

VALORACIÓN DE LA CALIDAD DE UN SUELO EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO Y DISPONIBILIDAD DE METALES PESADOS.

Lourdes Pérez*; Ana María Moreno*; Juana Gonzalez*.

*Dpto. Edafología . Facultad de Farmacia. U.C.M. FAX 91-3941759.

Resumen. La valoración de la contaminación del suelo y adopción de valores estándar para niveles de metales pesados son fundamentales para mantener las funciones agrícolas y ecológicas de los suelos.

Para suelos agrícolas de la Comunidad de Madrid se han diferenciado 4 clases de contaminación: Clase 1, Suelos no contaminados; Clase 2, Suelos ligeramente contaminados; Clase 3, Suelos moderadamente contaminados y Clase 4, Suelos muy contaminados.

Como nivel de fondo o "background" para cada metal pesado se ha considerado la concentración media de los suelos de las Clases 1 y 2. Los valores de referencia fueron calculados a partir de los valores de fondo más 2 veces la desviación estándar.

Con objeto de llegar a una valoración del riesgo de toxicidad se han determinado los contenidos biodisponibles de cada metal. Para cada clase de suelo contaminado se han calculado los valores de metales biodisponibles para la mayor concentración de metal, y el máximo porcentaje cambiante.

Introducción

El establecimiento de niveles estándar de elementos traza para la valoración de la contaminación del suelo, constituye el principal requisito de calidad y protección de las funciones agrícolas y ecológicas.(Kabata Pendias, 1995).

Entre los sistemas existentes para la estimación de la contaminación por metales para suelos del Mundo figuran los contenidos medios "background" y sus intervalos (Kabata Pendias y Pendias, 1992). En Polonia se ha evaluado la contaminación estableciendo

cinco clases de polución en suelos: 1) Ligera 2) Moderada 3) Considerable 4) Muy contaminados 5) Extremadamente contaminados. En cada una de estas clases se diferencian tres grupos de suelos según su textura y pH. La clase 3, suelos considerablemente contaminados, presentará riesgo de contaminación para cosechas. La clase 4 corresponde a suelos que no deben usarse para la producción de plantas utilizadas en alimentación, sobre todo si se trata de suelos ácidos y de textura ligera. La clase 5 debería excluirse de cualquier uso agrícola y proceder, dentro de lo posible, a su limpieza.

En Holanda se han desarrollado valores estándar para evaluar la calidad del suelo. El valor A se considera de referencia, significa que es desdeñable el nivel de riesgo, por debajo del cual es posible cualquier uso del suelo. Entre los niveles A y C está afectada la calidad del suelo, aunque este no pierde su multifuncionalidad, representa el nivel máximo permitido y hay que considerar su limpieza. Por encima del valor C o valor de intervención se hace necesaria la limpieza de contaminantes. Los valores de referencia propuestos para metales (Cd=0,8; Cu=36; Pb=85; Zn=140) se establecen en función de la fracción arcilla y/o contenido en materia orgánica, y se calculan mediante fórmulas en las que se considera un suelo estándar con 25% de arcilla y 10% de materia orgánica (Vegter, 1995).

Posteriormente, en Holanda, se han propuesto valores C basados en criterios toxicológicos (niveles TDI o Ingestión Diaria Tolerable) de tal modo que se hace necesaria la limpieza del suelo si se sobrepasan estos valores C. La Ingestión Diaria Tolerable o TDI, está en relación con la toma de vegetales bioacumuladores de metales. Las concentraciones de metales para suelos agrícolas deben ser las correspondientes a los valores de referencia con el fin de obtener vegetales no contaminados.

Como niveles de contaminación se han establecido también índices de Geoacumulación de Müller (Igeo), comparando las concentraciones de metal existentes con 1,5 veces el valor "background". Así se establecen cinco clases de suelos contaminados: la Clase 1 (Igeo<0), corresponde a los no o ligeramente contaminados y la Clase 5 (Igeo>5) a los extremadamente contaminados (Martín, 2000).

Los valores indicativos de evaluación (VIE) permiten la evaluación rápida de la calidad del suelo. Están definidos en función de los riesgos potenciales, estableciéndose tres niveles (IHOBE, 1994):

- Nivel VIE A: Valor de referencia, por debajo del cual se considera que no existe riesgo o este es despreciable.
- Nivel VIE B: representa el límite inferior de aceptabilidad del riesgo.
- Nivel VIE C: significa el máximo riesgo tolerable, o límite superior de aceptabilidad del riesgo, sobrepasarlo significa peligro grave para la salud.

