

VALORES DE REFERENCIA DE ELEMENTOS TRAZA EN VERTISOLES DE LA PROVINCIA DE MÁLAGA

M. CASTILLO CARRIÓN¹, E. ORTEGA BERNALDO DE QUIRÓS², J.A. MARTÍN RUBÍ

¹Instituto Geológico y Minero de España, C/ La Calera nº1, 28760 Tres Cantos (Madrid), España m.castillo@igme.es

²Departamento de Edafología y Química Agrícola, Universidad de Granada, Facultad de Farmacia Campus de Cartuja S/n, 18071 Granada, España

Abstract. Vertic soils abound in Andalusia and they have been developed under Mediterranean conditions at such latitude. The main use of this soils is the crop of cereal and leguminous plants, that is the reason why the objective of our work is to establish reference values for trace elements both micro-nutrients and heavy metals. Mineralogy, organic matter, major and minor elements have been analyzed in order to study edaphic properties and trace elements correlation. The most abundant clay mineral is smectite (37%). Trace elements are strongly related to clay minerals, for example Co/smectite present a 0,817 correlation coefficient. The reference values obtained are (in μgg^{-1}): As=7; Cd=0,5; Co=25; Cr=132; Cu=65; Ni=58; Pb=69; V=178 y Zn= 132

Key words: Vertisol in Malaga, trace elements, reference value.

Resumen. Los suelos vérticos son característicos de la campiña andaluza, donde se han desarrollado en condiciones mediterráneas y se dedican fundamentalmente al cultivo de cereales y leguminosas. El objetivo de este trabajo ha sido establecer niveles de referencia para los elementos traza, tanto micronutrientes como metales pesados, así como estudiar las relaciones existentes entre los mismos y las propiedades edáficas. Para ello se ha realizado la caracterización mineralógica, y se ha determinado el contenido en materia orgánica, elementos mayoritarios y minoritarios. El mineral de la arcilla más abundante es la esmectita con un contenido medio del 37%. Los elementos están asociados, fundamentalmente, a los minerales de la arcilla, por ejemplo el cobalto con la esmectita presenta un coeficiente de correlación de 0,817. Los valores de referencia obtenidos para los elementos traza analizados son (en μgg^{-1}): As=7; Cd=0,5; Co=25; Cr=132; Cu=65; Ni=58; Pb=69; V=178 y Zn= 132.

Palabras clave: Vertisoles, Málaga, elementos traza, valores de referencia.

INTRODUCCIÓN

La degradación del suelo, a diferencia del aire o el agua, es un tema en el que resulta difícil llegar a una acción coordinada, ya que entre otras causas, hay que destacar que la política desarrollada sobre suelos contaminados, en algunos países como Canadá,

USA, y Holanda, comenzó hace más de diez años, mientras que en otros como Australia o Japón es mucho más reciente (Logorburo, 2001). No obstante, en el proceso de desarrollo internacional de la normativa, existe un consenso sobre los principales objetivos que deben cumplirse en materia de suelos y que son:

- Definición de un suelo contaminado.
- Establecer criterios de umbral de contaminación, que permitan diferenciar entre un suelo natural no contaminado y un suelo que haya recibido aportes contaminantes. Asimismo también hay que definir el nivel de riesgo asociado a esos niveles de contaminación, a quién o qué afecta, y si es tolerable.
- Elegir entre criterios generales, o criterios basados en el uso del suelo.
- Prioridades de recuperación de los suelos.

La legislación existente sobre suelos contaminados es muy reciente; de hecho los primeros indicios de preocupación por la contaminación del suelo no surgen hasta los años 70, como consecuencia de algunos accidentes aislados (Ej. Love Canal en New York, USA). En Europa el país con más experiencia en protección del suelo es Holanda, que cuenta con varias leyes específicas (Environmental Quality Standards for soil and water, NMHSPE 1991; Intervention values and target values- soil quality standards, NMHSPE 1994).

