



CAPACIDAD DEL GIRASOL (*Helianthus annus* L.) PARA ABSORBER CADMIO DE SUELOS CONTAMINADOS EN AMBIENTE CONTROLADO, PUNO

CAPACITY OF SUNFLOWER (*Helianthus annus* L.) TO ABSORB CADMIUM OF CONTAMINATED SOILS IN CONTROLLED ENVIRONMENT, PUNO

María Elena Suaña Quispe¹

¹Universidad Nacional del Altiplano, Facultad de Ciencias Biológicas, Av. Floral N° 1153, Puno, Perú. mesq---@hotmail.com

RESUMEN

En el centro poblado La Rinconada se realiza actividad minera, como consecuencia de ésta los suelos se encuentran contaminados por diferentes metales pesados, uno de ellos es el cadmio metal que causa daños a la salud humana. El estudio tuvo como objetivo determinar la capacidad de absorción del girasol (*Helianthus annus* L.) en suelos que tienen contenido de cadmio del Centro Poblado La Rinconada. La investigación se realizó en ambiente controlado al interior de invernadero, el diseño experimental utilizado fue Bloque Completo al Azar (DBCA), considerando como factor principal la parte de la planta (raíz, tallo y hojas) y bloques a dos ambientes de cultivo. El análisis de contenido de cadmio tanto en el suelo como en tejidos vegetales se realizó por método de absorción atómica en Laboratorios Analíticos del Sur (LAS). Los resultados fueron: la muestra de suelo en invernadero presentó un valor promedio de 24.36 mg/kg, en intemperie 21.76 mg/kg de cadmio, no existiendo diferencia estadística entre ambos ambientes ($p=0.112$). En ambiente exterior se obtuvo en hoja una media de 0.21 mg/kg de cadmio, en raíz 0.88 y tallo 0.29, en interior en hoja 0.29 mg/kg, raíz con 1.80 y tallo 0.27, siendo estadísticamente superior el contenido en raíz ($p<0.05$). La raíz de plantas de girasol presenta una media de absorción de cadmio de 5.716%, tallo con 1.217% y hojas 0.529% de absorción; la mayor absorción del cadmio se produce a nivel radicular.

Palabras clave: absorción, ambiente controlado, cadmio, *Helianthus annus*.

ABSTRACT

In the town of La Rinconada mining activity is carried out, as a result of this the soils are contaminated by different heavy metals, one of them is the cadmium metal that causes damages to human health. The objective of the study was to determine the absorption capacity of sunflower (*Helianthus annus* L.) In soils that have cadmium content from La Rinconada Town Center. The research was carried out in a controlled environment inside the greenhouse, the experimental design used was Complete Random Block (DBCA), considering as a main factor the part of the plant (root, stem and leaves) and blocks to two growing environments. The analysis of cadmium content in both soil and plant tissues was carried out by atomic absorption method in Laboratorios Analíticos del Sur (LAS). The results were: the sample of soil in greenhouse presented an average value of 24.36 mg / kg, in weather 21.76 mg / kg of cadmium, there being no statistical difference between both environments ($p = 0.112$). In the outdoor environment, an average of 0.21 mg / kg of cadmium was obtained, 0.88 root and 0.29 stem, 0.29 mg / kg leaf root, 1.80 root and 0.27 stem, the root content being statistically higher ($p < 0.05$). The root of sunflower plants presents an average of absorption of cadmium of 5.716%, stem with 1.217% and leaves 0.529% of absorption; The highest absorption of cadmium occurs at the root level.

Key words: absorption, controlled environment, cadmium, *Helianthus annus*.

*Autor para Correspondencia: mesq---@hotmail.com





INTRODUCCIÓN

Las concentraciones de metales pesados en los suelos están asociadas a los ciclos biológicos y geoquímicos y pueden alterarse por actividades antropogénicas como las prácticas agrícolas, el transporte las actividades industriales la eliminación de residuos, entre otras. Por otra parte es bien conocido que los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en los seres vivos (Navarro *et al.*, 2007).

Se han establecido que los principales factores que influyen en la movilización de metales pesados en el suelo son el pH, el potencial redox, presencia de iones, capacidad de intercambio catiónico, contenido de materia orgánica y textura, entre otras. La contaminación por metales puede producir acidificación, cambios en las condiciones redox, variación en la temperatura y humedad de los suelos. Algunos metales como el cobalto, cromo, hierro, manganeso y cinc, son vitales en procesos metabólicos pues hacen parte de las metaloenzimas, mientras otros como el arsénico, cadmio, mercurio y plomo no tienen efectos beneficiosos y no se conocen mecanismos de homeóstasis. En los seres humanos, la deficiencia o el exceso de un oligoelemento, puede influenciar la absorción, distribución, metabolismo y eliminación de otros (Martínez y Palacio, 2010).

