

\$ 15000 =

# UNIVERSITAS SCIENTIARUM

## REVISTA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS

*Volumen 8, N° 1: Enero-Junio de 2003*

Esta Revista está indexada y referenciada  
en Chemical Abstracts (CA)

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA





## EVALUACIÓN DE LA ELECTORREMEDIACIÓN DE ANDISOLES CONTAMINADOS, MEDIANTE EL ANÁLISIS DE LAS SOLUCIONES DE LAVADO

Juan A. Rodríguez V., Mario V. Vázquez C.

*Grupo de Electroquímica, Instituto de Química, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales,  
Universidad de Antioquia, A.A. 1226, Medellín, Colombia*

*E-mail: mvazquez@matematicas.udea.edu.co*

### RESUMEN

Se analizó la composición de soluciones de lavado provenientes de las cámaras de electrodos de una celda de remediación a nivel de laboratorio. Se estudió el movimiento de iones nitrato y plomo como contaminantes de suelos de la región (Andisol).

Para los estudios se analizaron conjuntamente medidas de pH, conductividad, turbidez, concentración de contaminantes y corriente de electrólisis.

Se comprueba que, para las condiciones experimentales empleadas, los iones nitrato se mueven libremente y son fácilmente removidos del suelo, mientras que el catión plomo es parcialmente retenido, y la cantidad de metal que se moviliza es obtenido finalmente bajo formas insolubles dado el valor de pH generado en la cámara del cátodo.

**Palabras clave:** Andisoles, electrorremediación, nitrato, plomo, precipitación.

### ABSTRACT

The composition of washing solutions coming from the electrodes chamber was analyzed from a remediation cell to laboratory level. It was studied the movement of ions nitrate and lead like pollutants of soils from the region (Andisol).

For the studies pH measures, conductivity, turbidity, pollutants concentration and electrolysis current were analyzed.

For the experimental conditions employees, it is verify that the nitrate ions have free movement and they are easily removed from the soil, while lead is partially retained, and the quantity of metal that is mobilized finally is obtained as insoluble forms due the pH value generated in the cathode chamber.

**Key words:** Andisols, electroremediation, lead, nitrate, precipitation.

### INTRODUCCIÓN

La técnica de electrorremediación consiste en la descontaminación, especialmente de metales pesados y otros compuestos iónicos, de suelos o lodos provenientes de algún tratamiento previo, contaminados con estas especies. La técnica implica la aplicación de un campo eléctrico continuo entre dos electro-

dos enterrados en el suelo, durante un determinado tiempo [Chinthamreddy y Reddy, 1999; Pamukcu, *et al.*, 1997; Reddy y Chinthamreddy, 1999; Reddy, *et al.*, 2001; Reddy, *et al.*, 1999; Reddy, *et al.*, 1997, Reddy y Shirani, 1997; Reddy, *et al.*, 2001]. Con la aplicación de este campo eléctrico se consigue, dependiendo de diversos factores como el grado de humedad del terreno, acidez, etc.,

movilizar las especies cargadas hacia los electrodos correspondientes (ánodo o cátodo). Esta técnica es especialmente útil en aquellas zonas donde se disponga de energía eléctrica de bajo costo, pudiendo incluso adaptarse un sistema de energías alternativas (energía solar y/o eólica, almacenándola en acumuladores) que permita el funcionamiento de manera más o menos autónoma y con bajo costo. La electrorremediación permite, en comparación con otras técnicas de limpieza, una menor exposición de los operadores a los contaminantes, acumulando los mismos en las cercanías de los electrodos permitiendo una posterior disposición de los residuos así concentrados. Un factor importante que debe ser tenido en cuenta en los tratamientos de este tipo, es la electrólisis del solvente que ocurre en los electrodos y que genera la aparición de frentes ácidos y básicos respectivamente. Estos frentes al moverse por el interior del suelo, pueden interferir de modo apreciable en la eficiencia de la remoción de los contaminantes; por ejemplo el precipitar los metales como hidróxidos.

