



Acumulación y traslocación de metales, metaloides y no metales en plantas nativas de la zona minera de Santo Domingo, Chontales: Implicaciones para el potencial de fito-remediación.

Bras. Carla Mendieta Webster y Katerine Taisigüe López

Laboratorio de Biotecnología, UNAN-Managua

Facultad de Ciencias e Ingenierías, Departamento de Biología, UNAN-Managua



Introducción

La actividad minera en Nicaragua se ha venido desarrollando de manera artesanal desde inicios del XVI. Los pueblos nativos procesaban yacimientos de metales preciosos (oro y plata) y yacimientos no metálicos (canteras); desde entonces ha venido teniendo importancia esta actividad económica, por ser uno de los rubros de exportación. A través de los años esta actividad altamente lucrativa ha dejado como resultado grandes extensiones de suelos perturbados y contaminados con metales tóxicos para la salud humana e inhibiendo en el desarrollo de las especies faunísticas y vegetales.

Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bio-acumularse en diferentes cultivos. La bio acumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente. La acumulación de metales pesados por las plantas es generalmente el primer paso para la entrada de estos a la cadena alimentaria. La absorción y posteriormente la acumulación va en dependencia en primera estancia, del movimientos de los metales desde la solución en el suelo a la raíz de la planta.

La contaminación de suelos con metales pesados constituye actualmente uno de los más serios problemas ambientales, provocados fundamentalmente por la actividad antropica. Algunas especies vegetales desarrollaron mecanismos fisiológicos bioquímicos para minimizar los efectos de los metales pesados, controlando su acumulación y traslocación en el tejido vegetal. Las plantas poseen tres estrategias básicas para crecer sobre suelos contaminados. La exclusión, que previene la entrada de metales o mantienen baja y constante la concentración de estos sobre un amplio rango de concentración de metales en el suelo, principalmente restringiendo la acumulación de los metales en las raíces. La segunda estrategia se encuentra en las plantas denominadas indicadoras, que acumulan los metales en sus tejidos aéreos y generalmente reflejan el nivel de metal en el suelo. La tercera estrategia es la de acumulación, que es concentrar metales en sus partes aéreas, en niveles que exceden varias veces el nivel presente en el suelo. Se trata de plantas hiper acumuladoras cuando son capaces de absorber altos niveles de contaminantes y concentrarlos en raíces, tallos y hojas.

La fitorremediación de suelos contaminados engloba un grupo de técnicas en el uso de especies vegetales y sus microorganismos asociados para extraer, acumular, inmovilizar o transformar los contaminantes del suelo. La fitoextracción, también llamada fito-acumulación, emplea la capacidad de las plantas para absorber y extraer el contaminante del suelo, principalmente metales, acumularlos en sus tallos y hojas y es la técnica de interés en este estudio.

Objetivo general

- ❖ Evaluar el potencial fito-remediador de plantas nativas que crecen en los alrededores de sitios contaminados por metales, metaloides y no-metales en las zonas mineras de Santo Domingo y La Libertad, Chontales.

Objetivos específicos

- Determinar la capacidad de acumulación (Factor de Bio-concentración raíz/suelo) de 32 metales, metaloides y no-metales de interés en 22 especies de plantas nativas que crecen en los alrededores de botaderos mineros ubicados en Santo Domingo y La Libertad y en la ribera del Río Sucio.
- Determinar el patrón de distribución a los diferentes órganos vegetativos (Factor de traslocación órgano/raíz) de los analitos de interés en 22 especies de plantas nativas de los sitios de estudio.
- Clasificar las especies de plantas analizadas de acuerdo a su estrategia de acumulación de metales, metaloides y no metales.
- Seleccionar plantas herbáceas nativas que pudieran ser utilizadas para la fito-remediación de sitios contaminados por metales, metaloides y no-metales.

