

Minería & Geología

Minería y Geología

ISSN: 0258-8959

revistamg@ismm.edu.cu

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

'Dr Antonio Nuñez Jiménez'

Cuba

Pedroso-Herrera, Ida Inés

Zonación de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Almendares según mapeo de la susceptibilidad magnética

Minería y Geología, vol. 29, núm. 3, julio-septiembre, 2013, pp. 1-17

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa 'Dr Antonio Nuñez Jiménez'

Holguín, Cuba

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223529300001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Zonación de la contaminación por metales pesados en la cuenca del Almendares según mapeo de la susceptibilidad magnética

Ida Inés Pedroso-Herrera

Resumen

La susceptibilidad magnética de los suelos de la cuenca del río Almendares se tomó como indicador preliminar de la contaminación potencial por metales pesados. Para obtener el esquema de zonación de la contaminación se realizaron mediciones de la susceptibilidad magnética en polígonos y perfiles de áreas potencialmente contaminadas. Se realizó un levantamiento kappamétrico a escala 1: 200 000, usando una red de 2x2 km, y se elaboraron estadísticamente datos de susceptibilidad magnética en suelos contaminados y en los no contaminados por metales pesados. Con base en la nueva versión de la Clasificación Genética de los Suelos de Cuba, los resultados de la elaboración estadística de los datos de susceptibilidad magnética y las concentraciones de metales pesados en muestras de suelo, se establecieron los rangos de susceptibilidad magnética que caracterizan los suelos contaminados en los grupos genéticos presentes en la cuenca. Como resultado se obtuvo el mapa de zonación de la contaminación por metales pesados de la cuenca del río Almendares.

Palabras clave

Magnetismo ambiental; susceptibilidad magnética; contaminación de suelos; metales pesados; cuenca Almendares.

Zonation of heavy metals pollution at Almendares basin through magnetic susceptibility mapping

Abstract

The magnetic susceptibility of soils in the Almendares River basin was used as a preliminary indicator of potential contamination by heavy metals. To obtain the outline pollution of zone, mensuration of the magnetic susceptibility in polygons and profiles of potentially contaminated areas were made. Kapametric survey was conducted at 1:200 000 scale, using a grid of 2 x 2 km, and statistical data of magnetic susceptibility in heavy metals polluted soils and uncontaminated ones were elaborated. Based on the new version of Cuban Genetic Classification of Soils, results of the statistical processing of the magnetic susceptibility data and heavy metal concentrations in soil samples, were established the ranges of magnetic susceptibility that characterize the contaminated soils in the genetic groups present in the basin. The final result was the zonation scheme of heavy metal pollution of the Almendares River basin.

Keywords

Environmental magnetism; magnetic susceptibility; soils pollution; heavy metals; Almendares basin.

1. INTRODUCCIÓN

La efectividad de la aplicación de técnicas de magnetismo ambiental para determinar la contaminación de los suelos por metales pesados ha sido ampliamente documentada (Oldfield 1991; Verosub & Roberts 1995; Geliş & Aydin 1998; Evans & Heller 2003; Chaparro 2005; Aguilar et al. 2011).

Investigaciones realizadas en la región occidental de Cuba con kappámetros de campo en zonas contaminadas de la cuenca del río Almendares (Pedroso et al. 2005) han evidenciado buena correlación entre la susceptibilidad magnética medida en el campo y las concentraciones de metales pesados determinadas en el laboratorio para muestras de suelos colectadas en áreas contaminadas de la cuenca. Esto es indicativo de una evidente relación entre la susceptibilidad magnética de los suelos y la concentración en estos de metales pesados potencialmente peligrosos. Estos resultados permitieron extender la investigación a sectores más amplios de la cuenca y realizar el levantamiento de la susceptibilidad magnética a escala 1: 200 000 con los siguientes objetivos:

- Establecer rangos de valores de la susceptibilidad magnética que caractericen la contaminación por metales pesados, mediante la evaluación estadística de las mediciones de susceptibilidad magnética.
- Obtener un esquema de zonación de la contaminación por metales pesados de la cuenca del río Almendares a partir de la medición de la susceptibilidad magnética.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materiales

Se dispuso para la investigación de los siguientes materiales:

- El diagnóstico ambiental de la cuenca y la selección, a partir de este, de áreas susceptibles de estar contaminadas.
- Los resultados de las mediciones en varios polígonos y perfiles de áreas potencialmente contaminadas en los alrededores de industrias y viales de amplia circulación vehicular.
- Las determinaciones de concentración de metales pesados, propiedades químicas y magnéticas de un número reducido de muestras de suelos contaminadas y las correlaciones con sus parámetros magnéticos.

- Las mediciones resultantes de la ejecución de expediciones de campo para el levantamiento de Kappametría de un amplio sector de la cuenca a escala 1:200 000.

2.1. Métodos

Las mediciones de la Kappametría se realizaron según las normas internacionales para este tipo de levantamiento (Logachev & Zajarov 1978), utilizando como base de puntos una red de 2 x 2 km a una escala de 1:200 000, levantada con un GPS de manera que todos los puntos estuviesen georreferenciados.

