

# AFECCIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS POR METALES PESADOS EN ÁREAS LIMÍTROFES A EXPLOTACIONES MINERAS DEL SURESTE DE ESPAÑA

*F. Belmonte Serrato<sup>1</sup>, A. Romero Díaz<sup>1</sup>, F. Alonso Sarría<sup>1</sup>, J. Moreno  
Brotóns y S. Rojo López*  
Universidad de Murcia

## RESUMEN

Se analiza la contaminación por metales en suelos agrícolas en el entorno de la Sierra minera de Cartagena-La Unión. El muestreo se realizó cogiendo 20 muestras de suelo en uso agrícola mediante una distribución aleatoria en un área de unos 100 km<sup>2</sup> en torno a la Sierra Minera.

Los resultados han detectado concentraciones importantes, que alcanzan y superan los niveles máximos permitidos por diversas normativas internacionales de hasta 11 de los elementos denominados «metales pesados». Aluminio y Hierro destaca sobre los demás con concentraciones medias porcentuales de 13% y 10% respectivamente. Pero hay que destacar la contaminación excesiva de plomo (Pb) y Zinc (Zn) que duplica e incluso triplica el máximo establecido por las leyes más permisivas, superando con mucho los niveles máximos a partir de los cuales se requiere una intervención obligatoria en todas las legislaciones consultadas.

**Palabras clave:** Minería, metales pesados, contaminación de suelos, sureste de España.

## EFFECTS OF HEAVY METALS IN AGRICULTURAL SOILS ADJACENT TO MINING AREAS IN SOUTHEASTERN SPAIN

## ABSTRACT

In this work we have analyzed metal pollution in agricultural soils near the mining district of Cartagena-La Union. Sampling was performed by taking 20 samples of agricultural soils through a random distribution in an area of 100 km<sup>2</sup> around the Sierra Minera.

---

Fecha de recepción: 3 de mayo de 2010. Fecha de aceptación: 26 de mayo de 2010.

1 Departamento de Geografía, Universidad de Murcia, Campus de La Merced, 30.001 Murcia (España).  
E-mail: franbel@um.es, arodi@um.es, alonsarp@um.es

The results show significant concentrations that meet and exceed the maximum levels permitted by international regulations in eleven different heavy metals. Aluminum and Iron stand out above the others with mean concentrations of 13% and 10% respectively. It is also remarkable the excessive contamination of lead (Pb) and Zinc (Zn), doubling and even tripling the maximum established by the more permissive laws and exceeding by far the levels above which intervention is needed, after all consulted legislations.

**Key words:** Mining, heavy metals, soil contamination, southeastern Spain.

## 1. INTRODUCCIÓN

Como «metales pesados» son considerados todos aquellos elementos metálicos con peso atómico mayor que el del hierro (55,85 g/mol), en total 59 elementos. Pero si consideramos sólo estos elementos, quedarían fuera numerosos metales con pesos atómicos inferiores que con frecuencia pueden ser metales contaminantes como el Mn (54,44 g/mol) o el Cr (52,01 g/mol) y otros elementos contaminantes que no son metales como As, F y P. Por ello, siguiendo a Galan, Huertos y Romero Baena (2008), consideramos mejor hablar de «elementos traza» para todos aquellos elementos metálicos y no metálicos que pueden constituirse como contaminantes en un suelo, ya que, aunque hay que reconocer que la mayoría de los contaminantes inorgánicos son «metales pesados», a veces, la contaminación del suelo se puede producir por altas concentraciones de otros elementos mayoritarios como Na, Fe, o Al.

La presencia de los elementos traza o metales pesados en los suelos puede deberse a factores geológicos o antropológicos. Los primeros dependen, en gran medida, de la denominada geodisponibilidad, que hace referencia a la porción de un elemento o compuesto químico que puede liberarse a la superficie o cerca de ella, por procesos mecánicos, químicos o biológicos (Plumlee, 1994). Pero la geodisponibilidad de los elementos de las rocas y su aportación al suelo es insignificante en comparación con las derivadas de las acciones antropogénicas (Galan, Huertos y Romero Baena, 2008). Las principales concentraciones anómalas de metales pesados y elementos traza en suelos, procede mayoritariamente de la extracción de recursos minerales, sobre todo de menas metálicas (sulfuros, óxidos). Estas extracciones, han generado grandes beneficios que, en algunos casos, ha supuesto el desarrollo industrial y social de su entorno, pero las actividades mineras también son conocidas mundialmente por causar importantes efectos adversos al medioambiente, asociados, principalmente, con la deposición de grandes volúmenes de residuos, la mayoría con piritas y otros sulfuros, cuya oxidación libera grandes cantidades de metales pesados. Los residuos, se concentran generalmente en «escombreras», sobre todo en la minería a cielo abierto, pero también se depositan en «pantanos de lodos» procedentes del lavado del mineral.