Materiales y métodos

I. Descripción del área de estudio

El área de estudio se encuentra en Santo Domingo y La libertad, ubicada entre la cordillera Amerrique y las extensas llanuras del Atlántico; al extremo oriental del Departamento de Chontales. La población de plantas fue seleccionada en los alrededores de los botaderos de material minero colectándose 22 especies de plantas (divididas en raíz, tallo, hoja y fruto) y muestras de suelos aledaños y rizomáticos de cada planta con duplicados que tuvieran fisiología y condiciones climatológicas similares con el objetivo de comparar el contenido de metales en ambos, se espera que el suelo aledaño contenga mas metales que el rizosférico ya que no está en contacto directo con la planta.

II. Colección, preparación y análisis de muestras de plantas y suelos

Los análisis realizados en los suelos colectados fueron: Parámetros físico-químicos del suelo (pH, disponibilidad en extracto acuoso, CaCl_2 , NH_4NO_3 ; Porcentaje de humedad y materia orgánica), los suelos fueron digeridos a una temperatura aproximadamente de 85° C, en Ácido Nítrico y Ácido Clorhídrico para ambos para determinar 32 metales: Li (litio), Be (berilio), Na (sodio), Mg(magnesio), K (potasio), Ca (calcio), Ti (titanio), V (vanadio), Cr (cromo), Mn (manganeso), Fe (hierro), Co (cobalto), Ni (níquel), Cu (cobre), Zn (zinc), Al (aluminio), Sr (estroncio), Mo (molibdeno), Ag (plata), Cd (cadmio), Sn (estaño), Pb (plomo), Ti (talio), Au (oro), Ba (bario) y Hg (mercurio); metaloides: B (boro), Si (silicio), As (arsénico) y Sb (antimonio) y no metales: P (fosforo) y Se (selenio).

Las muestras de plantas fueron sub- divididas en base a sus diferentes órganos vegetativos: raíz, tallo, hojas y semillas o flores. Cada muestra fue secada a temperatura ambiente. Posteriormente se procedió a la pulverización en mortero y tamizado a través de una malla N° 30. Las muestras pulverizadas se digesteron en hot plate con ácido nítrico (HNO_3) concentrado para el análisis de 32 metales, metaloides y no metales. La temperatura inicial de digestión fue de 90° C por 45 minutos, luego a 140° C hasta obtener un 1ml de muestra aproximadamente, posteriormente aforado en 25 ml con ácido nítrico al 1%v/v.

Los suelos fueron digeridos para determinar los mismos 32 metales, metaloides y no metales analizados en las plantas. La digestión se hizo a una temperatura promedio de 85° C, con Ácido Nítrico y Ácido Clorhídrico concentrado.

Después de la digestión de las muestras de suelos y plantas se realizó el análisis de los analitos de interés por Espectrometría de Emisión Óptica por Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-OES). Las concentraciones de los analitos de interés fueron corregidas en base a la recuperación del estándar subrogado o testigo usado que fue Itrio (2 mg/L).

Se hicieron algunos análisis de parámetros físico-químicos de interés en los suelos colectados, tales como: pH acuoso, Metales disponibles o lixiviables en extracto acuoso, CaCl_2 , 0.01 M, NH_4NO_3 1M, Porcentaje de humedad (65 ° C) y materia orgánica (550 ° C por gravimetría.

III. Cálculo de factores de bio-concentración (BCF) y de traslocación (FT)

El cálculo del factor de bioconcentración o bioacumulación (BCF 's o BAF 's) se calcula para estimar la relación entre los residuos químicos en las plantas y las concentraciones medidas en el medio donde viven (suelo). Los BCF se calcularon dividiendo la concentración de cada elemento en la raíz con la del suelo respectivo (rizosférico y aledaño). Los factores de traslocación a los diferentes órganos vegetativos se calcularon dividiendo la concentración en el órgano de interés (tallo, hojas, flores, semillas o frutos) entre la concentración en la raíz. Los factores de bio concentración y traslocación indicarán qué especies de plantas pueden ser consideradas acumuladoras, tolerantes o exclusoras de los elementos de interés. Las plantas con $\text{BCF}>1$ y $\text{FT}>1$ son considerados como acumuladoras o hiper acumuladoras (si las concentraciones exceden 0.1 %), las que presentan valores entre 0.1 y 1, respectivamente, son consideradas como tolerantes y las que presentan valores <0.1 se consideran como plantas exclusoras.

