

## Distribution of the elements Cu-Pb-Zn in soils map 168 (Algeria)

Luis Hernán Sánchez-Arredondo

*Departamento de Materiales y Minerales, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín, Colombia. [lhsanche@unal.edu.co](mailto:lhsanche@unal.edu.co)*

Recibido para revisar: 28-Febrero-2013, Aceptado: 20-08-2014, versión final: 06-October-2014.

### ABSTRACT

The aim of this study was the spatial analysis of the elements copper, lead and zinc in soil of the plate 168 (Algeria), located in the southeastern region of Antioquia Colombia. The samples used are part of the "Survey and compilation of information-Map Regional Geochemistry-Ingeominas (Colombia)" and were facilitated by Ingeominas for the project "Geochemical Map of Antioquia". For the preparation of the corresponding baselines, were applied lognormal kriging geostatistical techniques. The assessment of pollution by heavy metals Cu-Pb-Zn in soil horizon plate 168, was developed taking into account the analysis of the background level, Environmental Accumulation and the Index enrichment. The results obtained indicate that content available for the elements Cu-Pb-Zn in these soils pose no real danger to be lower than its content phytotoxicity threshold given by some authors.

*Keywords:* geostatistics, soil contamination, copper, lead, zinc.

## Distribución de los elementos Cu-Pb-Zn en suelos de la plancha 168 (Argelia)

### RESUMEN

El objetivo de este estudio fue el análisis espacial de los elementos cobre, plomo y zinc en horizontes A de suelos de la plancha geológica 168 (Argelia), región sureste del departamento de Antioquia Colombia. Las muestras utilizadas hacen parte del programa "Levantamiento y Compilación de Información Geoquímica-Mapas Regionales-Ingeominas (Colombia)" y fueron facilitadas por INGEOMINAS (hoy Servicio Geológico Colombiano) para el proyecto "Mapa Geoquímico de Antioquia". Para la elaboración de las líneas base de los correspondientes elementos químicos, se aplicaron las técnicas geoestadísticas de kriging lognormal. La evaluación de la contaminación por los metales pesados Cu-Pb-Zn, en los horizontes superficiales de la plancha 168, se elaboró teniendo en cuenta el análisis de los Niveles de Fondo (NF), Acumulación Ambiental (NAA) y el Índice de Enriquecimiento (IE). Los resultados obtenidos indican que la cantidad disponible de los elementos Cu-Pb-Zn en estos suelos, no suponen peligro real por ser su contenido inferior al umbral de fitotoxicidad dados por algunos autores.

*Palabras Clave:* geoestadística, contaminación de suelos, cobre, plomo, zinc.

### 1. INTRODUCCIÓN

Los suelos de la plancha 168 son ácidos y localmente extremadamente ácidos ( $\text{PH} < 5$ ), con saturaciones de aluminio que varían entre 4%-20% para el horizonte A y entre 4%-18% para el horizonte C; tienen bajos contenidos de fósforo aprovechable por las plantas (horizonte A  $< 0.13$  mg/Kg y horizonte C  $< 0.18$  mg/Kg). Se pueden agrupar en dos grandes grupos: 1. Suelos de clima húmedo, muy húmedo y pluvial en diferentes pisos térmicos, en relieve muy quebrado, muy poco evolucionados y de baja saturación agua,

asociados con afloramientos rocosos. 2. Suelos de clima cálido húmedo y muy húmedo, moderadamente evolucionados y generalmente con alta saturación de agua.

La Geología (Ver Figura 1) de la plancha, a escala 1:100.000, ha sido referenciada de Feininger y Otros (1972). Las rocas ígneas y metamórficas predominan en toda la plancha. Las principales unidades son las Cuarzomonzonitas de Aquitania (cma), las Metamorfitas del Complejo Cajamarca (m, nq, nf, a, es y bsd), rocas Intrusivas Néisicas Sintectónicas (ni), el Batolito de Sonsón (Kqds), el Batolito Antioqueño (Kqd), las Sedimentitas de San Luis (Kc, Kch),

el gabra horbléndico de San Francisco (gsf) y Rocas Sedimentarias Terciarias sin diferenciar (T). La erosión varía de moderada a ligera, predominando la erosión moderada.

El mayor rasgo estructural está definido en la zona por la Falla Palestina, la cual es de carácter regional. Hacen parte de esta estructura un sistema de fallas menores paralelas y subparalelas que geomorfológicamente definen marcadamente la dirección de vertientes.

