
Fitorremediación de suelos contaminados con Mn y Cu a partir de *Ocimum basilicum*.

Phytoremediation of soils contaminated with Mn and Cu from *Ocimum basilicum*.

¹Ma. Dolores Guevara Espinosa, ¹Norma Cruz Miranda, ¹Ma. Catalina Rivera Morales, ¹Ana Karime Fuentes Ortiz.

¹Facultad de Ingeniería Química, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, Av. San Claudio y 18 sur, Col. Jardines de San Manuel, 72570, Puebla, Pue. México. 01(222) 2295500 ext. 2980.
dolores.guevara@correo.buap.mx

RESUMEN. La contaminación en los suelos es una problemática que se suscita tanto en México, así como en todo el mundo, ya que debido a la industrialización y al uso de agentes químicos que pueden llegar a perjudicar el estado natural de los suelos, este tipo de contaminación ha ido aumentando con el paso del tiempo, es por ello que se hace necesario y urgente establecer estrategias para la remediación de este recurso natural que es de vital importancia en la vida diaria. La fitorremediación es una buena forma de descontaminación de suelos afectados por derrames de hidrocarburos, excesos de pesticidas y contaminación con metales pesados, este proceso es coadyuva al saneamiento del medio ambiente ya que con la ayuda de plantas específicas que son consideradas como hiperacumuladoras de contaminantes, se realiza el proceso de limpieza sin afectar los estados físicos ni químicos de la tierra. Por este motivo en este proyecto se analiza la utilización de la fitorremediación con la planta *Ocimum basilicum* para descontaminar la tierra expuesta a metales pesados, específicamente el cobre y el manganeso.

ABSTRACT. Soil pollution is a several problem that affects us and the entire world, is caused by the industrialization process and the use of chemical agents that may damage the natural state of the soil, this type of pollution has risen over time. That is why there is a pressing need to use of the remediation of this natural resource. Phytoremediation is an emerging cheaper technology for decontaminate soils affected by oil spills, pesticide excesses and heavy metals contamination, this process is helping to clean up the environment since with the use of specific plants that are considered hyperaccumulators of pollutants. The cleaning process is carried out without affecting the physical or chemical properties of the soil. For this reason, this project analyzes the use of phytoremediation with

Recibido: Agosto, 2018.

Aprobado: Noviembre, 2018

the plant *Ocimum basilicum* to decontaminate the soil exposed to heavy metals, specifically copper and manganese.

Palabras claves: Fitorremediación, Hiperacumulación, Hiperresistencia, Metales Pesados.

Keywords: Phytoremediation, Hyperaccumulation, Hyperresistance, Heavy Metals.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la contaminación del suelo sigue siendo consecuencia de sociedades cada vez más industrializadas, cuyos agentes contaminantes son muy diversos. Los niveles para considerar un suelo contaminado dependen del elemento en cuestión, su uso y la legislación de cada país. En el caso de los metales pesados como elementos contaminantes su estática en el suelo condiciona una elevada persistencia y al no poder degradarse con facilidad, pueden cambiar su estado de oxidación representando cierta movilidad hacia los seres vivos (Argota-Pérez, *et al.*, 2014). El desarrollo tecnológico, la explotación masiva e indiscriminada de los recursos naturales y la producción de desechos principalmente urbanos han determinado la presencia de metales en cantidades importantes en el ambiente lo que ha provocado numerosos efectos sobre la salud y el equilibrio de los ecosistemas. Los metales se distinguen de los contaminantes orgánicos en que no son biodegradables (Marrero-Coto, *et al.*, 2012).

La creciente preocupación por la contaminación ambiental ha dado como resultado un aumento en la investigación y el desarrollo de tecnologías sustentables, así como una normatividad cada vez más estricta, lo anterior, aunado a la introducción de tecnologías limpias en los procesos industriales han logrado disminuir las descargas de sustancias contaminantes al medio ambiente. Entre los procesos comúnmente utilizados para tratar efluentes con metales pesados se encuentran: carbón activado, intercambio iónico, extracción con solventes, micro/nano/ultrafiltración, ósmosis inversa y flotación no convencional. Algunos de estos procesos pueden llegar a ser costosos, implicando altos costos de operación y requerimientos energéticos, lo que ocasiona que los micro y pequeños empresarios no tengan acceso a ellos y generalmente opten por verter sus aguas a fosas sépticas comunes o incluso a pozos profundos y esto ocasiona una gran contaminación tanto del agua como del suelo (Cardona Gutiérrez, *et al.*, 2013).

