

# Influencia del uso del suelo en su calidad ambiental en medio semiárido (Murcia SE España)

## Soil environmental quality related to different soil uses in a semiarid zone (Murcia SE Spain)

J. A. Hernández<sup>1</sup>, M. T. Fernández, A. Ortuño & M. A. Alarcón

---

### RESUMEN

La agricultura intensiva y las actividades mineras se encuentran entre las principales fuentes de contaminación del suelo ocasionando con frecuencia la acumulación en el mismo de sales solubles, nutrientes, metales pesados, etc., con la consiguiente pérdida de calidad del mismo. Este trabajo plantea conocer la situación de los suelos de un área de Murcia (SE España) bajo diferentes usos y parcialmente afectada por residuos mineros. Los resultados apuntan a que los usos considerados, provocan una disminución de calidad del suelo. Así, hay una mayor presencia de sales solubles (Conductividad Eléctrica: 3,3-1,9 dS m<sup>-1</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (126,5-51,1 mg kg<sup>-1</sup>) y P asimilable (29,6-2,4 mg kg<sup>-1</sup>) en los suelos cultivados frente a los no cultivados. Además, gran parte de las muestras presentan niveles de metales pesados que superan, ampliamente en ocasiones, los valores de referencia manejados habitualmente: Cd: 10,2 mg kg<sup>-1</sup>; Cu: 85,2 mg kg<sup>-1</sup>; Mn: 2307,8 mg kg<sup>-1</sup>; Pb: 6793,0 mg kg<sup>-1</sup>; Zn: 4610,0 mg kg<sup>-1</sup>.

**Palabras clave:** calidad del suelo, metales pesados, nutrientes, sales, usos del suelo

### ABSTRACT

Intensive agriculture and mining activities are among the soil uses that cause soil contamination because of the accumulation of soluble salts, nutrients, heavy metals, etc. and consequently a loss of soil quality. This study set out to assess the condition of some cultivated and uncultivated soils in an area of Murcia (SE Spain), known to be partially affected by mine acid materials. The results confirm that the cited activities have led to a loss of soil quality, limiting their future use. Higher soluble salt (Electrolytic Conductivity: 3,3-1,9 dS m<sup>-1</sup>), NO<sub>3</sub><sup>-</sup> (126,5-51,1 mg kg<sup>-1</sup>) and available P (29,6-2,4 mg kg<sup>-1</sup>) concentrations were measured in the cultivated soils. In addition, many of the soil samples studied presented high levels of heavy metals which exceeded the values usually taken as reference values: Cd: 10,2 mg kg<sup>-1</sup>; Cu: 85,2 mg kg<sup>-1</sup>; Mn:

---

<sup>1</sup> Department of Agricultural Chemistry, Geology and Pedology. University of Murcia. Campus of Espinardo. 30100 Espinardo, Murcia, Spain. e-mail: [hbastida@um.es](mailto:hbastida@um.es).

2307,8 mg kg<sup>-1</sup>; Pb: 6793,0 mg kg<sup>-1</sup> and Zn: 4610,0 mg kg<sup>-1</sup>.

**Key-words:** heavy metals, nutrients, salts, soil quality, soil uses

## INTRODUCCIÓN

El uso y manejo que se hace del suelo provoca con gran frecuencia una alteración tan profunda de sus propiedades que determina una pérdida gradual de su capacidad productiva, de su fertilidad, de sus posibilidades de uso y aprovechamiento y, en ocasiones, hasta la pérdida del suelo mismo como elemento fundamental del medio natural. En consecuencia el suelo puede llegar a experimentar una pérdida de calidad tan acentuada que le incapacite para ejercer las múltiples funciones que puede realizar. Si bien causas naturales aceleran o provocan esa pérdida de calidad, son sobre todo las actividades humanas las que ejercen en la actualidad una influencia más acentuada en la degradación del suelo. Entre ellas cabe señalar las actividades mineras extractivas de sulfuros metálicos y sus materiales residuales ácidos. Se trata de residuos con importantes concentraciones de metales pesados (Pb y Zn sobre todo) que son incorporados al medio provocando importantes problemas de contaminación en amplias superficies (Aguilar *et al.*, 2003; Conesa, 2005; Galán & Romero, 2008; González *et al.*, 2008; Hernández *et al.*, 2007, 2008;). Por otra parte, son también harto conocidos los efectos negativos que sobre las propiedades del suelo provocan sales y nutrientes cuando alcanzan determinadas concentraciones en el mismo, apareciendo las actividades agrícolas como la causa más importante de ello (Szabolcs, 1994; Pla Sentís, 1997; Tóth & Blaskó, 1998; Wienhold & Trooien, 1998; Kuchanwar *et al.*, 1999; Hernández *et al.*,