En el tope de los suelos (los dos primeros centímetros de profundidad) se tomaron cinco lecturas, una en el punto central y las cuatro restantes en un radio de 5 m en la dirección de los puntos cardinales, las cuales fueron promediadas para asignarla al centro (Cook & Carts 1962). Se realizó un 5 % de puntos de control de manera que levantaron en la red 95 puntos en total (89 puntos normales y 6 de control).

La susceptibilidad magnética (K) de los suelos en el campo se midió con un kappámetro KT5 de producción checa, sensibilidad de 1×10^{-5} SI (Jelinek 1980). Para mediciones de control en el laboratorio, en algunos puntos se tomaron muestras de suelo de los dos primeros centímetros del tope, con un puente de susceptibilidad KLY-2 de mayor sensibilidad (Hrouda 1994).

Los valores de las mediciones fueron procesados estadísticamente, determinándose la mediana de los logaritmos de la susceptibilidad magnética como medida de tendencia central, y como medida de su dispersión, la desviación estándar de esos valores o el intervalo de confianza, dependiendo de la cantidad de valores de la población muestral (Mareš *et al.* 1984). Ello permitió caracterizar la susceptibilidad magnética en áreas contaminadas y no contaminadas, así como la variación de los valores de esta propiedad magnética para los grupos de suelos que más abundan en la región estudiada.

Para el procesamiento de la información se utilizó la aplicación STATISTICA para Windows versión 5.0 (Statistica Software Inc. 1984-1995). La confección del mapa de isolíneas de la susceptibilidad magnética se realizó utilizando el software SURFER versión 8.2 (Golden Software Inc. 1993). Utilizando un SIG elaborado en el marco de la investigación, en soporte Arc View 3.2 (ESRI, Inc. 1992-1999), se confeccionó el esquema de la zonación de la

contaminación por metales pesados según la cartografía de la susceptibilidad magnética.

2.1.1. Procesamiento estadístico de las mediciones

La susceptibilidad magnética en los suelos, al igual que en las rocas, varía en un amplio rango. Según la práctica y la teoría del tratamiento estadístico de datos magnéticos y, en particular de la susceptibilidad magnética, cuando el número de datos es mayor de 30, tiene una distribución log normal, por lo que en esos casos se trabaja con el logaritmo de la susceptibilidad magnética, calculándose como estadígrafo de tendencia central la mediana y como estadígrafo de valoración de dispersión la desviación estándar de los log kappa, calculándose según las siguientes expresiones (Mareš *et al.* 1984):

$$Mn = \exp(\mu_L + \frac{1}{2} \sigma_L^2) \quad y \quad \sigma = Mn * [\sqrt{(\exp \sigma_L^2 - 1)}] \quad (1,1)$$

Donde:

μ_L es la mediana de los logaritmos de la susceptibilidad magnética
 σ_L es la desviación estándar de los logaritmos de la susceptibilidad magnética.

Para el caso, muy común en la práctica de la exploración magnética, en que el número de muestras colectadas sea menor de 20, los datos generalmente no indican una distribución regular y exhiben una considerable dispersión. En estos casos el conjunto de los valores de la Kappa es suficientemente bien representado por la mediana en la que los efectos de los extremos se eliminan, fijando en esta la parte más característica del conjunto de datos. La dispersión del conjunto de datos puede entonces ser caracterizado por el intervalo de confianza, utilizando para su determinación el valor que toma el 34,1 % de la mediana a ambos lados de su valor (Mareš *et al.* 1984).

El uso de la mediana, como medida de tendencia central del conjunto de valores de la susceptibilidad magnética, tiene la ventaja de que los valores extremos, muy comunes en esta propiedad, no afectan a este estadígrafo (Ostle 1974).

Para estimar los valores de la susceptibilidad magnética de los suelos que caracterizan las áreas no contaminadas se consideró un valor umbral mediante el procesamiento de las mediciones de la susceptibilidad en áreas no contaminadas, tomando como tales aquellas alejadas más de 5 km de las fuentes de contaminación,

mientras que para caracterizar la susceptibilidad de los suelos contaminados se procesaron estadísticamente las mediciones en suelos cercanos a las fuentes potenciales de contaminación en un radio menor de 500 m.

2.1.2. Construcción del mapa de zonación de contaminación

A partir de los resultados obtenidos en la campaña de mediciones de la susceptibilidad magnética en la red de 2x2 km, para la generación de los mapas, los conjuntos de datos se procesaron con el software Surfer (versión 8.02), que permitió, utilizando el método Kriging, desarrollar la red de mediciones, realizar la interpolación de los datos y finalmente construir el mapa de isolíneas de kappa. Los mapas fueron incorporados al SIG, elaborados con Arc View 3.2, y combinados con un conjunto de mapas para evaluar diferentes impactos de la contaminación.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Procesamiento estadístico de las mediciones

En las Tablas 1 y 2 se muestran los resultados del procesamiento de la determinación de la susceptibilidad magnética para el conjunto de 219 mediciones de esta propiedad magnética en puntos no contaminados y para el conjunto de 536 mediciones de la misma en puntos potencialmente contaminados de la cuenca Almendares-Vento. En las Figuras 1 y 2 se muestran los histogramas y las curvas de distribución esperadas normales para los logaritmos de K en ambos casos.

