



**CONAMA10**  
CONGRESO NACIONAL  
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

## **Extracción por técnicas de soil flushing de $\text{Cu}^{2+}$ y $\text{Ni}^{2+}$ en dos suelos contaminados artificialmente**

Autor: Ana María Méndez Lázaro

Institución: Universidad Politécnica de Madrid

e-mail: [anamaria.mendez@upm.es](mailto:anamaria.mendez@upm.es)

Otros Autores: Joaquin Cámara Gajate (Universidad Politécnica de Madrid);  
Gabriel Gascó Guerrero (Universidad Politécnica de Madrid)



## RESUMEN

El presente estudio se enmarca dentro del proyecto de investigación titulado 'Utilización de filtros carbonosos de bajo precio en la descontaminación de suelos mediante técnicas de soil flushing (AGL2009-12788)' subvencionado por el Ministerio de Ciencia Innovación de España que está desarrollando el grupo de investigación sobre 'Valorización de Recursos de la Universidad Politécnica de Madrid y cuyo principal objetivo es la descontaminación de suelos contaminados por metales pesados mediante la técnica de soil flushing. Concretamente, el objetivo de esta comunicación es la extracción de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  en dos suelos contaminados artificialmente mediante la utilización de distintas disoluciones de EDTA (0,01 y 0,001 M). Los resultados mostraron que la extracción es más eficaz cuanto mayor es la concentración del metal en el suelo y que la efectividad del EDTA varía según el metal a extraer y las características del suelo. El porcentaje de metales pesados extraídos del suelo con disoluciones de EDTA aumenta a medida que aumenta la concentración de estos en el suelo y la cantidad de EDTA en disolución, siendo más eficaz para el  $\text{Cu}^{2+}$  que para el  $\text{Ni}^{2+}$ . Además, los porcentajes de extracción son mayores a medida que se reduce el contenido en arcilla así como la CIC del suelo.

**Palabras Clave:** soil washing, EDTA, metales pesados, suelos contaminados.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las técnicas de descontaminación de suelos se clasifican principalmente en tres grandes grupos: métodos térmicos, biológicos y físico-químicos. La elección de un método u otro depende principalmente del tipo de contaminante, de la clase del suelo y del coste del mismo. Uno de los métodos más utilizados para la descontaminación de suelos contaminados por metales pesados es la técnica de “soil flushing”.

Estas técnicas consisten en la aplicación de agua al suelo, con el objetivo de solubilizar contaminantes en la solución de lavado (tanto orgánicos como inorgánicos), la cual es extraída y descontaminada posteriormente mediante resinas de intercambio o carbones activos (Van Deuren et al., 2002). Para que las técnicas de “soil flushing” sean eficaces es importante que también lo sea la extracción del contaminante del suelo en el agua de lavado (“soil washing”). Para la extracción de metales pesados del suelo mediante ‘soil washing’ se adicionan generalmente al agua de lavado, ácidos y/o agentes quelantes. Estos últimos desorben los metales traza de la fracción sólida del suelo formando complejos ‘metal-sustancia quelante’ que se caracteriza por su fuerza, su solubilidad en agua y estabilidad, lo que previene la precipitación y absorción de metales por el suelo a menos que se produzca un descenso brusco del pH.

Entre los agentes quelantes más utilizados destaca sobretudo el EDTA debido a su eficiencia, disponibilidad y relativo bajo coste (Lestan et al. 2008). La ventaja de la utilización de agentes quelantes con respecto a soluciones ácidas radica en que estas últimas pueden contribuir a la degradación de las propiedades físico-químicas del suelo (Xu y Zhao, 2005).