En el suelo los metales pueden quedar retenidos por procesos de adsorción, de complejación y de precipitación, ser absorbidos por las plantas y así incorporarse a las cadenas tróficas. También pueden pasar a la atmósfera por volatilización y moverse a las aguas superficiales y subterráneas (Lora y Bonilla, 2010).

El cadmio es un metal sin función biológica y puede ser tóxico a niveles relativamente bajos. Este metal es responsable de modificar la composición de las poblaciones microbianas en el suelo y, por ello, de reducir la descomposición de la materia orgánica. Se puede acumular en plantas y en la fauna edáfica o animales superiores a través de pastos o aguas contaminadas (Rábago, 2011).

El cadmio no tiene función biológica esencial y tanto él como sus compuestos son muy tóxicos para plantas y animales. Se lo encuentra en los suelos como resultado de actividades humanas tales como fundición y refinación de metales, la quema de combustibles fósiles, y la aplicación de fertilizantes fosfatados y lodos de depuradora a los suelos. Su biodisponibilidad en los suelos es generalmente alta en comparación con otros metales como consecuencia de su mayor solubilidad y el predominio de uniones de baja energía con la fase sólida del suelo (Volke *et al.*, 2005).

Es relativamente raro en la naturaleza se asocia al zinc. Es de color blanco ligeramente azulado. Peso atómico 112 y densidad relativa 8. Tiene ocho isótopos estables y presenta once radioisótopos inestables de tipo artificial. Naturalmente no se encuentra en estado libre y la greenockita (sulfuro de cadmio) es el único mineral de cadmio. Casi todo el que se produce es obtenido como subproducto de la fundición y refinado de los minerales de zinc. Estados Unidos, Canadá, México, Australia, Bélgica, Luxemburgo y República de Corea son productores importantes (Peris, 2006).

El suelo es uno de los componentes del medio ambiente más involucrado en procesos de contaminación, ya que actúa como sumidero y, a la vez, fuente de contaminantes. De los constituyentes del suelo, las arcillas han mostrado una alta capacidad de absorción de metales como el Cu y Zn, dependiendo del pH. La presencia de carbonatos en los suelos también afecta la capacidad retención de metales. Comparando suelos ácidos y suelos calcáreos, observaron la existencia de relaciones entre el incremento del pH y la disminución de la solubilidad de metales (Molina, 2011).





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 (Galán y Romero, 2008).

La identificación de plantas que germinan en ambientes muy contaminados presenta, frente a otros sistemas complejos de limpieza, un gran interés en la recuperación de suelos y/o aguas (Camara, 2012). La fitorremediación aprovecha la capacidad de ciertas plantas para absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos derivados del petróleo. Estas fitotecnologías ofrecen numerosas ventajas en relación con los métodos fisicoquímicos que se usan en la actualidad, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo, (Delgadillo *et al*, 2011).

La tasa de remoción de metales depende de la biomasa cosechada y de la concentración de metal en ésta última. En especies comunes, no-acumuladoras, el bajo potencial para la bioconcentración de metales es frecuentemente compensado por la producción de una biomasa significativa (Carpena y Bernal, 2007).

Cuando la fuente de metales pesados es el suelo, en general los niveles decrecen en el orden: raíces - tallos- hojas- frutos- semillas. Por ejemplo, plantas jóvenes de girasol (*Helianthus annuus L.*) creciendo en solución nutritiva suplementada con Cd, Cu, Pb y Zn acumularon metales especialmente en las raíces (Navarro *et al.*, 2007).

El transporte a través de la membrana celular de la raíz es un proceso importante que inicia la absorción de metales; la carga eléctrica previene la libre difusión de iones metálicos desde las membranas celulares hacia el citosol sugiere que los estudios sobre la biodisponibilidad potencial de metales deberían considerar los efectos de la rizosfera sobre la solución del suelo, debido a que las propiedades de la solución cambian durante el desarrollo de ésta, y la amplitud de los cambios varía enormemente entre suelos, (Domínguez, 2009). El tratamiento con compost disminuyó significativamente la concentración de cadmio en lechuga (0,26 mg kg⁻¹) respecto a los otros tratamientos (0,45 - 0,60 mg kg⁻¹) y en corto tiempo aumentó significativamente el peso fresco de las lechugas respecto a los demás tratamientos sin fertilizar; no se encontró relación de esta disminución con el aumento del pH (Ruiz, 2011).