Las directrices básicas en la política comunitaria sobre suelos se basan en La Carta del Suelo, promulgado por el Consejo de Europa en 1972. La protección del suelo cada vez va cobrando mayor importancia en el ámbito internacional y en 1992, en la Cumbre de la Tierra celebrada en Río de Janeiro (Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, 1992), los estados participantes firmaron una serie de declaraciones relacionadas con la protección de suelos. El 17 de abril de 2002, se publica una Comunicación de la Comisión de las Comunidades Europeas (CE 2002): "Hacia una estrategia temática para la protección del suelo", que es la primera Comunicación que pretende impulsar el compromiso político en materia de protección del suelo con vistas a que en los próximos años se actúe de manera más satisfactoria y sistemática al respecto.

Hasta ahora la normativa comunitaria de protección del suelo es indirecta y están involucradas varias Direcciones Generales de la Unión Europea, siendo las más importantes las de Medio Ambiente, Agricultura, Política Regional, de Transporte e Investigación. Debido al papel multifuncional y a la presencia universal del suelo, son muchas las políticas que influyen sobre él. En lo que se refiere a contaminación del suelo por metales pesados hay que destacar, la Directiva de la CEE (1991) sobre residuos, que constituye la base sobre la que se elabora la ley 10/1998 de 21 de abril (BOE, 1998).

La política española de suelos comenzó en 1995 con la identificación y el inventariado de espacios contaminados, para el que se tomó como referencia los valores guía de la legislación holandesa. Una consecuencia directa fue la aprobación del Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados (BOE, 1995). El Plan plantea varios objetivos prioritarios tanto en el área de la prevención como en el área de la recuperación de suelos contaminados. Entre los instrumentos básicos del Plan, cabe destacar las medidas legislativas que requieren potenciar las acciones de la Administración Central y las Comunidades Autónomas para trasponer la normativa europea, y que quede plasmada la elaboración de una normativa específica sobre contaminación de suelos.

La ley 10/1998 de 21 de Abril (BOE, 1998) contiene varios artículos que se refieren de forma explícita al tema de suelos contaminados. En el artículo 3, en su apartado p), se define lo que es un suelo contaminado; en el artículo 27 se define la distribución de competencias entre la Administración Central y las Comunidades Autónomas y en el artículo 28 se establecen los principios por los que se regirá la recuperación de suelos contaminados y la responsabilidad de asumir el costo.

Algunas Comunidades Autónomas, ya han tomado iniciativas en la elaboración de Tablas de Valores de referencia:

En la Comunidad Autónoma de Madrid, como respuesta al decreto 326/1999 por el que se regula el régimen jurídico de los suelos contaminados de la Comunidad de Madrid (BOCM, 1999), se suscribió un convenio entre La Consejería de Medio Ambiente de la Comunidad de Madrid y el Instituto Geológico y Minero de España (IGME) concluyendo en la publicación del informe "Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid" (de Miguel *et al.*, 2002).

En la Comunidad Autónoma de Andalucía, existe un convenio con Universidades andaluzas para definir, entre otros parámetros, los criterios y estándares para la declaración de un suelo contaminado en Andalucía (Llamas *et al.*, 2000).

En el País Vasco se definen tres (A, B y C) niveles de estándares de calidad llamados valores indicativos de evaluación (VIE) que se han determinado mediante el método de IHOBE (1993). El VIE A, corresponde a los contenidos naturales del suelo. Los VIE B y C, son consecuencia de la actividad antrópica, y derivarán en efectos nocivos sobre la salud humana y el Medio ambiente.

De acuerdo con esta tendencia, en este trabajo se pretende realizar un análisis del comportamiento de algunos elementos en los suelos vérticos, estableciéndose niveles de referencia basados en la relación entre el contenido en metales y las propiedades edáficas, como indican Vázquez-Garranzo (1999), y Pérez *et al.* (2000).

Los Vertisoles son una tipología de suelos con unas características muy peculiares, ya que por su composición mineralógica, se pueden comportar como reservorio para los elementos traza. A esta característica hay que añadirle el hecho de que en la provincia de Málaga, son suelos con una amplia repre-

sentación, y se dedican fundamentalmente al cultivo de cereales y leguminosas (Ortega, 1992; Asensio, 1993, y Castillo, 1999).