El objetivo de esta comunicación es la extracción de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  en dos suelos contaminados artificialmente mediante técnicas de soil washing.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1. SELECCIÓN DE SUELOS

Los suelos (Tabla 1 y 2) utilizados en el estudio proceden de los horizontes superficiales de dos suelos de la Comunidad de Madrid, caracterizados previamente en trabajos anteriores por miembros del Grupo de Investigación de “Valorización de Recursos”. El suelo procedente de Valdeolmos (SA), municipio situado cerca del límite de Madrid con Guadalajara, ha sido clasificado Typic Palexeralf según la “Soil Taxonomy” (USDA-SSS, 1999), que corresponde en la clasificación FAO (ISSS Working Group, 1998) a un Luvisol-Alisol (CAM, 1990) y destaca por tener un acusado contraste textural (20; 44; 55% de arcilla) y reacción ácida (pH 5,89; 5,62; 6,33). Su perfil es ABtC. Sus principales características físico-químicas fueron descritas por Gascó (2001) (Tabla 2 y 3). Por su parte, el suelo de San Sebastián de los Reyes (SN), ha sido clasificado Typic Haploxeralf según la “Soil Taxonomy” lo que corresponde en la clasificación FAO (ISSS Working Group, 1998) a un Luvisol háplico. El Typic Haploxeralf de San Sebastián de los

Reyes presenta un perfil ABC y destaca por la ausencia de horizonte cálcico y la presencia de un B argílico. Este perfil fue caracterizado por Guerrero (2000).

## 2.2. DISEÑO DEL EXPERIMENTO

El extractante elegido para la extracción de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  fue el EDTA (ácido etilendiaminotetraacético) de acuerdo con los trabajos de distintos autores (Lim et al., 2005; Ehsan et al., 2006). En primer lugar, se procedió a la contaminación controlada de los dos suelos. Para ello, se mezclaron distintas muestras de los suelos con disoluciones de Cu y Ni de 500 y 1000 mg/L en la proporción 1:1 en peso. A continuación se filtró la muestra y se analizó la concentración de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  en la solución acuosa obtenida. Mediante la realización de un balance de materia, se obtuvo la concentración teórica de Cu y Ni en los suelos contaminados (Tabla 3).

Posteriormente los suelos contaminados fueron agitados en extracto 1:10 con disoluciones de EDTA de concentraciones 0,01 M y 0,001 M, y con un testigo de agua destilada extrayendo 4 mL cada 30 minutos durante dos horas. En las alícuotas extraídas se determinó el contenido en  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  por espectrofotometría de absorción atómica con un equipo Perkin Elmer AAnalyst 400.

**Tabla 1. Datos analíticos de los suelos elegidos.**

	<b>Suelo ácido (SA)</b> (Gascó, 2001)	<b>Suelo neutro (SN)</b> (Guerrero, 2000)
<b>pH</b> <sup>1</sup>	5,89	7,41
<b>CE</b> ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25°C) <sup>2</sup>	207	387
<b>C orgánico</b> (%) <sup>3</sup>	2,61	1,88
<b>N</b> Kjeldahl (%) <sup>4</sup>	0,12	0,08
<b>Relación C/N</b>	21,8	23,5
<b>CIC</b> ( $\text{cmol}_{(\text{c})}/\text{kg}$ ) <sup>5</sup>	20,47	15,80
<b>CaCO<sub>3</sub></b> (%) <sup>6</sup>	-	0,31
<b>Humedad a 33 kPa</b> (%) <sup>7</sup>	21,9	15,9
<b>Humedad a 1500 kPa</b> (%) <sup>7</sup>	8,4	6,9
<b>Cu</b> (mg/kg) <sup>8</sup>	9	9,14
<b>Ni</b> (mg/kg) <sup>8</sup>	18,6	9,48
<b>Cd</b> (mg/kg) <sup>8</sup>	0,38	0,20
<b>Zn</b> (mg/kg) <sup>8</sup>	17	36,55
<b>Pb</b> (mg/kg) <sup>8</sup>	24,8	6,26
<sup>1</sup> Dato medido en el extracto 1:2,5 (m/v) (Thomas, 1996). <sup>2</sup> Dato medido en el extracto 1:2,5 (m/v) (Rhoades, 1996). <sup>3</sup> Dato obtenido mediante calcinación a 540 °C (Nelson y Sommers, 1996). <sup>4</sup> Dato obtenido mediante digestión Kjeldahl (Bremner, 1996). <sup>5</sup> Dato obtenido según Sumner y Miller (1996). <sup>6</sup> Dato obtenido por gasometría del CO <sub>2</sub> desprendido (Loeppert y Suárez, 1996). <sup>7</sup> Dato obtenido mediante la membrana de Richards (1954). <sup>8</sup> Dato obtenido por espectrometría según el método 3051a (USEPA, 1997)		