El valor de referencia se puede obtener mediante dos métodos: 1) Estableciendo las correlaciones entre arcilla y/o materia orgánica del suelo estándar (no contaminado) y los contenidos en metales. 2) Sumando a la media de valores o nivel de fondo, dos veces la desviación típica (S):

$$VR = x \text{ (valor medio)} + 2S$$

Este criterio se adopta cuando no hay correlación o esta no es significativa, y es el que se ha empleado en el presente trabajo.

Para la evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo en zonas muy industrializadas de la Comunidad de Madrid se han propuesto los siguientes índices y niveles (Cano Parrilla et al., 1997):

- Nivel de Fondo: Contenido medio de un elemento en suelos con proporciones del mismo inferiores a la media de los suelos de la zona.
- Nivel de Acumulación Ambiental: Contenido medio de un elemento en suelos con proporciones del mismo superiores a la media de los de la zona.
- Índice de Enriquecimiento de un elemento: Relación entre su contenido en el suelo y el de la roca u horizonte C; valores muy superiores a la unidad reflejan aportes contaminantes.

El objetivo de este trabajo ha sido la evaluación de la calidad de suelos agrícolas de la CAM respecto a metales pesados, Cu, Pb, Cd y Zn. A partir de los contenidos totales de estos elementos se han determinado los niveles "background" y valores de referencia, diferenciando cuatro clases de suelos según su contaminación. Con los contenidos biodisponibles se establecen los valores indicativos de la toxicidad real y potencial de los suelos.

Materiales y métodos

El área de estudio está localizada al Sur y Suroeste de la Comunidad de Madrid. Comprende zonas de intensa actividad industrial y elevada demografía. Se han tomado 106 muestras de suelos agrícolas (0-20 cm) y de rocas incluidas. En estos suelos existen cultivos utilizados en la alimentación animal y humana (Moreno et al., 1993).

Se realizaron las siguientes determinaciones: pH en agua (1:25), análisis granulométrico (método internacional), carbono orgánico (Walkley y Black, 1974), nitrógeno total (método Kjeldahl), CaCO₃ (calcímetro de Bernard) y capacidad de intercambio catiónico (acetato amónico a pH 7).

La determinación de metales pesados en rocas y suelos se hizo por polarografía inversa; los contenidos totales, previo ataque de las muestras con ácidos perclórico y fluorhídrico, y los biodisponibles, utilizando acetato amónico 1N a pH = 7.

Resultados y Discusión

En la [Tabla 1](#) se expresan las características generales de los suelos (valores medios o intervalos). Presentan un valor medio de pH algo superior a la neutralidad, siendo 13 las muestras con pH inferior a 6,5; los contenidos en materia orgánica son bajos como corresponde a suelos agrícolas, las proporciones de arcilla presentan un intervalo amplio con valor medio de 18%, siendo el contenido medio de CaCO₃ un 4,3%.

Las concentraciones medias de metales pesados en suelos y rocas ([Tabla 2](#)), siguen la misma secuencia: Cd << Cu < Pb < Zn, con valores similares en suelos para Pb y Zn. El índice de enriquecimiento medio en suelos (suelo/roca) es igual para Pb, Cu y Cd, siendo algo inferior para Zn.

Se han distribuido los suelos agrícolas estudiados en cuatro clases ([Tabla 3](#)) atendiendo al contenido en Pb, Zn, Cu y Cd (Martin, 2000). Las clases se han establecido según la acumulación edáfica (contenido en suelo/ valor litológico). Clase 1: acumulación edáfica < 2, corresponde a suelos no contaminados; Clase 2: acumulación edáfica entre 2 y 5, incluye suelos ligeramente contaminados; Clase 3: acumulación edáfica entre 5 y 10, corresponde a suelos moderadamente contaminados; Clase 4: acumulación edáfica > 10, está integrada por suelos muy contaminados.

