Boletin de la Sociedad Geologica del Perú

journal homepage: www.sgp.org.pe ISSN 0079-1091

NIVELES DE FONDO DE ELEMENTOS TRAZA EN SUELOS DE LA SUBCUENCA LINGA - AREQUIPA, PERÚ

BACKGROUND LEVELS OF TRACE ELEMENTS IN SOILS OF THE SUB-CATCHMENT LINGA - AREQUIPA, PERU

Victor A. Fernández Guzmán (1) & Cristina Cereceda Quintanilla (2)

Instituto Geológico Minero y Metalúrgico (INGEMMET), Dirección de Geología Regional. Av. Canadá 1470, San Borja, Lima 41, Peru[1, 2]

RESUMEN

La subcuenca Linga constituye la parte alta del distrito de Cocachacra, departamento de Arequipa, lugar donde se desarrolla una intensa agricultura. En la subcuenca Linga afloran rocas intrusivas de composición félsica a intermedia (monzogranitos, monzonitas, monzodioritas, tonalitas y dioritas) y rocas volcánicas (andesitas, dacitas y tobas). Los suelos son el producto de la meteorización química y mecánica de las rocas, en este sentido los valores de fondo de los suelos están influenciadas principalmente por la química de las rocas.

Los niveles de fondo geoquímico son fundamentales como base para la legislación ambiental del recurso suelo, y constituyen el primer paso en la evaluación de suelos contaminados; en este sentido para responder a la pregunta ¿Cuál es el valor de fondo de los elementos traza en los suelos de la subcuenca Linga?; se realizó el análisis estadístico univariable de 16 elementos traza considerados potencialmente tóxicos si superan ciertos umbrales y fácilmente disponibles en los suelos, tal como sigue: Be (0.06 – 2.4 ppm), V (16.6 – 497.4 ppm), Cr (2.3 – 99.3 ppm), Mn (112.9 – 2846.1 ppm), Fe (-0.6 – 7.3 %), Ni (1.06 – 75.9 ppm), Co (1.6 – 64.3 ppm), Cu (6.9 – 405.8 ppm), Zn (9.9 – 448.4 ppm), As (5.2 – 112.5 ppm), Se (0.3 – 8.8 ppm), Mo (0.3 – 13.5 ppm), Ag (0.007 – 0.47 ppm), Cd (0.01 – 2.5 ppm), Hg (0.00012 – 0.147 ppm) y Pb (3 – 109.6 ppm).

Los niveles de fondo regionales determinados en la subcuenca Linga muestran un amplio rango, el cual está directamente relacionado a las características químicas propias de las rocas de un determinado lugar. El haber determinado los niveles de fondo de elementos traza para los suelos de la subcuenca Linga nos permitirá tener una referencia para las evaluaciones futuras de contaminación de suelos y medio ambiente.

Palabras clave: Niveles de fondo, suelo, elementos traza, distrito de Cocachacra, contaminación, R Studio.

ABSTRACT

The Linga sub-catchment forms the highlands of the Cocachacra district, department of Arequipa, where intense agriculture is developed. In the Linga sub-catchment, intrusive rocks of felsic to intermediate composition (monzogranites, monzonites, monzodiorites, tonalites and diorites) and volcanic rocks (andesites, dacites and tuffs) crop out. The soils are the product of the chemical and mechanical weathering of the rocks, in this sense the background values of the soils are influenced mainly by the chemistry of the rocks.

The levels of geochemical background are fundamental as a basis for the environmental legislation of the soil resource, and constitute the first step in the assessment of soils contamination. In order to answer the question on what is the background value of the trace elements in the soils of the Linga sub-catchment?; was performed, the univariate statistical analysis of 16 trace el-

ements, considered potentially toxic if they exceed certain thresholds and readily available in soils, as follows: Be (0.06 – 2.4 ppm), V (16.6 – 497.4 ppm), Cr (2.3 – 99.3 ppm), Mn (112.9 – 2846.1 ppm), Fe (-0.6 – 7.3 %), Ni (1.06 – 75.9 ppm), Co (1.6 – 64.3 ppm), Cu (6.9 – 405.8 ppm), Zn (9.9 – 448.4 ppm), As (5.2 – 112.5 ppm), Se (0.3 – 8.8 ppm), Mo (0.3 – 13.5 ppm), Ag (0.007 – 0.47 ppm), Cd (0.01 – 2.5 ppm), Hg (0.00012 – 0.147 ppm) y Pb (3 – 109.6 ppm).