2002). Se plantea en este trabajo conocer la influencia de las actividades citadas sobre la calidad de los suelos de un área cercana al Mar Menor (Murcia, SE España) en la que se dan distintos tipos de uso del suelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La zona de estudio, de aproximadamente 20 km<sup>2</sup> de superficie, se encuentra situada en el límite suroriental de la provincia de Murcia, entre las poblaciones de Los Urrutias y Los Nietos, en contacto con el Mar Menor por su límite Oeste y encuadrada por los meridianos 0° 31' 11", 1 y 0° 51' 11", 0 de longitud Oeste y los paralelos 37° 30' 04", 5 y 37° 40' 17", 5 de latitud Norte. Presenta un clima mediterráneo semiárido, con valores medios anuales de: Temperatura 17° C y precipitación 300 mm. que se ve superada por la evapotranspiración prácticamente durante todo el año con el consiguiente déficit hídrico, en parte compensado mediante riego con aguas de distinta procedencia - pozos, trasvase Tajo-Segura, etc.- permitiendo así en algunas partes el desarrollo de cultivos muy exigentes en agua (hortalizas y frutales de distinto tipo).

El área de estudio se encuentra atravesada de Este a Oeste por la rambla del Beal que, procedente de esta población, desemboca en el Mar Menor, depositando cantidades importantes de materiales ácidos de mina procedentes de los puntos de actividad minera en las Sierras de Cartagena y La Unión a su paso por la zona de estudio, alcanzando incluso el Mar Menor. El trabajo se ha llevado a cabo sobre 23 muestras de capa arable (0-30 cm de profundidad), Figura 1, tomadas según una malla regular de 1 x 1 km de distribución, utilizándose, además, el horizonte de superficie de un Solonchak gleyico y de un Tecnosol espólico (IUSS, 2007).

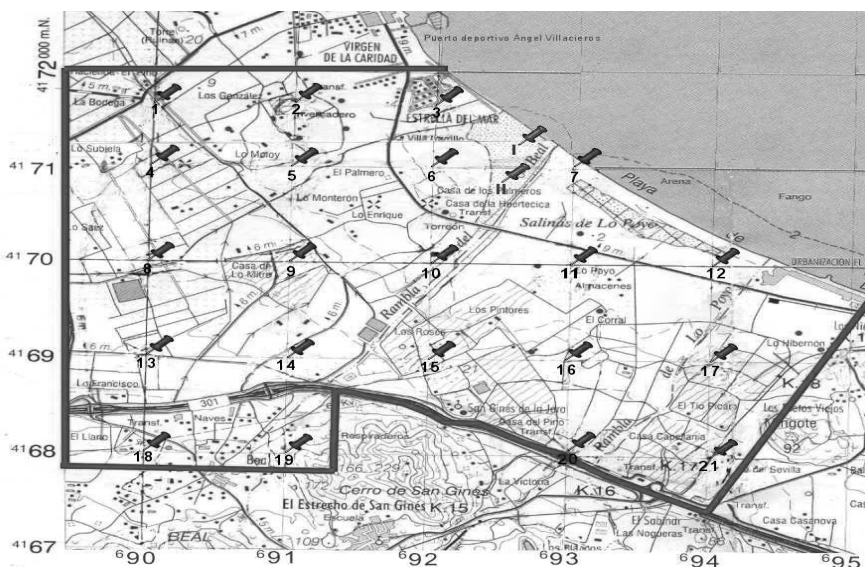


Figura 1. Detalle del área de estudio y distribución de los puntos de muestreo.