Resultados preliminares

Los suelos analizados del botadero "La Estrella" mostraron un pH ácido (5-6) en los tres extractos analizados (acuoso, CaCl_2 y NH_4NO_3); un porcentaje de humedad entre 13-31% y un contenido de materia orgánica del 1-8%. Se detectaron concentraciones en mg/kg para Fe (8040-26034), Al (2706-1902), Mn (3508-11792), Ca (204-2765), Si (483-753), K (156-672), Mg (128-1931), P (193-149), Na (17-133) y Ti (74-578) los cuales son los elementos conocidos como esenciales.

Las concentraciones de los elementos menores detectados (mg/kg) fueron en orden decreciente: Pb (554 a 2082), Ba (348 a 1170), Zn (155 a 447), Cu (100 a 280), V (38 a 180), Co (3 a 180), Sr (20 a 67), Ag (10 a 63).

las concentraciones de los elementos trazas detectados (mg/kg) en orden decreciente fueron: Ti (6.5 a 31), Li (6 a 32), Hg (5 a 26), Ni (6 a 32), Cr (4 a 38), B (4 a 14), As (4 a 12), Se (0.2 a 6), Au (1 a 5), Sb (0.2-5), Cd (1 a 5), Sn (0.03-3.5).

Las concentraciones detectadas fueron comparadas con las directrices Canadienses de calidad de suelos para la protección a la salud humana y ambiental (CCME, 2007) para los distintos usos (agrícola, residencial/parque, comercial e industrial). La Tabla 1 muestra la comparación de los 16 elementos normados por las directrices Canadienses de calidad de suelos para la Protección del Medio Ambiente y la Salud (CCME, 2007). Cuatro elementos (Cu, Pb, Se y Ti)sobrepasan las directrices para los cuatro usos del suelo, cinco elementos (Ag, Cd, Co, Zn y Hg) sobrepasan los de uso agrícola y residencial. El Ba sobrepasó la directriz de uso residencial y el Cd la del uso agrícola. Por lo que concluimos que este suelo debe tener un uso restringido.

Tabla 1. Comparación de las concentraciones promedio detectadas en las 38 muestras de suelos aledaños y rizosférico analizadas delas plantas nativas de los alrededores del Botadero La Estrella con las directrices Canadienses de calidad del suelo para la protección del medio ambiente y la salud humana.

Elementos	Promedio mg/kg	Agricultura	Residencial	Comercial	Industrial
Ag	24.4	20	20	40	40
As	7.1	12	12	12	12
Ba	607.8	750	500	2000	2000
Cd	2.0	1.4	10	22	22
Co	53.8	40	50	300	300
Cr	9.8	64	64	87	87
Cu	167.2	63	63	91	91
Ni	10.8	50	50	50	50
Pb	1178.7	70	140	260	600
Sb	2.2	20	20	40	40
Se	3.0	1	1	2.9	2.9
Sn	0.9	5	50	300	300
Ti	16.5	1	1	1	1
V	76.8	130	130	130	130
Zn	281.4	200	200	360	360
Hg	12.7	6.6	6.6	24	50