The regional background levels determined in the Linga sub-catchment show a wide range, which is directly related to the chemical characteristics of the source rocks. Having determined the background levels of trace elements for the soils of the Linga sub-basin will allow us to have a reference for future assessments of soil and environmental contamination.

Keywords: Background levels, soil, trace elements, Cocachacra district, pollution, R Studio.

INTRODUCCIÓN

La zona de estudio abarca la parte baja de la Cuenca del río Tambo, específicamente en la subcuenca Linga, en el departamento de Arequipa. Las aguas de esta subcuenca drenan al valle Tambo, donde se ubican los poblados de Cocachacra, La Curva y Punta de Bombón; cabe resaltar que en este valle se desarrolla una agricultura intensiva y representa la despensa del sur del Perú, motivo por el cual es necesario comprender que los suelos sobre los que se desarrolla la actividad agrícola, son el producto de la meteorización química y mecánica de las rocas que afloran en esta zona.

Los suelos cumplen varias funciones la principal es la producción de alimentos, la calidad de un suelo, es decir, su capacidad para desarrollar sus funciones puede verse afectada negativamente por la contaminación (Bautista et al., 2011), la cual se traduce como concentraciones superiores a las naturales (de fondo) de un elemento o una sustancia, y tiene un efecto neto perjudicial sobre el medio ambiente y sus componentes (Kabata-Pendias & Pendias, 2001). Para evaluar la contaminación del suelo es necesario determinar los niveles de fondo (Jiménez et al., 2010). Los niveles de fondo son concentraciones naturales de un elemento sin influencia antropogénica (Diez, 2006); dichos niveles de fondo natural son determinados a través de la toma de muestras de suelo a profundidad (Dung et al., 2013).

Este estudio se enfocó en 16 elementos traza teniendo en consideración los metales pesados As, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Se, V y Zn que son micronutrientes esenciales (unos pocos mg o µg/día); pero a la vez, conjuntamente con la Ag, Be, Cd, Hg, Ni y Pb; son considerados como tóxicos si superan ciertos umbrales y fácilmente disponibles en los suelos (Galán & Romero, 2008). Por esta razón, es preciso conocer las concentraciones naturales de estos elementos, lo que permitirá discriminar un origen natural (geogénico) o antrópico de dichas concentraciones, y en consecuencia podremos realizar un mejor diagnóstico de posibles contaminantes presentes y futuros que podrían afectar la salud humana y el medio ambiente en el valle Tambo.

La zona de estudio es parte de la franja de pórfidos, y además se halla parte de la Mina Cerro Verde, también se han encontrado anomalías espectrales de óxidos y arcillas asociados a zonas de alteración. Por ende, postulamos que pueden existir altas concentraciones de metales pesados relacionados a mineralización de Cu-Mo (Franja metalogenética X).

El objetivo del estudio consiste en determinar y dar a conocer las concentraciones naturales (niveles de fondo natural) en elementos traza para los suelos de la subcuenca Linga y que sirvan de referencia para las evaluaciones de contaminación de suelos y medio ambiente. Este estudio se encuentra enmarcado en el programa de la Carta Nacional de Suelos de la Dirección de Geología Regional del Instituto Geológico, Minero y Metalúrgico (INGEMMET).

METODOLOGÍA

La selección de los puntos de muestro se realizó en función de las unidades fisiográficas, dichas unidades se determinan partir del cartografiado de unidades litológicas y a los cuales se le atribuye características morfológicas. En este sentido, en la zona de estudio se reconocen 8 unidades fisiográficas, como son: montañas, colinas, lomadas, mesetas, llanuras, pedimentos, vallecitos y terrazas; donde resaltan las montañas de monzodiorita y monzonita de la superunidad Linga Arequipa, las colinas de conglomerado y tobas de la formación Moquegua y de la formación Millo ubicadas al norte en la parte alta; en la parte media resaltan las colinas de andesitas porfiríticas de la formación Guaneros, colinas de tobas y andesitas del grupo Toquepala, lomadas de conglomerado y tobas de la formación Moquegua, lomadas de

andesitas de la formación Chocolate y llanura de tobas riolíticas de la formación Añashuayco y de arenas, limos y arcillas de depósitos cuaternarios.

Para conseguir la representatividad de las unidades fisiográficas se aplicó el método de muestreo aleatorio estratificado (Bautista et al., 2011). Es así que, se realizaron 139 calicatas para la toma de muestras de donde se obtuvo un total de 115 muestras de las capas profundas C (considerado como roca madre en estado no consolidado) y R (consiste de lechos de roca dura que subyacen al suelo) (FAO, 2009).

