

Evaluación de metales pesados en los suelos del coto minero manganesífero Cristo -Barrancas

Pedro Siboney Bergues Garrido

Resumen

Se estudiaron muestras de suelo de la antigua mina de manganeso Cristo-Barrancas y áreas adyacentes para evaluar el contenido de metales pesados (Cd, Ni, Pb, Co, Zn, Cu y Cr) atendiendo a que, en la actualidad, algunos de estos suelos se dedican al cultivo de plantaciones para el consumo humano y animal. Se calcularon los índices de geoacumulación y de carga de polución, así como el factor de enriquecimiento y el grado de contaminación. Los resultados revelaron contaminación moderada por Cd, Co y Cu en ambas zonas y una ligera contaminación por Ni en el área de la mina. El empleo adicional de los estándares holandeses (lista ABC) corroboró los niveles de contaminación obtenidos, al encontrarse los valores resultantes para el Cd, Co, Cu y Ni entre el nivel de referencia A y el nivel de contenido máximo admisible B; asimismo los resultados de la evaluación de los índices y estándares holandeses indicaron que, prácticamente, no existe contaminación por Pb, Cr y Zn. La contaminación moderada, principalmente por Cd, puede invalidar los suelos para el cultivo de hortalizas y viandas debido a la capacidad que tienen estos vegetales para absorber y acumular el cadmio en sus hojas, bulbos y tubérculos, los que al ser ingeridos pueden ocasionar daños a la salud.

Palabras clave

Metales pesados; suelos; contaminación ambiental; geoacumulación; agricultura.

Assessment of soil heavy metals pollution in Cristo-Barrancas mining site

Abstract

Soil samples taken from former manganese mine Cristo-Barrancas and adjacent areas were analyzed to evaluate the concentration of heavy metals (Cd, Ni, Pb, Co, Zn, Cu y Cr) considering that this land is currently being used for cultivation of plants intended for human and animal consumption. Pollution load and geo-accumulation indexes were calculated in addition to the enrichment factor and pollution degree. The results indicated the presence of moderate pollution of Cd, Co and Cu in both areas and slight pollution of Ni in the mining area. Dutch standards (ABC list) were additionally used; which corroborated the levels of contamination obtained; in which the resulting values for Cd, Co, Cu and Ni were between reference level A and maximum allowable content B. Based on the evaluation of Dutch indexes and standards, the results indicated that there is practically no pollution with Pb, Cr and Zn. Moderate soil pollution, mainly by Cd, can render these soils unfit for growing vegetables and ground provisions given their capabilities to absorb Cd and store it in leaves, bulbs and tubers; which when ingested can cause serious harm to health.

Key words

Heavy metals; soils; environmental pollution; geo-accumulation; agriculture.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas donde se realizan labores de minería constituyen fuentes de contaminación ambiental debido a la dispersión de los elementos trazas que, de forma natural, están asociados a las menas y se esparcen al medio ambiente a través del aire, el agua y el suelo. Es conocido que la contaminación del suelo por metales pesados origina efectos nocivos sobre la salud del hombre y demás seres vivos, por lo que numerosos países han estandarizado los valores máximos permisibles de metales pesados en sus suelos, atendiendo a las características edafológicas y a las propiedades intrínsecas, tales como Potencial eléctrico (Eh), pH (Brooks 1983; Kabata-Pendias 1984), porcentajes de materia orgánica y arcilla (Lacatusu 1998; Kabata-Pendias 2001).

En la mina de Cristo-Barrancas las labores para la extracción de menas de manganeso cesaron en el año 1964, desconociéndose si los desechos propios de esta actividad incluyeron la incorporación al suelo de elementos tóxicos (Li & Yang 2008) como cadmio (Cd), plomo (Pb), zinc (Zn), níquel (Ni) cobalto (Co), cobre (Cu) y cromo (Cr).

Actualmente casi toda el área de Cristo-Barrancas presenta cobertura vegetal; existen múltiples cultivos (viandas, hortalizas, frutales, bosques y pastos), por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar en estos suelos el contenido de metales pesados, aplicando los parámetros (o normas) expuestos en la literatura internacional, ya que la norma cubana vigente para la contaminación de suelos por sustancias químicas (NC: 33:1999) no establece valores estándares para conocer si los suelos están contaminados y en qué medida lo están.

