

**Fitorremediación de un suelo con exceso de cobre utilizando cuatro especies vegetales; “girasol”, “alfalfa”, “geranio” e “higuerilla”**

Janet Gonzales<sup>1</sup>, Jaime Acebedo<sup>2</sup>, Carlyne Armas<sup>3</sup>, Moisef Custodio<sup>4</sup>, Miguel García<sup>5</sup>, Anggie Gonzales<sup>6</sup>, Brandy León<sup>7</sup>, Letty Méndez<sup>8</sup>, Gianela Ortiz<sup>9</sup>, Elizabeth Paredes<sup>10</sup>, Lucero Rodríguez<sup>11</sup>, María Tuesta<sup>12</sup>, Jhuly Ulloa<sup>13</sup>, Migdonio Vásquez<sup>14</sup>

<sup>1</sup> Magister docente de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”,

<sup>2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14</sup> Alumnos de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Católica de Trujillo “Benedicto XVI”.

Janet Gonzales Valdivia .Carretera Panamericana Norte Km. 555-Trujillo-Perú.  
jgonzales@UCT.edu.pe

4 Tablas y 5 figuras, 3210 palabras

### RESUMEN

Durante el periodo marzo a Julio del 2016 en la Universidad Católica de Trujillo Benedicto XVI y con la finalidad de determinar la capacidad de Fitorremediación de cuatro especies vegetales se evaluó a: *Helianthus annuus* “girasol”, *Medicago sativa* “alfalfa”, *Pelargonium zonale* “geranio” y *Ricinus communis* “higuerilla” sembradas en un suelo de la campiña de Moche Trujillo contaminado artificialmente con 278 mg/kg de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ), 15 días después de la siembra se evaluó el porcentaje de germinación, a los 90 días se midió el desarrollo vegetativo y al final del ensayo el nivel de cobre disponible en el suelo de cada una de las cuatro especies. Los resultados finales mostraron que las cuatro especies redujeron significativamente el nivel de cobre disponible en el suelo, destacando la alfalfa que logro bajar el nivel de cobre de 278 mg/kg a 77 mg/kg, seguido del geranio que redujo el nivel de cobre a 89 mg/kg, la higuerilla a 90 mg/kg y por último el girasol a 119 mg/kg.

**Palabras claves:** Alfalfa, cobre, Fitorremediación, geranio, girasol, higerrilla.

### ABSTRACT

During the period March to July 2016 at the Catholic University of Trujillo Benedict XVI and in order to determine the capacity of Phytoremediation of four plant species was evaluated: *Helianthus annuus* "sunflower", *Medicago sativa* "alfalfa", *Pelargonium zonale* "geranium "And *Ricinus communis*" higuerilla "planted in a soil of the Moche Trujillo countryside artificially contaminated with 278 mg / kg of copper sulfate ( $\text{CuSO}_4$ ), 15 days after sowing, the percentage of germination was evaluated, after 90 days measured the vegetative development and at the end of the trial the available copper level found in each of the four species. The final results showed that the four species significantly reduced the level of copper available in the soil, highlighting the alfalfa that managed to lower the copper level from 278 mg / kg to 77 mg / kg, followed by the geranium that reduced the level of cover to 89 mg / kg, the castor at 90 mg / kg and finally the sunflower at 119 mg / kg.