MATERIALES Y MÉTODOS

Métodos analíticos

Basándonos en los mapas de suelos de la zona (Aguilar *et al.*, 2002; Ortega *et al.* 1995, 1996 y 1997), y los trabajos de Asensio (1993), Buurman (1993) y Castillo (1999) se seleccionaron siete perfiles modales de las zonas vérticas de la provincia de Málaga. De cada perfil se tomaron cinco muestras representativas, una de cada intervalo de diez centímetros hasta cincuenta centímetros de profundidad.

Los datos topográficos se obtuvieron a través de los Mapas del Servicio Geográfico del Ejército (SEG) (1974-1988-1989-1992).

En la tabla 1 se recoge la clasificación de los suelos según ISS-ISRIC-FAO (1994) y según el sistema de clasificación Soil Taxonomy (Soil survey Staff, 1999). Las características morfológicas y analíticas se encuentran en los mapas de suelos de Ardales (Aguilar *et al.* 2002), Álora (Ortega *et al.*, 1995), Teba (Ortega *et al.*, 1996) y Colmenar (Ortega *et al.*, 1997), realizados en el marco del proyecto LUCDEME.

En el análisis se han usado técnicas espectroscópicas fundamentalmente, y además se ha empleado la técnica volumétrica para la determinación del contenido en materia orgánica (Walkley y Black, 1974) y la difracción de rayos X para el análisis mineralógico.

Se ha elegido la técnica de Difracción de rayos X (DRX) con objeto de determinar la mineralogía de los filosilicatos ya que una de las principales características de los Vertisoles es su alto contenido en arcillas hinchables. El equipo empleado es el modelo PW-1700 con el software APD de Philips.

Los elementos mayoritarios (Si, Al, Ca, Ti, Mn, K y Mg) se han determinado median-

TABLA 1. Localización y clasificación de los suelos (Asensio, 1993 y Castillo, 1999).

Suelo	Coordenadas UTM	Hoja Topográfica	Clasificación
1	30SUF443773	1052	Haploxerert hálico muy fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol sali-eútrico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).
2	30SUF474765	1052	Haploxerert crómico muy fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol orti-eútrico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).
3	30SUF438787	1038	Haploxerert crómico muy fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol orti-eútrico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).
4	30SUF863927	1039	Haploxerert crómico muy fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol orti-eútrico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).
5	30SUF733850	1039	Haploxerert típico muy fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol orti-eútrico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).
6	30SUF181827	1037	Haploxerert crómico fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol gypico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).
7	30SUF163836	1037	Haploxerert crómico muy fino esmectítico térmico (Soil Survey Staff, 1999). Vertisol orti-eútrico (ISS-ISRIC-FAO, 1994).

te Fluorescencia de rayos X previa fusión con tetraborato de litio. Se ha empleado el espectrómetro Philips modelo PW-1404, con tubo de Sc/Mo y software X-40. El sodio se ha analizado por emisión de llama mediante un espectrofotómetro de Absorción Atómica Perkin-Elmer 1100, debido a que el límite de detección en fluorescencia es superior al obtenido por Absorción Atómica.

Los elementos minoritarios (As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, V y Zn) se han analizado mediante espectroscopía de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICP-OES) modelo Thermo Jarrel-Ash, ICAP-61. Previamente las muestras se sometieron a un tratamiento triácido ($\text{HF} + \text{HClO}_4 + \text{HNO}_3$) hasta sequedad. El cadmio y el arsénico se encontraban en cantidades inferiores al límite de detección del equipo utilizado, por ello se ha elegido otra técnica más sensible para su determinación, como es la espectroscopía de masas con plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) usándose el modelo Renaissance de LECO.

Finalmente, el mercurio se ha determinado mediante espectroscopía de absorción atómica con vapor frío con el equipo Thermo Jarrel Ash Smith-Hieftje 8000.

Determinación de los valores de referencia

La determinación de los valores de referencia se ha realizado siguiendo la metodología propuesta por IHOBE (1993), según la cual se analiza la dependencia observada en la correlación de los elementos y los contenidos en arcilla y materia orgánica de los suelos.

En este estudio, se ha tenido en cuenta la correlación existente entre los elementos traza estudiados: arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, níquel, plomo, vanadio y cinc, y las propiedades edáficas implicadas en la retención-movilidad de los mismos en los suelos, es decir contenido en esmectita, materia orgánica, carbonatos y óxidos de aluminio, hierro y manganeso.