El objetivo de este estudio fue el análisis espacial de los elementos cobre, plomo y cinc en el horizonte superficial (horizonte A) de los suelos de la plancha geológica 168 (Argelia), región sureste del departamento de Antioquia Colombia. Las muestras utilizadas hacen parte del programa “Levantamiento y Compilación de Información Geoquímica-Mapas Regionales-Ingeominas (Colombia)”

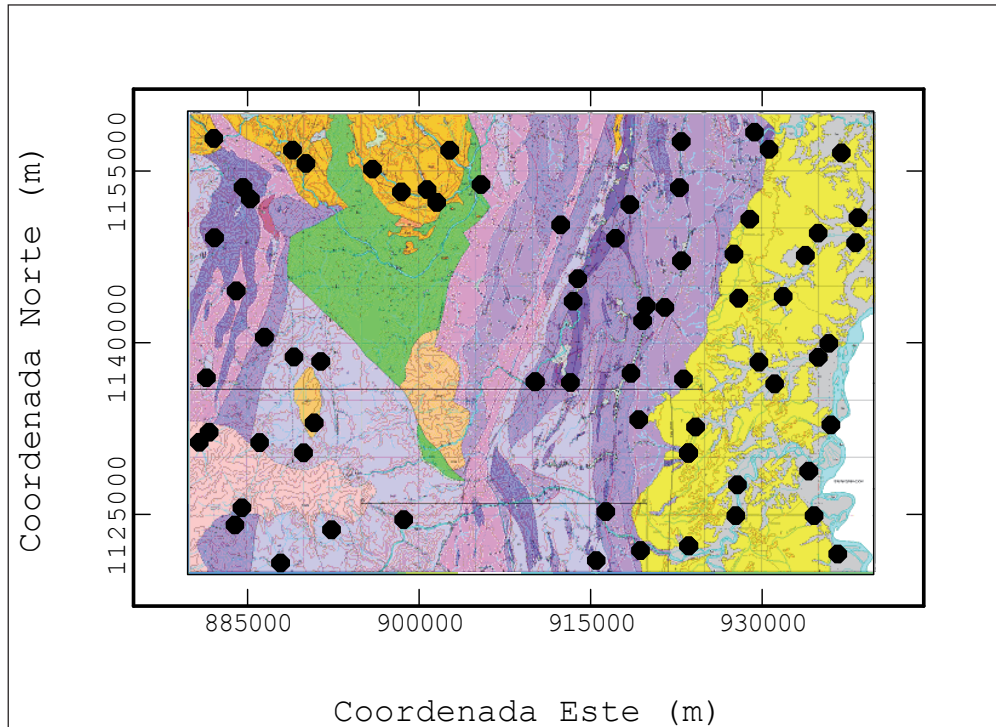


Figura 1. Mapa geológico de la plancha 168 (Tomado de Feiniger y Otros, 1972). Para nomenclatura ver la plancha (Escala 1:100.000) en formato .pdf ([www.sgc.gov.co](http://www.sgc.gov.co)). Los círculos representan los sitios donde fueron tomadas las muestras.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.2. Base de datos

El patrón de distribución espacial de la concentración de un elemento es controlado por diversos procesos geoquímicos, y puede estudiarse mediante un análisis de variabilidad espacial. La Geoestadística describe la continuidad de patrones espaciales, pasando la información cualitativa al análisis cuantitativo. En este estudio, el contenido de los elementos Cu, Pb y Zn en el horizonte superficial de suelos de la plancha 168 (Argelia), se tomaron del proyecto “Levantamiento y Compilación de Información Geoquímica-Mapas Regionales-Ingeominas (Colombia)”-.

El análisis geoquímico de los datos fue hecho con plasma, por el Instituto de Exploración Geoquímica y Geofísica de Beijing, República de China. Los datos reportados tienen un límite de detección de un miligramo por Kilogramo ( $1 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para los elementos cobre y cinc y de 3 miligramos por kilogramo ( $3 \text{ mg kg}^{-1}$ ) para el plomo. En total fueron analizadas 78 muestras (muestreo geoquímico ultrabaja

densidad) de 2 Kg de suelo de los horizontes A (0-25 cm). La toma de muestras en el campo fue realizada en el proyecto “Realización de trabajos de campo para la elaboración de la cartografía geoquímica, contrato INGEOMINAS 237 de 1999”, por LT Geoperforaciones y Minería entre el primero de febrero y el 19 abril de 2000.