Factores de bio-concentración y traslocación

La acumulación de los metales de interés en las plantas varía grandemente de acuerdo a las especies y a los elementos específicos. *T. serrulata* es una de las especies que más metales acumula como Ag (2.104), Ba (1.0143), Cd (2.065), Cr (1.174), Se (1.105), Ti (1.742) y Al (1.057); La especie *C. odorantus* es acumuladora de Ag (1.235), Cd (1.027), Cr (3.970), Cu (1.127), Zn (Zn1.039), Al (1.055) y Au (20.988). *D. sanguinalis* es acumuladora de Ag (1.661), Cd (1.163), Cr (2.6801), Se (1.243), Zn (3.248) y Au (7.978). *P. conjugatum* puede ser considerada acumuladora de Ag (2.542), Cd (1.034), Cr (2.116), Se (1.049) y Hg (1.418). *Thelypteris*sp. acumuladora de Ag (1.1) y Cr (3.449); *E. colona* es acumuladora de Ag (1.664), Cd (1.088), Cr (8.271), Co (8.271), Hg (3.981) y Au (11.130). *C. luzulae* acumuladora de Cd (1.395), Cr (2.495) y Al (1.223). En las Figuras 1 y 2 se pueden observar las concentraciones de Ag y Cr detectadas en los diferentes órganos vegetativos de algunas especies de plantas nativas del sitio.

Las concentraciones de metales en plantas mostraron que las especies *E. colona*, *C. odorantus* y *Digitaria sanguinalis* presentan $\text{BCF}>1$ para Al, Zn, Cu, Cr, Cd. Las plantas consideradas como acumuladoras de Ag son *P. conjugatum*, *Thelypteris* sp., *Setaria liebmanni*, *T. serrulata*, *E. indica*, *E. colona*, *C. odorantus*, *D. sanguinalis* y *Verbena* sp.; ésta última presenta un $\text{BCF}>8$ para el caso de Hg, sin embargo no logra movilizarlo hacia sus partes aéreas. *Oldenlandia* sp., *Cyperus luzulae* y *Mimosa pudica* acumularon Hg en las hojas posiblemente por deposición atmosférica ya que la concentración detectada era mayor en las hojas que en la raíz. *Paspalum conjugatum* presenta una distribución uniforme de Cr en todas sus partes (raíz, hoja, tallo, flores).

Entre las especies que acumulan cinco elementos o menos están: *S. liebmanni* Ag (1.018), Cd (1.159) y Cr (5.144), *E. indica* Ag (1.014), Cd (1.520) y Cr (19.076), *Verbena* sp. Ag (7.786), Co (1.021) y Hg (8.544), *C. radiata* Cr (5.289), Al (1.038) y Au (12.281), *S. laxum* Se (29.927), *M. pudica* Cd (1.242) y Cr (3.507), *H. alata* Cd (1.807) y Co (2.148), *H. coronarium* Cr (2.863) y Au (7.986). *Oldenlandiasp.*, *S. dulcis* y *S. torvum* únicamente acumulan Cr con $\text{BCFs}=1.370, 5.234$ y 3.33 , respectivamente.

Analizando los valores de $\text{BCF} > 1$ para Al, Zn, Cu, Cr, Cd, las especies de plantas consideradas como acumuladoras serían *Echinochloa colona*, *Cyperus odorantus* y *Digitaria sanguinalis*. Las especies *Paspalum conjugatum*, *Thelypteris*sp., *Setaria liebmanni*, *Tripogandra serrulata*, *Eleusine indica*, *E. colona*, *C. odorantus*, *D. sanguinalis* y *Verbena* sp. acumulan Ag con un BCF entre 1-7; solamente *P. conjugatum*, *Verbena* sp. y *E. colona* fueron capaces de acumular Hg>1 en sus raíces; El Au se analizó por su importancia económica y algunas especies presentaron potencial como son: *E. colona*, *C. odorantus*, *Hedychium coronarium*, *D. sanguinalis* y *Chloris radiata* . El Se fue acumulado por *P. conjugatum*, *T. serrulata*, *Steinchisma laxum* y *D. sanguinalis* con BCFs que van desde 1 a 29.

Los datos para calcular los factores de traslocación están siendo analizados y procesados.