Tabla 1. Resultados del procesamiento estadístico de K para muestras no contaminadas

N	Mediana de Log K	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
219	1,53148	0,11697	1,27875	1,83251
	Mediana (x 10 ⁻⁵ SI)	Desviación Típica (x 10 ⁻⁵ SI)	Límite Inferior (x 10 ⁻⁵ SI)	Límite Superior (x 10 ⁻⁵ SI)
	34,53	6,18	28,35	40,71

Tabla 2. Resultados del procesamiento estadístico de K para muestras contaminadas

N	Mediana de Log K	Desviación Típica	Mínimo	Máximo
536	2,14767	0,37597	1,50515	3,40654
	Mediana (x 10 ⁻⁵ SI)	Desviación Típica (x 10 ⁻⁵ SI)	Límite Inferior (x 10 ⁻⁵ SI)	Límite Superior (x 10 ⁻⁵ SI)
	165,33	102,54	62,79	267,87

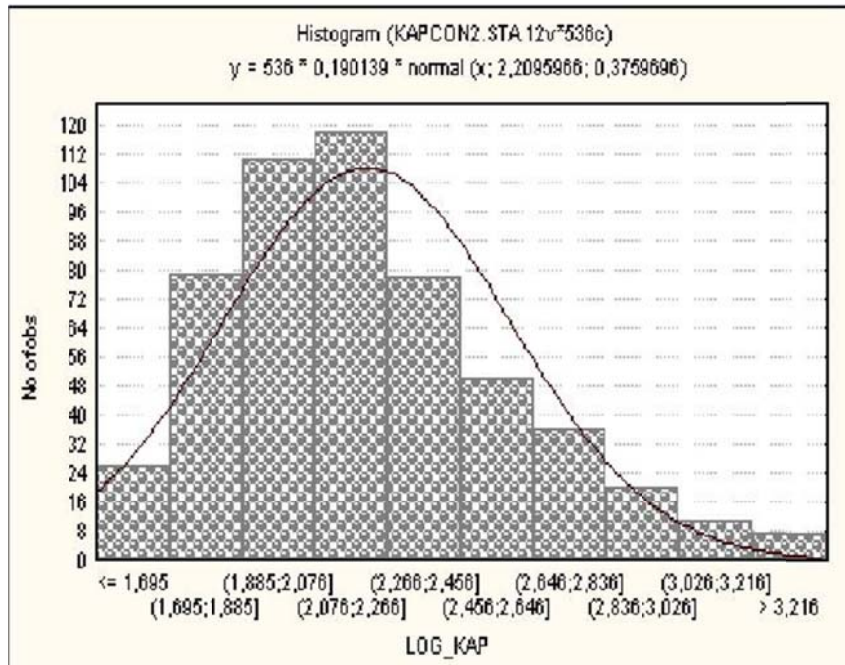


Figura 1. Histograma y función de distribución normal de los valores de los logaritmos de K para suelos contaminados por metales pesados.

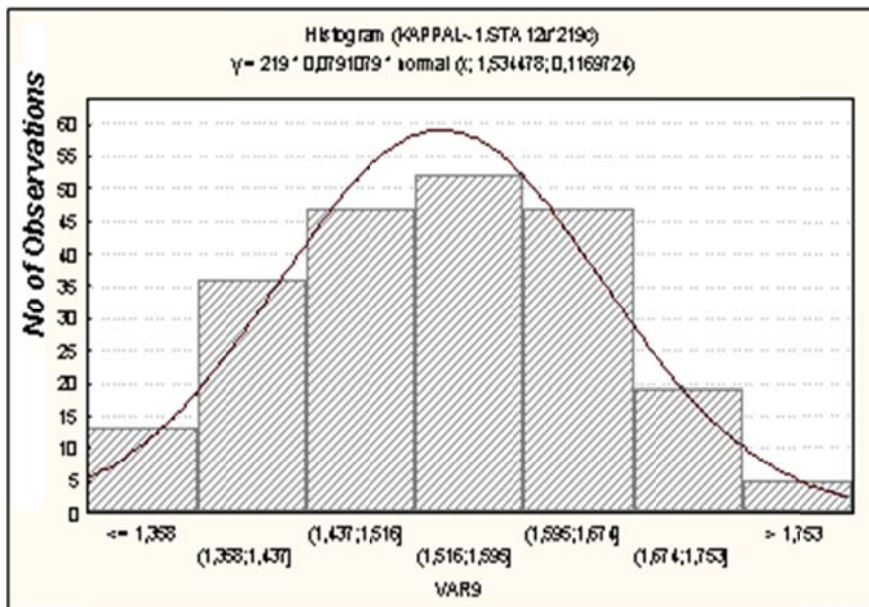


Figura 2. Histograma y función de distribución normal de los valores de los logaritmos de K para suelos no contaminados por metales pesados.