La orientación hacia el sol se debe al crecimiento diferencial del tallo; cuando la iluminación es desigual, en el lado sombreado de la planta se acumula auxina, un regulador del crecimiento vegetal; esta acumulación hace que la parte sombreada crezca más rápidamente que la soleada, y el tallo se inclina hacia el sol, sus flores son de color amarillo y rojo vino, con diámetros de hasta 30 cm (Moody *et al.*, 1994). Se utiliza en muchos países como remedio casero para muchas enfermedades, así, se usan las hojas y flores de la planta contra enfermedades de garganta y pulmonares. En Sudamérica se añade el extracto de flores y semillas al vino blanco como remedio contra enfermedades y para eliminar los cálculos renales y vesiculares. Las raíces de una de las especies, llamada pataca, *Helianthus tuberosus*, son comestibles, y se consumen hervidas, estofadas y horneadas (Holt, 1992). El girasol crece bien en climas cálidos, con temperaturas de 18 °C a 25 °C con máximas de 35 °C, requieren mucho sol, son susceptibles a las heladas, con un pH del suelo de 6-7 (Porta *et al.*, 1999), la relación de nutrientes requerida no debe alejarse de la siguiente fórmula: 2.5 N : P₂O₅ : 2.5 K₂O (Hanna, 1999).





De forma general, los metales de mayor biodisponibilidad para la absorción por las plantas acumuladoras son: el Cd, Ni, Zn, As, Se y Cu. Con un comportamiento moderado están el Co, Mn y Fe, mientras que el Pb, Cr y U prácticamente no son biodisponibles, (Coto *et al.*, 2005).

El cultivo de girasol es uno de los más importantes en la Argentina, con una superficie de 2,38 millones de has, sembradas en la campaña 2002/2003 y una producción de 3, 800,000 toneladas en el mismo ciclo. Por su germinación a bajas temperaturas (4 a 10 °C) encontró que líneas con 63% o más de ácido linoleico germinaban más rápidamente (Ortiz, 2009). El girasol (*Helianthus annuus L.*) se ubica entre los cultivos productores de aceite más importantes en el mundo, debido a su aceite de alta calidad, contenido de proteína alto, utilización de todas las partes de la planta y a moderados requerimientos de producción en México, el cultivo y la producción de esta oleaginosa se redujeron drásticamente (Olalde *et al.*, 2000).

El girasol (*Helianthus annuus L.*) es un cultivo oleaginoso tolerante a la sequía con gran potencial para su cultivo en zonas semiáridas como fuente de aceite comestible y por su interés forrajero puede contribuir a aminorar el déficit nacional en grasas alimenticias y a mejorar la vida de los campesinos en zonas agrícolas pobres. La productividad y características morfológicas y fisiológicas de los cultivos (altura, frondosidad, reacción a plagas y factores climáticos, etc) puede ser modificada por cambios nutricionales (fertilización al suelo o foliar), cambio genético (hibridación y selección o introgresión génica), o cambios en los factores específicos de la regulación del desarrollo (fitorregulación) (Silva *et al.*, 2001).

La búsqueda de soluciones para la eliminación de los contaminantes del suelo se está convirtiendo en un objetivo prioritario en la mayor parte de los países industrializados, buscar la manera eficaz de preservarla y restaurar los daños causados. La limpieza de suelos contaminados por la actividad industrial requiere cuantiosas inversiones y la fitorrestauración es una alternativa viable en algunos casos. En este proceso se concentran compuestos y elementos contaminantes en la especie vegetal, se metabolizan y transforman en otros compuestos. Este mecanismo natural puede tomar un mayor tiempo que otros procesos, pero reduce impactos ambientales y costos, al tiempo que mantiene la apariencia natural de la zona afectada (Acosta *et al.*, 2001). El Cadmio se encuentra ampliamente distribuido en la corteza terrestre con una concentración promedio de 0.1 mg/kg. por su abundancia generalmente se obtiene como subproducto del refinado de los minerales de zinc, plomo o cobre, de hecho la minería genera uno de los rasgos distintivos de la sociedad moderna es la creciente generación de contaminantes ambiental (Carpena y Bernal, 2007), lo que trae consigo daños considerables a la diversidad biológica. Los metales pesados son contaminantes que necesitan especial atención porque pueden permanecer varias décadas en el suelo y concentrarse en las cadenas tróficas. Las tecnologías desarrolladas para el saneamiento de ambientes contaminados con metales pesados son costosas y requieren un largo período de tiempo para su ejecución (Dickson, 2013).