Paspalum conjugatum
Familia: Poaceae



Thelypteris sp.
Familia: Thelypteridaceae



Echinochloa colona
Familia: Poaceae



Cyperus odorantus
Familia: Cyperaceae



Tripogandra serrulata
Familia: Commelinaceae



Steinchisma laxum
Familia: Poaceae



Eleusine indica
Familia Poaceae



Mimosa pudica
Familia: Fabaceae



Oldenlandia sp.
Familia Rubiaceae



Hyptis alata
Familia: Lamiaceae



Verbena sp.
Familia Verbenaceae



Scoparia dulcis
Familia Scrophulaceae



Solanum torvum
Familia Solanaceae



Hedychium coronarium
Familia: Zingiberaceae

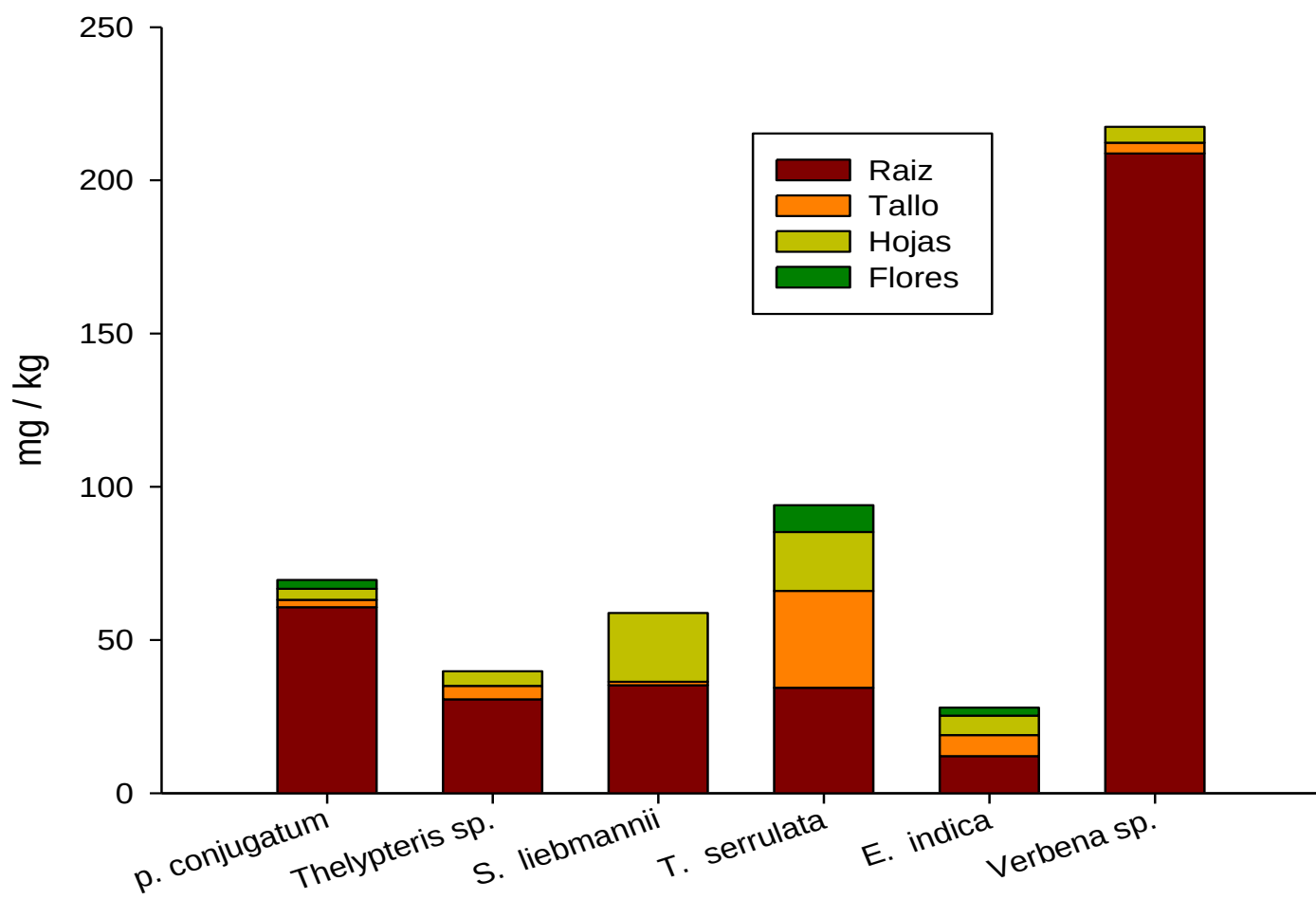


Figura 1. Distribución de Ag en diferentes especies de plantas encontradas en el botadero «La Estrella» en Santo Domingo, Chontales.