Los suelos que más abundan en la cuenca, de acuerdo con la clasificación cubana (NC 33 1999), son los pardos sialíticos, seguidos de los ferralíticos, los ferrálicos, los hidromórficos y los húmicos. Aunque también están presentes otros grupos genéticos, los citados son los más distribuidos y, por consiguiente, sobre los que se realizaron la mayor cantidad de mediciones: 134 en los pardos sialíticos, 20 en los ferralíticos, 10 en los ferrálicos, 11 en los hidromórficos y 3 en los húmicos.

La Tabla 3 muestra los rangos de valores de la susceptibilidad magnética para la clasificación de niveles de contaminación de las zonas, establecidos a partir del análisis estadístico de las mediciones de kappa. Estos fueron los valores utilizados para la zonación general de la contaminación estimada en los suelos de la cuenca, o sea, para la población de puntos medidos, incluyendo las diferentes campañas de campo, primero alrededor de las fuentes contaminantes, luego en polígonos y perfiles también próximos a la zona industrializada y finalmente el levantamiento a escala 1:200 000 a lo largo y ancho de un gran sector de la cuenca. Se evaluaron puntos en zonas aparentemente limpias o no contaminadas y zonas contaminadas, como han hecho otros investigadores (Hanesch & Sholger 2002), para la valoración estadística y el establecimiento de los rangos de la zonación. Con esta premisa se ha elaborado un mapa general de zonación de contaminación estimada estadísticamente pero sin considerar el tipo de suelo.

Tabla 3. Valores de tendencia central y dispersión de la susceptibilidad magnética de los suelos

Grupo de Suelo	N	Mediana *10 ⁻⁵ SI	Desviación Típica (x 10 ⁻⁵ SI)	Intervalo de Confianza (x 10 ⁻⁵ SI)	
				Límite Inferior	Límite Superior
Pardo Sialítico	134	189,93	120,19	69,74	310,12
Ferralíticos	20	249,00	-	164	333,00
Ferrálicos	10	270,00	-	180,00	310,00
Hidromórficos	11	245,00	-	161,00	328,00

La Figura 3 muestra el histograma y la función de distribución normal para los valores de log K en los suelos pardos sialíticos. La Figura 4 representa gráficamente los valores de tendencia central (mediana) y de dispersión (intervalo de confianza) para la susceptibilidad

magnética de los suelos en la cuenca Almendares-Vento: a) Hidromorfo b) Ferrálico y c) Ferralítico.

Es sabido que la susceptibilidad magnética en los suelos ferrálicos y ferralíticos tiende a ser más elevada que en los pardos e hidromórficos por el enriquecimiento en hierro de los primeros. Tomando en consideración la variación de la susceptibilidad magnética para diferentes grupos de suelos, si se desea incorporar la información del tipo de suelo, por ejemplo, se utiliza la Tabla 4 en dependencia del suelo del que se trate.

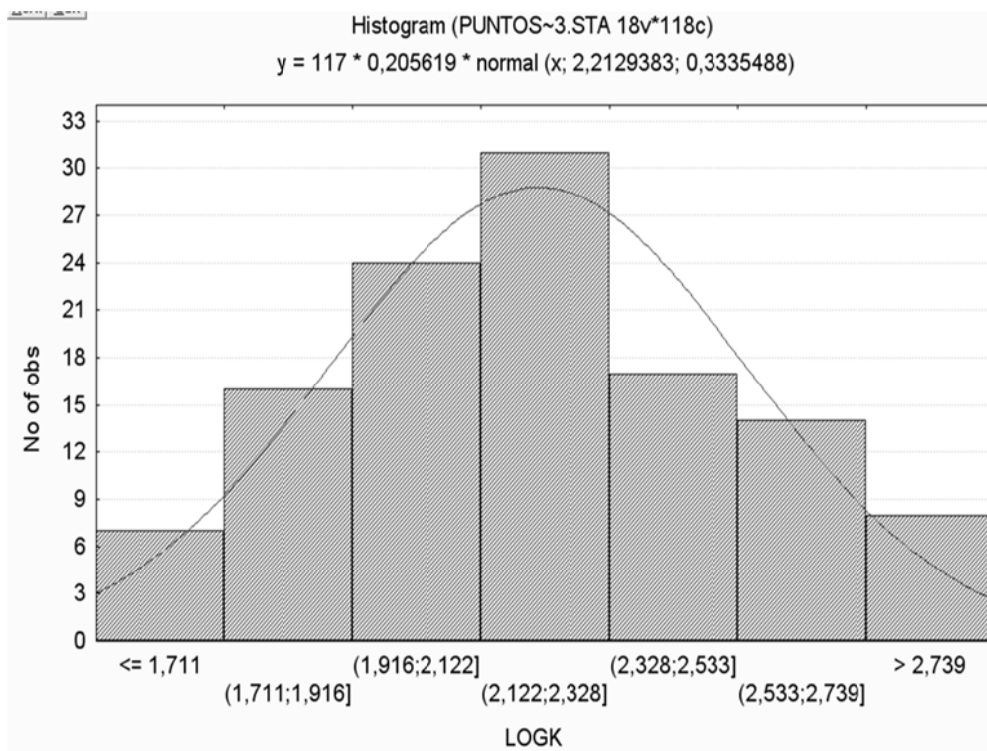


Figura 3. Histograma y función de distribución normal para los log K correspondientes a los suelos del grupo pardo sialítico.