La fitorremediación es una vertiente de la biorremediación que surge recientemente como alternativa ante esta problemática ambiental, y se basa en el uso de plantas que acumulan concentraciones de metales en sus tejidos para contener, remover o neutralizar contaminantes, mediante mecanismos de captura de metales propios de estas plantas (Diez, 2008).





MATERIALES Y MÉTODOS

Se tomaron las muestras de suelo al azar del centro poblado La Rinconada, que se encuentra a una altitud de 5100 msnm, en las coordenadas de E 451805.96 y S 8382480.57, en la región Puno.

El trabajo se realizó en los meses de noviembre 2015 a noviembre del 2016, en invernadero y a la intemperie en la ciudad de Puno, se aplicó las semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) el sustrato suelo fueron traídas de La Rinconada, en muestras al azar de 0 a 20 cm. Para el experimento se recolectaron dos muestras de suelo que se tomaron de suelo superficial hasta 35 cm de profundidad, 20 kg por muestra, traídas de La Rinconada se transportaron en baldes plásticas al laboratorio de Biología, se secaron en estufa a 40 °C por 24 h, continuando con su secado durante cuatro días, los suelos se esterilizaron en autoclave, durante 2 horas. Luego fueron transportados a los Laboratorios Analíticos del Sur- Arequipa para su análisis respectivo, concentración de cadmio (Método de ensayo aplicado *762 para Cadmio por Absorción Atómica). Los resultados fueron expresados en mg de cadmio por kg de suelo (mg/kg), para las comparaciones con los estándares de calidad para suelos. Se distribuyó en dos condiciones experimentales de invernadero y a la intemperie, para luego evaluar la temperatura y el pH de las muestras de suelo. Para evaluar la capacidad de absorción de cadmio, se colocó el sustrato con cadmio en 20 macetas, donde se usaron 60 semillas de girasol (*Helianthus annuus* L.) Se sembraron 1 a 3 semillas de girasol desinfectadas (90% germinación) de 1kg de suelo por maceta, para garantizar el desarrollo de por lo menos una planta por maceta. Para el trabajo de investigación se repartió 10 maceteros de girasol con sustrato de suelo con presencia de cadmio en ambiente controlado (invernadero) e igual concentración para la intemperie. Una vez por semana en cada planta se procedió a medir la altura, diámetro del tallo y número de hojas. Se realizó el seguimiento del desarrollo de las plantas girasol, mediante mediciones de su crecimiento hasta el final de su ciclo biológico. Luego fueron transportados a los Laboratorios Analíticos del Sur- Arequipa para su análisis respectivo, concentración de cadmio (Método de ensayo aplicado *5054 para Cadmio en matrices complejas por ICP-OES).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se presenta los resultados del análisis de contenido cadmio (Cd) para la muestra de suelo provenientes de La Rinconada, se tiene para el interior (invernadero) un valor promedio de 24.36 mg/kg de Cd, mientras que para el exterior se determinó 21.76 mg/kg de Cd, la desviación estándar fue de 1.89 y 1.15 mg/kg respectivamente (Tabla 1).

Los resultados indican un ligero mayor contenido de cadmio para las muestras del ambiente interior (invernadero), sin embargo el análisis estadístico señala que no existe diferencia entre ambos promedios ($p=0.112$), de lo cual se establece que el cultivo de las plantas de girasol se realizó con las mismas concentraciones de cadmio en ambos ambientes (interior y exterior).

Tabla 1. Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Lugar	Interior	Exterior
Repetición 1	24.898	20.746
Repetición 2	22.254	21.525
Repetición 3	25.926	23.0125
Promedio	24.36	21.76
Desviación estándar	1.89	1.15





Se muestra el desarrollo de las plantas de girasol en dos ambientes, en el interior (invernadero) las plantas presentaron alturas mínimas de 2 cm hasta un máximo de 62 cm en su máximo desarrollo, mientras que las plantas en el exterior presentaron alturas mínimas de 3 cm y máxima de 83 cm, de los resultados se establece un mayor desarrollo de las plantas que estuvieron expuestas directamente al sol y a temperaturas de ambiente del altiplano (Figura 1).