1.1 Descripción del área estudiada

Se estudió un área de 48 km² que incluye el coto minero Cristo-Barrancas y sus áreas adyacentes (Figura 1). Ésta se localiza a 14 km al NE de la ciudad de Santiago de Cuba y abarca parte de los municipios Santiago de Cuba y Songo La Maya (Yasell et al. 2010); sus coordenadas Lambert son:

Vértice	X	Y
(NO)	611000	166000
(NE)	619000	166000
(SE)	619000	160000
(SO)	611000	160000

La red hidrográfica está ampliamente desarrollada, siendo el Guaninicum el río principal, que atraviesa toda el área estudiada; le sigue en importancia el arroyo Santa Ana.

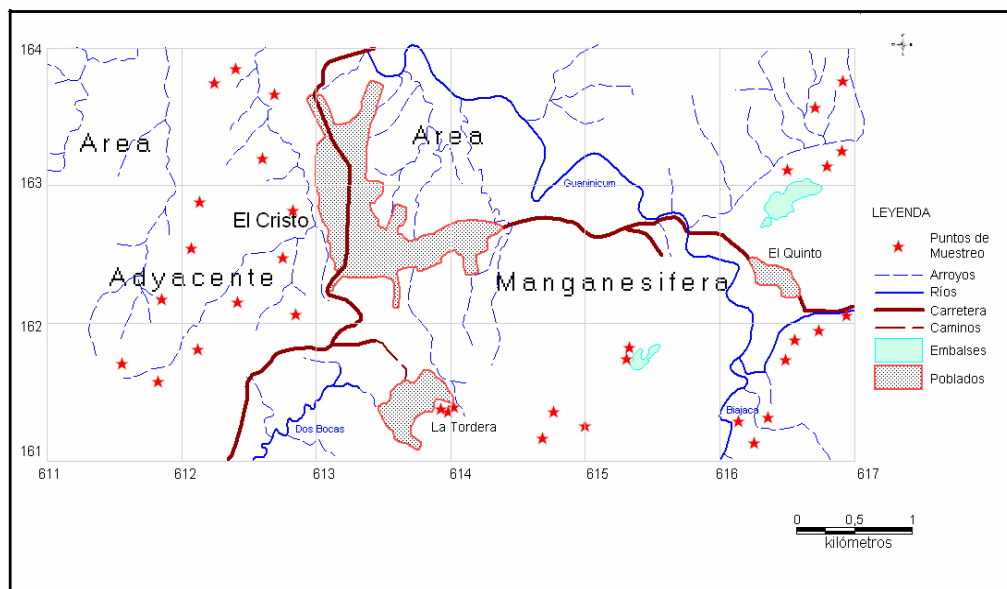


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio.

1.2 Marco geológico

El área manganesífera Cristo–Barrancas forma parte del arco volcánico del Paleógeno, cuyas principales estructuras -el horst Gran Piedra y el graben Songo La Maya- se caracterizan por el desarrollo de facies volcánicas.

Las estructuras disyuntivas se reflejan en el relieve actual. Las zonas tectónicas del Eoceno medio-tardío tienen dirección predominante noroeste y se acompañan de numerosas fallas con dirección sublatitudinal, las que son controladoras de cuerpos intrusivos y generalmente tienen carácter renovado (Yasell et al. 2010).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Muestreo

El muestreo del suelo superficial (*top soil*) se realizó cavando un hoyo de aproximadamente 20 cm de profundidad y envasando las muestras en bolsas de nylon debidamente etiquetadas para su posterior identificación. Se tomaron 36 muestras, de ellas 22 en el área manganesífera y 14 en el área adyacente, mayormente en zonas donde existen cultivos para el consumo humano.

2.2 Trabajo de laboratorio

A tres gramos de suelo seco se le añadieron 30 ml de agua regia (HCl-HNO₃) (3:1) y se calentó a 180 °C hasta obtener sales húmedas; seguidamente se añadieron 5 ml de HNO₃ 0,7 para disolver las sales. La muestra se enrasó con agua desionizada hasta un volumen de 100 ml para su análisis por Espectroscopia de Emisión Atómica con Plasma Inductivamente Acoplado (ICP).