La caracterización analítica de las muestras se ha llevado a cabo de acuerdo con los siguientes métodos: Carbono Orgánico Total, COT; Nitrógeno Total, NT, pH (H<sub>2</sub>O) y Carbonato Cálcico Total (Van Reeuwijk, 1995); Conductividad Eléctrica (CE) en el extracto de saturación (Bower & Wilcox, 1965); Cationes y Aniones en el extracto cuando CE > 2 dS m<sup>-1</sup> (espectrometría de absorción atómica y cromatografía iónica respectivamente); P asimilable (Watanabe & Olsen, 1965); contenido total de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn (espectrometría de absorción

atómica- activación de llama o electro-térmica según el caso- previa digestión ácida de las muestras en microondas).

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La mayor parte de los suelos estudiados (≈70 por cien) son Calcisoles de distinto tipo (FAO, 2006), Tabla 1, que se encuentran cultivados en una gran proporción. Los restantes tipos de suelos se encuentran en descanso de cultivo o con vegetación natural más o menos degradada.

Tabla 1 - Porcentaje de distribución de tipos de suelos (códigos IUSS, 2007) en relación con los usos del mismo

Uso del suelo	CL				Fl	SC	LP	AR	TC	Global
	ha	lv	hc	pt	sz	gl	li	gl	sp	
<b>Cultivado</b>	39,1	13,0	4,3	4,3	0,0	0,0	0,0	0,0	4,3	65,0
<b>No cultivado</b>	8,8	0,0	0,0	0,0	4,3	8,8	4,3	4,3	4,3	34,8

**Tabla 2** - Estadísticos descriptivos de las características seleccionadas en las muestras estudiadas

	COT g kg <sup>-1</sup>	NT g kg <sup>-1</sup>	pH H <sub>2</sub> O	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> g kg <sup>-1</sup>	CE dS m <sup>-1</sup>	Granulometría (%)		
						Arcilla	Limo	Arena
<b>Media</b>	8,9	0,93	7,4	88	15,1	23,3	36,2	41,4
<b>Mediana</b>	8,3	0,8	7,6	72	3,5	24,3	35,1	39,7
<b>Mínimo</b>	2,3	0,32	5,7	0	0,9	4,0	17,3	9,1
<b>Máximo</b>	20,4	1,77	8,2	265	135,8	35,9	62,3	78,6
<b>SD</b>	4,6	0,4	0,6	79,2	30,9	9,1	10,8	12,6

COT: Carbono orgánico total; NT: Nitrógeno total; CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>: Carbonatos totales; CE: Conductividad eléctrica del extracto de saturación; SD: Desviación Standard.

Los resultados obtenidos para las distintas propiedades del suelo seleccionadas muestran que se trata de suelos con escaso contenido en materia orgánica y nitrógeno por término medio, Tabla 2, como resulta lógico esperar en suelos de zonas semiáridas en los que la mineralización orgánica, acelerada, además, por el intenso laboreo a que se ven sometidos, resulta muy intensa.

Se aprecian importantes variaciones en los valores de pH que muestran las acusadas diferencias de acidez que existen en el área de estudio. Así, mientras el material original, de distinta naturaleza, es en gran parte calizo siendo el CaCO<sub>3</sub> un constituyente habitual en estos suelos, la presencia en algunos de ellos de materiales ácidos de mina incorporados tanto por acción de la Rambla

del Beal como por vía eólica, provocan una intensa acidificación del suelo consecuencia de la oxidación de sulfuros y formación de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Monterroso & Macías, 1998 a, b; Sánchez *et al.*, 2003; González *et al.*, 2008; Pereira *et al.*, 2008). Por otra parte, estos suelos presentan entre sí acusadas diferencias texturales ligadas tanto a la heterogeneidad del material original (arenas, lodos mineros, sedimentos cuaternarios, etc.) como a los procesos de edafogénesis experimentados.

Es de señalar, por otra parte, el elevado valor medio que alcanza la Conductividad eléctrica del extracto de saturación del conjunto de las muestras, poniendo de manifiesto la presencia de sales solubles en diferentes concentraciones en el área de

**Tabla 3** - Estadísticos descriptivos de la CE y el P asimilable del conjunto de muestras y del contenido en sales, yeso y nitratos de las muestras de suelo con valor de CE > 2dSm<sup>-1</sup>