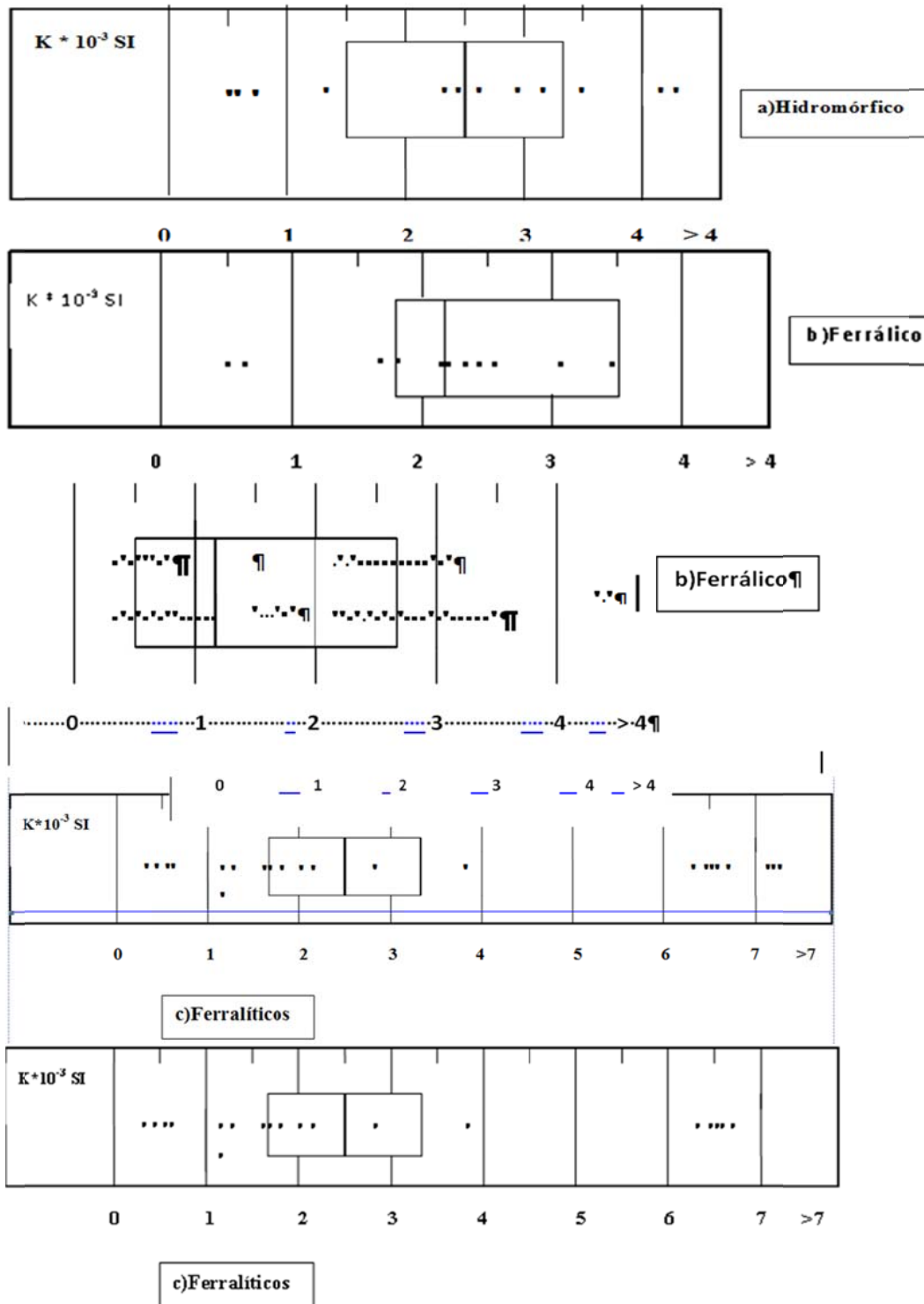


Figura 4. Diagrama de la estadística de la susceptibilidad magnética de suelos de la cuenca Almedares-Vento: a) Hidromórfico, b) Ferrálico y c) Ferralítico.

3.2. Resultados de la zonación

Se logró caracterizar los grupos genéticos de suelos presentes en la cuenca del río Almendares, tanto en las áreas no contaminadas, como en aquellas potencialmente contaminadas, con diferentes rangos o categorías, pudiendo establecer una zonación preliminar de la contaminación de los suelos por metales pesados, lo que permite ejecutar trabajos más detallados de cartografía magnética al indicar los lugares donde existen incrementos de las concentraciones de metales pesados y su probable extensión areal, como una vía para dirigir los análisis químicos que permitan precisar el metal y valor de la concentración del contaminante en los suelos. Esto avala la cartografía de la susceptibilidad magnética de los suelos como una técnica barata y limpia, no sólo para seleccionar las áreas a ser investigadas mediante métodos químicos, sino además para monitorear el desarrollo de la contaminación.