**Tabla 2. Textura de los suelos elegidos**

	Suelo ácido (SA)	Suelo neutro (SN)
Textura USDA	Franca	Franco arenosa
Arcilla (%) (< 0,002 mm)	20	12
Limo (%) (0,002-0,05 mm)	34	20
Arena (%) (0,05-2 mm)	46	68

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los experimentos de soil washing se realizaron con disoluciones de EDTA de dos concentraciones distintas (0,001 y 0,01 M) comparándose los resultados con un testigo de agua destilada. La tabla 3 muestra que la cantidad inicial de  $\text{Cu}^{2+}$  y  $\text{Ni}^{2+}$  de los suelos contaminados previamente está por encima de los valores establecidos por la legislación sobre lodos de depuradora (MAPA, 1990).

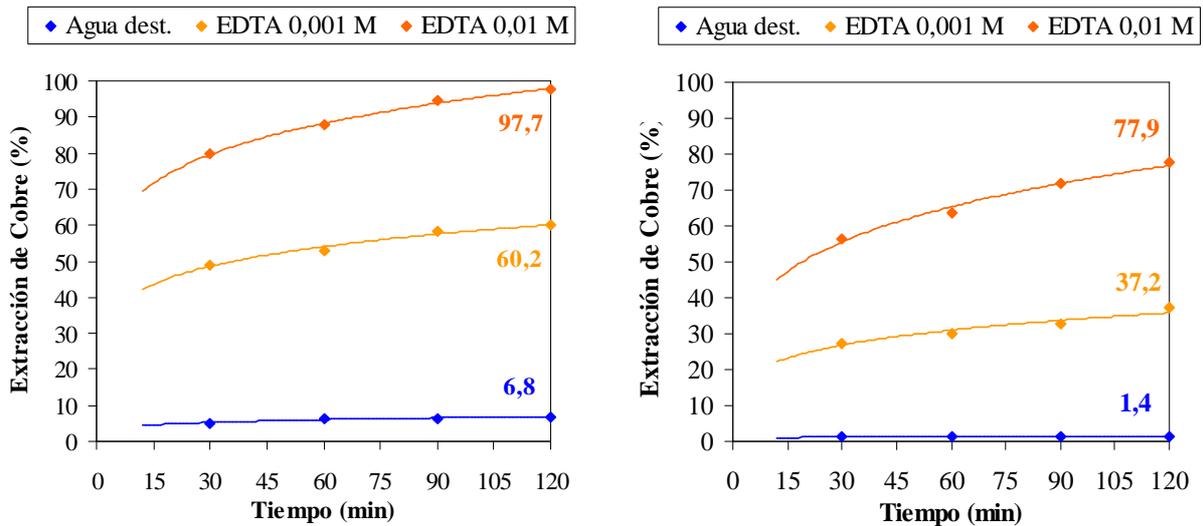
**Tabla 3. Efectividad de las disoluciones extractantes**

Metal contaminante	Suelo	[Metal] (ppm)	Cantidad de metal extraído (%)		
			H <sub>2</sub> O	EDTA 0,001 M	EDTA 0,01 M
Ni	SN	471	44,1	45,2	47,9
		287	11,7	16,8	33,2
	SA	542	33,3	37,5	43,4
		292	22,8	30,1	30,4
Cu	SN	664	6,8	60,2	97,7
		506	1,4	37,2	77,9
	SA	647	9,8	59,8	90,2
		497	2,0	35,9	69,7