La fitorremediación es una tecnología emergente que pretende solventar problemas de contaminación mediante el uso de plantas, de manera económica y respetuosa con el medio ambiente, aunque todavía presenta algunas limitaciones, como es la identificación de variedades tolerantes y el conocimiento de los mecanismos que gobiernan la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas (Sánchez García de la Torre , 2015).

Fitorremediación

La fitoremediación se define como el uso de plantas para eliminar, destruir o transformar contaminantes del suelo, agua y aire. En este proceso, las plantas son seleccionadas principalmente por su potencial fisiológico, como en el caso de enzimas presentes para tolerar y asimilar sustancias tóxicas, por sus tasas de crecimiento, por la profundidad de sus raíces y su habilidad para bioacumular y/o degradar contaminantes (Peña-Salamanca & Madera-Parra , 2013). La fitorremediación es una estrategia biológica que puede ser utilizada para facilitar la recuperación de suelos afectados por diferentes contaminantes. Este tipo de tecnología utiliza las plantas y sus microorganismos asociados, para eliminar los contaminantes del ambiente o reducir su impacto. En los últimos años se ha visto gran interés en el desarrollo de tecnologías de biorecuperación. Estudios en remoción de contaminantes presentes en pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) solo han tenido en cuenta la capacidad de la planta (*per se*) para la remoción y/o bio-acumulación, sin investigar que otros factores pueden favorecer la capacidad biológica de las plantas para ejercer su función (Córdoba Benavides & Charry López, 2016).

Metales pesados

Los metales pesados son un grupo de elementos caracterizados por poseer propiedades metálicas y por encontrarse en concentraciones de 10^{-6} mol L⁻¹. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA), clasifica al Hg como metal traza peligroso pesado y al Be como metal traza peligroso ligero, lo que significa que una leve exposición a los mismos puede causar daños a la salud. Asimismo, reconoce como metales potencialmente tóxicos al Ba, Cd, Cu, Pb, Mn, Ni, Zn, V y Sn, además de considerar como elementos carcinogénicos al As, Cd, Cr, Mn, Hg, Pb y Tl, y, como causantes de trastornos en el sistema reproductivo al Hg, Pb, As, Cu, Se, Cd, Ni y Li. Todos estos excepto el Mn son metales traza, y todos, excepto el Ba, son metales pesados. Por otra parte, se señala que los metales de interés toxicológico son el Al, Sb, As, Ba, Be, Cd, Cr, Co, Cu, Sn, Fe, Li, Mn, Hg, Mo, Ni, Pb, Se, Tl y Zn que, en cuyo caso, el potencial interés radica en la forma física y especie química en que se encuentra el metal. Para la Norma Oficial Mexicana (NOM), dichos metales, son elementos químicos que tienen un peso atómico entre 63 y 200 y una gravedad específica mayor de 4.0 (Hernández Ayón, 2006)

Es sabido, que los metales ligados a los sedimentos a concentraciones suficientes ejercen efectos adversos sobre la biota residente. Algunos metales pesados pueden ser absorbidos en altas concentraciones por la vegetación. El mercurio, cobre, níquel, plomo, cobalto, cadmio, entre otros, son los metales que se muestran como los más tóxicos en concentraciones excesivas para las plantas superiores, así como para otros organismos (Araúz, 2013)

Manganeso

Los efectos del manganeso se manifiestan sobre el medio natural, la flora y la fauna y el hombre. En las plantas, el manganeso produce efectos no deseados por exceso (toxicidad) y por defecto (deficiencia) y entre ambos sólo hay un estrecho intervalo de concentración para el que el crecimiento de la planta es óptimo. Concentraciones muy tóxicas pueden causar una inflamación de las paredes celulares, marchitamiento y amarronamiento en las hojas; los síntomas de la deficiencia de manganeso son bastante similares.