En el laboratorio se diseñó una celda de electrorremediación, figura 1, que permite controlar la entrada de los frentes ácidos y básicos generados durante el tratamiento al interior del suelo bajo estudio [Vázquez y Tobón, 2001]. Este propósito se consigue mediante el lavado continuo de las cámaras de los electrodos con un flujo constante de agua durante el tratamiento de descontaminación. Por otra parte, el diseño de este tipo de celdas permite el estudio simultáneo de contaminantes aniónicos y catiónicos. Dado que hasta el momento los estudios estuvieron centrados en el análisis de los contaminantes residuales en el suelo luego del tratamiento, en este trabajo se presentan los resultados obtenidos al analizar las soluciones de lavado luego de someter a una muestra de Andisol contaminada con iones nitrato y plomo, a un tratamiento de electrorremediación.

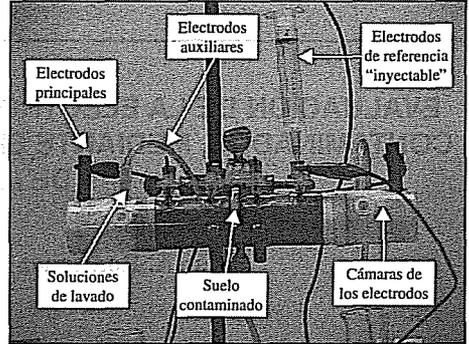


FIGURA 1: Celda utilizada para la electrorremediación. En el presente trabajo no se realizaron medidas con los electrodos auxiliares que se muestran en la figura.

Los andisoles son suelos formados a partir de materiales volcánicos tales como ceniza, piedra pómez, lava y/o materiales piroplásticos, su fracción coloidal está dominada por minerales de bajo ordenamiento y complejos húmicos de hierro y aluminio. Adicionalmente poseen alta porosidad y capacidad para retención de humedad y en general son suelos de bajo pH. Constituyen el 11.6% de la superficie de Colombia, pero se presenta con mayor frecuencia en la zona andina, de importancia económica relevante pues en ella se ubican las mayores urbes y se asientan cultivos cafeteros, pastizales y hortícolas.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Celda de electrorremediación

Para los experimentos se emplearon celdas de remediación con capacidad para contener una suspensión de 60 g de suelo/60 ml solución. Para realizar el lavado se aplicó un flujo de agua desionizada de 1 ml/min en las cámaras de los electrodos. Para conseguir este flujo se utilizó una caída de agua desde un recipiente colocado a 1,25 m sobre la celda de estudio.

El campo eléctrico fue aplicado entre electrodos de grafito de 2,15 cm<sup>2</sup> de área geométrica y se aplicó durante 10 horas una diferencia de

potencial continuo de 34V generado por una fuente HEALT.

### Suelo estudiado

En el presente trabajo se utilizó suelo de la región (Andisol Typic Hapludand).

Como contaminante se empleó una solución 0,1M de  $Pb(NO_3)_2$  de grado analítico, preparadas con agua desionizada. El suelo fue contaminado preparando suspensiones de 60 g suelo/60 ml solución, manteniéndolas en contacto durante 2 días previo a su incorporación a la celda de medida.

### Procedimiento

Posteriormente al tratamiento electroquímico, con la ayuda de un émbolo, se fraccionó el suelo en 5 porciones similares las que fueron suspendidas durante 30 minutos en  $H_2O$  desionizada manteniendo una relación 1:10 (masa/volumen). En estas suspensiones se determinó el contenido remanente de  $NO_3^-$ . Para analizar el contenido de plomo las suspensiones fueron filtradas y del filtrado se prepararon diluciones 1:10 con solución de  $KNO_3$  para dar una concentración final 0,1M de electrolito soporte. En algunos experimentos, las suspensiones fueron acidificadas con  $HNO_3$  concentrado (5 ml por cada 100 ml de suspensión) previo a su análisis.

Las soluciones de lavado, recogidas cada hora de tratamiento, fueron analizadas directamente para las determinaciones de pH, turbidez, y contenido de  $NO_3^-$ , mientras que para las determinaciones de  $Pb^{2+}$  se prepararon diluciones similares a las realizadas con la suspensión de los fragmentos de suelo.

