia de cadmio como en el suelo localidad de Mantaro es donde existe una mayor movilidad del cadmio en el suelo, lo cual es facilitado por sus características de tener mayor CIC y % de arcilla (ver [Tabla 1](#)), el cultivo de maíz presenta los mayores valores de extracción de cadmio siendo inclusive el tratamiento MA T3 (Químico) de la localidad de Mantaro quien presenta la mayor extracción con 15,5 mg/kg de Cd; al respecto [Mahdy *et al.* \(2007\)](#) comentan que algunos cultivos como el de maíz, cuando crece en un suelo típicamente arcilloso como el suelo de la localidad del Mantaro, tienen una capacidad asimilativa más alta de absorción de Cd, Ni, Pb y de Cu que en otros suelos y que marcan la diferencia también con otros cultivos. Asimismo, [Li *et al.* \(1994\)](#) comentan que la absorción de Cd no es regulada por límites fisiológicos (demanda de la planta) y la absorción de Cd es mayor con el aumento de las concentraciones de Cd de suelo. Estudios experimentales en que el Cd se administra como sal con Cd⁺² muestran que la absorción aumenta linealmente con el Cd del suelo siempre que todas las demás propiedades suelo permanecen constantes.

Tabla 5

Factor de Bioconcentración (FBC) y Factor de Translocación (FT) para Plomo

Tratamientos	Pb (mg/kg)		FBC	Pb (mg/kg)		FT
	AEREA	SUELO		AEREA	RAICES	
MA T1 (Compost)	10,95	220,96	0,05	10,95	36,95	0,30
MA T2 (Vermicompost)	13,63	187,50	0,07	13,63	56,04	0,24
MA T3 (Químico)	11,53	173,90	0,07	11,53	70,98	0,16
MU T1 (Compost)	15,26	1854,16	0,01	15,26	192,88	0,08
MU T2 (Vermicompost)	16,33	1703,77	0,01	16,33	379,50	0,04
MU T3 (Químico)	26,23	2114,28	0,01	26,23	309,25	0,08

Tabla 6

Factor de Bioconcentración (FBC) y Factor de Translocación (FT) para Cadmio

Tratamientos	Cd (mg/kg)		FBC	Cd (mg/kg)		FT
	AEREA	SUELO		AEREA	RAICES	
MA T1 (Compost)	1,00	7,60	0,13	1,00	8,55	0,12
MA T2 (Vermicompost)	0,83	7,24	0,11	0,83	13,31	0,06
MA T3 (Químico)	1,65	7,29	0,23	1,65	13,50	0,12
MU T1 (Compost)	1,40	9,25	0,15	1,40	4,73	0,30
MU T2 (Vermicompost)	0,48	8,98	0,05	0,48	7,23	0,07
MU T3 (Químico)	0,52	9,43	0,06	0,52	6,45	0,08

Se observó (Tabla 4) que las enmiendas orgánicas contribuyen en alguna medida a una mayor extracción de cadmio como en el caso de la localidad de Mantaro, el tratamiento MA T2 (Vermicompost) con 14,14 mg/kg de Cd y en la localidad de Muqui el Tratamiento MU T2 (Vermicompost) con 7,71 mg/kg de Cd, lo cual es favorecido por la exudación de mucilagos que forman una capa externa a la raíz (mucigel), también favorece la complejación de metales pesados como el Cd, Cu y Pb (Navarro-Aviñón *et al.*, 2007).

Efecto en los factores de bioconcentración (FBC) y translocación (FT) de los metales pesados

Para determinar si una especie vegetal podría ser utilizada en un tratamiento de fitorremediación, se tienen que tomar en cuenta los siguientes parámetros: el factor de bioconcentración (FBC) y el factor de translocación (FT) (Olguín y Sánchez-Galván, 2012; Ali *et al.*, 2013). Se menciona que cuando el FBC y FT (ambos) son mayores a 1, la planta se clasifica como acumuladora. Si el FBC y FT son menores de 1, es una planta excluyente (González-Chávez *et al.*, 2017).

De acuerdo a los resultados al realizar los cálculos de Factores de Bioconcentración (FBC) y Translocación (FT) de los metales pesados plomo y cadmio por las plantas de maíz (Tabla 5 y 6), se observa que en todos los tratamientos y en ambas localidades presentan valores < 1, lo que califica al maíz como una planta excluyente o estabilizadora.