Se determinaron los contenidos de cadmio (Cd), cobalto (Co), níquel (Ni), plomo (Pb), cobre (Cu), cromo (Cr), y materia orgánica. Los resultados fueron expresados en mg/kg, a excepción de la arcilla y la materia orgánica, que se expresaron en porcentaje del peso. Tomando como base la Ley de Stokes se calculó el porcentaje de arcilla mediante el método de Bouyoucos (León 2001).

2.3 Índices y formulaciones empleadas

2.3.1 Factor de enriquecimiento (EF)

Mediante este índice se estandariza el elemento analizado en el suelo contra un elemento de referencia poco variable (Ergin et al. 1991; Rubio et al. 2000) que resultó ser en este caso el Fe y su expresión matemática es:

$$EF = \frac{C_n / C_{ref}}{B_n / B_{ref}}$$

Donde:

C_n- Contenido del elemento examinado en el suelo.

C_{ref}- Fondo geoquímico del elemento examinado.

B_n-Contenido del elemento de referencia en el ambiente examinado.

B_{ref}- Fondo geoquímico del elemento de referencia.

Los elementos de referencia aplicables para este tipo de estudios son aquellos cuya naturaleza geoquímica permite que sus cantidades sustanciales no produzcan efectos de antagonismo o sinergismo con los elementos examinados (Aikpokpodion 2010). Los elementos de referencia más empleados son: aluminio (Al), escandio (Sc), manganeso (Mn) y hierro (Fe) (Loska et al. 2004) y se reconocen cinco categorías:

EF < 2 Enriquecimiento deficiente o mínimo.

EF de 2 a 5 Enriquecimiento moderado.

EF de 5,1 a 20 Enriquecimiento significativo.

EF de 20,1 a 40 Enriquecimiento muy elevado.

EF más de 40 Enriquecimiento extremadamente elevado.

2.3.2 Índice de geoacumulación (Igeo)

Este índice, introducido por Müller (1979) con el objetivo de determinar en qué medida se extienden los metales trazas en suelos y sedimentos, ha sido empleado por varios autores (Chakrapani & Subramanian 1990; Aikpokpodion 2010); su expresión matemática es:

$$I_{geo} = \log_2 C_n / 1,5 \times B_n$$

Donde:

C_n - Concentración del elemento químico en el suelo.

B_n - Fondo geoquímico de referencia del elemento de acuerdo con su contenido medio mundial.

1,5 - Constante que representa las fluctuaciones de una sustancia dada en el ambiente y la influencia antropogénica.

El Índice de Geoacumulación (Igeo) es una medida para la cantidad de carga o bioelementos admitida por un sedimento o un suelo y relaciona las cargas actuales con las anteriores a la civilización actual (Müller 1979).

Para la caracterización del Igeo propuesto, en la carga de metales pesados de un sedimento se buscan los valores del fondo geoquímico. Para integrar las variaciones naturales y las pequeñas cantidades antropogénicas, se multiplica la concentración del fondo geológico

con el factor 1,5 para alcanzar el límite superior de la clase menor "0" (prácticamente sin carga). Al duplicar ese valor se obtiene el límite superior de la próxima clase, y cada duplicación produce el límite superior de la clase siguiente.

Tabla 1. Clases del índice de geoacumulación (Igeo) y sus relaciones con la calidad del sedimento (Müller 1979)

Índice de geoacumulación		
Igeo	Clase de Igeo	Calidad del sedimento
Alrededor de 0	0	Prácticamente sin contaminación
>0-1	1	Poco contaminado
>1-2	2	Medianamente contaminado
>2-3	3	Entre medianamente y fuertemente contaminado
>3-4	4	Fuertemente contaminado
>4-5	5	Muy fuertemente contaminado
>5	6	Extraordinariamente contaminado

2.3.3 Índice de carga de polución (PLI)