### Instrumental

El contenido de  $Pb^{2+}$  fue determinado polarográficamente en un equipo BAS

CV50W empleando la técnica OSWV, analizando la corriente obtenida a 0,432 V (vs Ag/AgCl). Las medidas de conductividad se obtuvieron con un equipo SCHOTT Handdylab LF1 y fueron determinadas directamente en las suspensiones previo a cualquier tratamiento químico de las mismas.

El pH se determinó utilizando un pHmetro ORION SA720. El contenido de iones  $NO_3^-$  se evaluó potenciométricamente con un electrodo selectivo MONOKRISTALY.

Las determinaciones turbidimétricas fueron realizadas empleando un equipo ORBECHELLIGE DIGITAL DIREC-READING TURBIDIMETER.

## RESULTADOS

### Contenido residual de contaminantes en el suelo luego del tratamiento de electrorremediación

En la figura 2 se muestra el contenido residual de nitrato y plomo en distintos segmentos de suelo luego del tratamiento de electrorremediación. Como se aprecia en la figura, el plomo muestra una tendencia a acumularse en la región más próxima al cátodo, mientras que el nitrato presenta un comportamiento similar en dirección al ánodo. Analizando los valores iniciales de estos contaminantes, 20,7 g/gss (gramos/gramos de suelo seco) para el plomo y 12,4 g/gss para el ión nitrato respectivamente, se verifica que a pesar de un tiempo relativamente corto de tratamiento, se produce un movimiento neto de los iones bajo la acción del campo eléctrico aplicado. Estos resultados deben ser analizados conjuntamente con el grado de adsorción que presenta el catión en este tipo de suelos. En observaciones previas [Vázquez *et al.* 2002] se comprobó que el plomo muestra una importante adsorción sobre las partículas de suelo mientras que los iones nitrato tienen una mayor movilidad.

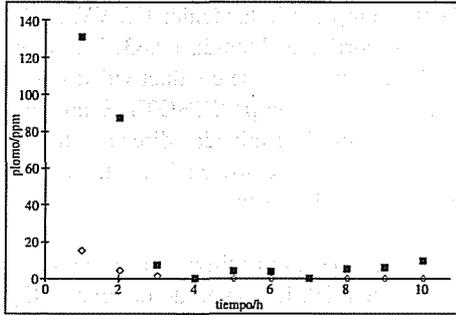


FIGURA 2: Variación de la concentración residual de contaminantes, en miligramos por gramo de suelo seco, luego del tratamiento de electroremediación en los distintos segmentos de suelo.  $\diamond$  Pb(II)  $\blacksquare$  NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

**Contenido de Pb<sup>2+</sup> y NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las soluciones de lavado**

En las figuras 3a y 3b se observa la variación de la concentración de los iones estudiados en las soluciones de lavado, tanto las provenientes de la cámara del ánodo (positiva) como las del cátodo (negativa). En el caso del nitrato se verifica que en los instantes iniciales del tratamiento la salida de los iones está siendo influenciada por la difusión de este ión hacia la cámara de los electrodos. A medida que transcurre el tratamiento de descontaminación se comprueba el movimiento neto hacia el electrodo positivo lo que resulta en un aumento de este ión en la solución de lavado proveniente de esta cámara.

que conduce a la baja concentración de metal libre encontrada. Esta explicación se confirma también si se analiza la conductividad (figura 5) y la turbidez (figura 6) de las soluciones. Las medidas de conductividad indican que se tiene una mayor concentración de iones en las soluciones provenientes del ánodo (mayor cantidad de iones nitrato libres), mientras que las medidas de turbidez reflejan un mayor contenido de especies precipitadas en las soluciones provenientes del cátodo (formas insolubles de plomo). Como una comprobación adicional de la explicación propuesta, se analizaron también muestras acidificadas de las soluciones de lavado provenientes del cátodo, obteniendo un aumento de la concentración de Pb<sup>2+</sup> libre en todos los casos.