Similares resultados reporta Falcón (2017) quien concluye que, si el FBCaérea < 1 la planta es acumuladora; si el FBCaérea > 10 la planta es hiperacumuladora. Bajo este principio, en el trabajo de investigación deducimos que la *Zea mays L.* es una planta excluyente de metales pesados como el cadmio, cobre, hierro, manganeso, plomo y zinc.

Comúnmente, para la elección de especies vegetales útiles en la remediación, las variables de interés que se han utilizado son la concentración de Elementos Potencialmente Tóxicos (EPT) en la parte

aérea y radical, y los factores de bioacumulación. De esta forma, si se opta por la fitoestabilización se recomienda que las plantas sean excluyentes de ETP (o que acumulen muy bajas concentraciones) en su parte aérea. Con esto se busca que la mayor concentración de los ETP esté inmovilizada en la rizósfera (parte de influencia de la raíz) o en la raíz misma (González-Chávez *et al.*, 2017); como ocurre con el cultivo del maíz en el presente estudio.

La problemática derivada de la alta disponibilidad de los metales pesados en el suelo es su acumulación en las plantas, debido al contacto directo del tejido radical con el suelo contaminado. Dentro de la planta, los metales pesados pueden acumularse en la raíz o ser transportados al tejido aéreo (tallos y hojas), donde son incorporados a las cadenas tróficas a través de la herbivoría (Covarrubias *et al.*, 2015).

4. Conclusiones

Las enmiendas orgánicas: compost y vermicompost de Stevia contribuyen a la solubilización de los metales pesados (Pb y Cd) para una mejor absorción, el vermicompost contribuye a que la planta de maíz presente mayor altura, peso de hojas, tallos y peso de raíces, en ambas localidades, en las raíces se presentan los mayores valores de extracción de plomo y cadmio, el maíz extrae mayor cantidad de plomo cuando el suelo presenta mayor contenido en el suelo, asimismo extraen mayor cantidad de cadmio cuando el suelo presenta menor contenido, influenciado además por características del suelo; en base a los valores de los factores de Bioconcentración (FBC) y Translocación (FT) la planta de maíz se comporta como una planta excluyente o estabilizadora. Se recomienda llevar el trabajo experimental a nivel de campo hasta completar el ciclo vegetativo para comprobar in situ los resultados obtenidos además permitirá evaluar la translocación de metales pesados a la mazorca del maíz sobre todo en suelos con altos contenidos de metales pesados.