El valor medio de los contenidos de Pb en suelos de la Clase 1 es 30,7 mg kg⁻¹ ([Tabla 4](#)) y se considera "nivel de fondo" (NF). El valor de referencia (VR=Nf+2S) es 44,7, inferior al propuesto para suelos de Holanda y Alemania y similar a los obtenidos para la zona norte de la Comunidad de Madrid (Vazquez, 1999). Por tratarse de suelos de cultivo sometidos a aportes de agroquímicos y abonos, prácticas que elevan los contenidos en metales respecto a suelos naturales, se han calculado los valores de referencia a partir de la media de los valores de metal y desviación estandar, del conjunto de suelos no y ligeramente contaminados, Clases 1 y 2. Como valor de referencia para el Pb se propone, 88 mg kg⁻¹ (Tabla 5). Un 11% de los suelos pertenecen a la Clase 3 y un 5% a la Clase 4. Contenidos de Pb en suelos superiores a 400 ppm producen efectos tóxicos en plantas (Adriano, 1986); los suelos de la Clase 4 alcanzan estas proporciones que suponen un peligro para el ecosistema.

El valor de referencia para Zn es 109 mg kg⁻¹ ([Tabla 5](#)), inferior al propuesto para suelos de Holanda y Alemania, y a los del País Vasco y zona norte de la Comunidad de Madrid. Un 10% de los suelos pertenece a la Clase 3 y 5% a la Clase 4.

Concentraciones de Zn en suelos por encima de 250 ppm son perjudiciales a las plantas de arroz, y disminuyen el rendimiento vegetal (Adriano, 1986). En la Clase 4 todos los suelos superan dicho contenido en Zn, por lo que sus cultivos estarán afectados por la toxicidad del metal.

El valor de referencia para Cu, es de 34 mg kg⁻¹ (Tabla 5), valor semejante a los citados por otros autores. Un 10% de los suelos está incluido en los suelos medianamente contaminados y otro 10% está muy contaminado por Cu. Se considera que en suelos agrícolas la fitotoxicidad de este elemento está asociada a niveles de 150-400 ppm, proporciones frecuentes en suelos de la clase 4.

Para el Cd el valor de referencia es 0,84 mg kg⁻¹ (Tabla 5), semejante a los valores que aparecen en la bibliografía. Existe un 10% del total de los suelos que pertenece a la clase de suelos muy contaminados, con proporción media de Cd de 4,17 mg kg⁻¹.

Se han determinado los contenidos de metales cambiables con el fin de establecer la concentración disponible para la vegetación. Los contenidos medios de cambio de Pb, Zn, Cu y Cd (Tabla 6), son superiores a medida que se incrementa la contaminación de los suelos. Los porcentajes medios de cambio para Pb, Zn y Cd presentan una disminución en los suelos más contaminados respecto a los de menor contaminación, que indicaría que los aportes contaminantes realizados en ellos contienen menor proporción de formas asimilables que los contenidos naturales.

Se han calculado los contenidos máximos disponibles de metales en cada clase, a partir del máximo porcentaje de cambio (Tabla 6) y el mayor contenido total (Tabla 4). A partir de los contenidos máximos asimilables se valora el peligro potencial de la toxicidad, que puede presentarse aún en suelos con baja contaminación.

Para los contenidos de Pb extraíble que existen en estos suelos no hay peligro real de toxicidad, ya que únicamente en la clase 4 el valor máximo de Pb disponible se aproxima a 25 ppm de metal extraído con acetato amónico, cantidad a partir de la cual se producen efectos tóxicos (Adriano, 1986).

Las proporciones de Zn de cambio de la clase 4, presentan un valor medio de 5,94, lo que supone un peligro real de toxicidad, ya que concentraciones de 4,3 ppm de Zn soluble causan el cese del crecimiento radicular en plantas de lechuga (Adriano, 1986). En suelos de las cuatro clases los contenidos máximos disponibles son superiores a 11 ppm, proporciones que constituyen peligro potencial de toxicidad.

El contenido en Cu disponible en estos suelos no supone peligro real por ser inferior al umbral de fitotoxicidad dados por algunos autores (Adriano 1986). Las proporciones máximas de Cu disponibles en la Clase 3 son más elevadas, existiendo por tanto un ligero peligro potencial de toxicidad.