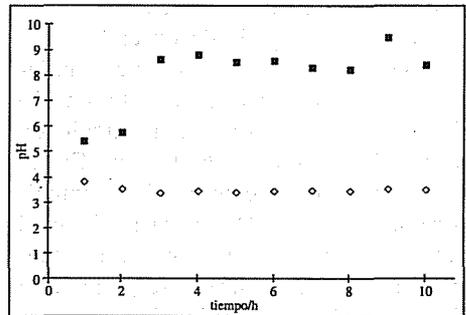


FIGURA 3a: Variación de la concentración de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> en las soluciones de lavado.  $\diamond$  Proveniente de la cámara del ánodo.  $\blacksquare$  Proveniente de la cámara del cátodo.

Para el caso del Pb<sup>2+</sup> se presenta un resultado llamativo, ya que prácticamente es nula o muy poca la cantidad de plomo libre detectado en las soluciones de lavado. Para interpretar este hecho, es importante analizar la variación del pH en estas soluciones bajo estudio. En la figura 4 se muestra la variación de pH que se produce en las soluciones de lavado a medida que transcurre el tratamiento. El resultado es coherente con la esperada formación de frentes ácidos y básicos en las regiones próximas al ánodo y cátodo respectivamente. La formación de la región de mayor pH favorece la precipitación de formas insolubles de plomo, lo

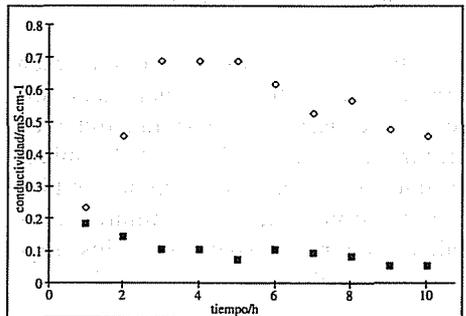


FIGURA 3b: Variación de la concentración de Pb(II) en las soluciones de lavado.  $\diamond$  Proveniente de la cámara del ánodo.  $\blacksquare$  Proveniente de la cámara del cátodo.

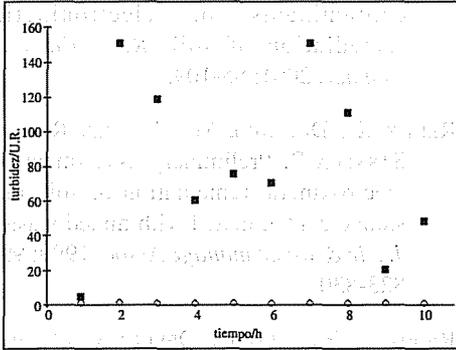


FIGURA 4: Variación del pH en las soluciones de lavado.  $\diamond$  Proveniente de la cámara del ánodo.  $\blacksquare$  Proveniente de la cámara del cátodo.

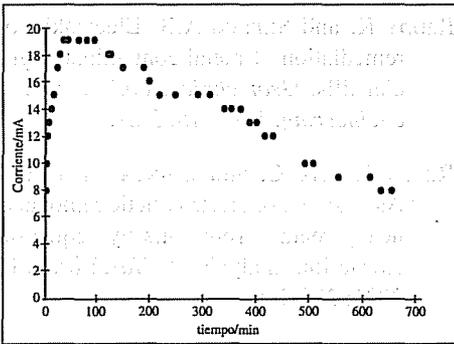


FIGURA 5: Variación de la conductividad en las soluciones de lavado.  $\diamond$  Proveniente de la cámara del ánodo.  $\blacksquare$  Proveniente de la cámara del cátodo.

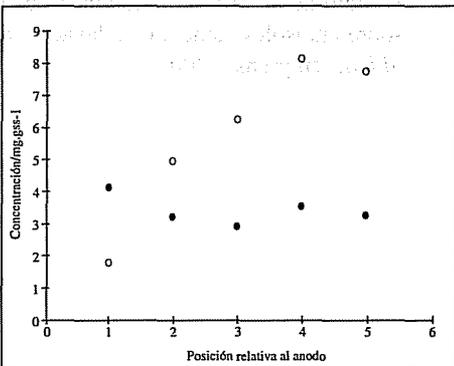


FIGURA 6: Variación de la turbidez, en unidades relativas, en las soluciones de lavado.