El manganeso es el undécimo elemento más común en la corteza terrestre, con una concentración media de 0.09 %, es decir 900 mg kg⁻¹. El radio iónico de Mn²⁺ (67 pm) es comparable al del Fe²⁺ y Mg²⁺ (61 y 72 pm, respectivamente) y el manganeso sustituye fácilmente al Fe²⁺ y Mg²⁺ en algunos minerales. El manganeso está presente principalmente como óxidos y sulfuros y por lo dicho frecuentemente asociado al hierro. La mayoría del manganeso es absorbido por las plantas como Mn²⁺. Hay autores que sugieren que para una nutrición de manganeso adecuada el de solución y el intercambiable deben estar entre 2 y 3 ppm y 0.2 y 5 ppm, respectivamente. Los factores siguientes controlan la disponibilidad de manganeso en el suelo (Gomez, 2014).

Cobre

El cobre es un elemento esencial para las especies vegetales, pero en concentraciones altas puede llegar a ser tóxico y puede seriamente influir en el proceso de ciertas tierras agrícolas, dependiendo de la acidez del suelo y la presencia de materia orgánica. Generalmente, compuesto de cobre se han utilizado desde tiempo atrás en fungicidas y fertilizantes para tratar varias enfermedades que se presentan en los cultivos, sin embargo, debido a un mal uso, en algunas ocasiones, se ha llevado a un exceso de este metal en el suelo (Díaz Rodríguez, 2015)

Plantas hiperacumuladoras

El uso de plantas hiperacumuladoras de metales para la limpieza de suelos contaminados es una de las principales estrategias de fitoextracción que actualmente se están desarrollando. Las plantas hiperacumuladoras tienen la capacidad de absorber y translocar a sus hojas, grandes cantidades de metales, como Co, Cu, Ni o Pb, alcanzando concentraciones de más de 1000 mg kg⁻¹ de metal en hoja ó más de 10,000 mg kg⁻¹ de Zn y Mn. Una gran variedad de especies de plantas son capaces de colonizar suelos degradados por actividades mineras, si les damos la oportunidad y el tiempo necesario, son las especies metalófitas. Las plantas metalófitas han desarrollado mecanismos biológicos que les permiten sobrevivir en suelos ricos en metales, tanto naturales como antropogénicos. La mayoría consigue su tolerancia restringiendo fisiológicamente la entrada de metales a las raíces y/o el transporte hacia las hojas. Algunas especies, sin embargo, presentan mecanismos extremadamente especializados que les permiten acumular o "hiperacumular" metales (como As, Cd, Pb, Co, Ni y Zn) en sus hojas, hasta alcanzar concentraciones superiores al 2% de su materia seca: son las denominadas "plantas hiperacumuladoras". Algunas plantas tienen la capacidad

para acumular concentraciones de metales 10 a 500 veces mayores que otras especies, alcanzando de 1 a 5% del peso seco de la planta (Gonzalez Alvarado, 2010)

Ocimum basilicum

Ocimum basilicum, llamada popularmente basil, basilik y albahaca es muy utilizada en medicina tradicional para curar afecciones gastrointestinales (diarreas, parasitismo), respiratorias (bronquitis, tos), dolor de oídos y reumatismo. Tópicamente es usada en baños y cataplasmas para tratar afecciones de la piel. Se le atribuye propiedades antisépticas, antiinflamatorias, antiespasmódicas y analgésicas (Sánchez Govín & Leal López, 2000). La albahaca (*Ocimum basilicum* L.) presenta gran variabilidad en la tolerancia a distintos tipos de estrés. Es una planta herbácea representada por al menos 50 variedades que se caracterizan por su aroma originado por compuestos volátiles. La albahaca se emplea principalmente como un producto culinario, pero además tiene propiedades medicinales. Los compuestos activos de esta planta tienen propiedades insecticidas, nematocidas, fungicidas y antimicrobianas; así mismo, se usa como base de fragancias, champús, lociones, licores y aperitivos. Estas propiedades hacen de la albahaca un cultivo con alta demanda; por ello la producen países como Francia, Hungría, Egipto, entre otros, y destacan la Unión Europea, Canadá y Estados Unidos como los principales exportadores (Yépez-Hernández, 2016).

METODOLOGÍA

La metodología utilizada se determinó mediante investigaciones y documentación bibliográfica, se eligió un tipo de planta, la *Ocimum basilicum* con base en su nivel de resistencia y acumulación a los contaminantes previamente estudiados, los cuales fueron cobre y manganeso, facilitados por el laboratorio de físico-química de la BUAP, mientras que la *Ocimum basilicum* comúnmente conocida como albahaca, se adquirió en el jardín botánico universitario de la BUAP, una planta para cada contaminante.