El análisis estadístico, señala que existe diferencia significativa ($p=0.001$) para la altura de planta, confirmando que las condiciones del invernadero restringen el desarrollo de las plantas de girasol, al parecer por una temperatura elevada en dichas condiciones.

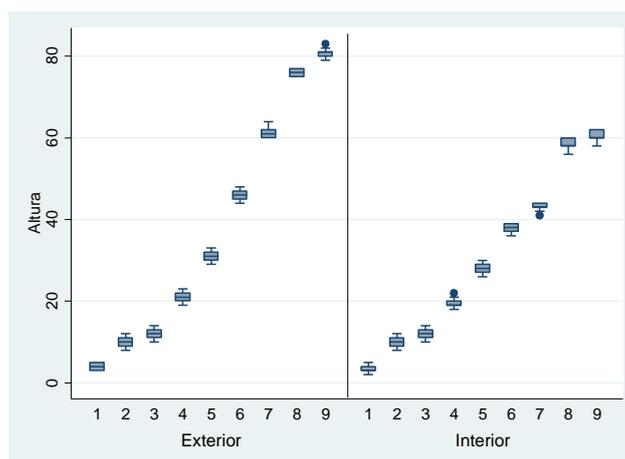


Figura 1. Altura de plantas de girasol (*Helianthus annuus*), para dos ambientes de cultivo y nueve meses de desarrollo, Puno 2015

Se expone los resultados del análisis de contenido de cadmio en dos ambientes y tres partes de la planta de girasol, se tiene una media de 0.697 mg/kg para el ambiente interior (invernadero) y de 0.460 mg/kg en el ambiente exterior; en la raíz de la planta se determinó 1.340 mg/kg, en el tallo 0.279 y en las hojas 0.117 mg/kg de Cd (Tabla 2).

De los resultados se evidencia que en el ambiente interior se observa un ligero mayor contenido de Cd, mientras que respecto a las partes de la planta se obtuvo un mayor contenido de este metal pesado en la raíz, disminuyendo en el tallo y aún en menor contenido en las hojas de las plantas de girasol.

Tabla 2. Concentración de cadmio (Cd en mg/kg) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Ambiente	Exterior			Interior		
Parte	Hoja	Raíz	Tallo	Hoja	Raíz	Tallo
Muestras	3	3	3	3	3	3
Media	0.21	0.88	0.29	0.03	1.80	0.27
D.E.	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02

Se muestra los resultados de absorción de cadmio según las partes de la planta de girasol, se tiene que la raíz presenta una media de absorción porcentual de 5.716%, el tallo con 1.217% y las hojas 0.529% de absorción; de los resultados se evidencia que la mayor absorción del cadmio se produce a nivel radicular, mientras que por el proceso de translocación este metal es trasladado hacia el tallo y las hojas de la planta (Tabla 3).



Tabla 3. Concentración de cadmio absorbido (%) en plantas de girasol en suelos provenientes del centro poblado La Rinconada en la región Puno, 2015

Estadísticos	Raíz	Tallo	Hojas
No. de observaciones	6	6	6
Media	5.716	1.217	0.529
Desviación estándar	1.666	0.139	0.429

Li *et al.* (1996) observaron que existe una excepción con los girasoles (*Helianthus annuus*), cuando el pH del suelo se incrementa (pH 6.5-7) no se reduce la asimilación de Cd ni su transferencia a las hojas y granos, por lo que un pH entre 5 y 6 unidades determinadas en nuestro estudio no limitarían el proceso de absorción de Cd.

Respecto al transporte del cadmio está restringido por sitios de intercambio de compuestos activos, localizados en las paredes celulares, una gran proporción se acumula en el tejido de las raíces y en menor cantidad en la parte alta de la planta (Kabata-Pendias y Pendias, 1992), lo cual explica el mayor contenido de cadmio en las raíces de las plantas de girasol, mientras que este contenido disminuye en tallo y hojas. La mayor concentración Cd en el suelo se encontró en la parte superior, lo cual indica baja movilidad del cadmio en el perfil de los suelos (Insuasty *et al.* 2006), esta baja movilidad del cadmio por el riego explica por lo que no determinamos diferencias de su contenido tanto en el interior como exterior del invernadero, es decir las lluvias no afectaron el contenido de cadmio por su baja movilidad en el suelo. Se conoce que el girasol (*Helianthus annuus* L.) es un rizofiltrador potencial de cadmio, níquel, cobre, cinc, cromo, plomo y radioisótopos y absorbe metales en mayor cantidad en sus raíces que en sus brotes (LLamas y Treviño 2004), nuestros resultados confirman el potencial de esta especie como rizofiltrador, pues obtuvimos un 5.716% de absorción en la zona radicular. Se han identificado una amplia diversidad de especies que se emplean para la fitorremediación, algunas de ellas, debido a su gran capacidad para acumular metales pesados, reciben el nombre de hiperacumuladoras, por definición estas plantas deben acumular al menos 100 µg/g (0.01 % peso seco) de Cd (Watanabe, 1997), por lo que nuestros resultados corroboran el potencial del girasol como planta hiperacumuladora de cadmio.