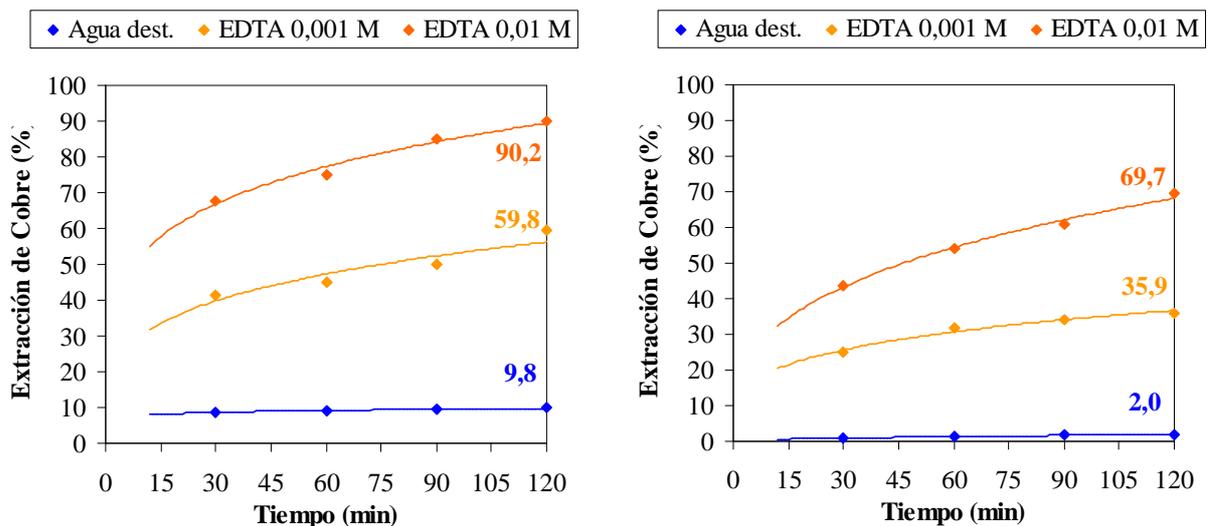
En el caso del  $\text{Cu}^{2+}$  (Tabla 3, Figuras 1 y 2), tras las dos horas de agitación, los porcentajes de extracción aumentaron espectacularmente con respecto al testigo, siendo mayor a mayor concentración de EDTA. Los porcentajes de extracción de Cu están de

acuerdo con los resultados obtenidos por Di Palma y Ferrantelli (2005) en suelos arenosos artificialmente contaminados.

**Figura 1. Porcentaje de Cobre extraído del suelo neutro (SN) contaminado (664 y 506 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  respectivamente) con EDTA en función del tiempo.**



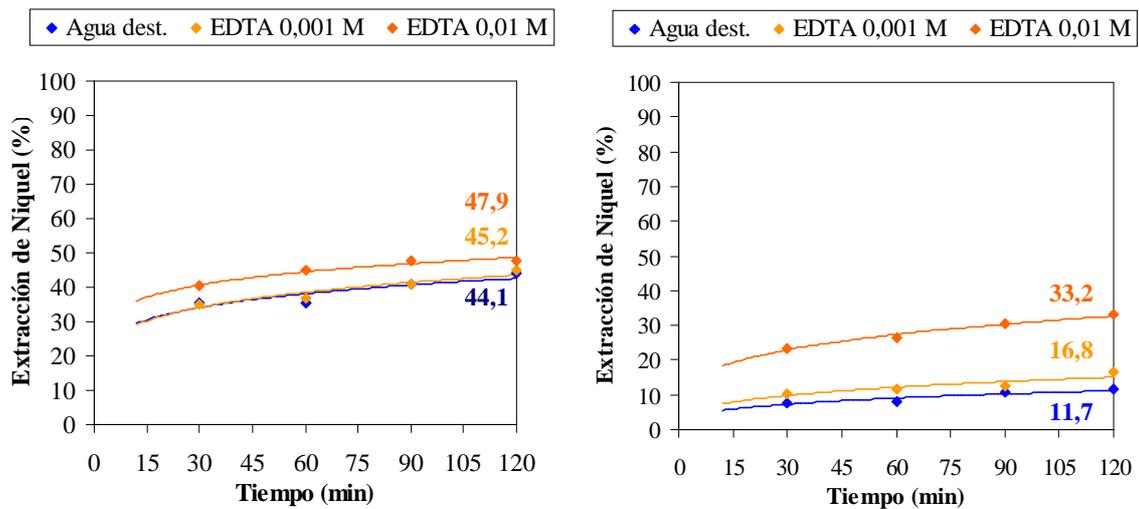
**Figura 2. Porcentaje de Cobre extraído del suelo ácido (SA) contaminado (647 y 497 ppm de  $\text{Cu}^{2+}$  respectivamente) con EDTA en función del tiempo.**