Muestreo de suelo.

Para realizar el muestreo el equipo de investigación se transportó a un área verde cerca del lago de la universidad, ahí se dividió el territorio para cada investigador, el muestreo fue sistemático en forma cuadrículada como se observa en la ilustración 1.



Figura 1. Muestreo sistemático por cuadrícula.

La muestra tomada se colocó en un contenedor de plástico con tapa para evitar pérdida de muestra, y se etiquetó con fecha, nombre del investigador y contaminantes, figura 2.

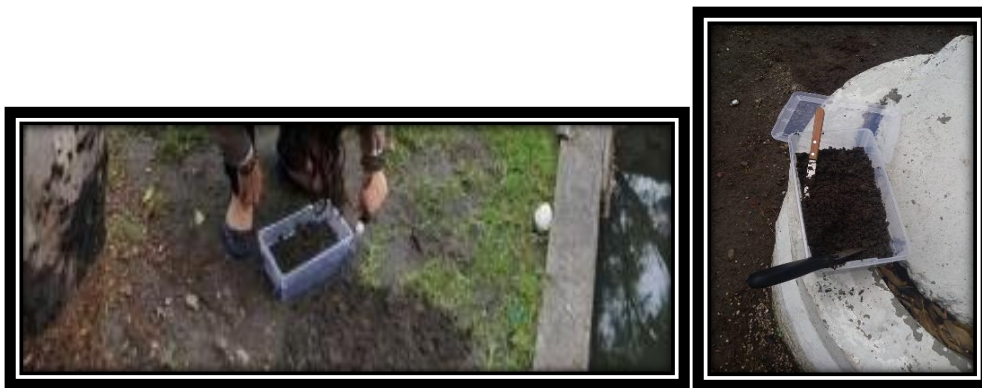


Figura 2. Proceso de muestreo

Pruebas físico-químicas de la muestra de tierra.

Una vez obtenida la muestra se realizaron pruebas físico-químicas: temperatura cada 5 minutos en un lapso de 25 minutos; pH mediante tiras reactivas; densidad se colocó la muestra en un vaso de precipitados de 1000 mL y se pesó en una balanza, finalmente la humedad se obtuvo calcinando la muestra y pesando su pérdida de agua. Se separó un blanco de tierra, para sus pruebas posteriores.

Preparación y contaminación de las muestras.

La contaminación de la muestra se realizó con cobre y manganeso para los cuales se calculó el peso correspondiente de cada contaminante, se pesó, diluyó y dispersó en cada muestra como se observa en la figura 3.



Figura 3. Proceso de contaminación de la muestra.

Plantación de la albahaca en las muestras contaminadas.

Después de la contaminación se prosiguió a trasplantar las plantas de albahaca a los contenedores con tierra ya antes contaminada, el proceso se observa en la ilustración 4.



Figura 4. Plantación de la albahaca en la muestra contaminada.

Pruebas físico-químicas de la tierra contaminada.

Se realizaron pruebas físico-químicas para registrar el estado de contaminación de la tierra conforme el paso del tiempo y el proceso de fitorremediación que hizo la albahaca.

Para estas pruebas se necesitó de un espectrofotómetro para conocer las cantidades de Mn y Cu presentes en la muestra y así registrar la pérdida de estos. También se registraron pruebas de pH de cada muestra.

En cada prueba se pesó 1 mg de tierra y se disolvió en 10 mL de agua destilada, se destiló y se introdujo al espectrofotómetro.







Figura 5. Pruebas físico-químicas en el proceso de fitorremediación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y fórmulas utilizadas para la caracterización de la tierra recién muestreada se pueden observar en la tabla 1.

Tabla 1. Resultados de la caracterización de la muestra.