CONCLUSIONES

La muestra de suelo proveniente de la zona de La Rinconada en el invernadero presentó un valor promedio de 24.36 mg/kg, y en la intemperie se determinó 21.76 mg/kg de cadmio, no existiendo diferencia estadística entre ambos ambientes de cultivo ($p=0.112$).

En ambiente exterior se obtuvo en hoja una media de 0.21 mg/kg de cadmio, en raíz 0.88 y tallo 0.29, en interior en hoja 0.29 mg/kg, raíz con 1.80 y tallo 0.27; siendo estadísticamente superior el contenido en la raíz ($p<0.05$). La raíz de plantas de girasol presenta una media de absorción de cadmio de 5.716%, tallo con 1.217% y hojas 0.529% de absorción; la mayor absorción del cadmio se produce a nivel radicular.

LITERATURA CITADA

Acosta de Armas, M., Montilla, J. (2011). Evaluación de la contaminación de Cadmio y Plomo en agua, suelo y sedimento y análisis de impactos ambientales en la subcuenca del río Balsillas afluente del río. Bogotá D.C., Colombia.





- Albert L. (1997). Introducción a la Toxicología Ambiental. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. México.
- Camara, C. Fitorremediación (2012). Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento sedimentos contaminados con hidrocarburos procedentes de las estaciones de servicio en Risaralda. Universidad Tecnológica de Pereira Facultad de Ciencias Ambientales maestría en Ecotoxicología, Colombia.
- Carpena, O., y Bernal, P. (2007). Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos. Ecosistemas, vol 16 Asociación Española de Ecología Terrestre Alicante, España.
- Castañón, A, Venegas, A.; Lobos, G., Gaet- Olivares, J. (2013). Influencia de micorrizas arbusculares *Glomus spp.* En el crecimiento y acumulación de cobre en girasol (*Helianthus annuus*) en Chile Revista Agrociencia vol. 47 N° 4 México. Agua –suelo-clima.
- Coto, O.; Marrero, A.; Díaz, A.; Batista, R.; Fernández, R. (2005). Rizobacterias aisladas de plantas hiperacumuladoras de Ni en suelos ultramáficos, potencialidades para la restauración ecológica. República Dominicana.
- Chen, Y., Huang, L., Liu, P. Cai, W., Liang y M. Li. (2010). Poultry manure compost alleviates the phytotoxicity of soil cadmium: influence on growth of Pakchoi (*Brassica chinensis* L.). Pedosphere 20(1), 63-70. Department of Molecular y Integrative Physiology; 2. Department of Biological Chemistry; 3. Department of Molecular, Cellular and Developmental Biology; The University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109.
- Christie, P., X. Li, y B. Chen. (2004). Arbuscular mycorrhiza can depress translocation of zinc to shoots of host plants in soils moderately polluted with zinc. Plant Soil 261:209-217.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto F, Villagómez, J. y Acevedo S., (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, Centro de Investigaciones Químicas. Carr. Pachuca-Tulancingo Km 4.5, Mineral de la Reforma, Hidalgo, México. C.P. 42184.
- Dickson, R. (2013). Química Enfoque Ecológico. 2 ed. México D.F. (México): Limusa, Noriega Editores, 102 p.
- Diez, L. (2008). Fitorcorrección de suelos contaminados con metales pesados. Evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas. Tesis de doctorado. Universidad de Santiago de Compostela.
- Domínguez, G. (2009). Distribución y fitodisponibilidad de metales pesados (Sb, Hg, As) en los jales de la mina de antimonio de Wadley, estado de San Luis.