Mediante estas ecuaciones de regresión se calcularon los valores de referencia para cada elemento traza a partir de la fórmula (IHOBE, 1993; Vázquez *et al.*, 2002):

$$VR = VP + aA + bB + \dots + zZ \quad (a)$$

donde:

- VR: es el valor de referencia.
- VP: es el valor medio del contenido del elemento traza en los suelos estudiados.
- A, B, ..., Z: corresponden a los valores medios de los parámetros edáficos considerados.

– a, b,...,z: son las pendientes de las rectas de regresión divididas entre su factor de contribución según el número de variables consideradas.

También se calcula el valor de referencia (VR) mediante la fórmula $VR=VP+2SD$, en la que VP es el valor medio y SD es la desviación típica del elemento traza. El valor de referencia propuesto es la media obtenida entre este valor y el obtenido en la ecuación (a). En los casos en que no se ha encontrado ninguna correlación significativa, se ha propuesto como valor de referencia el resultado de aplicar esta fórmula (IHOBE, 1993).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis mineralógico por DRX permite deducir que el componente mayoritario es la esmectita con un valor medio de 37%, seguido del cuarzo (23%) (Tabla 2). También son importantes los contenidos de caolinita y calcita, con un valor medio de 17% y 15% respectivamente, mica con un 6% y en menor grado feldespato potásico, plagioclasa y dolomita. Los suelos son bastante homogéneos en su composición excepto para la calcita, que

tiene un coeficiente de variación (CV) de 61% y la mica (58%).

En los elementos mayoritarios, expresados como óxidos, los contenidos más elevados corresponden a óxido de silicio y óxido de aluminio con valores medios de 51,6 % y 13,4% respectivamente (tabla 3), seguidos de óxido de calcio con un valor medio de 7,9% y óxido de hierro con 5,8%, óxido de magnesio y óxido de potasio con un contenido medio en torno al 1,5% y en menor proporción, inferior al 0,3%, óxido de manganeso, óxido de sodio y óxido de fósforo. Esta distribución de la composición está de acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis mineralógico, ya que aluminio y silicio son los componentes mayoritarios de los filosilicatos. La distribución de los valores, como se puede comprobar observando el coeficiente de variación (tabla 3) es muy homogénea, excepto el calcio, como en el análisis mineralógico, es el que tiene la mayor dispersión, con un coeficiente de variación del 56%.

Entre los elementos minoritarios, el más abundante es el vanadio con un valor medio de $109 \mu\text{gg}^{-1}$, seguido de cinc y cromo con valores medios de 93 y $92 \mu\text{gg}^{-1}$ respecti-

TABLA 2. Resumen estadístico del análisis mineralógico. N° casos <35, no ha sido detectado en todas las muestras.

	Esmectita	Caolinita	Mica	Cuarzo	Feldesp.K*	Plagioclasa*	Calcita	Dolomita*
Casos	35	35	31	35	6	33	35	17
Media($\mu\text{g g}^{-1}$)	37	17	6	23	2	2	15	1
Varianza	45	45	12	15	-	-	84	-
DT	7	7	4	4	-	-	9	-
Min($\mu\text{g g}^{-1}$)	21	7	2	15	1	1	4	1
Max($\mu\text{g g}^{-1}$)	54	30	15	31	3	4	31	2
Rango	33	23	13	16	2	3	27	1
CV	18	39	58	17	32	32	61	39

*Al ser un análisis semicuantitativo y el rango tan pequeño, los valores de Varianza y DT carecen de significado estadístico

TABLA 3. Resumen estadístico del contenido de elementos mayoritarios, materia orgánica y pérdida por calcinación.