La toxicidad del Cd para las plantas depende tanto de las proporciones del elemento en la solución del suelo como de la absorción vegetal, que es muy variable para las distintas especies. El porcentaje de Cd cambiante en las clases de menor contenido es del 1 al 90%, sin que exista peligro real de toxicidad. En las clases 3 y 4, el porcentaje soluble es inferior. El contenido máximo disponible es más elevado en la clase 4, pudiendo existir peligro potencial de toxicidad, en función de la capacidad acumuladora vegetal.

Conclusiones

1. Se han establecido 4 clases de contaminación por metales pesados (Pb, Zn, Cu y Cd) en suelos agrícolas de la zona sur y suroeste de la CAM:

- Suelos no contaminados o Clase 1, los contenidos en cada metal son inferiores a 2 veces el nivel litológico. En la Clase 2 (suelos ligeramente contaminados) los contenidos son 2-5 veces el litológico. El 86% de los suelos de la zona pertenecen a las clases 1 y 2. La Clase 3 (suelos moderadamente contaminados) presentan contenidos comprendidos entre 5-10 veces el del material litológico. La Clase 4 (suelos muy contaminados) Los valores para cada metal son superiores a 10 veces el nivel litológico. El 5% de los suelos presenta contaminación por Pb y Zn y un 10% por Cu y Cd.

2. Se propone como valor de referencia, por tratarse de suelos agrícolas, al obtenido para el conjunto de suelos de las clases 1 y 2, y representa el valor "background" más 2 veces la desviación estándar: Pb(88 mg kg⁻¹), Zn(109 mg kg⁻¹), Cu(34 mg kg⁻¹) y Cd(0,84 mg kg⁻¹).

3. La calidad del suelo o valoración del riesgo de toxicidad real se hace en base a los contenidos biodisponibles para cada metal, el riesgo potencial se calcula con el mayor porcentaje de metal biodisponible en cada clase y el máximo contenido de metal.

Existe peligro real de toxicidad únicamente en los suelos de la Clase 4 para el Zn. El peligro potencial se presenta en los suelos más contaminados para Cu, Pb y Cd, existiendo peligro potencial por Zn en los suelos de todas las clases.

Referencias

Adriano, D.C.(1986): Trace elements in the terrestrial Enviroment. Springer-Valag. 533 pag.

Cano Parrilla M.A., Moreno García A.M. y González Parra J.(1997): Evaluación de la contaminación por metales pesados en suelos de cultivo. *Ecología* **11**: 83-89.

IHOBE(1994): Investigación de la Contaminación del Suelo. Plan Director para la protección del suelo. Gobierno Vasco.

Kabata Pendias, A.(1995): Agricultural Problems related to excessive trace metal contents of soils. En *Heavy Metals*, Salomons W., Förstnet U., Mader P. (Eds). Springer, Berlin. 412.

Kabata Pendias A., Pendias H.(1992): Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press. Inc. Boca Ratón. FL 365.

Martin C.W.(2000): Heavy metal trends in floodplain sediments and valley fill, River Lahn. Germany. *Catena* **39**: 53-68.

Moreno A.M., Pérez L., Cano M.A. y González J.(1993): Contenido en metales pesados y relación con parámetros edáficos en suelos agrícolas de la Comunidad de Madrid. *Ecología* **7**: 27-35.

Vázquez Garranzo, Itziar.(1999): Niveles de fondo y valores de referencia de elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid, desarrollados sobre material granítico y calizo. Memoria de Licenciatura. F.Farmacia.

Vegter J.J.(1995): Soil Protection in the Netherlands. En *Heavy Metals*. Salomons W., Förstner U. y Mader P. (Eds). Springer, Berlin.

Walkley A. y Black J.A.(1974): A critical examination of rapid method for determining organic carbon in soils. *J.Soil.Sci.* **63**: 251-254.

Figuras y Tablas.

Tabla 1. Características generales de los suelos.

	pH	M.O.	Arcilla	CaCO ₃	CIC
n = 106			%		cmol kg ⁻¹
Valor medio	7,3	1,2	18,4	4,3	12,4
Intervalo	(5,3-8,3)	(0,3-4,2)	(3-48)	(0-27)	(2,1-33)

Tabla 2. Contenidos medios en Pb, Zn, Cu y Cd en suelos y rocas (mg kg⁻¹).
(n = 106)

	Pb	Zn	Cu	Cd
Media Suelo	75,4	81,7	34,2	0,78
Intervalo	(14-593)	(10-867)	(4-268)	(0-11,8)
Media Roca	19,6	28,6	8,7	0,2
Intervalo	(12,3-26,4)	(18,7-36,7)	(4,6-13,7)	(0,09-0,28)
Suelo/Roca	3,8	2,8	3,9	3,9

Tabla 3. Valores litológicos e intervalos de contenidos (mg kg⁻¹).