Referencias bibliográficas

- Alarcón, A.; Ferrera-Cerrato, R. 2013. Biorremediación de suelos y agua contaminadas con compuestos orgánicos e inorgánicos. Ed. Trillas-Colegio de Posgraduados. México.
- Ali, H.; Khan, E.; Sjad M.A. 2013. Phytoremediation of heavy metals-concepts and applications. *Chemosphere* 91: 869-881
- Atiyeh, R.M.; Subler, S.; Edwards, C.A.; Bachman, G.; Metzger, J.D.; Shuster, W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. *Pedo biology* 44: 579-590.
- Ávila, P.F.; Candeias, C.; Ferreira, A.; Ferreira da Silva, E.; Rocha, F. 2018. Absorção de metais/metaloídeos por *Brassica oleracea* L. e riscos químicos de consumo em solos contaminados de duas minas portuguesas de tungstênio. *Geoquímica dos Processos de Alteração, dos Solos e dos Processos Biogeoquímicos*. Portugal. 201-205.
- Beltrán-Morales, F.A.; García-Hernández, J.L.; Ruiz-Espinoza, F.H.; Preciado-Rangel, P.; Fortis-Hernández, M.; González-Zamora, A.; Valdez-Cepeda, D. 2016. Efectos de sustratos orgánicos en el crecimiento de seis variedades de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.). *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 3(7): 143-149.
- Bernal, A.A. 2014. Fitorremediación en la recuperación de suelos: una visión general. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental* 5(2): 245 – 258.
- Branzini, A.; Zubillaga, M. S. 2010. Assessing phytotoxicity of heavy metals in remediated soil. *Int. J. Phytorem.* 12: 335-342.
- Brennan, M.A.; Shelley M.L. 1999. A model of the uptake, translocation, and accumulation of lead (Pb) by maize for the purpose of phytoextraction. *Ecological Engineering* 12(4): 271-297.
- Carrillo-González, R.; Maldonado-Torres A.; González -Chávez, M.C.A.; Cruz Díaz J. 2014. Estabilización de elementos potencialmente tóxicos en residuos de mina por aplicación de roca fosfórica y vermicompost. *Ciencia en la frontera: Revista de ciencia y tecnología de la UCA.* 12: 15-26.
- Castelo-Gutiérrez, A.A.; García-Mendivil, H.A.; Castro-Espinoza, L.; Lares-Villa, F.; Arellano-Gil, M.; Figueroa-López, P.; Gutiérrez-Coronado, M.A. 2016. Residual mushroom compost as soil conditioner and bio-fertilizer in tomato production. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 22(2): 83-93.
- Cerrón, V. 2009. Impacto de la contaminación de las aguas acidas provenientes de las empresas mineras en la Cuenca Hidrográfica del río Mantaro y su efecto en la Producción Agrícola del Valle del Mantaro. Tesis de doctorado. Universidad Nacional Federico Villarreal - Lima. Perú. 180 pp.
- Cortés-Jiménez, E.V.; Mugica-Álvarez, V.; González-Chávez, M.C.; Carrillo-González, R.; Martínez-Gordillo, M.; Vaca-Mier, M. 2013. Natural revegetation of alkaline tailing heaps at Taxco, Guerrero, Mexico. *Int. J. Phytoremediat.* 15: 127-141.
- Covarrubias, S.A.; García, J.A.; Cabriales, J.J. 2015. El papel de los microorganismos en la bioremediación de suelos contaminados con metales pesados. *Acta Universitaria*, 25(NE-3): 40-45.
- Covarrubias, S.; Cabriales, J. 2017. Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y Estrategias de Fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* 33(0): 7-21.
- Cho, C.; Yavuz-Corapcioglu, M.; Park, S.; Sung, K. 2008. Effects of Grasses on the Fate of VOCs in Contaminated Soil and Air. *Water, Air, & Soil Pollution* 187: 243-250.
- Delgado-Moreno, L.; Peña, A. 2009. Compost and vermicompost of olive cake to bioremediate triazines-contaminated soil. *Science of the Total Environment* 407(5): 1489-1495.
- Falcón, E.J. 2017. Fitoextracción de metales pesados en suelo contaminado con *Zea mays* L. en la Estación Experimental El Mantaro – Junín en el año 2016. Tesis de Maestría. Universidad Nacional del Centro del Perú – Huancayo - Perú.
- Fornes, F.; Mendoza-Hernández, D.; García-De-La-Fuente, R.; Abad, M.; Belda, R.M. 2012. Bio resource Technology Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bio resource Technology* 118: 296-305.
- González-Chávez, M.C.A.; Carrillo-González, R.; Sánchez-López, A.S. 2017. Definiciones y problemática en la investigación científica en aspectos de fitorremediación de suelos. *Agroproductividad* 10(4): 3-7.
- Hernández, J. 2011. Biorecuperación de suelos salinos con el uso de materiales orgánicos. s. I. Universidad Politécnica de Madrid. 143 pp.
- Jaurixje, M.; Torres, D.; Mendoza, B.; Henríquez, M.; Contreras, J. 2013. Propiedades físicas y químicas y su relación con la actividad biológica bajo diferentes manejos en la zona de Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* 25(1316-3361): 47-56.
- Laich, F. 2011. El papel de los microorganismos en el proceso de compostaje. Instituto Canario de Investigaciones Agrarias. ICIA. 2011: 1-7.
- Li, Y.M.; Chaney R.L.; Scheneiter, A.A.; Miller, J.F. 1994. Screening for low grain cadmium phenotypes in sunflower, durum wheat and flax. *Plant and soil*, 167: 275-280.
- Machado, J. 2007. Plantas que retienen metales pesados y eficiencia de energía y la economía en el proceso de conversión de la cavitación. Tesis de Ingeniería Hidrológica. Universidad Autónoma de México – Iztapalapa - México.
- Londono-Franco, L.F.; Londoño-Muñoz, P.T.; Muñoz-García, F.G. 2016. Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 14: 145-153.
- Mahdy, A.M.; Elkhatib, E.A.; Fathi, N.O. 2007. Cadmium, Copper, Nickel, and Lead Availability in Biosolids-amended Alkaline Soils, *Australian Journal of Basic and Applied Sciences* 1: 354-363.
- Malkowski, E.; Kurtyka, R.; Kita, A.; Karcz, W. 2005. Accumulation of Pb and Cd and it effect on Ca distribution in Maize seedlings. *Polish Journal of Environmental Studies* 14(2): 203-207
- Marmioli, M.; Antonioli, G.; Maestri, E.; Marmioli, N. 2005. Evidence of the involvement of plant lignocellulosic structure in the sequestration of Pb: an X-ray spectroscopy-based analysis. *Environ. Pollut.* 134: 217-227.
- Melgarejo, M.R.; Ballesteros, M.I.; Bendeck, M. 1997. Evaluación de algunos parámetros fisicoquímicos y nutricionales en humus de lombriz y compost derivados de diferentes sustratos. *Colombiana de Química* 26(2): 11-19.
- Meza-Figueroa, D.; Maier, R.M.; De la O-Villanueva M.; Gómez-Álvarez A.; Moreno-Zazueta, A.; Rivera, J.; Campillo, A. 2009. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semi-arid environment: Nacozari, Sonora, Mexico. *Chemosphere* 77: 140-147.
- Mireles, F.; Dávila, J.I.; Pinedo, J.L.; Reyes, E.; Speakman, R.J.; Glascock M.D. 2012. Assessing urban soil pollution in the cities of Zacatecas and Guadalupe, Mexico by instrumental neutron activation analysis. *Microchem. J.* 103: 158-164.
- Navarro-Aviño, J.P.; Aguilar, A. I.; López-Moya, J.R. 2007. Asociación Española de Ecología Terrestre. *Ecosistemas* 16(2): 10-25.
- Olguín, E.; Sánchez-Galván, G. 2012. Heavy metal removal in phytofiltration and phycoremediation: the need to differentiate between bioadsorption and bioaccumulation. *N. Biotechnol.* 30: 3-8.
- Orozco, A.; Valverde, M.; Trelles, R.; Chávez, C.; Benavides, R. 2016. Propiedades físicas, químicas y biológicas de un suelo con biofertilización cultivado