**Key words:** Alfalfa, geranium, copper, higuerilla, sunflower, phytoremediation.

## INTRODUCCIÓN

El suelo es uno de los componentes del medio ambiente más involucrado en los procesos de contaminación, ya que actúa como sumidero y a la vez fuente de contaminantes. De los componentes del suelo las arcillas han demostrado una alta capacidad de adsorción de metales como el Cu y Zn, dependiente del pH, también la presencia de carbonatos afecta en la retención de los metales. La acumulación de metales en el suelo, no sólo afecta a cultivos y plantas silvestres, sino que en casos extremos provoca la contaminación de aguas subterráneas y superficiales por escorrentía y lixiviación. Muchos de estos elementos son fácilmente asimilados por las plantas y algunos de ellos (Cd, Cu, Ni, Pb y Zn) significan una amenaza para el medio ambiente y la salud, debido a su toxicidad potencial y acumulación en la cadena alimenticia. También puede resultar afectando la flora del suelo, como lo demostró la inhibición microbiana en la descomposición de residuos de coníferas y el reciclado de los nutrientes, observado en un bosque que rodeaba a una fundición de lata. Entre los insumos agrícolas que aportan estos contaminantes inorgánicos a los suelos y los cultivo se encuentran fertilizantes, calcáreo y yeso, enmiendas orgánicas (biosólidos, estiércol de animales domésticos y residuos industriales), pesticidas y demás agroquímicos, agua de riego y otros. El cobre (Cu) es un metal esencial para el normal crecimiento y desarrollo de las plantas, es un micronutriente que participa en numerosos procesos fisiológicos y un cofactor esencial para muchas metaloproteínas. Sin embargo, también es potencialmente tóxico y los problemas surgen cuando se encuentra en exceso en las células, genera serios problemas debido a su amplio uso industrial (manufactura de muchos productos tales como amalgamas, esmaltes y pigmentos, reactivos para curtiembre, plaguicidas, prótesis médicoquirúrgicas) y agrícola, ya que algunas aplicaciones de Cu como fungicida, puede suponer exposiciones a concentraciones elevadas. Durante estos años, se ha desarrollado una gama amplia de tecnologías de limpieza para eliminar los metales tóxicos del agua y del suelo. Entre estas cabe destacar la biorremediación como una posible solución futura a muchos problemas de contaminación, debido a que son consideradas en todo el mundo una tecnología innovadora para el tratamiento de residuos tóxicos, dentro de sus variantes, se encuentra la fitorremediación. Según Torres 2017 “el término fitorremediación fue acuñado por el ruso Ilya Raskin y definido como el conjunto de tecnologías que ayudan a la recuperación de suelos y aguas contaminados mediante biomasa vegetal viviente. Comprende el uso de plantas verdes, incluidas especies leñosas, para contener, eliminar o

## Fitorremediación de un suelo contaminado con exceso de cobre

neutralizar compuestos orgánicos, elementos traza que pueden ser tóxicos en suelos o aguas por su rápida inserción en la cadena alimenticia humana. Fitorremediación incluye cualquier proceso biológico, químico o físico inducido por las plantas que promueve la absorción, secuestro, degradación y metabolismo de los contaminantes, ya sea por las mismas plantas o por microorganismos que se desarrollan en la rizósfera. Las primeras plantas hiperacumuladoras caracterizadas son miembros de las familias *Brassicaceae* y *Fabaceae*. El gran interés despertado por estas plantas, especialmente para detoxificar un ambiente contaminado, obliga también a resolver otros problemas relativos a otras disciplinas, algunos especialistas, hacen hincapié a ello y destacan que, cuando se intensifique la investigación conjunta de diversos campos como la botánica, fisiología vegetal, agronomía, química y genética, probablemente se inicie un brillante futuro para la Fitorremediación. El entorno de las plantas hiperacumuladoras revela la necesidad de impulsar mayores conocimientos multidisciplinarios que aumenten en muchas áreas y particularmente importantes en la protección del ambiente. Existen muchas especies vegetales que responden a esta técnica eficientemente, incluso ya han sido seleccionadas especies y calificadas como Plantas hiperacumuladoras, estabilizadoras, volatilizadoras, etc. Por tal motivo y pensando en buscar alternativas al riesgo de contaminación por la creciente actividad industrial de nuestra región la Libertad y la potencial generación de contaminación latente en los suelo, es que se plateó el presente trabajo de investigación desarrollado en el campus universitario de la Universidad Católica de Trujillo, el cual tiene como objetivo: evaluar la eficiencia fitorremediadora de cuatro especies vegetales *Helianthus annuum* “girasol”, *Medicago sativa* “alfalfa”, *Pelargonium zonale* “geranio” y *Ricinus communis* “higuerilla”, sembradas en un suelo contaminado artificialmente con cobre.