En la Tabla 4 se muestran los rangos de valores de la susceptibilidad magnética para las clasificaciones de niveles de contaminación de las zonas, establecidos a partir del análisis estadístico de las mediciones de la susceptibilidad magnética de los suelos, de forma general, sin considerar el tipo de suelo.

Tabla 4. Clasificación de los niveles de contaminación de los suelos en la cuenca Almendares-Vento y sus rangos de valores de la susceptibilidad magnética

Clasificación	Rango de Kappa en 10^{-3} SI
No contaminados	0,0 - 0,627
Ligeramente contaminados	0,628 - 1,65
Medianamente contaminados	1,66- 2,65
Contaminados	2,66- 5,1
Muy contaminados	> 5,1

Por otra parte, a partir de la elaboración estadística de las mediciones de la susceptibilidad magnética por agrupamiento de suelos, se estimaron los intervalos de valores que esta propiedad toma en cada zona de la clasificación general para cada grupo de suelo. Estos se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5. Intervalos de valores de K SI para cada grupo de suelos en las zonas de contaminación

Zonación	Intervalos de valores de la susceptibilidad magnética para cada tipo de suelo $\kappa \times 10^{-3}$ SI			
	Pardo Sialítico	Ferralítico	Ferrálico	Hidromórfico
Ligeramente contaminado	0,697-1,29	1,66-1,90	1,64-2,06	1,61-2,03
Moderadamente contaminado	1,30-1,99	1,91-2,20,	2,07-2,92	2,04-2,45
Contaminado	2,00- 3,10	2,21-3,00	2,92-3,33	2,46-3,28
Muy contaminado	Mayores que 3,10	Mayores que 3,00	Mayores que 3,33	Mayores que 3,28

En la Figura 5 se presenta el esquema general de zonación de la contaminación estimada a partir de las intensidades de las mediciones de susceptibilidad magnética y sus correlaciones con las concentraciones de los metales pesados en las muestras.

En el mapa de zonación (Figura 6) se destacan varios picos de contaminación en los municipios de Cotorro, San José y parcialmente Boyeros y Arroyo Naranjo.

Un área amplia está incluida en el rango ligeramente contaminado, sobre todo hacia la parte más urbanizada de la cuenca, es muy probable que esta contaminación sea generada por el transporte automotor y procesos de combustión generados en pequeñas instalaciones industriales o de servicios que, a través de sus chimeneas, expulsan partículas contaminantes a la atmósfera, las que son trasladadas por el aire, depositándose más tarde, en dependencia de la dirección y velocidad del viento, en el suelo. Otro amplio sector del mapa de zonación se localiza en una zona moderadamente contaminada, que posee niveles de contaminación ligeramente más elevados que la que se explicaba anteriormente, a continuación las zonas contaminadas y finalmente se localizan las áreas de peor situación, que son las zonas muy contaminadas. En el caso de las dos últimas, una gran influencia la poseen las grandes industrias que generan residuales ricos en metales pesados, como son las siderurgias y las fundiciones, los que luego, trasladados por el aire o el agua, contaminan los suelos de la cuenca (Bityukova, Scholger & Birke 2002).

Habría que añadir a esto, la contaminación que se genera en los puntos de deposición de residuales sólidos que están también localizados en la zona, particularmente Calle 100 y Primer Anillo, en los procesos de incineración de los residuales, especialmente el basurero del Primer Anillo, donde se depositan residuales de origen industrial, que aportan una carga alta de contaminante a la atmósfera que más tarde es depositada en el suelo. El resto del aporte está dado por el tráfico vehicular, sobre todo por vías como Avenida 100, carretera Central, Boyeros, entre otras. Entre las industrias próximas a las zonas de alta contaminación se encuentran cuatro fundiciones.

Este mapa de zonación de la contaminación se puede utilizar para su evaluación en conjunto con la ubicación de fuentes contaminantes, carreteras y zonas pobladas y permite, en principio, evaluar diferentes impactos de la contaminación en el medio, al estar soportado en una plataforma SIG, conjuntamente con un juego de mapas que abarcan la caracterización del medio físico y socioeconómico de la cuenca, así como otros que caracterizan el estado de su medio ambiente.

Por ejemplo, si se observa el mapa resultado de la combinación de la zonación con el mapa de las zonas susceptibles a la contaminación, a través de las formas cársticas de absorción, se puede interpretar que existen zonas ligeramente contaminadas, moderadamente contaminadas y contaminadas e incluso muy contaminadas (Figura 6), que coinciden con zonas cársticas con predominio a la infiltración efectiva que, en ocasiones, coinciden con puntos potenciales de absorción, lo cual representa un gran riesgo de contaminación al acuífero. En esta situación se encuentran los municipios San José, Cotorro, Arroyo Naranjo y Boyeros.

Existe, además, una zona muy contaminada en el municipio Cotorro que se encuentra sobre zonas cársticas con predominio a la infiltración efectiva y muy próxima a un punto potencial de absorción.