- con manzano. *Terra Latinoamericana* 34(4): 441-456.
- Porta, J.; López, M.; Roquero, C. 2013. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente*. Madrid, 3ra. Ed. Ediciones Mundi-Prensa. 960 pp.
- Sánchez-López, A.S.; González-Chávez, M.C.A.; Carrillo-González, R. 2017. Absorber, Inmovilizar o atrapar: Funciones de las plantas en las remediaciones de sitios contaminados por elementos potencialmente tóxicos. *Agroproductividad* 10(4): 80-86.
- Sastre-Conde, I.; Carmen-Lobo, M.; Icela-Beltrán-Hernández, R.; Poggi-Varaldo, H.M. 2015. Remediation of saline soils by a two-step process: Washing and amendment with sludge. *Geoderma* 247-248:140-150.
- Tognetti, C.; Loas, F.; Mazarino, M.J.; Hernandez, M.T. 2005. Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. *Compost Science & Utilization* 13(1): 6-13.
- Vega, C.E.; Mejía, J.A. 2017. Performance of *Phaseolus vulgaris* under partial root-zone drying cultivated in a hydrogravitropic system response. *Scientia Agropecuaria* 8(2): 137-147.
- Wang, Y.P.; Chao, C.C. 1992. Effects of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizae and Heavy Metals on the Growth of Soybean and Phosphate and Heavy Metal Uptake by Soybean in Major Soil Groups of Taiwan. *Journal Agricultural Association China New Series* 157: 6-20.
- Yankov, B.; Tahsin N. 2001. Accumulation and distribution of Pb, Cu, Zn and Cd IN Sunflower (*Helianthus annuus* L.) grown in an industrially polluted HELIA 24: 131-136.
- Yáñez, L.; García-Nieto, E.; Rojas, E.; Carrizales, L.; Mejía, J.; Calderón, J. 2003. DNA damage in blood cells from children exposed to arsenic and lead in a mining area. *Environ. Research*. 93: 231- 240.