- Eapen, S., Singh, S., D'Souza, F. (2007). Advances in development of transgenic plants for remediation of xenobiotic pollutants. Biotechnology Advances.
- Estándares de Calidad Ambiental (ECA) 2013, según el Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, para suelo Comercial/Industrial/Extractivos según el método de ensayo EPA 3050-B EPA 3051 MINAM – PERU.
- Galán, E., y Romero, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. Revista de la sociedad española de mineralogía, 48-60.
- Galvao, A., Corey, G. (1987). Cadmio, Serie de vigilancia 1, O.P.S., OMS, México.
- García, C. (2013). La Jornada. Recuperado el 2 de Mayo de 2014, de Acusan a empresa de contaminar Guanajuato durante tres décadas México.
- García I. Dorronsoro C. (2002). Contaminación por metales pesados. Departamento de edafología y química agrícola de España.
- Hanna Instruments, (1999). Soil Test Handbook, Soil Science and Management, H3896, Hanna Soiltest, Italia.
- Herrera, K. Noviembre de (2009). Evaluación de la contaminación por plomo en suelos del Canton sitio del Niño municipio de San Juan Opico departamento de la libertad San Salvador, Salvador.
- Hernández, A. (2011). Determinación de metales pesados en suelos de Natividad Ixtlán de Juárez Oaxaca. Tesis de Licenciatura. Oaxaca (México): Universidad de la Sierra, Facultad de Ingeniería.
- Hernandez, F., y Paoloni, J. (1998). Germinación y emergencia de cuatro híbridos de Girasol (*Helianthus annuus* L.) con diferente contenido lipídico y en relación con la temperatura Departamento de Agronomía de la Universidad Nacional del Sur 8000 Bahía Blanca. Argentina
- Holt G., (1992). El Jardín del Gourmet. Los Frutos del Huerto a la Mesa, Ediciones Hermann Blume, España.
- Iannacone, J., Alvarino, L., Caballero, C. y. Sánchez, J. (2000). Cuatro ensayos ecotoxicológicos para evaluar lindano y clorpirifos Gayana, 64:139-146)
- Insuasty B, Liliana I; Burbano O, Hernán; Menjivar F, Juan (2006). Movilidad del cadmio en suelos cultivados con trigo en Tangua, Nariño, Colombia Acta Agronómica, vol. 55, núm. 2, Universidad Nacional de Colombia Palmira, Colombia.
- Kabata, A., Pendias, H., (1992). Trace Elements in Soils and Plants, 2ª Edición, CRC Press.
- Li, M., Chaney, L., Schreiner, A., Johnson, L., (1996). Effect of field limestone applications on cadmium content of sunflower (*Helianthus annuus* L.) leaves and kernels, Pant and soil, 180 (2), 297-302.
- Lora, R., y Bonilla, H. (2010). Remediación de un suelo de la cuenca alta del río Bogotá contaminado con los metales pesados de cadmio y cromo. U.D.C.A. Actualidad & divulgación científica.
- Llamas A, Treviño, B. (2004). Aprovechamiento de biosólidos como una fuente de energía ecológica. En: Revista transferencia. Monterrey: Tecnológico de Monterrey. Año 17.No. 68. URL.
- Llugany, M.; Lombini, A.; Poschenrieder, Ch.; Dinelli, E.; Barceló, J. (2003). Different mechanisms account for enhanced copper resistance in *Silene armeria* ecotypes from mine spoil and serpentine sites. Plant and Soil. 251: pp. 55-63.
- Martínez, G., Palacio, C. (2010). Determinación de metales pesados cadmio y plomo en suelos y en granos de cacao frescos y fermentados mediante espectroscopía de absorción atómica de llama. Bucaramanga, Colombia.
- Molina, C., Ibañez, C. y Gibon, M. (2013). Proceso de biomagnificación de metales pesados en un lago hiperhalino (Poopó, Oruro, Bolivia): posible riesgo en la salud de consumidores. Ecología, 47(2).