La Sierra de Cartagena-La Unión ha sido uno de los distritos mineros más importantes de España y el más representativo de la Región de Murcia por sus yacimientos de hierro, plomo y zinc, de especial interés minero. Con más de 2.500 años de historia, la Sierra Minera, ha sido objeto de explotación desde la época de cartagineses y romanos hasta finales del siglo XX, con su máximo apogeo en los siglos XIX y XX.

A partir de 1992, el cese de las actividades mineras y el abandono de los pantanos de estériles, fácilmente erosionables tanto por erosión hídrica como eólica (Moreno Brotóns, *et al.*, 2009), ha provocando la liberación y dispersión de metales pesados y elementos traza. Situación que, de no llevarse a cabo ninguna actuación de remediación, podría durar cientos de años (Gundersen *et al.*, 2001; Tiwary, 2001). Sobre todo, teniendo en cuenta que se ha demostrado que estos estériles contienen importantes cantidades de metales pesados como plomo, zinc, cobre y cadmio, que exceden los niveles críticos europeos (Conesa *et al.*, 2006), con una elevada movilidad potencial demostrada a través de pruebas de lavado y de extracciones secuenciales que podrían ser la causa de las elevadas concentraciones de metales pesados descritas en los suelos cercanos a la sierra minera (García *et al.*, 2003), en los lechos de las principales ramblas de la zona (Simoneau, 1973), e incluso en los sedimentos del humedal de Lo Poyo adyacente a la laguna del Mar Menor y situado en la desembocadura de la rambla de El Beal que drena parte de la sierra minera (Álvarez Rogél *et al.*, 2004).

En el entorno de esta histórica área minera, se desarrolla en la actualidad una importante agricultura de mercado en la que se sustenta una buena parte de la economía de la zona, que puede verse afectada por la contaminación procedente de la sierra minera. Tanto por deposición de polvo arrastrado por el viento, como por lodos canalizados a ramblas y depositados por las crecidas de estas en tormentas de alta intensidad.

El objetivo de este trabajo es evaluar la concentración de «metales pesados» y/o «elementos traza» en suelos agrícolas de una extensa zona (100 Km<sup>2</sup>) adyacente a la sierra minera y valorar el nivel de contaminación por metales en los primeros 10 cm de capa arable, en comparación a los valores de referencia establecidos por diversas legislaciones.

## 2. ÁREA DE ESTUDIO

El distrito minero de Cartagena-La Unión (Figura 1) se ubica en el extremo oriental de la Comunidad Autónoma de la Región de Murcia (Sureste de España) y comprende los municipios de La Unión y las diputaciones (o pedanías) cartageneras de El Llano del Beal, El Beal, El Estrecho de San Ginés y Alumbres. Aunque la zona minera se encuentra, casi en su totalidad, en el municipio de La Unión y ocupa poco más de 50 Km<sup>2</sup>.

## 3. METODOLOGÍA

### 3.1. Muestreo de suelos

Se tomaron 20 muestras de suelo en uso agrícola mediante una distribución aleatoria en un área de unos 100 km<sup>2</sup>. Estas muestras eran parte de un muestreo más extenso con 52 muestras que incluían además 7 muestras en suelos de zonas naturales y 21 en suelos en el interior de la sierra minera, en escombreras, pantanos mineros y suelos alterados por la actividad minera. Además se tomaron otras 23 muestras en los cauces principales de 8 ramblas que drenan la Sierra Minera (Figura 2).