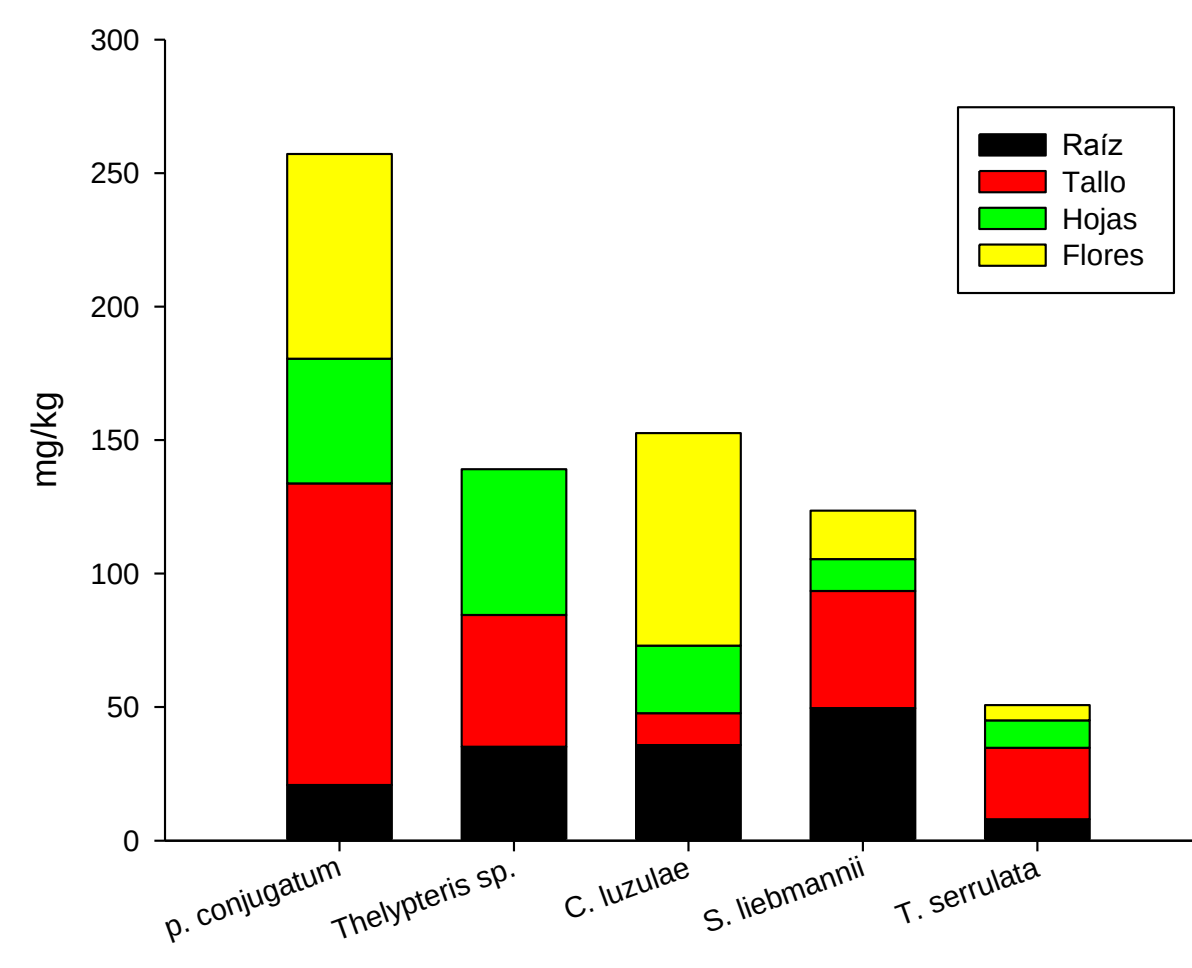


Figura 2. Distribución de Cr en diferentes especies de plantas colectadas en el botadero «La Estrella» en Santo Domingo, Chontales