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	TiO ₂	MnO	K ₂ O	MgO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	ppc*	MO*
Casos	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35	35
Media(%)	51,60	13,40	5,8	7,9	0,73	0,15	1,50	1,70	0,24	0,16	16,80	1,25
Varianza	28,50	3,88	0,82	19,73	0,02	0,00	0,06	0,02	0,01	0,00	8,54	0,18
DT	5,34	1,97	0,90	4,44	0,13	0,06	0,24	0,15	0,09	0,02	2,92	0,43
Min(%)	41,58	9,89	4,32	3,13	0,53	0,08	0,95	1,43	0,12	0,11	13,63	0,66
Max(%)	58,31	16,61	7,19	15,25	0,93	0,22	2,02	1,98	0,49	0,12	22,33	2,10
Rango	16,52	6,72	2,87	12,13	0,40	0,15	1,07	0,55	0,36	0,09	8,70	1,44
CV	10	15	16	56	18	40	16	9	38	13	17	34

*ppc: pérdida por calcinación; MO: Materia Orgánica

vamente. Los siguientes en abundancia son: níquel, cobre, y plomo con 47, 39, 37 μgg^{-1} respectivamente, y cobalto con 17 μgg^{-1} (tabla 4) Los elementos que existen en las muestras en concentración más pequeña son arsénico con un valor medio de 3 μgg^{-1} y cadmio, que tan sólo ha sido posible detectarlo en 10 muestras con un contenido medio de 0,36 μgg^{-1} . El contenido de mercurio en todas las muestras fue inferior al límite de determinación del método que es 0,1 μgg^{-1} . La distribución es bastante homogénea, con la excepción del arsénico y el plomo que tienen los mayores coeficientes de variación, 50% y 44% respectivamente.

En la tabla 5 se detallan las ecuaciones de regresión lineal de cada elemento. Las ecuaciones de regresión lineal simple seleccionadas presentan un grado de significación

estadística superior al 99% en la matriz de correlación de Pearson. La ecuaciones de regresión lineal múltiple se han obtenido empleando el método de pasos sucesivos.

Los resultados del cálculo de los valores de referencia mediante los dos métodos explicados previamente se presentan en la tabla 6.

En la tabla 7 se recogen los valores de referencia propuestos en este trabajo, y se comparan con los de Cerceda y Torrelaguna propuestos por Vázquez-Garranzo *et al.* (2002); los de la Comunidad de Madrid, propuestos por de Miguel *et al.* (2002); los de Cataluña (Busquets, 1997) y Andalucía (Llamas *et al.*, 2000). Los valores de referencia propuestos para el País Vasco (IHOBE, 1993) se han calculado sustituyendo L y H por el valor medio de arcilla y materia orgánica

TABLA 4. Resumen estadístico del contenido de elementos minoritarios. N° casos <35, en algunas muestras el contenido es inferior al límite de determinación.

	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	V	Zn
Casos	33	10	35	35	35	35	33	35	35
Media($\mu\text{g g}^{-1}$)	3,67	0,36	17	92	39	47	37	109	93
Varianza	3,34	0,00	6	143	56	32	266	261	147
DT	1,83	0,05	3	12	8	6	16	16,16	12
Min($\mu\text{g g}^{-1}$)	0,93	0,30	11	77	28	39	10	86	72
Max($\mu\text{g g}^{-1}$)	7,64	0,43	21	118	52	60	75	145	114
Rango	7,10	0,13	10	41	24	21	65	59	42
CV	50	14	14	13	19	12	44	15	13

TABLA 5. Ecuaciones de regresión. En todos los casos el grado de significación estadística es del 99%.