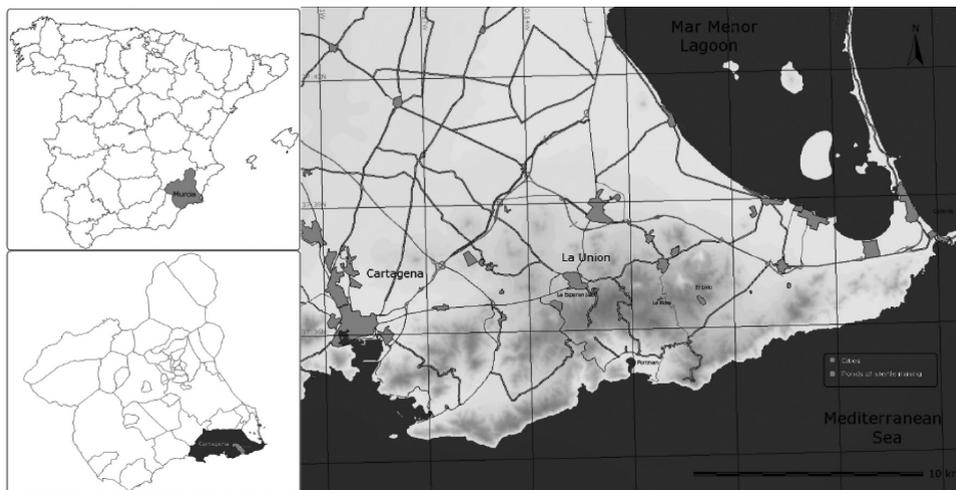


FIGURA 1  
Localización del área de estudio.

### 3.2. Análisis de las muestras

Se realizaron 2 tipos de análisis: Fluorescencia de Rayos X, mediante un equipo Philips X'Pert, y ICP-MS y espectrometría, mediante un equipo Optical Emission Spectrometer OPTIMA 2000 DV.

Los valores obtenidos para metales pesados, fueron analizados en el ICP, tomando como referencia multipatrones realizados a tal efecto. Dichos patrones contenían concentraciones de metales que deleitaban un rango continuo, dentro del cual se previó que podrían entrar las muestras. Así se obtuvieron una serie de rectas de calibrado con un error casi despreciable ( $r^2 = 0,99$ ), de manera que los datos derivados a partir de las mismas resultan fiables.

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Elementos detectados en las muestras

El análisis fluorométrico realizado a las 52 muestras de suelo ha detectado la presencia de 23 elementos metálicos y no metálicos que se muestran en la tabla 1. El Silicio es el elemento más abundante en todas las muestras con porcentajes del 55% en suelos de zonas naturales, 46% en suelos agrícolas y 40% en suelos mineros. Le siguen Aluminio (Al), calcio (Ca) y hierro (Fe), que en conjunto, con el silicio suponen el 80% en suelos mineros, 85% en suelos naturales y 82% en suelos agrícolas.

En cuanto a metales pesados o elementos traza presentes en las muestras, 10 son metales pesados en su significado más estricto, de los cuales seis, Ni, Cu, Zn, As, Sn y