El análisis geoquímico de las muestras se realizó con el método de digestión multiácida y para el Hg con digestión de agua regia mediante ICP/M en el laboratorio de ALS Perú. En el análisis estadístico univariable se puso énfasis en la determinación del tipo de distribución, ya que esta influye en el cálculo del valor de fondo (Ahrens, 1954). En general, los métodos estadísticos asumen que la distribución de los datos es aproximadamente normal (Ahrens, 1954); por lo cual, en un conjunto de datos de distribución normal el rango esperado del nivel de fondo al 95% está entre AM ± 2*SD (AM: media aritmética y SD: desviación estándar)

(Miesch, 1976); y el rango esperado al 99% está entre AM ± 3*SD. En cambio cuando la data posee una distribución logarítmica, es decir, que para obedecer la ley normal de probabilidad es necesaria su transformación logarítmica (Nicolli y Toubes, 1973), el rango esperado al 95% está entre GM/(GD)2 y GM*(GD)2, y el 99% del rango esperado es de G M/(GD)3 y GM*(GD)3 (GM : media geométrica y GD :desviación geométrica), (Miesch, 1976; Tidball and Ebens, 1976; Shacklette and Boerngen, 1984; Kabata-Pendias and Pendias, 2001; Chen et al, 2001: Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007).
El desarrollo del análisis estadístico se realizó a través de funciones diseñadas y adaptadas dentro del entorno de desarrollo integrado (IDE) R Studio versión 1.1.4 del Software R Project versión 3.4.4., se usó el paquete base del IDE R Studio para el diseño y obtención de las gráficas de histogramas y boxplots, paquete "nortest": para ejecutar el test de normalidad, paquete "e1071": para el cálculo de asimetría y kurtosis, paquete "psych": para el cálculo de la media geométrica (GM), paquete "ggplot2": para las gráficas de boxplots y el paquete "EnvStats": para el cálculo de la desviación geométrica.

RESULTADOS Y DISCUSION

La distribución de los elementos traza analizados en su mayoría es log-normal, a excepción de "Be" y "Fe" que son los únicos que presentan una distribución normal (Fig. 1).

La Tabla 1 muestra la comparación de los valores de fondo determinados en la subcuenca Linga, con los valores de fondo de 2 comunidades de España, en la Figura 2 se muestra gráficamente los valores de la Tabla 1 y los valores estandarizados de las 115 muestras de suelos para cada elemento traza donde se observa que cada región muestra características químicas propias, que están ligadas a la variabilidad litológica existente en cada una de ellas, es por este motivo que es fundamental determinar los valores de fondo para cada región de estudio puesto que al utilizar valores normativos de la legislación medioambiental de otros países o regiones ocasionaría una equivocada evaluación de contaminación de suelos.Un claro ejemplo de problemas de toxicidad podría ser el del níquel (Ni), donde su abundancia en la corteza terrestre es de 20 mg kg^{-1} (Gaillard et al. 2003; Kabata-Pendias and Mukherjee, 2007), y al ser comparado con los valores calculados en la subcuenca Linga y las dos regiones de España podemos ver que en la región de Murcia, España, la concentración de níquel está por encima del valor de la corteza terrestre y de las otras regiones, por lo cual estos suelos pueden presentar problemas de toxicidad.

Se concluye que las concentraciones de los elementos traza están directamente relacionadas a las características químicas propias de las rocas de un determinado lugar, siendo así que en algunos casos la existencia de problemas de toxicidad en los suelos puede darse de forma geogénica. El haber determinado los niveles de fondo de elementos traza para los suelos de la subcuenca Linga nos permitirá tener una referencia para las evaluaciones futuras de contaminación de suelos y medio ambiente. Esto evitara hacer uso de referencias normativas de legislación ambiental de otros países o regiones.