### 2.2. Método geoestadístico

Para la modelación espacial se diseñó una malla de estimación de 500 m X 500 m. Se hizo una transformación logarítmica de las variables regionalizadas (elementos geoquímicos), ya que el análisis exploratorio de los datos de campo indicó que éstos estaban lognormalmente distribuidos.

Si  $Z(x)$  es una variable regionalizada distribuida lognormalmente,  $Y = \ln [Z(x)]$  sigue una distribución normal y si se usa el semivariograma de la variable Y, se puede estimar  $Y^*$  en un punto del espacio como una combinación lineal de los datos reales ( $Y\alpha$ ), utilizando la técnica geoestadística del

predictor kriging lognormal, el cual se basa en las siguientes relaciones matemáticas:

$$Y^* = \sum_{\alpha} \lambda_{\alpha} Y_{\alpha} + (1 - \sum \lambda_{\alpha}) m_y$$

$Y^*$  = valor estimado

$Y_{\alpha}$  = valores reales

$\lambda_{\alpha}$  = peso asignado de acuerdo con la distancia

$m_y$  = Promedio de  $Y$

Los valores estimados en un sistema de bloques ordinario se consigue a través de:

$$Z^*(X) = \exp \left[ Y^* + \frac{1}{2} \sigma_Y^2 + \mu \right] - \beta$$

Siendo  $\beta$  un valor que hace que  $Z$  sea una variable positiva,  $\mu$  es el parámetro de Lagrange. La varianza mínima (kriging) se estima de la siguiente forma:

$$\sigma^2 = e^{s^2} [1 + e^{-(\hat{r} + \mu)} (e^{-\mu} - 2)]$$

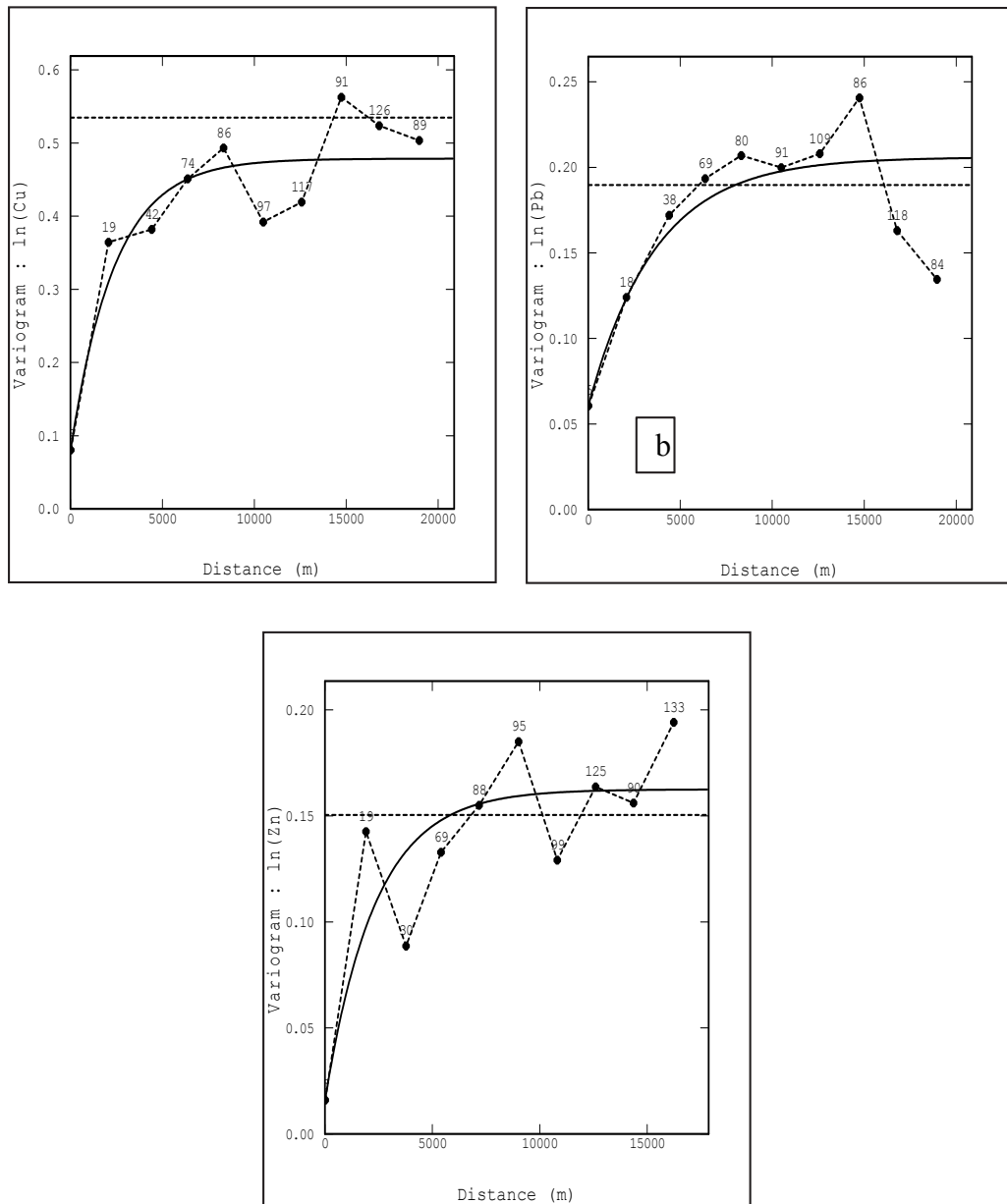


Figura 2 (a, b, c). Variograma experimental (línea a trazos) y teórico (línea continua) para los elementos Cu, Pb y Zn en el horizonte A de los suelos de la plancha 168 (Argelia)

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los semivariogramas de la figura 2 (a, b, c) se muestra el análisis estructural para cada una de las variables Cu, Pb y Zn en el horizonte A del suelo. Todos los Semivariogramas presentan un efecto de pepita que puede estar relacionado con los diferentes tipos de suelos asociados a las muestras sobre las cuales se realizó el análisis de la plancha 168. Al observar el valor de la varianza teórica en los semivariogramas (línea horizontal a trazos) se nota que el sill (meseta) tiende a subestimar la variabilidad de los contenidos de Pb y Zn, mientras que con el Cu ocurre lo contrario. Todas las variables validaron mejor sus estructuras utilizando modelos exponenciales de distribución espacial con rangos de influencia de 7 km para el Cu y Zn, y de 11 Km para el Pb. En la Figura 3 se exponen los mapas de distribución espacial de los contenidos de los elementos estudiados utilizando la técnica geoestadística del kriging lognormal. El contenido promedio (en mg/Kg) de los metales pesados en este análisis sigue la secuencia Pb<Cu<<Zn. Se consideran valores relativamente altos de Cu, aquellos con contenidos superiores a 31.2 mg/Kg; la cual representa el 25% del área cartografiada. El valor promedio de Cu se puede considerar alto cuando se compara con el contenido promedio de los suelos en el mundo, el cual equivale a 25 mg/Kg. (Koljonen

1992, citado por Salminen R. y Otros en el Atlas Geoquímico de Europa). El promedio del contenido de Pb en estos suelos (19 mg/Kg) está dentro del estándar mundial (17 mg/Kg). El 25% del área contiene valores altos de Pb (> 22 mg/Kg). El contenido natural de Pb en suelos está relacionado con la composición del material parental del suelo, principalmente asociado con minerales arcillosos, óxidos de Mn, Fe, hidróxidos de Al y materia orgánica. La línea base del Pb en suelos superficiales, construida a escala global, indica que niveles por encima de 25 mg/Kg ; sugieren influencia antropogénica. O sea que por lo menos es necesario valorar el 20% del área cartografiada, debido a que en ella tenemos valores entre 27-58 mg/Kg. Los valores de Zn estimados tienen un promedio de 99 mg/Kg (el promedio en los suelos del mundo es de 70 mg/Kg) y los valores relativamente altos mayores de 108 mg/Kg, cubren el área 25%.

Para la evaluación de la contaminación por los metales pesados Cu-Pb-Zn en los suelos de la plancha 168 se han propuesto los siguientes índices y niveles:

- Nivel de Fondo (NF): Contenido medio de un elemento en suelos con proporciones del mismo inferiores a la media de los suelos estimados de la zona. La Tabla 1, muestra los niveles promedios o de fondo estimados para cada uno de los metales pesados analizados en este estudio.

Tabla 1. Estadísticos básicos de los valores estimados por el método de Kriging Lognormal, para el horizonte A de los suelos de la Plancha geológica 168 (Argelia). Los estimados no fueron elaborados de acuerdo a cada unidad litológica en particular.