	VL	Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Pb	19,6	<39,2	39,3-98,0	98,0-196	>196
Zn	28,6	<57,2	57,3-143	143,1-286	>286
Cu	8,7	<17,4	17,5-43,5	43,6-87	>87
Cd	0,2	<0,4	0,41-1,00	1,01-2,00	>2,01

Tabla 4. Contenidos totales de Pb, Zn, Cu y Cd (mg kg⁻¹).

		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Pb	n° de muestras	38	52	11	5
Pb	valor medio (x)	30,7	61,9	147,7	397,5
Pb	intervalo	14,4-39,2	39,7-92,5	99,4-193,8	305,2-593,8
Pb	desviación (S)	7	15,1	32,6	100,9
Pb	x + 2S	44,7	92,1		
Zn	n° de muestras	61	28	11	6
Zn	valor medio (x)	33,8	87	179,9	458,6
Zn	intervalo	10,3-57,2	59,4-129,8	143,2-206,4	288-867,1
Zn	desviación (S)	12,1	21,6	20,3	195,0
Zn	x + 2S	58	130,2		
Cu	n° de muestras	55	27	11	12
Cu	valor medio (x)	11,8	26,8	57,6	141,9
Cu	intervalo	4,1-17,2	18,2-41,6	43,8-82,6	95,1-268
Cu	desviación (S)	3,5	6,6	14,1	50,1
Cu	x + 2S	18,8	40,0		
Cd	n° de muestras	67	24	3	12
Cd	valor medio (x)	0,09	0,71	1,42	4,17
Cd	intervalo	0,01-0,36	0,43-0,99	1,25-1,62	2,04-11,79
Cd	desviación (S)	0,09	0,15	0,16	2,68
Cd	x + 2S	0,3	1,0		

Tabla 5. Valores de Referencia para suelos agrícolas (mg kg^{-1}).

	Pb	Zn	Cu	Cd
Valor Referencia	88	109	34	0,84

Tabla 6. Valor medio de contenidos cambiables, porcentajes medios de cambio y cantidad máxima disponible (c.m.d.).

		Clase 1	Clase 2	Clase 3	Clase 4
Pb	valor medio	1,18	1,47	2,40	4,60
	intervalo	0,09-5,58	0,03-8,56	0,19-6,58	2,08-9,69
	S	1,42	1,56	2,11	2,80
	Porcentaje cambio	3,84	2,37	1,62	1,15
	intervalo	0,37-32,43	0,07-13,7	0,4-3,6	0,60-2,80
	c.m.d.	12,7	12,7	6,9	16,6
Zn	valor medio	1,25	2,56	2,33	5,94
	intervalo	0,14-20,4	0,16-17,25	0,21-7,93	0,35-11,66
	S	1,48	4,31	2,27	4,45
	Porcentaje cambio	3,70	2,94	1,29	1,29
	intervalo	0,27-20,40	0,24-19,5	0,11-3,97	0,12-3,27
	c.m.d.	11,6	27,9	11,4	28,4
Cu	valor medio	0,35	1,04	1,94	2,11
	intervalo	0,03-3,33	0,05-7,12	0,17-3,47	0,2-8,98
	S	0,56	1,59	3,02	2,56
	Porcentaje cambio	2,96	3,86	3,37	1,48
	intervalo	0,26-29,7	0,27-21,76	0,32-23,12	0,08-6,46
	c.m.d.	5,2	9,5	20,1	17,3
Cd	valor medio	0,0214	0,1445	0,1867	0,2051
	intervalo	0,003-0,137	0,009-0,798	0,074-0,331	0,029-0,748
	S	0,0206	0,1795	0,107	0,211
	Porcentaje cambio	25,14	20,29	13,18	4,92

intervalo	1,12- 90,00	1,3-90,9	5,93- 24,05	1,05- 19,9
c.m.d.	0,4	0,9	0,5	2,3