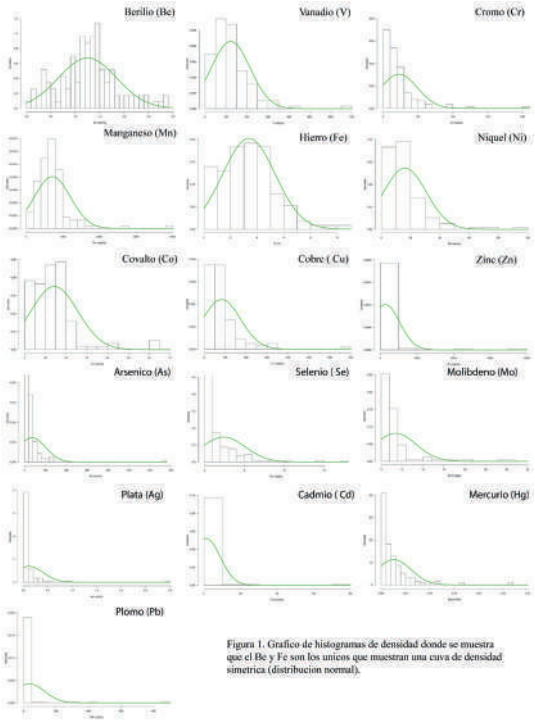

Figura 1. Gráfico de histogramas de densidad donde se muestra que el "Be" y "Fe" son los únicos que muestran una distribución normal.

Subcuenca Linga - Arequipa, Perú			Castilla-La Mancha (España)	Region de Murcia (España)		
Elemento (ppm)	Promedio Calculado (ppm)	Rango Calculado (ppm)	Promedio Calculado (ppm)	Promedio Calculado (ppm)		
				Volc.	Met.	Sedm.
Be	1.07	0.06 - 2.4				
V	90.94	16.6 - 497.4	46.80			
Cr	14.97	2.3 - 99.3	56.54	11.00	13.30	14.10
Mn	566.87	112.9 - 2846.1		665	271	324
Fe*	2.71	-0.6 - 7.3				
Ni	10.95	1.6 - 75.9	20.81	88.20	22.70	22.20
Co	10.26	1.6 - 64.3	7.63	18.30	8.82	6.49
Cu	52.72	6.9 - 405.8	9.89	25.00	8.83	15.10
Zn	66.47	9.9 - 448.4	32.19	38.10	41.90	57.00
As	24.12	5.2 - 112.5	5.74			
Se	1.62	0.3 - 8.8	0.91			
Mo	2.11	0.3 - 13.5		0.32	0.54	0.36
Ag	0.057	0.007 - 0.47	4.44			
Cd	0.16	0.01 - 2.5	4.00	0.10	0.10	0.10
Hg	0.013	0.00012 - 0.147				
Pb	18.22	3 - 109.6	12.20	41.90	27.10	15.10

Tabla 1. Niveles de fondo de 16 elementos traza (mg/Kg) en la Subcuenca Linga y comparación con niveles de fondo de Castilla - La Mancha, España y con la Región de Murcia, España. (*) porcentaje.

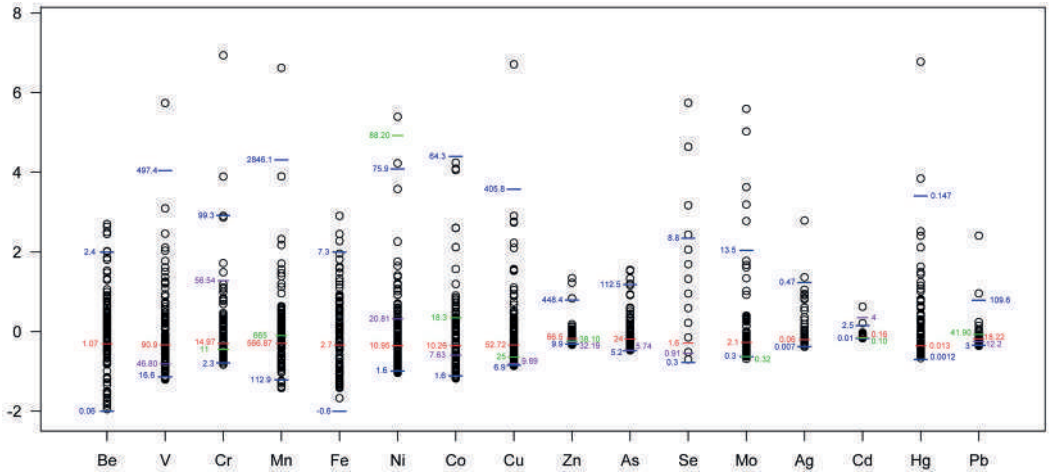

Figura 2. . Gráfico estandarizado de las muestras, donde se observa de color rojo el background calculado en la subcuenca Linga como valor de tendencia central, de color azul los valores mínimos y máximos del background al 95% de confianza en la subcuenca Linga, de color morado el background calculado en Castilla – La Mancha, España, y de color verde el background calculado (material parental volcánico) en la región de Murcia, España.
VF: Valor de fondo, Md: media o promedio, Ds: Desviación estándar.