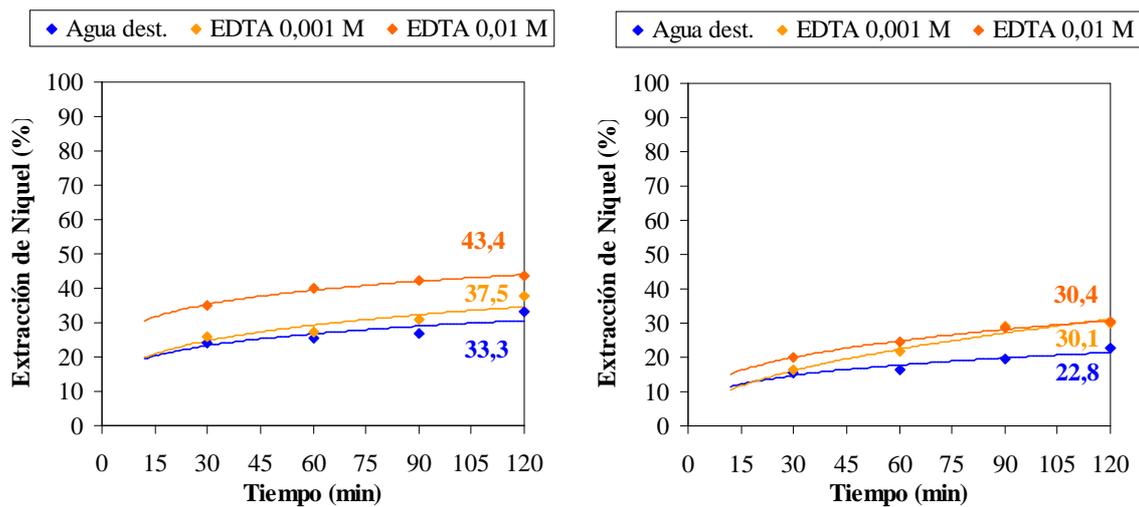
Con respecto al Ni (Tabla 3, Figuras 3 y 4), la solución de EDTA 0,001 M no produjo un aumento significativo en relación al testigo con agua, aumentando ligeramente

para la solución de EDTA 0,01 M (hasta un 16,4 % en el SN y un 5,9 % en el SA en comparación con la disolución EDTA 0,001 M). Estos porcentajes de liberación de Ni fueron más bajos que los obtenidos para suelos artificialmente contaminados por Ni por Lim et al. (2005) que atribuyen al EDTA la capacidad de extraer Ni ligado a las fracciones intercambiables.

**Figura 3. Porcentaje de Níquel extraído del suelo neutro (SN) contaminado (471 y 287 ppm de Ni<sup>2+</sup> respectivamente) con EDTA en función del tiempo.**



**Figura 4. Porcentaje de Níquel extraído del suelo ácido (SA) contaminado (542 y 292 ppm de Ni<sup>2+</sup> respectivamente) con EDTA en función del tiempo.**



La cantidad de Ni y Cu extraída fue mayor en el caso del suelo SN, lo que puede ser atribuible a su menor contenido en arcilla acorde con su menor CIC (Tablas 1 y 2). Otro hecho que se ha puesto de manifiesto es que en todos los casos observados el porcentaje extraído de metales en el agua de lavado ha sido mayor cuanto mayor era la concentración de ese metal en el suelo así como que el porcentaje de metales pesados extraídos del suelo con las distintas disoluciones de EDTA aumenta a medida que aumenta la cantidad de EDTA en disolución.

#### **4. CONCLUSIONES**

El porcentaje de metales pesados extraídos del suelo con disoluciones de EDTA aumenta a medida que aumenta la concentración de estos en el suelo y la cantidad de EDTA en disolución siendo más eficaz para el  $\text{Cu}^{2+}$  que para el  $\text{Ni}^{2+}$ . Los porcentajes de extracción son mayores a medida que se reduce el contenido en arcilla así como la CIC del suelo.