El índice de polución, propuesto por Tomlison et al (1980), ha sido usado para referir las concentraciones de metales pesados; su expresión matemática es:

$$PLI = (CF_1 \times CF_2 \times CF_3 \times \dots \times CF_n)^{1/n}$$

Donde n resulta la cantidad de elementos trazas analizados en el sitio, y CF es el factor de contaminación, que se calcula mediante la siguiente relación:

$$CF = C_n/B_n$$

La medida del grado de contaminación global de las áreas se define como la sumatoria de los factores de contaminación (CF) obtenidos para cada metal analizado. De acuerdo con Tomlinson et al. (1980):

$PLI = 0$ Indica un nivel de suelo limpio

$PLI = 1$ Indica un leve nivel de contaminación

PLI mayor que 1 indica un nivel de deterioro progresivo del suelo

2.3.4 Grado de contaminación (Cdeg)

La medida del grado de contaminación global de las áreas de estudio se define como la sumatoria de los factores de contaminación (CF) obtenidos para cada metal analizado:

$$Cdeg = CF_1 + CF_2 + CF_3 + \dots + CF_n$$

Hakanson (1980) distingue 4 grados de contaminación, entre 8 y 32 (modificadas):

$Cdeg < 8$ Bajo grado de contaminación.

$8 = Cdeg \leq 16$ Moderado grado de contaminación.

$16 = Cdeg \leq 32$ Considerable grado de contaminación.

$Cdeg \geq 32$ Grado de contaminación muy elevado.

2.3.5 La lista holandesa

La llamada lista holandesa para los valores A, B y C (Ewers 1991) establece el cálculo del valor A (valor de referencia) de cada elemento químico partiendo de formulaciones que dependen del contenido en porcentaje de peso de la materia orgánica (MO) y la arcilla (a); a saber:

$$Cd = 0,4 + 0,007(a + 3MO)$$

$$Co = 2 + 0,28a$$

$$Cr = 50 + 2a$$

$$Cu = 15 + 0,6(a + MO)$$

$$Ni = 10 + a$$

$$Pb = 50 + a + MO$$

$$Zn = 50 + 1,5(2a + MO)$$

Todos estos elementos han sido calculados por los holandeses para un suelo estándar con un nivel de arcilla de 25% y un 10% de materia orgánica, por lo que los valores de A en los elementos antes enunciados resultan: Cd=0,8; Co=9; Cr=100; Cu=36; Ni=35, Pb=85 y Zn=140. El valor de intervención C se calcula mediante la siguiente expresión (Netherland Government 2000):

$$(SW, IW) b = \frac{(SW, IW) sb x [D + (E x \%arcilla) + (F x \%materia\ orgánica)]}{D + (Ex25) + (Fx10)}$$

Donde:

$(SW, IW) b$ = Valor de intervención para el suelo (C de la lista holandesa)

$(SW, IW) sb$ = Valor de intervención de un suelo standard ya definido
 $Cd = 12$; $Cr = 380$; $Co = 240$; $Cu = 190$; $Pb = 530$; $Ni = 210$ y
 $Zn = 720$ (Netherland Government 2000).

D , E y F son constantes para cada elemento químico en particular; sus valores se reflejan en la tabla 2.

Tabla 2. Valores de las constantes D , E y F para los elementos analizados

Elementos	D	E	F
Cd	0,4	0,007	0,021
Cr	50	2	0
Co	2	0,28	0
Cu	15	0,6	0,6
Pb	50	1	1
Ni	10	1	0
Zn	50	3	1,5

Con los resultados de los valores A y C se procede a calcular el máximo contenido permisible al suelo, o sea, el valor B de la lista holandesa (Netherland Government 2000).

$$B = A + C \times 0,5$$

3. RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados mostraron que en el área de explotación minera existe más Ni , Co y Cu que en el área adyacente, con valores de dispersión grandes para los elementos Ni , Co , y Zn . En cambio el área adyacente presenta más Zn y Cr con un valor de dispersión elevado para Cu , Zn y Cr . El Pb , el Zn y el Cd no presentan diferencias significativas entre las dos áreas estudiadas (Tabla 3).