Temperatura	Humedad	Densidad	pH
--------------------	----------------	-----------------	-----------

5 min - 16.5°C 10 min- 16.5°C 15 min- 17°C 20 min- 17°C 25 min- 17°C	Peso vaso: 59.6 g Peso vaso con muestra húmeda: 69.1 g Peso vaso con muestra seca: 66.9 g $\% \text{Humedad} = \frac{(69.1 - 59.6) - (69.1 - 66.9)}{(69.1 - 59.6)} \times 100$ 23.157%	$\rho = \frac{m}{v}$ $= \frac{1.2709 \text{ kg}}{0.001 \text{ m}^3}$ $= 1.2709 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	6
			

Nota: Se separó una pequeña cantidad de tierra sin contaminar como blanco.

Para la contaminación controlada de la tierra se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 2.

Tabla 2. Proceso de contaminación controlada.

Cobre	Manganeso
600 g de tierra 3%= 18 g Peso del contaminante= 3%/PM = 18 g/ 63.536= 0.2833 g de cobre <i>Nota= el contaminante se encontró en pastilla por lo que se pesó un aproximado al peso teórico 0.2776 g de cobre, se diluyó en 20 mL de agua.</i>	600 g de tierra 3%= 18 g Peso del contaminante= 3%/PM = 18 g/ 54.938= 0.3276 g de manganeso. <i>Nota= el contaminante se encontró en polvo y se pesó un aproximado al peso teórico 0.3306 g de manganeso, se diluyó en 20 mL de agua.</i>

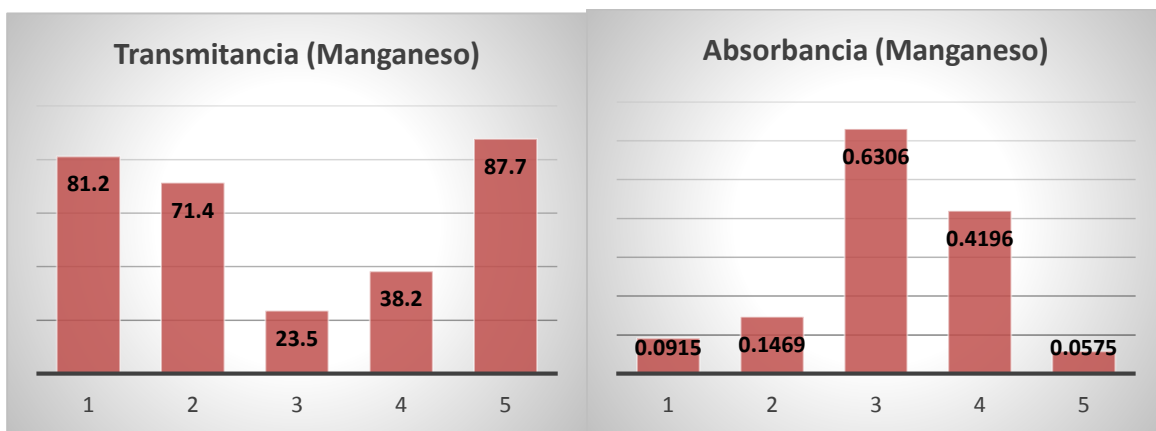
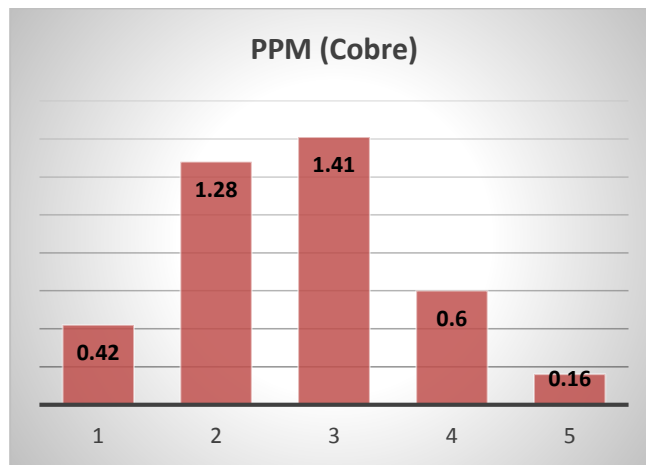
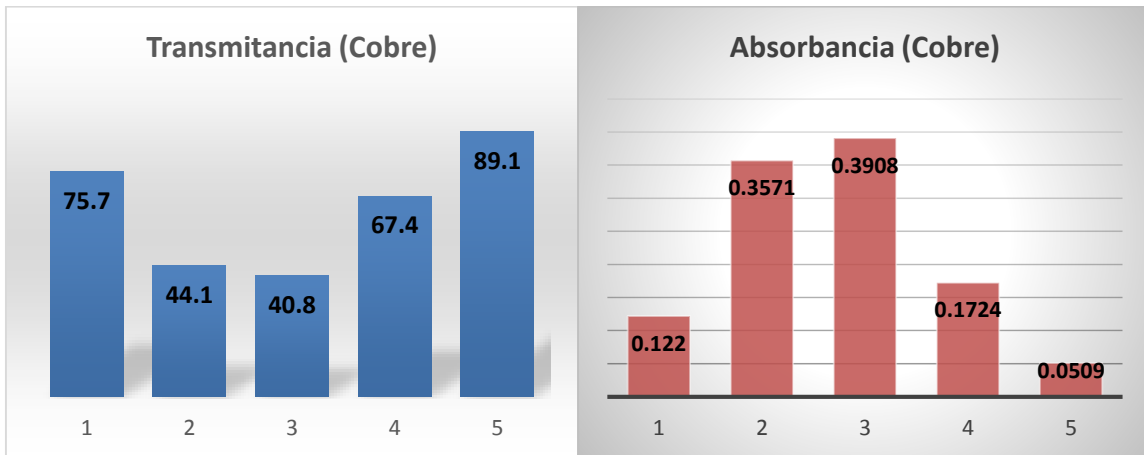
La tabla 3 muestra las pruebas realizadas al proceso de fitorremediación que se realizaron en un determinado lapso de tiempo:

Nota: La dilución de la muestra para el análisis se realizó con 1 g de tierra en 10 mL de agua.

Tabla 3. Resultados de las pruebas realizadas al proceso de fitorremediación

Fecha	Contaminante	pH	PPM	Transmitancia	Absorbancia
27/mayo	Cu (blanco)	7	0.42	75.7	0.1220
27/mayo	Mn (blanco)	7	0.9	81.2	0.0915
27/mayo	Cu	7	1.28	44.1	0.3571
27/mayo	Mn	7	1.6	71.4	0.1469
30/mayo	Cu	7	1.41	40.8	0.3908
30/mayo	Mn	7	7.4	23.5	0.6306
04/jun	Cu	7	0.6	67.4	0.1724
04/jun	Mn	7	4.8	38.2	0.4196
07/jun	Cu	7	0.16	89.1	0.0509
07/jun	Mn	7	0.5	87.7	0.0575

En las gráficas se puede observar y apreciar el proceso de fitorremediación y descontaminación de cobre y manganeso, ya que la albahaca realizó el proceso de manera rápida y efectiva, la barra numero 1 representa el blanco de tierra (tierra limpia), por lo que fácilmente se puede deducir la pérdida de contaminante en relación con el blanco.



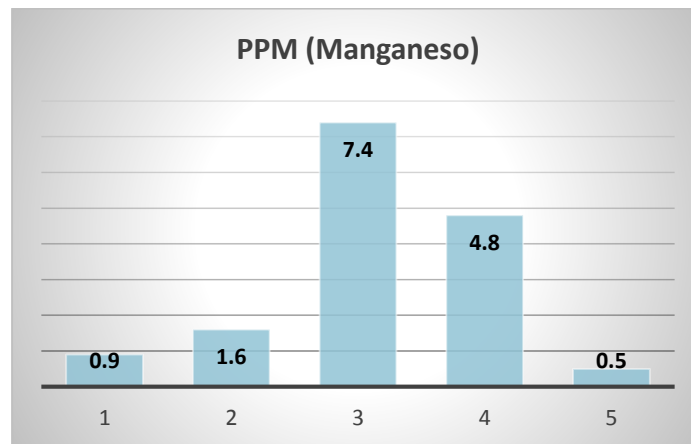


Figura 6. Cu y Mn



Figura 7. Foto de las plantas de albahaca en el último día de investigación.