VARIABLE	Nº Muestras	Mínimo	Máximo	Promedio	Desv. Stan
Cu (mg/Kg)	8985	5,0	169,8	31,2	17,3
Pb_(mg/Kg)	8985	3,4	58,0	19,0	5,6
Zn_(mg/Kg)	8985	43,1	199,8	99,2	28,1

Aproximadamente el 7% de los valores de Cu representan NF en la plancha 168, es decir todos los valores inferiores a 31 mg/Kg. El 50% de los valores estimados para el Pb, representan NF (< 19 mg/Kg y para el Zn 90% de los valores estimados están en el intervalo de los NF (< 99 mg/Kg).

- Nivel de Acumulación Ambiental (NAA): Contenido medio de un elemento en suelos con proporciones del mismo superiores a la media de los de la zona. En la plancha 168, equivalen a valores de Cu>31 mg/Kg, de Pb > 19 mg/Kg y de Zn> 99 mg/Kg. (Ver figuras 4a, b y c).

Para suelos de uso agrícola se puede aceptar una concentración máxima de 100 mg/kg de Cu (Alemania, Salminen R. y Otros en el Atlas Geoquímico de Europa). Las plantas pueden tolerar contenidos muy altos de Cu en suelos cuando el nivel orgánico C es muy alto. La movilidad del Cu depende fuertemente del contenido de C orgánico y el Cu es estable especialmente en un pH de 5 a 6. El Pb generalmente es fuertemente inmovilizado en la fracción húmica del suelo, llevando a un fuerte enriquecimiento con él en los centímetros superiores. Las plantas pueden tolerar niveles de

Pb bastante altos. Generalmente, la mayoría de los vegetales toman bajo Pb. La absorción de Pb por las plantas del suelo se incrementa a pH<5. Los microorganismos del suelo son más sensibles al envenenamiento con Pb que las plantas. Los máximos valores en suelos agrícolas están por el lado de los 300 mg/kg (Alemania, Salminen R. y Otros en el Atlas Geoquímico de Europa).

Concentraciones de Zn en suelos por encima de 250 mg/kg son perjudiciales a las plantas.

- Índice de Enriquecimiento de un elemento (IE): Es la relación que existe de un elemento entre su contenido en el suelo y el horizonte C. Valores muy superiores a la unidad reflejan aportes contaminantes.

Los mapas de las figuras 4a, b, c; revelan los aportes contaminantes para cada uno de los elementos Cu, Pb y Zn. En el caso del Cu y el Zn, el 50% de los valores con IE>1 indican un índice de enriquecimiento con valores superiores a 1.5. El IE para el elemento Pb muestra valores superiores 1.71.

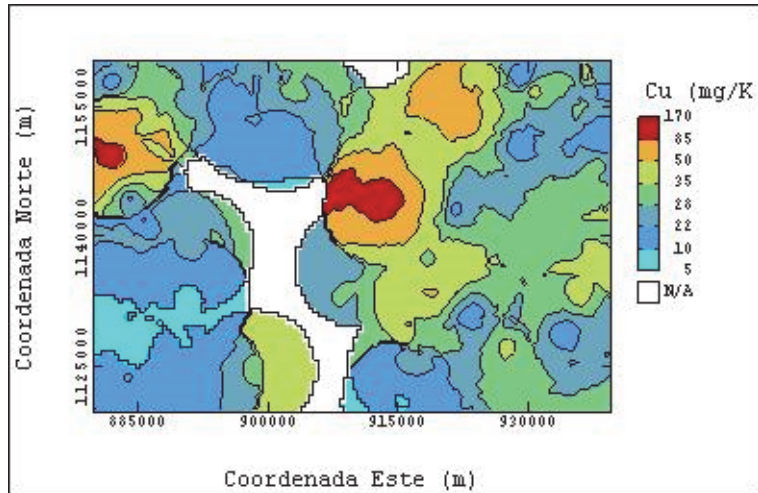


Figura 3a. Mapa de distribución espacial del cobre, en el horizonte A de los suelos de la Plancha geológica 168