Tabla 3. Resultados estadísticos descriptivos del contenido de los elementos químicos

Área minada	Cd ppm	Ni ppm	Pb ppm	Co ppm	Zn ppm	Cu ppm	Cr ppm
Media aritmética	1,92	38,23	37,84	25,95	80,09	65,14	18,27
Desviación Standar	0,31	21,73	5,35	16,6	36,02	18,3	8,88
Máximo	2,63	92,87	51,27	72,4	138,0	115,0	53,4
Mínimo	1,33	7,15	30,78	8,9	15,2	37,2	10,6
Área adyacente							
Media aritmética	1,77	22,21	36,58	16,42	88,52	56,87	27,18
Desviación Standar	0,38	10,74	5,84	4,57	18,71	38,65	15,95
Máximo	2,37	46,0	45,0	24,6	127,0	190,0	67,0
Mínimo	1,09	11,5	31,0	9,72	55,5	24,9	11,5
Fondo geoquímico según los valores óptimos de la lista holandesa	0,8	35	85	9	140	36	100

Los resultados para el Cd, Co y Cu se encuentran por encima del fondo geoquímico en ambas áreas investigadas; para el Ni lo está sólo en el área minada, no siendo así para el caso de los elementos Pb, Zn y Cr. Para algunos autores, como Bowie & Thronton (1985) estos valores se encuentran dentro de los rangos normales para suelos, mientras que para otros (Kabata-Pendias 1992; Blum 1995) que han establecido rangos usuales en los suelos, el contenido del Cd se encuentra por encima de lo establecido.

Los contenidos atípicos de Cd aquí revelados son de origen natural y se atribuyen a las diversas génesis de los cuerpos minerales existentes en el área, que por un lado establece su relación con el vulcanismo exhalativo andesítico-dacítico (Evans 1992) y por otro con el desarrollo de jasperoides, que enriquecen a estos cuerpos con otros elementos. Ariosa (1977) supone la formación de estos yacimientos por

la vía hidrotermal, como resultado de la sustitución metasomática de tobas y calizas depositadas en el agua.

Se conoce que el enriquecimiento del suelo en Cd debido a fuentes antrópicas se produce fundamentalmente por las labores de fertilización y el empleo de aerosoles como fungicidas o herbicidas (Aikpokpodion 2010), ya que es común que estos productos contengan Cd en su composición. Gimeno et al. (1998) y Martí et al. (2002) han demostrado en Argentina cómo el empleo de fertilizantes ricos en fósforo (P) y nitrógeno (N) enriquecen los suelos en metales trazas como el Pb y el Cd, y ofrecen en sus trabajos una lista de países en los que se presenta una situación similar.

Los resultados del cálculo del índice de geoacumulación (Tabla 4) de acuerdo con los rangos establecidos para su evaluación (Müller 1979) muestran valores de contaminación moderada para el Cd (0,7-0,55) y el Co (1,92-0,94) en ambas áreas; Cu (1,21) y Ni (0,72) para el área minada, la que resulta prácticamente no contaminada para el resto de los metales analizados. Los valores negativos del Igeo para el Pb, Cr, Zn y Ni en el área adyacente indican que los suelos no están contaminados por estos metales (Aikpokpodion 2010).

Tabla 4. Índice de geoacumulación (Igeo) para los elementos trazas en las áreas estudiadas

Área	Igeo Cd	Igeo Ni	Igeo Pb	Igeo Co	Igeo Zn	Igeo Cu	Igeo Cr
Minada	0,67	-0,45	-1,75	0,94	-1,39	0,27	-3,03
Adyacente	0,55	-1,24	-1,84	0,28	-1,24	0,07	-2,46

Estos yacimientos se diferencian de otros en el mundo; entre ellos el yacimiento Pingle, en el SW de China (Li et al. 2008) donde los índices de geoacumulación reportados para el Cd se encuentran entre 5,18 y 6 lo cual le confiere un carácter de extremadamente contaminado para dicho metal.

Los valores del factor de enriquecimiento (ER) revelan enriquecimientos moderados en Cd, Co y Cu en ambas áreas (Tabla 5) y un ligero enriquecimiento en Ni en el área minada; el resto de los metales investigados tienen un enriquecimiento mínimo.

El índice de carga de polución (PLI) indica un ligero nivel de línea de base de polución (Tomlison et al. 1980) resultando para ambas áreas investigadas cercano a la unidad (Tabla 5).