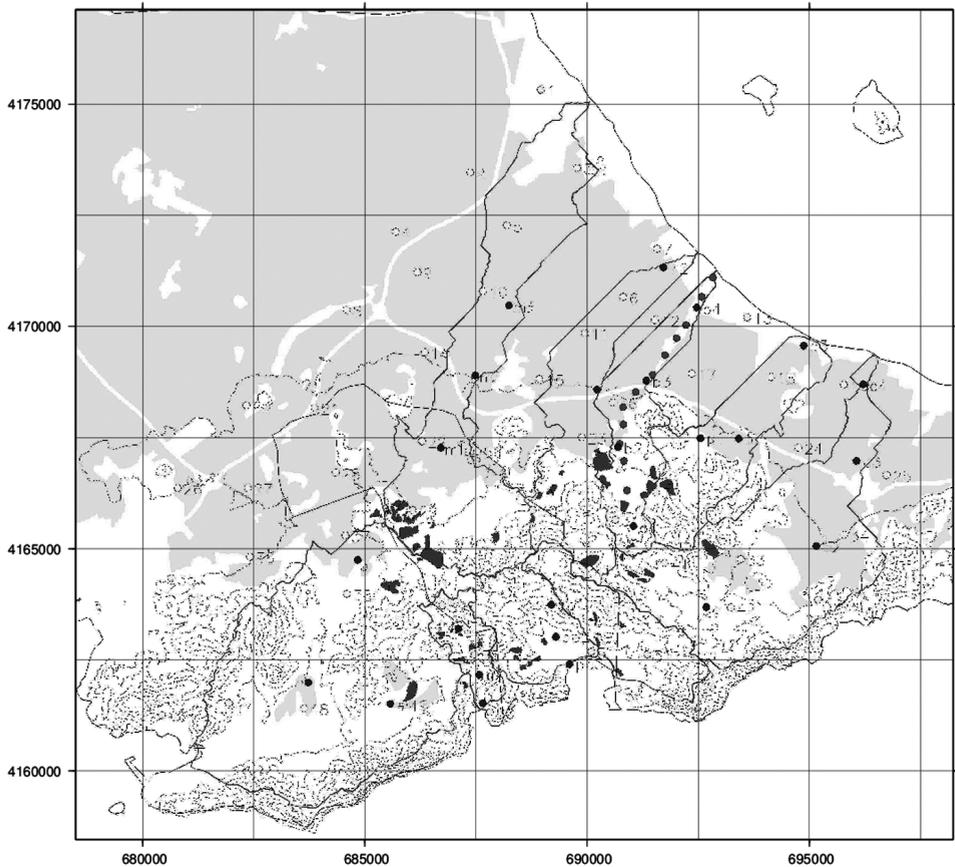


FIGURA 2

Localización de los puntos de muestreo y delimitación de la zona agrícola.

Pb, son considerados como muy tóxicos, junto con otro elemento traza, el Cromo (Cr). El resto, no son considerados como elementos especialmente tóxicos, al menos, no con la frecuencia de los mencionados.

#### 4.2. Valores de referencia

Se habla de contaminación por metales pesados cuando el contenido en los mismos excede considerablemente de los valores «habituales» en el tipo de suelo que se está considerando. Bowie y Thornton, (1985) establecen una serie de valores para suelos considerados «normales» y para aquellos con valores excesivos, con independencia del tipo de suelo (Tabla 2).

TABLA 1  
Concentración media en ppm de los elementos detectados en los suelos muestreados.

<b>Elementos presentes en las muestras</b>				
<b>Peso atómico</b>	<b>Elemento</b>	<b>Suelos mineros ppm</b>	<b>Suelos naturales ppm</b>	<b>Suelos agrícolas ppm</b>
<b>Metales</b>				
<b>22,99</b>	<b>Na ***</b>	4.525	4.523	3.877
<b>24,30</b>	<b>Mg ***</b>	30.587	19.257	21.291
<b>26,98</b>	<b>Al</b>	116.592	167.078	139.889
<b>28,086</b>	<b>Si</b>	397.015	547.809	460.998
<b>39,098</b>	<b>K ***</b>	21.493	30.017	26.439
<b>40,08</b>	<b>Ca***</b>	157.561	62.108	152.590
<b>47,90</b>	<b>Ti *</b>	6.040	8.446	6.547
<b>51,99</b>	<b>Cr **</b>	125 (3 muestras)	92	189 (3 muestras)
<b>54,94</b>	<b>Mn **</b>	3.135	2.146	1.300
<b>55,847</b>	<b>Fe **</b>	129.769	70.009	66.123
<b>«Metales pesados»</b>				
<b>58,71</b>	<b>Ni *</b>	117 (3 muestras)	0	139 (7 muestras)
<b>63,57</b>	<b>Cu **</b>	320 (5 muestras)	0	148 (1 muestra)
<b>65,37</b>	<b>Zn **</b>	3.274	310	751
<b>74,92</b>	<b>As **</b>	556 (5 muestras)	0	0
<b>85,47</b>	<b>Rb</b>	4.824 (5 muestras)	0	101 (5 muestras)
<b>87,62</b>	<b>Sr</b>	157	0	254
<b>91,22</b>	<b>Zr</b>	184	236	253
<b>118,69</b>	<b>Sn *</b>	2.541 (2 muestras)	0	0
<b>137,34</b>	<b>Ba</b>	803	949	656
<b>207,19</b>	<b>Pb *</b>	5.208	486	1.210
<b>Elementos no metálicos</b>				
<b>30,97</b>	<b>P ***</b>	2.173	1.582	2.316
<b>32,074</b>	<b>S ***</b>	26.180	1.353	1.344
<b>35,45</b>	<b>Cl ***</b>	928	472 (2 muestras)	887

- (3 muestras) = Entre paréntesis el número de muestras en las que aparece ese elemento a partir de las cuales se ha hecho el promedio. El cero indica que en ninguna muestra se ha detectado el elemento.