	Uso	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	SD	N
<b>CE global</b> dSm <sup>-1</sup>	1	3,4	3,3	0,9	6,2	1,7	15
	2	36,9 (2,7)*	22,9 (1,9)*	1,2 (1,2)*	135,8 (6,1)*	46,4 (2,2)*	8 (4)*
<b>Sales</b> %	1	0,16	0,1	0,05	0,21	0,05	11
	2	1,49	1,91	0,06	2,57	1,11	6
<b>Yeso</b> g kg <sup>-1</sup>	1	15,4	14,2	7,0	23,5	5,8	10
	2	89,7	102,9	31,7	129,2	39,5	6
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b> mg kg <sup>-1</sup>	1	137,5	126,5	25,4	313,0	82,6	10
	2	113,3	51,1	27,1	261,6	129,0	3
<b>P</b> mg kg <sup>-1</sup>	1	32,5	29,6	6,1	54,1	15,5	15
	2	2,75	2,4	0,4	6,4	2,3	8

()\*: Estadísticos una vez eliminados los valores de las muestras afectadas por la capa marina.

CE: Conductividad eléctrica del extracto de saturación; SD: Desviación Standard; N: número de muestras empleadas en el análisis.

estudio. Sin embargo, teniendo en cuenta la influencia determinante en dicho valor medio de una serie de muestras afectadas por la capa freática marina, con valores de CE muy elevados, resulta más representativo del conjunto del área el valor de la mediana, bastante más bajo que aquel, y que identifica mejor esta característica en la mayoría de los suelos como puede apreciarse al desdoblarse las muestras entre suelos cultivados y no cultivados (Tabla 3). Estos resultados indican claramente cómo los valores más altos de CE corresponden a suelos no cultivados en los que por su proximidad al mar y el efecto de la capa de agua marina presentan concentraciones salinas tan elevadas que solo pueden soportar una vegetación halófila especializada. Si eliminamos, sin embargo, esas muestras del conjunto de suelos no cultivados, se puede apreciar cómo la Conductividad Eléctrica de los suelos no cultivados se sitúa en unos valores más bajos que la de los suelos cultivados. En cualquier caso, incluso estos valores medios de Conductividad eléctrica

para los suelos en cultivo resulta elevado si se tiene en cuenta que el material de formación de estos suelos no presenta sales solubles por lo que estos datos apuntan a la incorporación progresiva de sales y su acumulación en los mismos. Se confirma, pues, un hecho observado con frecuencia en suelos dedicados a la agricultura intensiva como es el incremento paulatino de la concentración salina en los mismos (Hernández & Faz, 1993; Simon *et al.*, 1993; Pla Sentís, 1997; Tóth & Blaskó, 1998; Wienhold & Trooien, 1998; García *et al.*, 2000; Hernández *et al.*, 2002), particularmente con determinados sistemas de riego que no permiten el lavado de sales, produciéndose en consecuencia una pérdida de calidad del suelo ligada a este uso al disminuir progresivamente las posibilidades de instalación de diversas especies vegetales a medida que aumenta la presión osmótica de la disolución del suelo. En esa misma dirección actúa en este caso concreto la presencia de residuos ácidos de mina en algunos puntos, que al condicionar un pH más bajo favorece la disolución de

**Tabla 4** - Composición iónica del extracto de saturación (me L<sup>-1</sup>).

	Uso	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	SD	N
<b>Cl<sup>-</sup></b>	1	19,2	16,5	8,3	35,3	8,6	10
	2	1204,4	1086,2	5,7	4529,9	1694,3	6
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup></b>	1	25,3	26,2	10,5	42,4	10,4	10
	2	132,7	147,2	25,9	230,6	83,6	6
<b>CO<sub>3</sub>H<sup>-</sup></b>	1	2,5	2,4	1,4	3,6	0,7	10
	2	1,6	1,6	0,7	2,4	0,7	6
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	1	5,04	4,4	0,0	12,3	3,6	10
	2	1,1	0,7	0,0	2,7	1,2	6
<b>Ca</b>	1	25,4	25,2	10,8	40,0	8,0	10
	2	88,3	90,6	22,9	161,4	51,6	6
<b>Mg</b>	1	6,8	5,4	2,8	12,3	3,2	10
	2	228,2	143,1	4,0	599,9	247,7	6
<b>Na</b>	1	18,9	16,6	11,7	32,1	7,5	10
	2	1017,8	672,2	6,8	3791,3	1409,9	6
<b>K</b>	1	1,4	1,3	0,6	2,6	0,7	10
	2	12,4	6,6	0,3	51,2	19,3	6
<b>SAR</b>	1	4,8	4,8	2,5	6,9	1,5	10
	2	63,7	54,7	1,8	204,2	73,6	6

1. Cultivo; 2. No cultivo; SD: Desviación Standard; SAR: Razón de Adsorción de Sodio; N: número de muestras empleadas en el análisis.

minerales del suelo con el consiguiente aumento de carga iónica (Monterroso & Macías, 1998 a y b; Sánchez *et al.*, 2003; Romero *et al.*, 2005).