#### **5. AGRADECIMIENTOS**

Los autores quieren agradecer al Ministerio de Ciencia e Innovación su apoyo a la realización de este trabajo mediante la concesión del Proyecto “Utilización de filtros carbonosos de bajo precio en la descontaminación de suelos mediante técnicas de soil flushing (AGL2009-12788)”.

#### **6. REFERENCIAS**

- Bremner, J.M. 1996. Nitrogen-Total. pp. 1085-1121, in J. M. Bigham, ed. Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods. SSSA, Madison, Wisconsin.
- CAM. 1990. Mapa de asociaciones de suelos de la Comunidad de Madrid. Consejería de Agricultura y Cooperación de la Comunidad Autónoma de Madrid.
- Di Palma, L., Ferrantelli, P. 2005. Copper leaching from a sandy soil: mechanism and parameters affecting EDTA extraction. J. Hazard. Mater. 122: 85–90.
- Ehsan, S., Prasher, S.O., Marshall, W.D. 2006. A washing procedure to mobilize mixed contaminants from soil, II. Heavy Metals. J. Environ. Qual. 35: 2084-2091.
- Gascó, G. 2001. Desplazamiento de Cr, Ni, Cu, Zn, Cd y Pb en suelos tratados con lodos de depuradoras de la Comunidad de Madrid. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Directores: Carmen Lobo Bedmar. Francisca Guerrero López.
- ISSS Working Group RB. 1998. World Reference Base for Soil Resources: Atlas. E.M. Bridges, N.H. Batjes, F.O. Nachtergaele, eds. ISRIC-FAO-ISSS-Acco. Leuven.
- Lestan, D., Lou, Ch., Li, X. 2008. The use of chelating agents in the remediation of metal contaminated soils. Environmental pollution 153: 3-13.

- Lim, T.T., Chui, P.C., Goh, K.H. 2005. Process evaluation for optimization of EDTA use and recovery for heavy metal removal from a contaminated soil. *Chemosphere* 58: 1031-1040.
- Loeppert, R.H., Suarez, D.L. 1996. Carbonate and Gypsum. pp 437-474, in J.M. Bigham, ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* SSSA, Madison, Wisconsin.
- MAPA. 1990. Real Decreto 1310/1990, de 29 de octubre, por el que se regula la utilización de los lodos de depuración en el sector agrario. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación MAPA de España. *Boletín Oficial del Estado* 262: 32339-32340.
- Nelson, D.W., Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon and organic matter. pp 961-1010, in J. M. Bigham, ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* SSSA, Madison, Wisconsin.
- Rhoades, J.D. 1996. Salinity. Electrical conductivity and total dissolved solids. pp 417-435, in J.M. Bigham, ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* SSSA, Madison, Wisconsin.
- Richards, L.A. 1954. *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils.* U.S. Department of Agriculture USDA Handbook 60, Washington.
- Sumner, M.E., Miller, W.P. 1996. Cation exchange capacity and exchange coefficients. pp 1201-1229, in J.M. Bigham, ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* SSSA, Madison, Wisconsin.
- Thomas, G.W. 1996. Soil pH and soil acidity. pp 475-489, in J.M. Bigham, ed. *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods.* ASA-SSSA, Madison, Wisconsin.
- USDA-SSS. 1999. *Soil Taxonomy.* Agriculture handbook 436. 2<sup>o</sup> ed. Soil Survey Staff SSS, Natural Resources Conservation Service NRCS, United States Department of Agriculture USDA, U.S. Government Printing Office, Washington, DC 20402.
- USEPA. 1997. *Method 3051a: Microwave assisted acid dissolution of sediments, sludges, soils, and oils.* 2<sup>o</sup> ed. U.S. Gov. Print. Office, Washington.
- Van Deuren, J., Lloyd, T., Chhetry, S., Raycharn, L., Peck, J. 2002. *Remediation Technologies Screening Matriz and Reference Guide.* 4<sup>th</sup> ed. U.S. Army Environmental Center.
- Xu, Y., Zhao, D. 2005. Removal of copper from contaminated soil by use of poly (amidoamine) dendrimers. *Environmental Science and Technology* 39: 2369-2375.