- Casillas con fondo más oscuro los «metales pesados» o «elementos traza», considerados como muy tóxicos y fácilmente disponibles en muchos suelos (Novotny, 1995) o dentro de la lista de contaminantes prioritarios de la US Environmental Protection Agency.

(\*\*\*) = Macronutrientes (100 mg o más por día)

(\*\*) = Micronutrientes esenciales (unos pocos mg por día)

(\*) = Metales pesados no esenciales

TABLA 2  
Concentraciones geoquímicas «normales y anómalas en algunos elementos traza y valores obtenidos en nuestro muestreo para suelos agrícolas.

Elemento	Rango «normal» ppm	Concentraciones anómalas ppm	Suelos agrícolas ppm
As	5-40	>2.500	0
Cu	60	>2.000	148
Ni	2-100	>8.000	139
Pb	10-150	≥10.000	1.210
Zn	25-200	≥10.000	751

Fuente: Bowie y Thornton (1985) y elaboración propia.

Con esto, una concentración en plomo de 1.000 ppm puede estar ocasionada por una contaminación externa o bien deberse a un nivel geoquímico muy alto del propio suelo. En nuestro muestreo, salvo el arsénico que no aparece en ninguna de las muestras, todos superan el rango considerado «normal» en suelos por Bowie y Thornton (1985). Sobre todo, Pb y Zn, muy por encima de la concentración «normal».

### 4.3. Máximos admisibles por diversas legislaciones

Los umbrales máximos admisibles por diversas legislaciones se encuentran recogidos en la tabla 3. En este caso, la concentración de metales pesados en los suelos agrícolas muestreados supera ligeramente las concentraciones máximas permitidas por muchas legislaciones para el caso del Cr, Ni y Cu, salvo las normas españolas y alemana, que parecen ser bastante más permisivas.

Pero las concentraciones medias de Zinc y, sobre todo Plomo en el área estudiada, superan ampliamente los límites máximos permitidos por todas las legislaciones consultadas, incluyendo las legislaciones españolas y alemana, bastante más permisivas. La concentración de plomo es 20 veces superior a nivel considerado como «contaminación» por la legislación Holandesa e incluso, dobla el nivel establecido como de necesidad de saneamiento urgente de esos suelos establecido por esa legislación. Cuadruplica el nivel máximo permitido por la Comunidad Europea, que lo establece en 300 ppm. Y es superior al nivel máximo permitido por legislaciones tan permisivas como la alemana.

El zinc dobla el nivel máximo establecido en la legislación española y supera también los niveles de la legislación alemana.

Por otra parte, los niveles de peligrosidad del plomo establecidos por la ley andaluza, la más próxima a la Región de Murcia, indican que es necesario un tratamiento de remediación, cuando la concentración es superior a 350 mg/Kg en suelos agrícolas; cuando supera los 1.000 mg/Kg en parques naturales y zonas forestales; y con niveles superiores a 2.000 mg/Kg en zonas industriales. En los suelos analizados por nosotros la concentración

TABLA 3

Valores máximos admisibles por la legislación de algunos países y comunidades autónomas españolas de contaminación por metales en suelos agrícolas (mg/kg).

País	Cr	Ni	Cu	Zn	Pb
UE (máximo)	-	75	140	300	300
Austria	100	100	100	300	100
Canadá	75	100	100	400	200
Polonia	100	100	100	300	100
Japón	-	100	125	250	400
G. Bretaña	50	50	100	300	100
Alemania	200	200	200	600	1.000
Holanda (*)	100	50	50	200	50
Holanda (**)	800	500	500	3.000	600
España (***)	100-1.000	30-300	50-1.000	150-2.500	50-750
Andalucía	250-400	80-200	150-300	300-600	250-350
P. Vasco	-	280	250	840	330
<b>Nuestros suelos</b>	<b>189</b>	<b>139</b>	<b>148</b>	<b>751</b>	<b>1.210</b>

(\*) Niveles de contaminación.

(\*\*) Niveles de necesidad urgente de intervención (Macías, 1993).

(\*\*\*) En España se contempla la contaminación sólo en el caso de la adicción de lodos de depuradora como enmienda orgánica.

media de plomo en los suelos naturales alcanza las 485 mg/Kg, casi un 50% inferior al nivel de intervención. Pero, tanto los suelos agrícolas, con una concentración media de 1.210 mg/Kg, como los suelos industriales, con una concentración media de 5.208 mg/Kg, superan con mucho los niveles de intervención establecidos que son de 350 mg/Kg y 2.000 mg/Kg, respectivamente.