## MATERIALES Y METODOS

El presente trabajo fue de tipo experimental cuantitativo, el cual se desarrolló en la parcela del campus universitario de la Universidad Católica de Trujillo Benedicto VXI, ubicada en la Panamericana Norte Km 555 Distrito de Moche, Departamento La Libertad Provincia de Trujillo a una Latitud: 8°10'15", Longitud: 79°00'33" y a una altura de 13 m sobre el nivel del mar, con la colaboración de los alumnos de la escuela de ingeniería de la carrera de Ingeniería Ambiental.

**Instalación del ensayo.** Se utilizó suelo agrícola tomado de la campiña de Moche, el cual fue contaminado artificialmente con 0.4 gr de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ) por kilogramo de suelo (figura 1 y 2), con esta cantidad de cobre agregada al suelo, se esperó lograr una concentración aproximada de cobre de 150 mg/kg (nivel medio de toxicidad); estos niveles fueron tomados de la información obtenida de la tesis de Orroño. 2002.

**Contaminación artificial del suelo:** Para contaminar el suelo, primero se determinó la cantidad de suelo a utilizar en las 4 especies vegetales considerando 3 repeticiones por cada tratamiento. Con la finalidad de poder verificar la concentración de suelo, se tomó una muestra de suelo antes y después de la enmienda para poder ser analizada en el laboratorio. La referencia de los niveles de cobre tolerados en un suelo agrícola fueron tomados de los estándares establecidos en las guías de Canadian Environmental Quality Guidelines y Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment de Holanda, la cual menciona que en el suelos agrícolas se tolera hasta 63 mg de cobre por Kg, cantidades mayores son consideradas fitotóxicas.

**Tabla 1:** Especificaciones de la Canadian Environmental Quality Guidelines y Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment de Holanda,

Parámetro	Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment de Holland (mg/kg)	Canadian Environmental Quality Guidelines* (mg/kg)
pH**	-	6 - 8
Materia Orgánica	-	-
Hidrocarburos totales de petróleo	50	-
Aceites y Grasas	-	-
Cadmio	-	1,4
Cromo	-	64
Plomo	-	70
Cobre	-	63
Zinc	-	200
Manganeso	-	-

\* Suelos de uso agrícola.

\*\* Unidad de pH

Elaboración: Walsh-Perú, 2010.

Fuente: CCME (Canadian Councils for Ministers for the Environment).

## Fitorremediación de un suelo contaminado con exceso de cobre



**Figura 1 y 2:** Preparación del suelo antes de ser contaminado. Enmienda del suelo con  $\text{CuSO}_4$

Una vez contaminado el suelo fue colocado en baldes de capacidad de 20 litros, donde se procedió a sembrar las 4 especies vegetales seleccionadas: *Helianthus annuus* “Girasol”, *Medicago sativa* “Alfalfa”, *Pelargonium zonale* “Geranio” y *Ricinus communis* “Higuerilla”

### **Evaluaciones realizadas:**

Se realizaron evaluaciones de porcentaje de germinación a los 15 días de sembradas las especies, altura de plantas, y análisis de la cantidad de cobre disponible en el suelo al inicio y al final del experimento, estos análisis fueron realizados en el laboratorio de suelo de la Universidad Nacional de Trujillo. Una vez terminado el experimento las plantas fueron eliminadas de manera segura y el suelo fue reservado en una sitio seguro hasta su eliminación.