- Moody, M., Beckett, A., Clausen, R., (1994). Guía Completa de las Flores de Jardín, Editorial Blume, España.
- Molina, E. (2011). El análisis de suelos: determina la suficiencia o deficiencia de nutrientes en el suelo. *Acoplafor la revista*, 42-54.
- Muso, J. (2012). Determinación de la capacidad fitorremediadora de cadmio del Camacho (*Xanthosoma undipies koch*) especie vegetal nativa en el área de influencia de Ep Ecuador en el distrito amazónico. Sangolqui, Ecuador: Escuela politécnica del ejército.
- Navarro, P.; Aguilar, L.; López, R. (2007). Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistemas*. 16: 10-25.
- Noguera, E. y Huete, A., (2008). Potencial de biodegradación de DDT y sus metabolitos en suelos agrícolas de Chinandega., *Encuentro*, Año XL, No. 81, 2008 pp. 48-69.
- Olalde, M.; Escalante, A.; Sánchez, P.; Tijerina, L.; Mastache, A.; Carreño, E. (2000). Crecimiento y distribución de Biomasa en girasol en función del Nitrógeno y densidad de población en clima cálido.
- Orroño, I. (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 Tesis presentada para optar al título de Doctor de la Universidad de Buenos Aires, Área Ciencias Agropecuarias Ingeniera Agrónoma - Universidad de Buenos Aires Lugar de trabajo: Cátedra de Fertilidad y Fertilizantes, FAUBA.
- Ortiz, C. (2009). Fitoextracción de plomo y cadmio en suelos contaminados usando quelite (*amaranthus hybridus* L.) y micorrizas. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 15(2): 161-168.
- Padmavathiamma, K., Li, L. Y. (2007). Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. *Water, Air, Soil Pollution*. 184: 105-126.
- Pérez, G.; García, E.; Esparza, G. (2002). Papel ecológico de la flora rizosférica en Fitorremediación. *Avance y Perspectiva*. 21: pp. 297-300.
- Pérez, G, Perla, E; Azcona, I., (2012). Los efectos del cadmio en la salud *Revista de Especialidades Médico-Quirúrgicas*, vol. 17, núm. 3, julio-septiembre, 2012, pp. 199-205 Instituto de Seguridad y Servicios Sociales de los Trabajadores del Estado México.
- Peris, M. (2006). Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellon (España) PhD. Tesis, Ingeniera Química. Valencia (España): Universidad de Valencia, Facultad de Ingeniería.
- Poma, Ll., y Victor, R; Valderrama, C. (2014). Estudio de los parámetros fisicoquímicos para la fitorremediación de cadmio (ii) y mercurio (ii) con la especie *Eichhornia Crassipes* (jacinto de agua) Laboratorio de investigación en biopolímeros y metalofármacos -LIBIPMET, Facultad de Ciencias. Universidad Nacional de Ingeniería. Av. Túpac Amaru 210. Rímac, Lima-Perú.
- Poulin, j., Gibb, h. (2008). Mercurio, evaluación de la carga de morbilidad ambiental a nivel nacional y local. *Carga de morbilidad ambiental*, N°16.
- Prieto, F.; Martínez, H.; Méndez, A. y Prieto, J. (2007). Presencia de metales pesados en cultivos de Actopan e Ixmiquilpan, Valle del Mezquital, México, por riego con aguas negras. *Revista Latino Americana Recursos Naturales México* 3: 100-111.
- Rábago, I. (2011). Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid. *Capacidad de amortiguación de la contaminación por Plomo y Cadmio en suelos de la comunidad de Madrid*. Madrid, España.
- Ruiz, J. (2011). Evaluación de tratamientos para disminuir cadmio en lechuga (*Lactuca sativa* L.) regada con agua del río Bogotá Facultad de Ciencias, Departamento de Biología, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá (Colombia). *Revista Colombiana de ciencias hortícolas* - vol. 5 - no. 2 - pp. 233-243.
- Silva, M, Gamez, H.; Zavala, F.; Cuevas, B., Rojas, M. (2001). Efecto de cuatro fitorreguladores comerciales en el desarrollo y rendimiento del girasol Departamento de Botánica F. Ciencias Biológicas UANL.
- Singh, V., Jain, K. (2003). Phytoremediation of toxic aromatic pollutants from soil. *Applied and Microbiology Biotechnology*. 63: 128-135.
- Tenorio, G., Rodríguez, D. y López, G. (2008). Efecto del tamaño y color de la semilla en la germinación de *Cecropia obtusifolia* Bertol (Cecropiaceae) *División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo*, Estado de México.
- Valdés, R.; Balbín, (2008). Fitorremediación para metales pesados. Principios de una tecnología en desarrollo. Conferencia de la Universidad Agraria de La Habana. Fructuoso Rodríguez Pérez. Grupo de Fitorremediación. Red Temática Fitorremediación.
- Volke, T., y Velasco, A., (2002). Tecnologías de remediación para suelos contaminados., México: Instituto Nacional de Ecología. INE-SEMARNAT, México DF., 2002, pp. 31-64.
- Volke, T., Velasco, J., y De La Rosa, D. (2005). Suelos contaminados por metales y metaloides: Muestreo y alternativas para su remediación. México D. F., México: Instituto nacional de ecología.
- Watanabe, E. (1997). Phytoremediation on the brink of commercialization. *Environmental Science y Technology*. 31: 182-186.