Con el zinc sucede lo mismo, los niveles tanto para suelos agrícolas como para suelos industriales duplican los niveles de referencia de la norma andaluza, que establece estos niveles en 600 mg/Kg y 1.000 mg/Kg, respectivamente.

## 5. CONCLUSIONES

En los suelos de la sierra minera y su entorno se han detectado concentraciones importantes, que alcanzan y superan los niveles máximos permitidos por diversas normativas internacionales de hasta 14 de los elementos denominados «metales pesados» o «elementos traza».

En suelos agrícolas, los metales pesados o elementos traza, que se han detectado, y que son considerados como muy tóxicos y fácilmente disponibles, son Cr, Ni, Cu, Zn, y Pb. Estos elementos presentan concentraciones superiores a los valores considerados «normales» en suelos, según Bowie y Thornton (1985).

Las concentraciones de metales pesados en los suelos agrícolas muestreados, supera ligeramente las concentraciones máximas permitidas por muchas legislaciones para el caso del Cr, Ni y Cu, salvo las normas españolas y alemana, que parecen ser bastante más permisivas. Pero las concentraciones medias de Zinc y, sobre todo Plomo, superan ampliamente los límites máximos permitidos por todas las legislaciones consultadas

La concentración de plomo es 20 veces superior al nivel considerado como «contaminación» por la legislación Holandesa e incluso, dobla el nivel establecido como de necesidad de saneamiento urgente de esos suelos, establecido por esa legislación. Cuadruplica el nivel máximo permitido por la Comunidad Europea, que lo establece en 300 ppm., y es superior al nivel máximo permitido por legislaciones tan permisivas como la alemana.

El zinc dobla el nivel máximo establecido en la legislación española y supera también los niveles de la legislación alemana.

Es importante resaltar que, aunque esto no ha sido objeto del presente trabajo, toda el área padece una fuerte sequía estival que reseca enormemente el suelo y facilita el proceso de erosión eólica, especialmente en suelos agrícolas y pantanos mineros, favoreciendo así la dispersión de los contaminantes que pasan incluso a las vías respiratorias y a los pulmones cuando las partículas movilizadas tienen un tamaño PM10.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- ÁLVAREZ ROGÉL, J., RAMOS, M.J., DELGADO, M.J. (2004): Características edáficas y contaminación por residuos mineros en el paraje protegido del saladar de Lo Poyo, Región de Murcia. En: I Symposium Nacional sobre control de la erosión y degradación del suelo.
- BOWIE, S.H.U., THORNTON (1985). *Environmental Geochemistry and Health*. Kluwer Academic Publ. Hingham, M.A.
- GALÁN HUERTOS, E., ROMERO BAENA, A. (2008). Contaminación de suelos por metales pesados. *Macla*, 10, 48-60.
- CONESA, H.M., FAZ, A., ARNALDOS, R. (2006): Heavy metal acumulación and tolerante in plants from mine tailings of the semiarid Cartagena-La Unión mining district (SE Spain). *Science of the Total Environment*, 366, 1-11.
- GARCÍA, C., FAZ, A., CONESA, H.M. (2003): Selection of autochthonous plant species from SE Spain for soil lead phytoremediation purposes. *Water, Air and Soil Pollution*, 3, 243-250.
- GUNDERSEN, P., OLSVIK, P.A., STEINNES, E. (2001). Variations in heavy metal concentration in two mining-polluted streams in central Norway. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 20, 978-984.
- MORENO BROTONS, J., ROMERO DÍAZ, A., ALONSO SARRÍA, F., BELMONTE SERRATO, F. (2009). Wind erosion on mining waste Southeast Spain. *Land Degradation & development*, 20, 1-8.

- PLUMLEE, G. (1994): Environmental geology models of mineral deposits. *SEG Newsletter*, 16, 5-6.
- SIMONEAU, J. (1973): Mar menor; Evolution Sedimentologique et Geochimique recenté du remplissage. These presenté à l'université Paul Sebatier de Toulouse. (Sciences). France
- TIWARY, R.K. (2001). Environmental impact of coal mining on water regime and its management. *Water, Air and Soil Pollution*, 132, 185-199.
- .