La composición iónica del extracto de saturación, Tabla 4, separada asimismo entre suelos cultivados y no cultivados, muestra el predominio de ciertos iones frente a otros según el grupo. En los suelos no cultivados es el ión Cl el que predomina entre los aniones seguido por el  $\text{SO}_4^{2-}$  mientras que es el  $\text{Na}^+$  seguido por el  $\text{Mg}^{2+}$  los iones predominantes entre los cationes mostrando así el efecto de la capa marina. Por su parte, en los suelos cultivados hay un predominio del ión  $\text{SO}_4^{2-}$  frente al Cl<sup>-</sup> y de  $\text{Ca}^{2+}$  frente a  $\text{Na}^+$  lo que apunta hacia el origen de estos elementos en el suelo: la fertilización en los suelos agrícolas ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{K}^+$ ), capa de agua marina ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ), residuos ácidos de mina ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{K}^+$ ). En relación con otros problemas relacionados con la alta concentración de  $\text{Na}^+$  como es la alcalinización, no parece probable que tenga lugar dada la alta salinidad de las muestras, Tabla 4, que presentan valores de SAR que podrían favorecer dicho proceso.

Además del efecto intrínseco de las sales no se puede perder de vista el efecto nocivo provocado por concentraciones elevadas de nutrientes, particularmente nitratos y fosfatos, tanto provocando la contaminación de vegetales y entrando en la cadena trófica como provocando la contaminación de aguas subterráneas, la eutrofización de aguas superficiales, etc. Los resultados obtenidos, Tabla 3, muestran como las concentraciones tanto de  $\text{NO}_3^-$  como de P asimilable son más elevadas en las muestras de suelos cultivados como resulta lógico al ser incorporados estos elementos de forma importante con la fertilización. No llegan a alcanzar, sin embargo, ninguno de los dos elementos niveles de los que puedan derivarse problemas de toxicidad en la zona de estu-

dio. No obstante, la posibilidad de ser arrastrados hacia zonas topográficamente más deprimidas bien sea en forma soluble ( $\text{NO}_3^-$ ) bien por escorrentía superficial ( $\text{PO}_4^{3-}$ ) en las que pueden acumularse plantea problemas de eutrofización en las aguas que llegan al Mar Menor y zonas adyacentes como ha sido señalado por diversos autores (Álvarez *et al.*, 2005).

El contenido en metales pesados del suelo es un parámetro utilizado cada vez de forma más frecuente como índice de calidad ambiental del mismo (Recatalá & Sánchez, 1993; Añó *et al.*, 1998; Pérez *et al.*, 2000; Recatalá *et al.*, 2002) puesto que permite poner de manifiesto riesgos de toxicidad ligados a dichos metales para organismos o el medio ambiente en función de los usos del suelo.

Los resultados obtenidos para la concentración total de Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en las muestras estudiadas (Tabla 5) ponen de manifiesto una gran irregularidad en la distribución de dichos metales en esta zona. La gran amplitud del intervalo entre máximos y mínimos, la importante desviación típica e incluso las acentuadas diferencias entre medias y medianas muestran la heterogeneidad existente entre los distintos puntos de estudio, sobre todo para Pb y Zn que son los metales que alcanzan concentraciones más elevadas. Asimismo, Cd, Cu y Mn son elementos que, si bien en menor proporción que los anteriores, también superan los valores genéricos de referencia propuestos para el Campo de Cartagena por Hernández *et al.* (2007, 2008) al igual que los utilizados en otras comunidades y países (Alloway & Ayres, 1993; IHOBE, 1998; De Miguel *et al.*, 2002; Junta de Andalucía, 2003; Macías & Calvo, 2009). Ni, por su parte, aparece, según los valores medios que presenta, en concentraciones limítrofes con los valores genéricos de referencia indicados anteriormente.