REFERENCIAS

Ahrens L.H. (1954). The lognormal Distribution of the elements (A fundamental law of geochemistry and its subsidiary).Department of Geology and Geophysics, Massachusetts Institute of Technology. Geochemica et Cosmochimica Acta, 1954, Vol. 5. Pergamon Press Ltd., London.

Bautista, F., Cram, S., & Sommer, I., (2011). Suelos. In F. Bautista-Zúñiga, J. L. Palacio-Prieto, & H., Delfín González (Eds.), Técnicas de muestreo para manejadores de recursos naturales. México: Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México.

Chen, M., LQ Ma y WG Harris (2001). Baseline Concentrations of 15 Trace Elements in Florida Surface Soils. Journal of Environmental Quality, Volume 28, no. 4, July-August, 1999, doi:10.2134/jeq1999.00472425002800040018x

Diez, M. (2006). Valores de fondo de elementos traza en los suelos de la provincia de Granada (Tesis de Doctorado). Universidad de Granada, Departamento de Edafología y Química Agrícola, Provincia de Granada.

Dung, TTT, Cappuyns, V., Swennen, R. et al. Rev Environ Sci Biotechnol (2013) 12: 335. https://doi.org/10.1007/s11157-013-9315-1

FAO; "Guía para la descripción de perfiles de suelos", Ed. FAO, Roma 2009. Cuarta Edición. Traducido y adaptado al castellano por Ronald Vargas Rojas (Proyecto FAOSWALIM, Nairobi, Kenya-Universidad Mayor de San Simón, Bolivia).

Faz, A., Martinez, S. & Acosta, J. (2009). APORTACIONES A LOS NIVELES DE FONDO Y DE REFERNECIA DE METALES PESADOS EN SUELOS NATURALES DE LA REGIÓN DE MURCIA. Universidad Politécnica de Cartagena. Grupo de investigación: Gestión, Aprovechamiento y Recuperación de Suelos y Aguas.

Galán E. y Romero A. (2008). Contaminación de Suelos Por Metales Pesados. Conferencia. En: Macla. 2008. Núm. 10. Departamento de Cristalografía, Mineralogía y Química Agrícola. Facultad de Química. Apartado 553. Universidad de Sevilla. Sevilla 41071.

Jiménez, R., Conde, B., Martín, J. y García, R. (2010). Niveles de fondo geoquímico e influencia del marco geológico en las concentraciones edafogeoquímicas de base de suelos seleccionados de Castilla – La Mancha. Estudios Geologicos, 66(1), ISNN: 0367-0449, doi: 10.3989/egeol.40214.119

Kabata-Pendias, A. and Pendias, H. (2001) Trace elements in soils and plants, Third ed., CRC Press, Boca Raton, FL.

Kabata-Pendias, A. and Mukherjee, A. (2007). Trace Elements from Soil to Human. Berlin: Springer.

Miesch, A.T., whit sections on laboratory methods by Barnett, P.R., Bartel, A.J., Dinnin, J.l., Feder, G.L., Harms, T.F., Huffman, Claude. Jr., Janzer, V.J., Millard, H.T., Jr., Neiman, H.G., Skougstad, M.W., and Wahlberg, J.S. (1976). Geochemical Survey of Missouri – Methods of Sampling, Laboratory Analysis, and Statistical Reduction of Data. Geological Survey Professional Paper 954 – A. Methods used in the collection, analysis and interpretation of data in a regional geochemical survey.

Nicolli, H.B., y Toubes, R.O. (1973). Acerca de la Naturaleza Estadística de la Distribución de SIO2, Al2O3, Fe2O3, MnO, CaO, K2O, TiO2 Y U3O8 en Biotitas Graníticas. Revista de Asociación Geológica Argentina, Tomo XXVIII N°1 (Enero-marzo, 1973).

Shacklette, H.T., and Boerngen, J. G. (1984). Element Concentrations in Soils and Other Surficial Materials of the Conterminous United States. U. S. Geological Survey Professional Paper 1270. An Account of the concentrations of 50 chemical elements in samples of soils and other regoliths.

Tidball, R.R., and Ebens, R.J. (1976). Regional Geochemical Baselines in soils of the Powder River basin, Montana-Wyoming. WGA, 2005 - Geology and Energy Resources of the Powder River; Twenty-Eighth Annual Field Conference Guidebook, 1976.