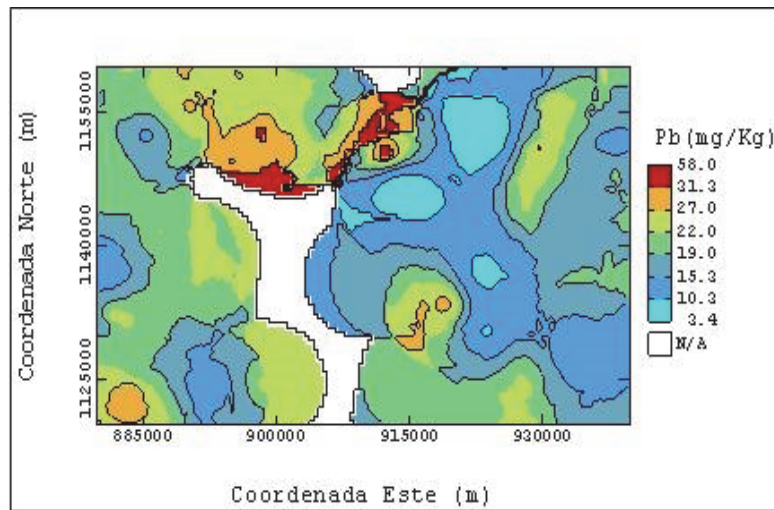


Figura 3b. Mapa de distribución espacial del plomo, en el horizonte A de los suelos de la Plancha geológica 168

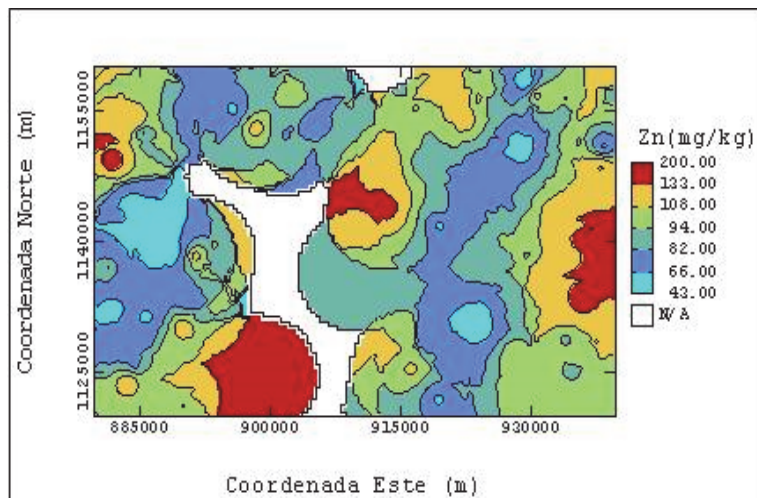


Figura 3c. Mapa de distribución espacial del cinc, en el horizonte A de los suelos de la Plancha geológica 168



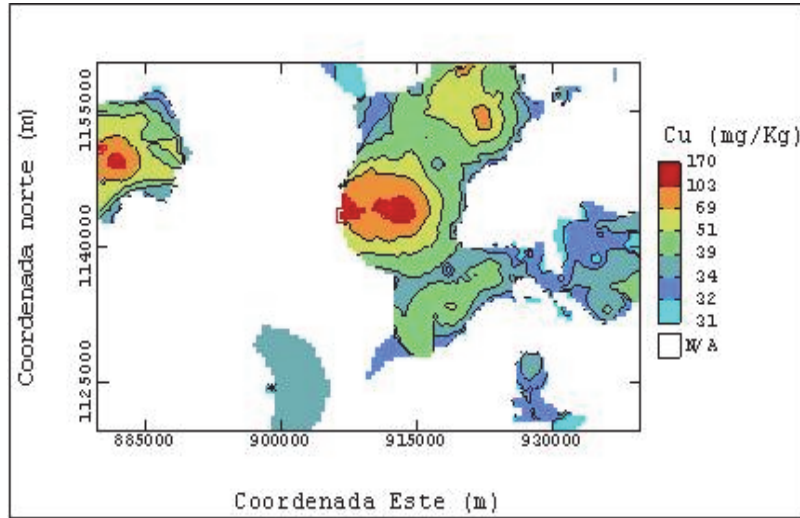


Figura 4a. Niveles de acumulación ambiental del cobre en el horizonte A de los suelos de la Plancha 168