**Figura 3.** Evaluaciones realizadas durante el periodo de crecimiento de las plantas

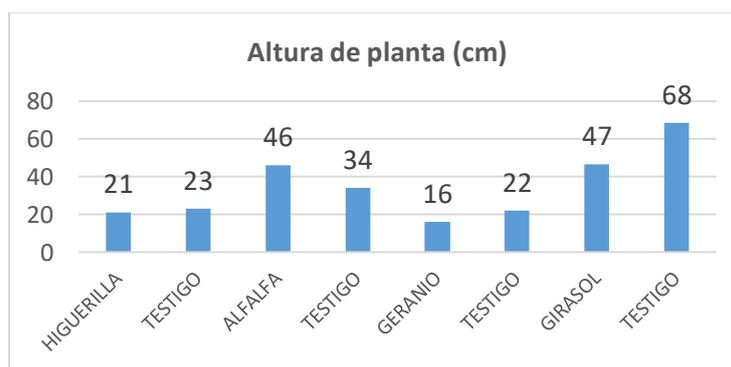
## RESULTADOS Y DISCUSION

### Porcentaje de germinación:

El resultado de porcentaje de germinación de las semillas a los 15 días nos muestra que para el caso de la planta de higuierilla y girasol hubo una germinación de 100%, para el caso de la alfalfa hubo una germinación del 75% y para el caso del geranio no hubo germinación alguna. Este último resultado no fue influenciado por el exceso de cobre ya que las plantas testigos tampoco germinaron, probablemente el tiempo de germinación que necesitaba fue mayor, después de este resultado se decidió realizar un trasplante con plántulas de geranio previamente almacigadas 30 días antes.

### Altura de plantas:

**Tabla 2:** Altura de plantas a los 90 días de las cuatro especies y sus respectivos testigos



Para el parámetro altura de plantas en las especies higuierilla, geranio y girasol se pudo evidenciar que las plantas testigos crecieron más que aquellas que desarrollaron en el suelo enmendado con el cobre, mientras que para el caso de la alfalfa se dio lo contrario. Probablemente el cobre haya influenciado de manera negativa en la higuierilla, geranio y girasol, lo que no ocurrió con la planta de alfalfa. Según Torres (2017) .El primer efecto directo de los metales cuando alcanzan las concentraciones tóxicas en la planta es un cambio en el balance iónico de la célula. Este desbalance se puede dar en la superficie celular al reemplazar el ión tóxico por otro ión de la célula o también puede suceder que el ión ingrese dentro de la célula y reemplace otros iones que son normalmente cofactores de enzimas u otros componentes de organelos celulares. Ante la posibilidad de estos desórdenes fisiológicos, todas las plantas han desarrollado una serie de respuestas para tolerar y por tanto sobrevivir hasta un cierto umbral de concentración de metal. El

## Fitorremediación de un suelo contaminado con exceso de cobre

conjunto de las respuestas visibles forman lo que denominamos síntomas de estrés. Los síntomas causados por el exceso de metales en las plantas son muchas veces comunes a los diversos metales. Los síntomas más comunes son una reducción del crecimiento y amarillamiento de las hojas.

### Contenido de Cobre en el suelo:

**Tabla 3: Contenido de cobre en el suelo (ppm)**

Fecha de Muestreo	Descripción de la muestra	Cu disponible en el suelo (ppm)
Marzo 2016	Antes de contaminar suelo	15
Marzo 2016	Después de contaminar	278
Julio 2016	Suelo de Girasol	119
Julio 2016	Suelo de Alfalfa	77
Julio 2016	Suelo de Higuera	90
Julio 2016	Suelo de Geranio	89

En la tabla 3 se muestran los resultados de los niveles de cobre obtenidos en los análisis químicos y claramente podemos notar que el nivel de cobre encontrado en el suelo sin contaminar fue de 15 ppm., nivel que lo califica como suelo apto para la agricultura. El segundo resultado del análisis nos muestra la cantidad de cobre que se logró después de contaminar, el cual llegó a 278 ppm., considerándose este nivel de cobre en el rango de toxicidad alto. Si bien nuestro objetivo fue lograr una toxicidad media, nuestro análisis nos mostró un mayor nivel, lo cual hace más interesante la prueba ya que las especies vegetales a probar tuvieron que responder a un nivel más alto.

Los resultados de los análisis a los 90 días después de haber cultivado las 4 especies vegetales nos muestran que las cuatro especies resultaron ser eficientes en la extracción del cobre, ya que lograron reducir los niveles de cobre en el suelo, destacando la especie de *Medicago sativa* “alfalfa”, la cual logró bajar el nivel hasta 77 ppm, seguido de *Pelargonium zonale*. “geranio” que redujo el nivel de cobre a 89 ppm, *Ricinus communis* “higuera” a 90 ppm y por último *Helianthus annuus* “girasol” a 119 ppm.