**Tabla 5.** Estadísticos descriptivos de concentraciones totales ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) de Cd, Co, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn.

	Media	Mediana	Mínimo	Máximo	S.D.	N
<b>Cd</b>	10,2	6,2	1,2	51,7	12,8	22
<b>Co</b>	12,6	11,9	4,2	24,8	4,7	22
<b>Cr</b>	82,1	75,1	35,5	198	39,3	22
<b>Cu</b>	85,2	46,7	18,1	316,5	81,3	22
<b>Mn</b>	2307,8	1718,9	682	7353	1674,9	22
<b>Ni</b>	49,7	31,3	20,6	251,0	62,5	22
<b>Pb</b>	6793,0	3725,1	206	21748	7325,3	22
<b>Zn</b>	4610,0	3060,9	511	13939	3980,9	22

Esta situación es atribuible fundamentalmente, como ha sido puesto de manifiesto asimismo en otras zonas, a la incorporación de materiales ácidos de mina, con abundancia de sulfuros de Pb y Zn sobre todo, a distintos puntos del área de estudio consecuencia del transporte y deposición de estos materiales que lleva a cabo la rambla del Beal. En efecto, las mayores concentraciones de metales se observan tanto en el cauce de la misma como en las zonas contiguas a ella y que se han visto anegadas en numerosas ocasiones por las avenidas de dicha rambla.

No obstante y aún cuando en algunos puntos no se superen los niveles de referencia indicados para algunos metales, se puede observar que, exceptuando Co y Cr, todos los valores mínimos superan los valores de fondo para los mismos establecidos para el Campo de Cartagena (Hernández *et al.*, 2007, 2008), lo que apunta a que, además de la contaminación local debida a los aportes de la rambla, se produce una incorporación más difusa y generalizada que si bien no alcanza la intensidad de aquella, eleva de forma general las concentraciones de la mayoría de los metales. El transporte por vía eólica de partículas finas es un hecho observado en toda esta zona en la que los fuertes vientos y las tormentas de aire son relativamente frecuentes y movilizan cantidades importantes de materiales finos procedentes de antiguas balsas de lodos situadas a poca distancia de la zona de estudio. Una gran

cantidad de estas estructuras originadas por la desecación de lodos – los estériles procedentes de la flotación de sulfuros metálicos – se encuentran en los alrededores y son particularmente sensibles a la erosión eólica dado que estos materiales no presentan prácticamente ninguna cohesión. Así, las partículas son puestas fácilmente en movimiento al carecer aquellas de una cubierta vegetal que proteja de la erosión y que incorpore materia orgánica favoreciendo el desarrollo de agregados estructurales que mantengan estabilizadas las partículas minerales.

Hay que hablar, por tanto, de una pérdida de calidad del suelo, de intensidad diferente según el lugar considerado, que conduce en unos casos, los más extremos, a la pérdida completa de aprovechamiento del suelo y la consiguiente necesidad de recuperarlo para evitar los daños ocasionados a la salud humana y al medio ambiente y, en otros, a una disminución de su productividad ligada a la presencia de metales, sales o ambos, que limitan el uso de especies vegetales capaces de sobrevivir en estos medios tan adversos.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos se puede señalar que los suelos del área estudiada han experimentado, y siguen experimentando en la actualidad, una pérdida de

calidad progresiva derivada de la incorporación de diversos agentes contaminantes. Por un lado, metales pesados, que aparecen irregularmente distribuidos en concentraciones variables en toda el área, lo que determina una contaminación del suelo y, por tanto, una pérdida de calidad del mismo de distinta intensidad según los puntos. En ocasiones los bajos pH que se generan aceleran la disolución de minerales del suelo aumentando la carga iónica de la disolución del suelo y sumando así sus efectos salinos a los originados por la incorporación de sales procedentes de la agricultura intensiva.

Por otro lado, los suelos dedicados a actividades agrícolas presentan, en general, contenidos salinos más elevados que los suelos no cultivados, exceptuando lógicamente los afectados por la capa freática marina, lo que pone de manifiesto que dichas actividades suponen, si no se realizan de forma adecuada, una fuente de degradación y pérdida de calidad del suelo al favorecer la acumulación de sales en los mismos –los nutrientes no se ha observado que produzcan problemas– a niveles suficientemente elevados puntualmente como para limitar el uso de numerosas especies vegetales.