### Variación de la corriente de electrólisis durante el tratamiento

En la figura 7 se observa la variación de la corriente de electrólisis a lo largo del tratamiento electroquímico. Esta variación es típica para este tipo de estudios, teniendo un aumento importante al inicio de la electrólisis, mayor cantidad de iones cerca de la región de los electrodos, y un paulatino descenso de la corriente hasta alcanzar un estado estacionario a tiempos mayores que los estudiados en el presente trabajo. Este tipo de variación puede ser empleada como un control para confirmar que la celda está funcionando correctamente, y también para estudiar la variación de la resistencia del suelo a medida que transcurre el tratamiento.

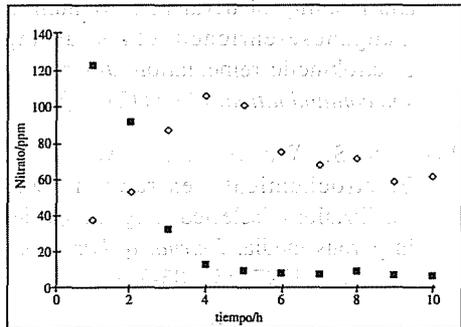


FIGURA 7: Variación de la corriente de electrólisis durante la electroremediación.

### DISCUSIÓN

Con este tipo de estudios a nivel de laboratorio, es posible analizar el funcionamiento de una celda de electroremediación. Estos resultados tienen especial interés en relación al empleo de estos sistemas de descontaminación a una escala aplicada. En este sentido se verifica que, en las condiciones experimentales empleadas, puede utilizarse este método para remover iones pesados como el plomo, ya que el contaminante se obtiene en una forma menos nociva desde el punto de vista am-

biental, y puede por lo tanto ser más fácilmente extraído de las soluciones de lavado.

Este tipo de sistemas permite, con un esquema experimental relativamente simple, obtener una importante colección de datos que al ser analizados de una manera integral permite un buen análisis del movimiento de los iones estudiados en los suelos contaminados.

### AGRADECIMIENTOS

El presente estudio fue realizado gracias al apoyo financiero brindado por la Vicerrectoría de Investigaciones de la Universidad de Antioquia (CODI).

### LITERATURA CITADA

- CHINTHAMREDDY S. and REDDY K. Oxidation and mobility of trivalent chromium in manganese-enriched clays during electrokinetic remediation. *Journal of soil contamination*. 1999; 8(2): 197-216.
- PAMUKCU S., WEEKS A. and WITTLE J. Electrochemical extraction and stabilization of selected inorganic species in porous media. *Journal of hazardous materials*. 1997; 55: 305-318.
- REDDY K. and Chinthamreddy S. Electrokinetic remediation of heavy metal-contaminated soils under reducing environments. *Waste management*. 1999; 19: 269-282.
- REDDY K., CHINTHAMREDDY S. and AL-HAMDAM A. Sinergistic effects of multiple metal contaminants of electrokinetic remediation of soil. *Remediation, summer*. 2001; 85-109.
- REDDY K., DONAHUE M., SAICHEK R. and SASAOCA R. Preliminary assessment of electrokinetic remediation of soil and sludge contaminated with mixed waste. *J. Air & waste manage Assoc.* 1999; 99: 823-830.
- REDDY K., PARUPUDI U., DEVULAPALLI S. and XU C. Effects of soils composition on the removal of chromium by electrokinetic. *Journal of hazardous materials*. 1997; 55: 135-158.
- REDDY K. and SHIRANI A.B. Electrokinetic remediation of metal contaminated glacial tills. *Geotechnical and geological engineering*. 1997; 15: 3-29.
- REDDY K., XU C. and CHINTHAMREDDY S. Assessment of electrokinetic removal of heavy metals from soils by sequential extraction analysis. *J. Has.Mat.* **B84**. 2001; 279-296.
- VÁZQUEZ M.V. and TOBÓN D.A. Estudio del movimiento de iones nitrato y plomo en andisoles sometidos a campo eléctrico. *Afinidad*, 2001; LVIII, 437-441.
- VÁZQUEZ M..V, TOBÓN D.A., y GUTIÉRREZ F.L. Estudio de la adsorción de iones Pb(II) sobre andisoles sometidos a lavado *Afinidad*, (en prensa) 2002.