Finalmente, los resultados del grado de contaminación (Cdeg) exhiben valores entre 8 y 16 lo que indica un moderado grado de contaminación (Hakanson 1980) para ambas áreas, resultando mayor en el área minada que en la adyacente (Tabla 5).

Tabla 5: Resultados del factor de enriquecimiento (EF), índice de polución (PLI) y grado de contaminación (Cdeg) en las áreas estudiadas

Área	EFCd	EFNi	EFPb	EFCo	EFZn	EFCu	EFCr	PLI	Cdeg
Minada	3,00	1,42	0,50	3,50	0,66	2,85	0,19	0,93	8,83
Adyacente	2,80	0,85	0,45	2,00	0,66	2,28	0,33	0,90	8,03

3.1 Contenidos de referencia, máximos permisibles y de intervención por contaminación

Mediante el empleo de las formulaciones del Dutch Standard o lista holandesa (Netherland Government 2000) y tomando para el cálculo experimental seis muestras en el área de minería y siete en la adyacente se obtuvieron los resultados de la Tabla 6.

Tabla 6. Resultados de los valores de referencia (A), máximos permisibles (B) y deintervención del suelo (C) en los sectores estudiados

Elementos químicos	A		B		C	
	Área Minada ppm	Área Adyacente ppm	Área Minada ppm	Área Adyacente ppm	Área Minada ppm	Área Adyacente ppm
Cd	0,64	0,64	5,2	5,6	9,76	10,5
Cr	85,1	74,3	204,5	178,3	323,8	282,3
Co	6,9	5,1	95,6	74,5	184,3	143,9
Cu	28,9	28,1	91,1	94,6	153,3	161,0
Pb	73,1	71,7	264,4	259,5	455,8	447,3
Ni	27,5	22,1	96,3	84,1	165,2	146,0
Zn	84,7	84,7	342,9	304,0	601,1	525,0

Al comparar los valores expuestos en la Tabla 6 con los resultados medios por elementos (Tabla 3) en las áreas estudiadas, se observa que:

- El Cr y el Pb se encuentran por debajo del valor de referencia A, por lo que los suelos no se consideran contaminados en ninguna de las dos áreas estudiadas.
- Los contenidos de Cd, Co y Cu se encuentran por encima del nivel de referencia A, pero por debajo del contenido máximo admisible B, por lo que tampoco existe contaminación por estos elementos.
- El contenido de Ni se encuentra por encima del nivel de referencia A en el área minada y el valor medio del área adyacente coincide con su nivel de referencia A; sin embargo, no supera el nivel máximo admisible B.
- Finalmente, el contenido de Zn en el área minada está por debajo del nivel de referencia A y por encima de éste en el área adyacente, pero tampoco supera nivel máximo admisible B.

4. CONCLUSIONES

El empleo de índices y formulaciones internacionalmente establecidas permitió revelar con este estudio el estado de la contaminación por metales pesados en los suelos del coto minero Cristo-Barrancas en Santiago de Cuba. Existe una contaminación moderada natural por cadmio, cobalto y cobre, tanto en el área minada como en la adyacente, producto de la propia génesis compleja de los cuerpos minerales. Esta contaminación debe de tenerse en cuenta sobre todo en el caso del cadmio por el hecho de que es un elemento altamente tóxico y presenta la propiedad de acumularse, especialmente en las plantas de tubérculos y las hortalizas de hojas, debido a la capacidad de estos vegetales de absorberlo, y que al ser ingeridos pueden ocasionar problemas de salud. Por otra parte, los contenidos revelados para el plomo, cromo y zinc permiten afirmar que no existe contaminación por estos metales en los suelos analizados.

5. REFERENCIAS

- ΑΙΚΡΟΚΡΟΔΙΟΝ, P. 2010: Assessment of heavy metals pollution in fungicide treated Cocoa plantations in Ondo state, Nigeria. *Journal of Applied Biosciences* 33: 2037-2046.
- ARIOSA, J. 1977: *Curso de yacimientos minerales metálicos Tipos genéticos* Ed Pueblo y Educación La Habana, 306 p.