Orroño, 2002. “Estudió la capacidad de fitorremediación de tres especies del género *Pelargonium* en un suelo contaminado con cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo, y se seleccionó la más tolerante (*Pelargonium hortorum*). Los resultados muestran que los suelos con metales mostraron un incremento en las fracciones más disponibles, y que

## Fitorremediación de un suelo contaminado con exceso de cobre

la absorción de casi todos los metales estuvo relacionada con varias de estas fracciones. Excepto Pb, todos los metales se asociaron principalmente a la fracción arcilla. La acumulación en planta fue raíces> tallos> hojas> flores. En general, la rizósfera no intervino en la regulación de la disponibilidad de los metales y la capacidad de remoción de las plantas se mantuvo estable a lo largo de las cosechas. Finalmente, los parámetros más afectados en planta fueron la formación de nuevas hojas y flores, y el tamaño de las mismas, afectando la calidad comercial del cultivo. La especie estudiada no es hiperacumuladora y su calidad comercial es afectada. Sólo podría utilizarse con fines de remediación cuando la concentración de metales en el suelo no sea muy elevada.

Según Viana & Silva 2018 las especies de *Medicago sativa*, *Nicotiana glauca* y *Jacaranda mimosifolia* fueron las especies de mayor tolerancia al boro. La disminución de boro fue máxima en el tratamiento de 30 ppm de boro con *M. sativa* y la menor se registró en los tratamiento de 20 ppm de boro con *J. mimosifolia* y de 30 ppm de boro. Se concluye que *N. glauca*, *M. sativa* y *J. mimosifolia* podrían considerarse como prometedoras en remediación.

Según Durand 2016 “determinó la eficiencia del uso de la Alfalfa (*Medicago sativa* L.) en la reducción de Nitratos en suelos contaminados por lixiviados de Residuos Sólidos Urbanos. Con los resultados obtenidos luego del proceso de desarrollo y absorción de la Alfalfa se logró una eficiencia de remoción de 3,8% en la maceta C1, 14,78% en la maceta C2 y en la maceta C3 55,2%.

## **CONCLUSIONES**

- En cuanto a la capacidad fitorremediadora, se concluye que la especie que remedio con mayor eficiencia el exceso de cobre fue la alfalfa seguido del geranio, higuerrilla y girasol.
- No hubo ningún efecto del cobre en la germinación de las semillas.
- La higuerrilla, geranio y girasol mostraron menor crecimiento en suelos contaminados con cobre.
- Las plantas de alfalfa desarrollaron mayor altura en el suelo contaminado con cobre.

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial a la Universidad Católica de Trujillo, por impulsar a la investigación, la cual permite enriquecer la experiencia de los docentes al igual que a nuestros alumnos. Al mismo tiempo agradezco al decano de la facultad de Ingeniería y Arquitectura Fernando Saldaña, por todo su apoyo y por ultimo sin ser menos importantes a nuestros alumnos del VII ciclo de la carrera de Ingeniería ambiental quienes fueron los coautores de esta investigación.