ECUACIÓN	r
Co= 6,61 + 0,28 Esmectita	0,817
Co= 11,85 + 32,97 MnO	0,746
Co= 12,52 + 3,40 MO	0,593
Co= 2,4 + 0,1 Esmectita + 31,3 MnO + 1,1 Fe ₂ O ₃	0,919
Cr= 70,3 + 1,1 Caolinita	0,704
Cr= 25,64 + 4,91 Al ₂ O ₃	0,809
Cr= 22,60 + 11,90 Fe ₂ O ₃	0,901
Cr= 108,6 - 2,2 CaO	0,801
Cr= 36,09 + 76,46 TiO ₂	0,814
Cr= 22,60 + 11,90 Fe ₂ O ₃	0,901
Cu= 15,17 + 0,65 Esmectita	0,585
Cu= 49,87 - 0,61 Caolinita	0,544
Cu= 23,28 + 106,22 MnO	0,785
Cu= -4,37 + 25,75 MgO	0,501
Cu= 25,53 + 10,91 MO	0,621
Cu=-16,8 + 99,4 MnO + 24,3 MgO	0,927
Ni= 31,15 + 0,44 Esmectita	0,517
Ni= 39,31 + 53 MnO	0,516
Ni= 42,8 + 64,9 MnO - 0,7 CaO	0,491
V= 84,67 + 1,33 Caolinita	0,597
V= 17,73 + 6,81 Al ₂ O ₃	0,830
V= 14,25 + 16,38 Fe ₂ O ₃	0,917
V= 129,6 - 2,6 CaO	0,711
V= 35,71 + 101,26 TiO ₂	0,797
V= 13,54 + 56,64MgO	0,511
V= -33,0 + 15,1 Fe ₂ O ₃ + 32,8 MgO	0,958
Zn= 74,43 + 1,03 Caolinita	0,567
Zn= 26,4 + 4,9 Al ₂ O ₃	0,831
Zn= 26,60 + 11,36 Fe ₂ O ₃	0,847
Zn= 108,58 - 2,04 CaO	0,747
Zn= 38,3 + 73,6 TiO ₂	0,812
Zn= 26,60 + 11,36 Fe ₂ O ₃	0,847

TABLA 6. Valores de referencia propuestos para Vertisoles de la Provincia de Málaga. En la columna 2 el valor de referencia (VR) se calcula sumando al valor medio (VP) dos veces su desviación estándar (SD). En la columna 3 el valor de referencia se calcula a partir de las ecuaciones obtenidas en la tabla 5.

ELEMENTO	VR=VP+2SD ($\mu\text{g g}^{-1}$)	Ec Regresión* ($\mu\text{g g}^{-1}$)	V.R.Propuestos ($\mu\text{g g}^{-1}$)
As	7		7
Cd	0,5		0,5
Co	22	28	25
Cr	116	148	132
Cu	54	76	65
Ni	58	57	58
Pb	69		69
V	141	214	178
Zn	117	147	132

*Para arsénico, cadmio y plomo no se ha encontrado correlación significativa con ninguna de las variables estudiadas.

TABLA 7. Comparación entre los valores de referencia propuestos y otros existentes en España, expresados en ($\mu\text{g g}^{-1}$).Torrelaguna y Cerceda (Vázquez-Garranzo, 199); Comunidad Autónoma de Madrid (De Miguel et al, 2002); Cataluña (Busquets, 1997); País Vasco (IHOBE, 1993) y Andalucía (Llamas et al 2000).

	Vertisoles Málaga	Cerceda	Torrelaguna	Comunidad Autónoma de Madrid	Cataluña	País Vasco	Andalucía pH>7
As	7	-	-	10	5	23	20
Cd	0,5	-	-	0,12	1,5	0,8	3
Co	25	-	9	7	10	25	50
Cr	132	172	37	22	-	62	100
Cu	65	37	-	14	55	29	100
Ni	58	-	-	8	49	49	50
Pb	69	48	40	22	70	45	200
V	178	20	51	25	-	-	-
Zn	132	270	39	52	178	124	300

respectivamente en los suelos estudiados. Se puede comprobar que en general los valores propuestos son muy diferentes en cada trabajo, por ejemplo el cinc con valores propuestos de $178 \mu\text{gg}^{-1}$ en Vertisoles de Málaga, $270 \mu\text{gg}^{-1}$ en Cerceda, $39 \mu\text{gg}^{-1}$ en Torrelaguna, $52 \mu\text{gg}^{-1}$ en la Comunidad de Madrid, $178 \mu\text{g g}^{-1}$ en Cataluña, $124 \mu\text{gg}^{-1}$ en el País Vasco y $300 \mu\text{gg}^{-1}$ en Andalucía en suelos con $\text{pH}<7$. También destaca el valor de vanadio de $178 \mu\text{gg}^{-1}$, bastante más alto que el de Cerceda ($20 \mu\text{gg}^{-1}$), Torrelaguna ($51 \mu\text{gg}^{-1}$) y Comunidad Autónoma de Madrid ($25 \mu\text{gg}^{-1}$). Estas diferencias son lógicas, ya que no se debe generalizar para todas las zonas, debido a que estos valores van a depender del material original del suelo en cada caso, de los procesos de meteorización del mismo, etc. Así podemos destacar que los valores propuestos para Vertisoles de la provincia de Málaga están por debajo de los propuestos para Andalucía, excepto el cromo y el níquel. En estos dos elementos, se proponen en Vertisoles de Málaga valores de 132 y $58 \mu\text{gg}^{-1}$ respectivamente, mientras que en suelos andaluces con $\text{pH} >7$ se propone 100 y $50 \mu\text{gg}^{-1}$ respectivamente. Sin embargo el resto de los valores propuestos, especialmente arsénico y plomo (7 y $69 \mu\text{gg}^{-1}$ respectivamente) son más bajos que los