En ambos casos se trata de procesos de degradación que son progresivos y continúan produciéndose en la actualidad ya que si bien las actividades extractivas mineras dejaron de realizarse hace casi 20 años, los residuos ácidos generados por las mismas mantienen sus efectos siendo dispersados tanto por vía hídrica como eólica por lo que se hace necesario una adecuada recuperación de los espacios afectados por los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar, J., Bouza, P., Dorronsoro, C., Fernández, E., Fernández, J., García, I., Martín, F., Ortiz, I. & Simón, M. 2003. Contaminación de los suelos afectados por el vertido de Aznalcollar y su evolución en el tiempo (1998-2001). *Edafología*, 10 (1): 65-73.
- Alloway, B.J. & Ayres, D.C. 1993. Inorganic pollutants. In B.J. Alloway & C.D. Ayres (eds). *Chemical Principles of Environmental Pollution*, pp. 109-195. Blackie Academic & Professional. Glasgow
- Álvarez, J., Jiménez, F.J. & Egea, C. 2005. Retención de fósforo en un humedal costero del SE de España. In R. Jiménez Ballesta y M. Álvarez González (eds). *Control de la Degradación de Suelos*, pp 33-37. Madrid.
- Áñó, C., Sánchez, J. & Antolin, C. 1998. Interpretación de la información edafológica en el ámbito mediterráneo valenciano: indicador de capacidad e indicador de vulnerabilidad. *Edafología*, 4: 117-130
- Bower, C.A. & Wilcox, L.V. 1965. Soluble salts. In C.A. Black ed., *Methods of Soils Analysis*, part 2, pp. 933-940, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, USA.
- Clemente, L., Cabrera, F., García, L.V. & Cara, J.S. 2000. Reconocimiento de suelos y estudios de su contaminación por metales pesados en el valle del Guadiamar. *Edafología*, 7-3: 337-349.
- Conesa, H.M. 2005. Restauración/Estabilización de Suelos Contaminados por Metales Pesados como Consecuencia de Actividades Mineras en la Zona de Cartagena y La Unión. Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cartagena-Swiss Federal Institute of Technology Zurich, 398 pp.
- De Miguel, E., Callaba, A., Arranz, J.C., Cala, V., Chacón, E., Gallego, E., Alberuche, E., Alonso, C., Fernández-Canteli, P., Iribarren, I. & 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. IGME, Min. de Ciencia y Tecn., Cons. de Medio Ambiente. Madrid. 167 pp.
- Galán, E. & Romero, A. 2008. Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla*, 10: 48-60.
- García, I., Simón, M., Dorronsoro, C., Aguilar, J., Martín, F. & Ortiz, I. 2000. Contaminación de suelos por oxidación de lodos piríticos. *Edafología*, 7-3: 159-168.
- González, I., López, M. & Romero, A. 2008. Problemática de los suelos afectados por la explotación de sulfuros. *Macla*, 10: 61-75
- Hernández, J.A. & Faz, A. 1993. Salinización en suelos de la Cañada de Veas (Murcia). In R. Ortiz (ed). *Problemática Geoambiental y Desarrollo*, pp. 497-506. Campobell. Murcia, España.
- Hernández, J.A., Faz, A., Marín, P., Vela, N. & Ortiz, R. 2002. Salt affected Fluvisoles in the Guadalentin Valley (Murcia, SE Spain). In J.L. Rubio, R.P.C., Morgan, S. Asins, and V. Andreu (eds). *Man and Soil at the Third Millennium*, pp 1573-1584. Geoforma Publishers, Logroño, España.
- Hernández, J.A., Fernández, M.T. & Alarcón, M.A. 2007. Valores de fondo y de referencia para Cd, Co, Cr, Pb y Zn en suelos del Campo de Cartagena, Murcia (SE España). In N. Bellinfante & A. Jordán (eds.), *Tendencias actuales de la Ciencia del Suelo*, pp 264-269.
- Hernández, J.A., Fernández, M.T. & Alarcón, M.A. 2008. Valores de fondo y valores genéricos de referencia para Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb y Zn en suelos del Campo de Cartagena, Murcia (SE España). *Edafología* (en prensa).
- IHOBE. 1998. *Calidad del Suelo. Valores Indicativos de Evaluación*. IHOBE. Dpto. Urbanismo, Vivienda y Medio Ambiente, País Vasco, 119 pp.
- IUSS Grupo de Trabajo WRB. 2007. *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007. 2ª Ed. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No.103*.FAO, Roma.
- Junta de Andalucía. 2003. *Estudio de elementos traza en suelos de Andalucía (I)*. Consejería de Medio Ambiente, Junta de Andalucía. Sevilla. 165 pp.
- Kuchanwar, O. D., Kale, C.K. & Deshpande, V.P. 1999. Irrigation water quality and farm management decisions. *Water Science Technology*, 40: 97-103.
- Macías, F. & Calvo, R. 2009. Niveles genéricos de referencia de metales pesados y otros elementos traza en suelos de Galicia. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela. España.
- Monterroso, C. & Macías, F. 1998 a. Procesos de inmovilización de elementos traza en aguas acidas de mina. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 5: 59-70.
- Monterroso, C. & Macías, F. 1998 b. Aguas de drenaje de mina afectadas por la oxidación de sulfuros. Variaciones estacionales de su composición. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 5: 71-82.
- Pereira, M.R., Montes, R., Gomes, M.E., Ferreira, A. & Avila, P. 2008. Geochemistry of soils and waters from abandoned Freixeda Gold Mine, Northeast Portugal. *Macla*, 10: 136-137
- Pérez, L., Moreno, A.M. & González, J. 2000. Valoración de la calidad de un suelo en función del contenido y disponibilidad de metales pesados. *Edafología*, 7-3: 113-120.
- Pla Sentís, I. 1997. Evaluación de los procesos de salinización de suelos bajo riego. in *SECS 50 Aniversario Ponencias*, pp.