## REFERENCIAS

1. Alina Kabata-Pendias Arun B. Mukherjee Trace, 2007. Elements from Soil to Human. Recuperado el 18 de noviembre del 2016 de [http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/10F798CF/Doc\\_TraceElements\\_SoilHuman\\_Contents.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/10F798CF/Doc_TraceElements_SoilHuman_Contents.pdf)
2. Brooks, R.R. (1998). Plants that hyperaccumulate heavy metals-Their role in phytoremediation, microbiology, archaeology, mineral exploration and phytomining. New York: International Center for Agriculture and Biosciences.
3. Cartaya O, Guridi F, Cabrera A, Moreno A, Hernández Y. EFECTO DE LA APLICACIÓN FOLIAR DE OLIGOGALACTURÓNIDOS A PLÁNTULAS DE TOMATE (*Solanum Lycopersicum* L.) EN LA FITOEXTRACCIÓN DE COBRE DE SUELO CONTAMINADO. Cultivos Tropicales [serial on the Internet]. (2017, July), [cited June 11, 2018]; 38(3): 142-147. Available from: Fuente Académica Premier.
4. CCME (Canadian Councils for Ministers for the Environment). 1996. Protocol for the Derivation of Environmental and Human Health Soil Quality Guidelines. CCME documents. Manitoba, Canada.
5. Cunningham, S.D. y Ow, D.W. (1996). Promises and prospects of phytoremediation. Plant Physiology. 110, 715-719.
6. Cunningham, S.D., Anderson, T.A., Schwab, A.P y Hsu, F.C. (1996). Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. Advances in Agronomy. 56, 55-114
7. Dell'Amico Elena, Manuela Mazzocchi, Lucia Cavalca, Luigi Allievi, Vincenza Andreoni. 2006. Assessment of bacterial community structure in a long-term copper-polluted vineyard soil. Recuperado el 01 de julio del 2016 de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0944501306001091>.
8. Davenport, W.G., King, M. Schlesinger, M. y Biswas, A.K. (2002). Extractive metallurgy of copper. Elsevier Science Ltd, London. pp. 17-29
9. Durand Ninapayta Yanira, 2016. "EFICIENCIA DE LA ALFALFA (*Medicago sativa* L.) EN LA REDUCCIÓN DE NITRATOS EN SUELOS CONTAMINADOS POR LIXIVIADOS DE RESIDUOS SÓLIDOS URBANOS EN CONDICIÓN EX SITU,
10. LIMA 2016" TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL. Universidad Cesar Vallejo.
11. Torres, Guillermo Abel E. Navarro, Jaime Languasco, Karol Campos y Norma A. Cuizano. 2017. Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratioides* (lechuga de agua). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales, 3 (1): 13-20, 2007
12. Lasat, C. M. 2002. Phytoextraction of toxic Metals: A Review of Biological Mechanisms. Journal of Environmental Quality. 31(1): 109-120
13. L. de Viana Marta & Silvia Albarracín Franco. 2008. Tolerancia experimental de las especies vegetales *Nicotiana glauca*, *Jacaranda mimosifolia*, *Tecoma stans*, *Medicago sativa* y *Spinacea oleracea* al boro, en Argentina. Instituto de Ecología y Ambiente Humano, CIUNSa, Universidad Nacional de Salta, Buenos Aires N° 177, 4400, Salta, Argentina; mldeviana@arnet.com.ar

## Fitorremediación de un suelo contaminado con exceso de cobre

14. Orroño Daniela Inés. 2002. Acumulación de metales (cadmio, zinc, cobre, cromo, níquel y plomo) en especies del género *Pelargonium*: suministro desde el suelo, ubicación en la planta y toxicidad. Escuela para Graduados Ing. Agr. Alberto Soriano Facultad de Agronomía Universidad de Buenos Aires.
15. Obeso, A.; Castillo, A.; Guerrero, J.; León, J.; Vejarano, R. (2017). Fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados mediante cultivo de geranio (*Pelargonium zonale*). VIII Encuentro Científico Internacional del Norte (ECI Norte). 21-22 Abril 2017. Trujillo, Perú.
16. Navarrete Rodríguez L, Rodríguez Parra Z. EVALUACIÓN DE LA CASCARILLA DE HIGUERILLA COMO POSIBLE ADSORBENTE DE CONTAMINANTES FENÓLICOS EN FASE ACUOSA. Revista De La Academia Colombiana De Ciencias Exactas, Físicas Y Naturales [serial on the Internet]. (2012, Dec), [cited June 11, 2018]; 36(141): 595-598. Available from: Fuente Académica Premier.
17. Ruiz-Olivares A, González-Chávez M, Carrillo-González R. *Ricinus communis* L., Y *Pseudomonas* sp. PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS CON RESIDUOS DE MINA. Agroproductividad [serial on the Internet]. (2017, Apr), [cited June 11, 2018]; 10(4): 48-56. Available from: Fuente Académica Premier.