fijados para suelos andaluces con $\text{pH}>7$ (20 y $200 \mu\text{gg}^{-1}$ respectivamente). Esta discrepancia tiene su explicación en que este estudio está realizado para un tipo de suelo formado sobre un determinado material original, mientras que para suelos andaluces se han tenido en cuenta todas las tipologías que existen en la Comunidad Autónoma por lo tanto estos últimos incluyen un espectro más amplio de aplicación.

CONCLUSIONES

1. En los suelos objeto de este estudio, la esmectita es el mineral de la arcilla más abundante, con un valor medio de 37% . También es significativa la presencia de caolinita, distinguiéndose dos grupos de suelos en base al contenido de la misma: los suelos con un porcentaje medio superior al 20% y los suelos en los que el contenido de caolinita es inferior al 10% .

2. En los Vertisoles estudiados los elementos traza se encuentran fundamentalmente asociados a los minerales de la arcilla.

3. Los valores de referencia propuestos en este trabajo para Vertisoles de la zona estudiada en la provincia de Málaga, están por debajo de los indicados para Andalucía,

excepto cromo y níquel que son más altos, con 132 y 58 μgg^{-1} respectivamente, sobre todo en comparación con los suelos andaluces de $\text{pH} > 7$, en los que se proponen los valores de 100 y 50 μgg^{-1} respectivamente.

REFERENCIAS

- Aguilar Ruiz, J., Fernández García, J., Sánchez Garrido, J.A., Rodríguez Rebollo, T y Fernández Ondoño, E.(2002): Memoria y mapa de suelos de la hoja topográfica 1038, escala 1:100.000. Ardales. Málaga. Proyecto LUCDEME.
- Asensio, C. (1993): Génesis, degradación y evaluación de suelos vérticos en la hoja de Álora (1052). Málaga. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. 391 p.
- BOE (1995): Plan Nacional de Recuperación de Suelos Contaminados(1995-2005). Boletín oficial del Estado nº 114 (13-05-95).Madrid.
- BOE (1998):Ley de residuos. Boletín Oficial del Estado nº122 (Ley 10/1998 de 22.05-98).Madrid.
- BOCM (1999): Régimen jurídico de los suelos contaminados en la Comunidad de Madrid. Boletín Oficial de la Comunidad de Madrid. Decreto 326/1999, 25-11-99.Madrid.
- Busquets, E. (1997): Guía de Evaluación de la Calidad del Suelo. Criterios provisionales de Calidad del Suelo en Cataluña. Departamento de Medio Ambiente de la Junta de Residuos de la Generalitat de Catalunya.
- Buurman, P. (1993): Soil of Alora region. En Introduction to the field training project "Sustainable land use" in Alora-Spain. Ed.Wageningen Agricultural University. pp. 19-26. The Netherlands.
- Castillo, M. (1999): Tipología, mineralogía y geodinamia de elementos traza en Vertisoles del Sur de Andalucía. Tesis de Licenciatura. 115 p. Universidad de Granada.
- CE (2002): Comunicación de la Comisión de las Comunidades Europeas al Consejo, el Parlamento europeo, el Comité Económico y Social y el Comité de las Regiones. *Hacia una estrategia temática para la protección del suelo* COM/2002/0179 final.
- CEE (1991): Estrategia comunitaria de gestión de residuos. Comunidad Económica Europea. Directiva 91/156/CEE Bruselas.
- Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, Río de Janeiro, 1992.
- De Miguel, E., Callaba, A., Arranz, J.C., Cala, V., Chacón, E., Gallego, E., Alberruche, E., Alonso, C., Fdez.-Cantelli, P., Iribarren, I. y Palacios, H. (2002): Determinación de niveles de fondo y niveles de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de la Comunidad de Madrid. Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Medio ambiente. Terrenos contaminados; nº2. Pp 167.
- IHOBE (1993): Investigación de la Contaminación del Suelo. Plan Director para la protección del suelo. Gobierno Vasco.
- ISSS-ISRIC-FAO (1994): World Reference Base for Soil Resources. Draft. Wageningen/ Rome.
- Llamas, J.M., Hervás, L., Martínez Escriche, F. y Otero, F. (2000): Suelos contaminados. Medioambiente. Nº 34. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía, 54-57.
- Logorburo, I. (2001): Ponencia en Curso sobre técnicas de estudio y recuperación de suelos contaminados. Fundación para el fomento de la innovación industrial, Madrid.
- NMHSPE (1991): Netherlands Ministry of Housing Physical Planning and Environment Directorate-General for Environmental Protection.