CONCLUSIONES

Con base en los resultados se puede concluir que la *Ocimum basilicum* puede utilizarse como planta hiperacumuladora de cobre y manganeso en el proceso de descontaminación con ambos metales pesados teniendo un estado físico aceptable, como se muestra en la figura 6, en un lapso de tiempo corto comparado con otras plantas que realizan el mismo proceso, también se abre una ventana muy grande de investigación de esta planta en

relación con otros tipos de contaminantes como pueden ser otros metales pesados, químicos orgánicos e inorgánicos o derivados de hidrocarburos. Es de gran importancia restringir el uso de la albahaca contaminada con fines alimenticios que pueden llegar a causar daños a la salud, por lo que este tipo de estudios se deben realizar a toda la tierra donde se encuentra plantada dicha especie para cerciorarse de sus componentes y estado de contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

Anon., 2016. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] Available at: <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

Araúz, D., 2013. Nivel de Contaminación y Distribución Espacial de metales pesados en sedimentos superficiales de Bahía Damas. pp. 14-23.

Argota-Pérez, G., Encinas-Cáceres, M. & Argota-Coello, H., 2014. COEFICIENTES BIOLÓGICOS DE FITORREMEDIACIÓN DE SUELOS EXPUESTOS A PLOMO Y CADMIO UTILIZANDO *ALOPECURUS MAGELLANICUS BRACTEATUS* Y *MUHLENBERGIA ANGUSTATA* (POACEAE), PUNO, PERÚ-. *The Biologist*, pp. 99-108.

Bernier Villarroe, R., s.f. *TECNICAS DE MUESTREO DE SUELO PARA ANALISIS DE FERTILIDAD*, Chile: INIA.

Brunatti, C., 2012. *Introducción a la Espectroscopía de Absorción Molecular Ultravioleta, Visible e Infrarrojo Cercano*, s.l.: s.n.

Camus A., J., 2012. *Los concentrados de cobre: Un tema en discusión permanente*, Chile: Universidad de Playa Ancha.

Cardona Gutiérrez, A. F., Cabañas Vargas, . D. D. & Zepeda Pedreguera, A., 2013. Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería* , pp. 1-9.

Córdoba Benavides , D. F. & Charry López, C., 2016. *Aislamiento de bacterias nitrofixadoras endófitas del pasto vetiver (*Chrysopogon zizanioides*) en procesos de fitorremediación de suelos contaminados con hidrocarburos.*, s.l.: Universidad Católica de Manizales.

Díaz Rodríguez, M., 2015. *Fitorremediación de suelos contaminados por cobre mediante el uso de plantas hiperacumuladoras.*, Costa Rica: escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda.

Gomez, M., 2014. *El Manganeso y la Viticultura: una revisión*, Madrid: datos abiertos.

Gonzalez Alvarado, T., 2010. *ESPECIACIÓN QUÍMICA Y FITOEXTRACCIÓN DE PLOMO DE UN SUELO CONTAMINADO POR ACTIVIDAD INDUSTRIAL*, Coahuila: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Hernández Ayón, H., 2006. *EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES PESADOS EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO EN LA CIUDAD DE TEPIC*, Nayarit: Universidad Autónoma de Nayarit.

Jaramillo, D. F., 2002. *Introducción a la ciencia del suelo*, s.l.: Universidad Nacional de Colombia..

Marrero-Coto, J., Amores-Sánchez, I. & Coto-Pérez, O., 2012. Fitorremediación. una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el sanamiento ambiental.. *ICIDCA*, pp. 52-61.

Peña-Salamanca , E. J. & Madera-Parra , C. A., 2013. *BIOPROSPECCIÓN DE PLANTAS NATIVAS PARA SU USO EN PROCESOS DE BIORREMEDIACIÓN: CASO HELICONA PSITTACORUM (HELICONIACEA)*, Colombia: Scielo.

Romero, X., 2005. *ACIDEZ Y pH* , s.l.: Escuela Venezolana para la Enseñanza de la Química .

Sánchez García de la Torre , V., 2015. *Tolerancia al estrés por cadmio y mercurio en Medicago spp: Análisis de los mecanismos implicados y potencial aplicación en fitorremediación*, Madrid: UAM.

Sánchez Govín, E. & Leal López, I. M., 2000. *Estudio farmacognóstico de ocimum basilicum l.*, La Habana: s.n.

Sosa, D. A., 2012. *Cómo realizar un muestreo de suelo*. [En línea] Available at: <http://inta.gob.ar/documentos/muestreo-de-suelos>

Yépez-Hernández, F.-J., 2016. *Fertilización nitrogenada en el crecimiento, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante de albahaca*, Mexico: Scielo.