Bibliografía básica

- Agoramoorthy, G., Chen, F. A.,Venkatesalu, V., and Shea, P. C. (2009). Bioconcentration of heavy metals in selected medicinal plants of India.J. Environ. Biol.,**30(2)**, 175-178.
- Agoramoorthy, G., Chen, F., Hsu, M. J. (2008). Threat of heavy metal pollution in halophytic and mangrove plants of Tamil Nadu, India. *Environmental Pollution*, 155, 320-326
- Carrillo, G.R., González-Chavez, M. C. A. (2006).Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes, Mexico. *Environmental Pollution*, 144, 84-92.
- Cheng Wang , Zhongfang Yang, Xuyin Yuan, Patrick Browne, Lingxiao Chen, Junfeng Ji. The influences of soil properties on Cu and Zn availability in soil and their transfer to wheat (Triticum aestivum L.) in the Yangtze River delta region, China.
- Diez, L. F., 2008. Fito -corrección de Suelos Contaminados con Metales Pesados: Evaluación de Plantas Tolerantes y Optimización del Proceso Mediante Practicas Agronómicas. Universidad de Compostela, España.
- Eli Testiati, Julien Parinet, Catherine Massiani, Isabelle Laffont-Schwob, Jacques Rabier, Hans-Rudolf Pfeifer, Veronique Lenoble, V´eronique Masotti, Pascale Prudent. Trace metal and metalloïd contamination levels in soils and in two native plant species of a former industrial site: evaluation of the phytostabilization potential.
- Khan, S., Cao, Q., Zheng, Y. M., Huang, Y. Z., Zhu, Y. G. (2008).Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environmental Pollution*, 152, 686-692.
- Maiti, S. K., Jaiswal, S.(2008). Bioaccumulation and traslocation of metals in natural vegetation growing on fly ash lagoons: a field study from Santaldih thermal power plant, West Bengal, India.*Environmental Monitoring and Assessment*, 136, 355-370.
- Schimmer, F., & Klausner, T. (2005). Feasibility Studies for Microbial Remediation of metal Contaminated Soil. En R. Margesin, & F. Shimmer, *Manual for Soil Analysis- Monitoring and Assessing Soil Bioremediation* (págs. 155-159). Heidelberg: Springer-Verlag Berlin.
- Villamil, C., 2010. Evaluación de Ecosistemas de Manglar con Diferentes Coberturas en cuanto a los precesos de retención , Absorcion y Acumulación de Metales Pesados (Cr, Cd, Pb, Zn y Cu). Universidad Nacional de Colombia.

Agradecimientos

Se agradece el financiamiento de esta tesis al Programa de asociación Austríaco de la educación superior e investigación para el desarrollo (APPEAR/ADC-OeAd/LAI) por medio del Proyecto "Remediación de sitios contaminados: investigación y educación" (BIOREM <http://biorem.univie.ac.at/>). Se agradece también el apoyo y la colaboración de la dirección y del personal del Laboratorio de Biotecnología de la UNAN-Managua.

Para mayor información

Carla Mendieta (mendietawebster17@gmail.com)
Katherine Taisigüe (migreni@yahoo.es)
Dra. Katia Montenegro Rayo (Kmontenegro@unan.edu.ni)
Teléfonos: 22701287, 22705189 Ext. 16
Laboratorio de Biotecnología (UNAN-Managua)
Recinto RURMA, Pabellón D, Rotonda Universitaria 1 c. al norte, Managua.
Página de Internet: http://www.unan.edu.ni/lab_bio/index.html