- Environmental Quality Standards for soil and water.
- NMHSPE (1994): Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning and Environment Directorate-General for Environmental Protection. Department of soil protection. Intervention values and target values- soil quality standards.
- Ortega, E. (1992): Características de los suelos vérticos en la provincia de Málaga. Memoria (inédita). Universidad de Granada.
- Ortega, E., Sierra, C., Saura, I., Asensio, C., Roca, A., e Iriarte, A.(1995): Memoria y mapa de suelos de la hoja topográfica 1052, escala 1:100.000. Álora. Málaga. Proyecto LUCDEME. Serv. Public. Univer. Granada.
- Ortega, E., Asensio, C., Saura, I., Lozano, J., Martínez, J. y Quirantes, J. (1996): Memoria y mapa de suelos de la hoja topográfica 1037, escala 1:100.000. Teba Málaga. Proyecto LUCDEME. Ed. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Granada, pp. 78.
- Ortega, E., Sierra, C., Martínez, J., Asensio, C., Saura, I., y Roca, A.(1997): Memoria y mapa de suelos de la hoja topográfica 1039, escala 1:100.000. Colmenar. Málaga. Proyecto LUCDEME. Organismo Autónomo. Parques Nacionales. Madrid, pp. 77.
- Pérez, L., Moreno, A.M. y González, J. (2000): Valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados. *Edafología*, 7-3: 113-120.
- Servicio Geográfico del Ejército (1974): Hoja topográfica 1052. Álora(Málaga). E 1:50.000 Public. Servicio Geográfico del Ejército. 3ª Edición. Madrid.
- Servicio Geográfico del Ejército (1988): Hoja topográfica 1037. Teba(Málaga). E 1:50.000 Public. Servicio Geográfico del Ejército. 3ª Edición. Madrid.
- Servicio Geográfico del Ejército (1989): Hoja topográfica 1039. Colmenar(Málaga). E 1:50.000 Public. Servicio Geográfico del Ejército. 3ª Edición. Madrid.
- Servicio Geográfico del Ejército (1992): Hoja topográfica 1038. Ardales(Málaga). E 1:50.000 Public. Servicio Geográfico del Ejército. 3ª Edición. Madrid.
- Soil Survey Staff (1999). Soil Taxonomy. 2ª Ed. Agriculture Handbook nº 436. Pp 869. Washington.
- Vázquez-Garranzo, I. (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. Universidad Complutense. Madrid.
- Vázquez-Garranzo, I; Martín Rubí, J.A.; Moreno García, A.M. y González Parra, J. (2002): Calculation of reference values of trace elements in soils in the Community of Madrid (Spain). En *Man and Soil at the Third Millenium*. Third International Congress of the European Society for Soil Conservation. Ed: J.L.Rubio, R.P.C. Morgan, S.Asins y V. Andreu. Logroño. España. Pp 1675-1684.
- Walkley, A. y Black, I.A. (1974): A critical examination of rapid method for determinig organic carbon in soils. *J.Soil Sci.* 63,251-254.