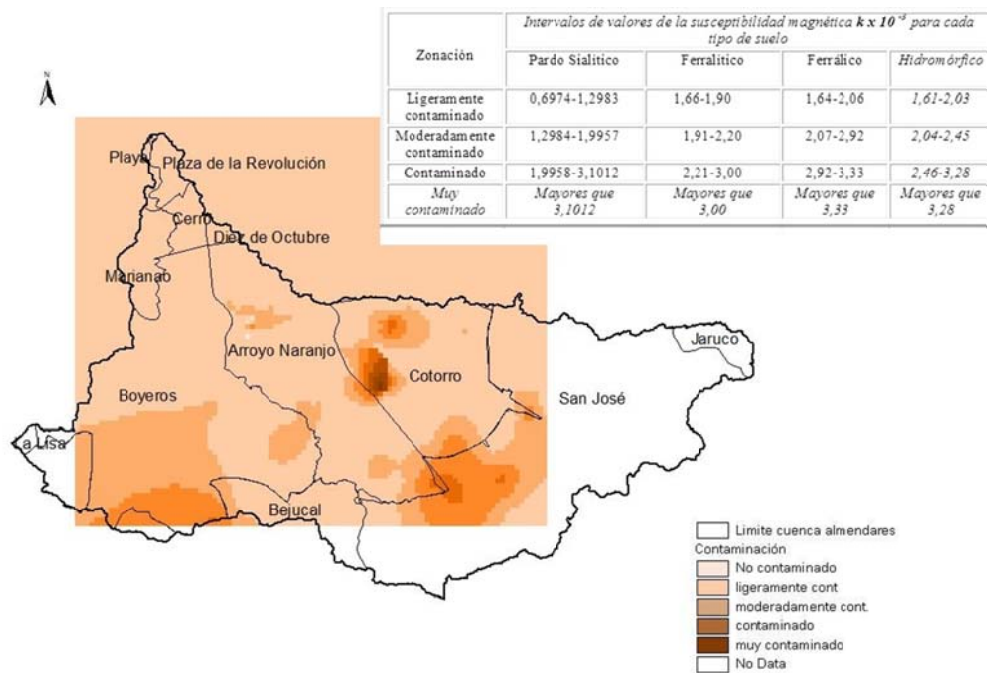


Figura 5. Zonación de la contaminación estimada a partir de la susceptibilidad magnética medida en el suelo.

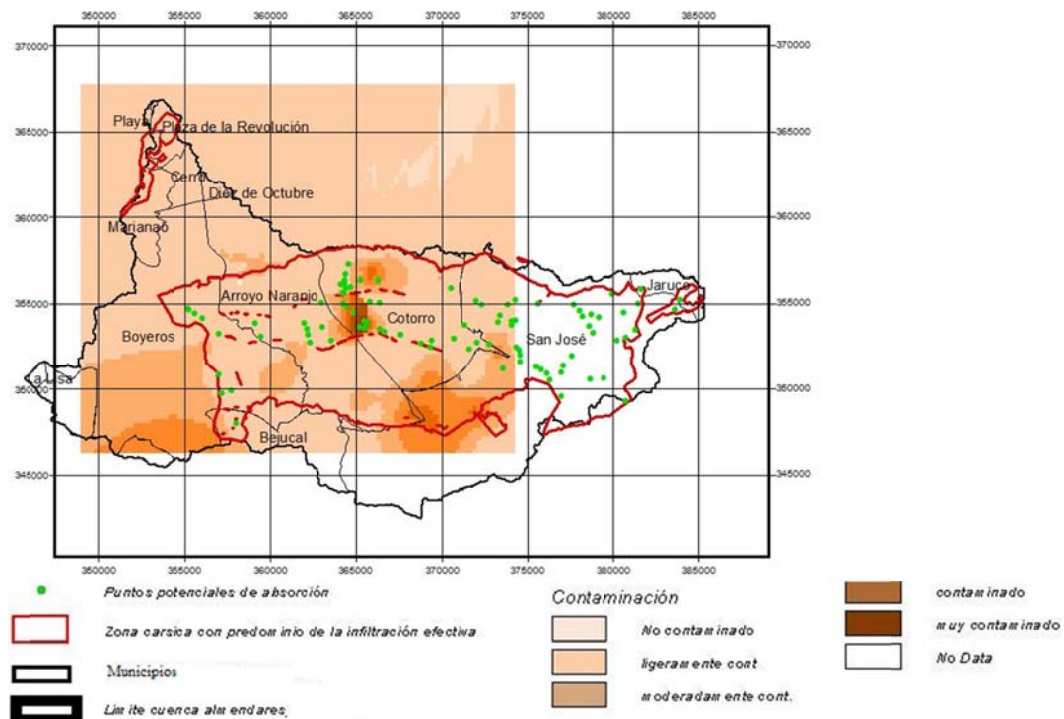


Figura 6. Mapa de zonación de la contaminación combinado con el mapa de susceptibilidad a la infiltración.