- BLUM W.; HOCÁK, O.; MENTLER, A. & PUSCHENREHER, M. 1995: *Environmental and Ecological Chemistry Vol II: Trace Elements Austria* pp1-5
- BOWIE S. & THORNTON, N. 1985: *Environmental Geochemistry and Health*. Kluwer Academic Publ., Hingham. MA. Disponible en: www.ehu.es/sem/macla_pdf/macla10/Macla10_48.pdf
- BROOKS, R. 1983: *Biological methods of prospecting for mineral*. John Wiley & sons Toronto, 322 p.
- CHAKRAPANI, P.J. & SUBRAMANIAN, V. 1990: Preliminary studies on the geochemistry of the Mahanadi river basin, India. *Chem Geol.* 70 :247-266.
- ERGIN, M.; SAYDAN, C.; BASTURK, O.; ERDEM, E. & YORUK, R. 1991: Heavy metals concentrations in surface sediments for the two coastal inlets (Golden Horn stuary and Izmit Bay) of the northeaster Sea of Marmara. *Chem Geol.* 91 :269-285.
- EVANS, A. 1992: *Ore geology and industrial minerals: an introduction* Blackwell Science Editions, London, 320 p.
- EWERS, U. 1991: Standards, guidelines and legislative regulations concerning metals and their compounds. In: Merian E, ed. *Metals and Their Compounds in the Environment: Occurrence, Analysis and Biological Relevance*. Weinheim: VCH, p. 458-468.
- GIMENO, E.; ANDREU, V. & BOLUDA, I. R. 1998: Impacto de las actividad agrícola sobre el Aporte De metales pesados en suelos del parque natural de la Albufera de Valencia Dossiers agraris ICEA- Sols contaminats. Disponible en: www.publicacions.iec.cat/repository/pdf/00000037/00000029.pdf
- HAKANSON, L. 1980: Ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approach. *Water Res.* 14 (5) :975-1001
- KABATA, A. & PENDIAS, H. 2001: *Trace elements in Soils and Plants* Third edition CRC Press Boca Ratón Florida, 401 p.
- LACATUSU, R. 1998: Appraising levels of soil contamination and pollution with heavy metals European Soil Bureau Research report No 4 pp 393-399.
- León, R. 2001: Comparación de métodos mecánicos de suelos *Terra* 19 : 225-319

- LI M.S. & YANG S.X. 2008: Heavy Metal Contamination in soils and Phytoaccumulation in a Manganese Mine Wasteland, South China *Air, Soil and water Research* 1 :31-41.
- LOSKA, K.; WIECHULA, D.; KORUS, I. 2004: Metal contamination of farming soils affected by industry, *Environmental International* 30 :169-175
- MARTI, L.; BURBA, J.N. & CAVAGNARO, M. 2002: Metales pesados en fertilizantes fosfatados, nitrogenados y mixtos *Rev. FCA UNCuyo* XXXIV (2) :43-48
- MÜLLER, G. 1979: Index of geoaccumulation in sediments of the Rhine River. *Geology Journal* 2 :109-118.
- NC: 33:1999- Norma Cubana Calidad del suelo. Requisitos generales para la clasificación de los suelos según la influencia sobre ellos de las sustancias químicas contaminantes.
- NETHERLAND GOVERMENT 2000: Circular on target values and intervention values for soil remediation DBO/1999226863 Gazette No 39 The Hague.
- RUBIO, B.; NOMBELA, M.A. & VILAS. F. 2000: Geochemistry of major and trace elements in sediments of the Ria de Vigo (NW Spain) as assessment of metal pollution, *Marine Pollution Bulletin* 40(11) :968-980.
- SINGH, A. 1999: Elemental composition of the damodar river sediments- A tributary of the lower ganga, India. *Geol Soc India* 53:219-231.
- TOMLISON, D.C.; WILSON, J.G.; HARRIS, C.R. & JEFFREY, D.W. 1980: Problems in assessment of heavy metals in and the formation of pollution index estuaries. *Helgol Meeresunters* 33 :566-575.
- YASELL, A.; GARCÍA, C. & BERGUES, P. 2010: Informe geológico final del T.T.P. Estudio del campo mineral manganesífero Cristo-Barrancas, Sector El Cristo. Archivo técnico de la Empresa Geominera de Oriente, Santiago de Cuba.