- 241-267, Madrid, España.
- Recatalá, L. & Sánchez, J. 1993. Propuesta metodológica para valoración de la calidad ambiental de suelos para evaluación de impacto ambiental en el ámbito mediterráneo valenciano In R. Ortiz ed. Problemática Geoambiental y Desarrollo, pp. 727-737. Campobell, Murcia.
- Recatalá, L., Fabbri, A.G., Zinck, J.A., Francés, E. & Sánchez, J. 2002. Environmental indicators for assessing and monitoring desertification and its influence on environmental quality in Mediterranean arid environments. In J.L. Rubio, R.P.C., Morgan, S. Asins, and V. Andreu (eds). Man and Soil at the Third Millennium, pp 897-910. Geoforma Publishers, Logroño, España
- Romero, A., González, I. & Galán, E. 2005. Las eflorescencias derivadas del drenaje ácido de minas como acumuladoras de elementos tóxicos. El caso de Peña del Hierro. (SO de España). Macla, 3: 177-178.
- Sánchez, J., López, E., Aduvire O. & Santofimia, E. 2003. Los drenajes ácidos de mina y su afección a la red fluvial en la cuenca del río Odiel, faja pirítica ibérica, Huelva : Estudio Preliminar. Boletín de la sociedad Española de Mineralogía, 26-A: 101-102.
- Simón, M., García, I., Cabezas, O. & Guillén, F. 1993. Distribución de las sales en el paisaje. Relación con los procesos morfogénicos. In R. Ortiz R. ed. Problemática Geoambiental y Desarrollo, pp 395-401. Campobell, Murcia.
- Szabolcs, I. 1994. Prospects of soil salinity for the 21<sup>st</sup> century. Transactions. Volume 1. Inaugural and State of the Art Conferences. 15 th World Congress of Soil Science. ISSS & MSSS. Mexico.
- Tóth, T. & Blaskó, L. 1998. Secondary salinization caused by irrigation. In Rodríguez, Jiménez and Tejedor (eds). The soil as an strategic resource: degradation processes and conservation measures, pp. 229-253, Publishers Geoforma, Logroño, España.
- Van Reeuwijk, L.P. (ed). 1995. Procedures for Soil Analysis. Fifth ed. Technical Paper 9. ISRIC. Wageningen.
- Watanabe, F.S. & Olsen, S.R. 1965. Test of ascorbic acid method for determining phosphorus in water and NaHCO<sub>3</sub> extracts from soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 29: 677-678.
- Wienhold, B. J. & Trooien, T.P. 1998. Irrigation water effects on infiltration rate in the northern Great Plains. Soil Science, 163: 853-858.