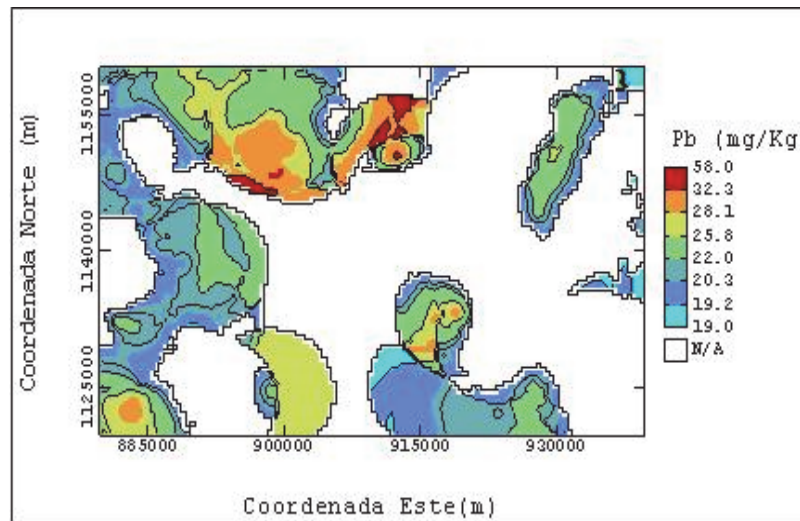


Figura 4b. Niveles de acumulación ambiental del plomo en el horizonte A de los suelos de la Plancha 168

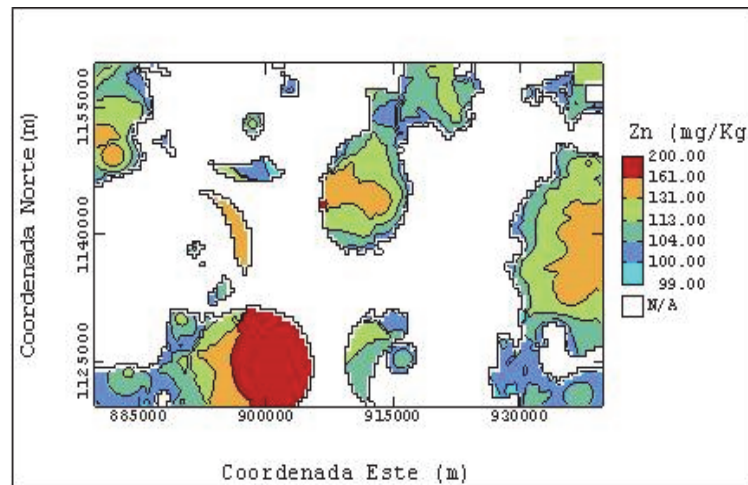


Figura 4c. Niveles de acumulación ambiental del cinc en el horizonte A de los suelos de la Plancha 168

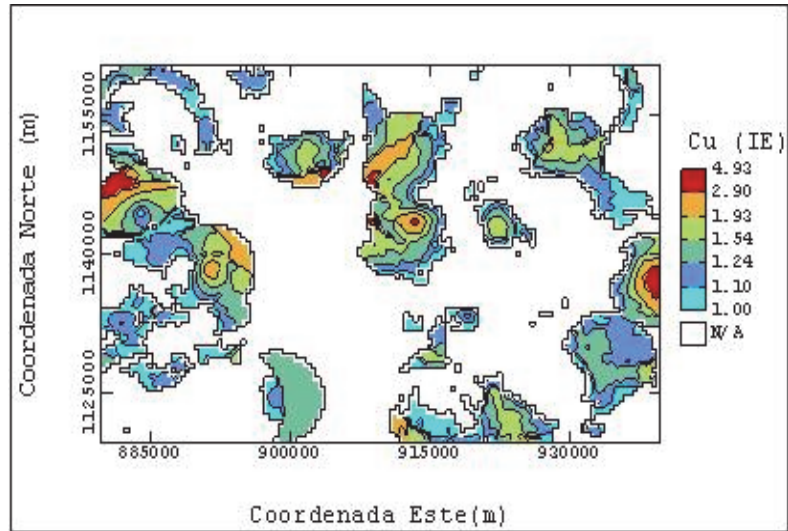


Figura 5a. Índice de enriquecimiento del cobre en suelos horizonte A, Plancha 168

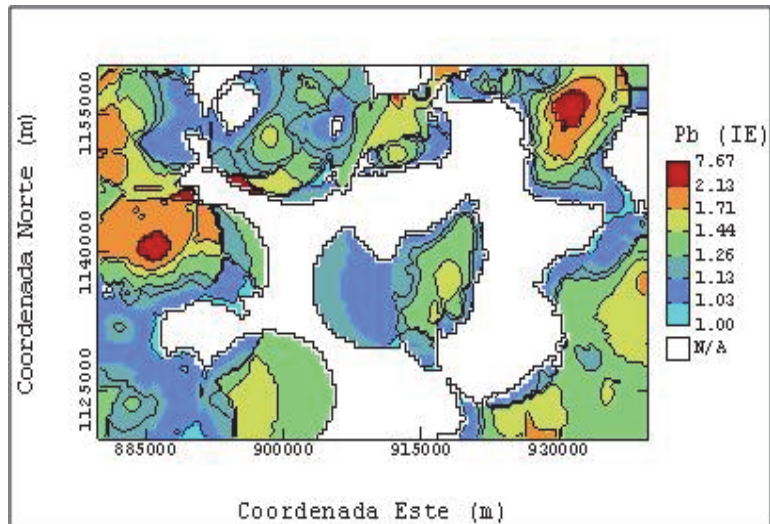


Figura 5b. Índice de enriquecimiento del plomo en suelos horizonte A, Plancha 168