4. CONCLUSIONES

A partir del mapa de zonación general de contaminación de los suelos, por metales pesados, estimada a partir de la cartografía de la susceptibilidad magnética de los suelos en la cuenca Almendares-Vento, se concluye que:

- Las zonas contaminadas y muy contaminadas se concentran en los municipios de Cotorro, San José y parcialmente Boyeros y Arroyo Naranjo, que son los municipios más industrializados de la cuenca.
- Los municipios más urbanizados de la parte media de la cuenca, como Diez de Octubre y Cerro, presentan zonas ligeramente contaminadas. Marianao, en la parte alta de la cuenca, se ubica en zonas de moderadamente contaminadas a contaminadas.
- El esquema de zonación de la contaminación, combinado con el mapa de susceptibilidad a la contaminación, a través de las formas cársticas de absorción, sugiere alta amenaza de contaminación del subsuelo en los municipios San José, Cotorro, Arroyo Naranjo y Boyeros.

5. REFERENCIAS

- AGUILAR, B.; BAUTISTA, F.; ROSASA, J.; GOGICHAISHVILLI, A.; CEJUDO, R. & MORALES, J. 2011. Evaluación de la contaminación ambiental por métodos magnéticos en las ciudades de Morelia y Guadalajara México. *Latinmag Letters* 1(2): 1-6. D22. Proceedings Tandil, Argentina.
- BITYUKOVA, L.; SCHOLGER, R. & BIRKE, M. 1999. Magnetic susceptibility as indicator of environmental pollution of soils in Tallin. *Physics and Chemistry of the Earth* 24: 829-835.
- CHAPARRO, M. A. 2005. *Análisis y estudio de parámetros magnéticos de suelos y sedimentos de arroyos y lagunas relativamente contaminados – Métodos de mediciones magnéticas*. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires. Facultad de Ciencias Exactas.
- COOK, J. C. & CARTS, S. L. 1962. Magnetic effect and properties of topsoil. *Journal of Geophysical Research* 67: 815-828.
- ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE INC. 1992-1999. Arc View GIS 3.2.

- EVANS, M. & HELLER, F. 2003. *Environmental magnetism. Principles and applications of environmagnetics*. Vol 86. Edit. Academic Press, ELSEVIER Science, International Geophysical Series, Printed in USA, ISBN 0-12-243851-5.
- GELİŞ, K. & AYDIN, A. 1998. Investigation of environmental pollution using magnetic susceptibility measurements. *European Journal of Environmental and Engineering Geophysics* 3: 53-61.
- GOLDEN SOFTWARE INC. 1993. Surfer Version 8.02, Surface Mapping Systems.
- HANESCH, M. & SHOLGER, R. 2002. Pollution monitoring by magnetic susceptibility measurements - Assessing the potential on nation - wide and local scales. *Quaderni di Geofisica* No. 26. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologí, Rome, 51 p.
- HROUDA, F. 1994. A technique for the measurement of thermal changes of magnetic susceptibility of weakly magnetic rocks by the CS-2 apparatus and KLY-2 Kappabridge. *Geophysical Journal Int* 118: 604-612.
- JELINEK, V. 1980. KT-5. A Kappa bridge for measuring magnetic susceptibility of rocks and soils on field conditions. Operation Manual, Geofyzica Enterprise, Brno, 10 p.
- LOGACHEV, A. A. & ZAJAROV, V. P. 1979. *Magnitorazvietka* (en ruso). 5ta edición. Editorial NEDRA, San Petersburgo, 351 p.
- MAREŠ, S. ET AL. 1984. *Introduction to Applied Geophysics*. Edit. D. Reidel Publishing Company, Holland in coedition with SNTL Publishers of Technical Literature, Prague, ISBN 90-277-1424-X.
- NORMA CUBANA 33. 1999. Calidad del suelo. Requisitos generales para la clasificación de los suelos según la influencia sobre ellos de las sustancias químicas contaminantes. MINAGRI. Instituto de Suelos, La Habana, Cuba.
- OLDFIELD, F. 1991. Environmental magnetism - A personal perspective. *Quaternary Sciences Reviews* 10: 73-85.
- OSTLE, B. 1974. *Estadística Aplicada*. Ministerio de Cultura, Editorial Científica-Técnica, La Habana, Cuba.
- PEDROSO, I.; FUNDORA, M. J.; JAIMEZ, E.; GUERRA, M.; GONZÁLEZ, I. & PÉREZ, B. 2005. Cartografía de la susceptibilidad magnética en áreas de la cuenca del río Almendares. Informe de Resultado Parcial, Archivos Dpto. de Geofísica Regional y Riesgos, Instituto de Geofísica y Astronomía, Agencia de Medio Ambiente, CITMA, La Habana, Cuba.

STATISTICS SOFTWARE INC. 1984-1995. Statistica for Windows Release 5.0 A.

VEROSUB, K. L. & ROBERTS, A. P. 1995. Environmental Magnetism: Past, Present and Future. *Journal of Geophysical Research* 100: 2 175 -2 192.

Ida Inés Pedroso-Herrera ida@ama.cu
Agencia de Medio Ambiente. CITMA, La Habana, Cuba.