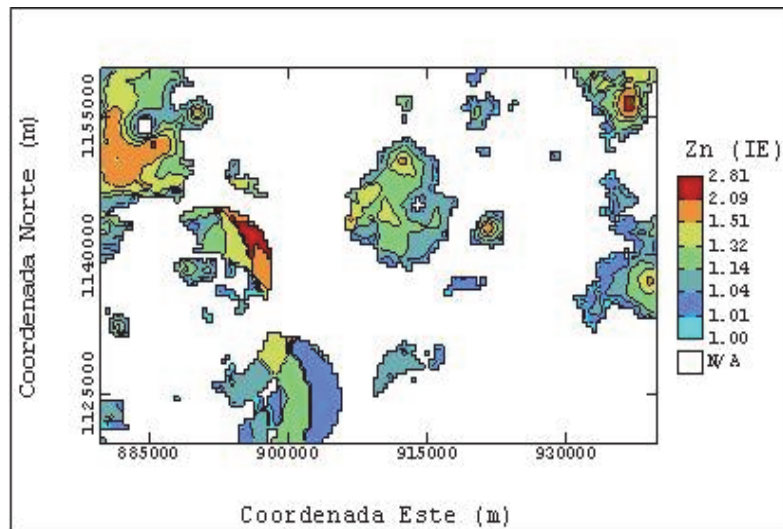


Figura 5c. Índice de enriquecimiento del cinc en suelos horizonte A, Plancha 168

El contenido disponible en estos suelos no supone peligro real por ser su contenido inferior al umbral de fitotoxicidad dados por algunos autores.

#### AGRADECIMIENTOS

Este artículo es un aporte al proyecto Mapa Geoquímico de Antioquia. INGEOMINAS (actual Servicio Geológico Colombiano) facilitó los datos.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Geostatistics Modeling Spatial Uncertainty: John Wiley & Sons, 704 P.
- [2] Feininger, T.; Barrero, D.; Castro, N., 1972. Geología de parte de los departamentos de Antioquia y Caldas(Subzona II-B). Ingeominas, Bol.Geol., 20 (2): 1-173. Bogotá.
- [3] Greenwood, N.N. & Earnshaw, a., 1984. Chemistry of the elements. Pergamon Press, Oxford, 1542 pp. 442.
- [4] Kabata-Pendias A., 2001. Trace elements in soils and plants. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida, 413 pp.
- [5] Ravichandran, M., 2004. Interactions between mercury and dissolved organic matter-a review. Chemosphere, 55(3), 319-331.
- [6] Reiman, C., Ayras, M., Chekushin, V., Bogatyrev, I., Boyd, R., Caritat, P. De, Dutter, R., Finne, T.E., Halleraker, J.H., Jaeger, O., Kashulina, G., Lehto, O., Niskavaara, H., Pavlov, V., Raisanen, M.L., Strand, T. Y Volden, T., 1998. Environmental Geochemical Atlas of the Central Barents Region, Servicio Geológico de Noruega, 745 P.
- [7] Salminen R. (Chief-Editor), Batista M.J., Bidovec M., Demetriades A., De Vivo B., De Vos W., Duris M., Gilucis A., Gregorauskiene V., Halamic J., Heitzmann P., Lima A., Jordan G., Klaver G., Klein P., Lis J., Locutura J., Marsina K., Mazreku A., O'Connor P.J., Olsson S.Å., Ottesen R., Petersell V., Plant J.A., Reeder S., Salpeteur I., Sandström H., Siewers U., STEENFELT A., Tarvainen T., Geochemical Atlas of Europe, ISBN 951-690-913-2 (electronic versión, <http://weppi.gtk.fi/publ/foregsatlas/index.php>).
- [8] Sánchez L. y Molina J., 2009. Geochemical Map of stream sediments of the Antioquia department-MGASED, Medellín, 44 P