

**Departamento de Geología. Área de Petrología y Geoquímica**

**Universidad de Salamanca – Facultad de Ciencias**



**Geoquímica de un suelo desarrollado en los  
alrededores de una actividad minera: el caso de  
Barruecopardo.**

**Cristina Espinosa Gómez.**

**2011**

Dña. María Dolores Pereira Gómez, Profesora Titular del Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

**CERTIFICA:**

Que el Trabajo Fin de Carrera titulado “Geoquímica de un suelo desarrollado en los alrededores de una actividad minera: el caso de Barruecopardo” ha sido realizado bajo su tutela por Cristina Espinosa Gómez.

Salamanca, 8 de febrero de 2011.

Dra. D. María Dolores Pereira Gómez

**Agradecimientos:**

A Lola Pereira, por confiar en mí, ayudarme y apoyarme en la realización de este trabajo y transmitirme sus conocimientos.

A los miembros del Área de Petrología y Geoquímica por su apoyo técnico y material y su amable colaboración en el desarrollo de este proyecto.

A los miembros del Servicio General de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca.

A mis amigas, por ayudarme y apoyarme durante todo este tiempo, en especial a Marta, Ana, María y M<sup>a</sup> José, que en este último año han estado a mi lado.

A mi familia, a mis padres y mi hermana, por que sin su ayuda y apoyo no estaría aquí.

*Geoquímica de un suelo desarrollado en los alrededores de una actividad minera: el caso de Barruecopardo (2011).*

*Lo que sabemos es una gota de agua, lo que ignoramos es el océano.*

***Isaac Newton***

## **INDICE:**

1. INTRODUCCIÓN.....	6
Efectos de los elementos en los seres vivos.....	11
2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	13
3. MARCO GEOLÓGICO: MATERIALES SOBRE LOS QUE SE DESARROLLAN LAS FORMACIONES SUPERFICIALES MUESTREADAS.....	18
4. ANTECEDENTES.....	23
5. OBJETIVOS.....	29
6. METODOLOGÍA.....	30
5.1. Trabajo de campo.....	31
5.2. Trabajo de laboratorio.....	32
5.3. Trabajo de gabinete.....	34
7. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	35
Descripción de análisis .....	37
Elementos mayores.....	37
Elementos traza.....	64
Interpretación de resultados .....	81
8. DISCUSIÓN .....	83
8.1. Comparativa con la normativa holandesa.....	84
8.2. Las anomalías observadas .....	88

9. CONCLUSIONES.....92

10. BIBLIOGRAFIA.....93

ANEXO I

ANEXO II

## 1. INTRODUCCION.

El aumento de terrenos urbanizables y de la actividad industrial en los núcleos urbanos hacen que las características geoquímicas de los suelos en los que estos núcleos se ubican, cambien con la acción antropogénica, influyendo sobre ellos.

Los suelos se originan como producto de una larga evolución natural y están sometidos a los diferentes tipos de actividades, tanto humanas como animales.

La Ley 10/1998 de 21 de abril de residuos define como **suelo contaminado** todo aquel cuyas características físicas, químicas o biológicas han sido alteradas negativamente por la presencia de componentes de carácter peligroso, de origen humano, en concentración tal que comporte un riesgo para la salud humana o el medio ambiente, de acuerdo con los estándares que se determinen por el Gobierno.

Más actualmente, el Real Decreto 9/2005 de 14 de enero establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados (ver Real Decreto en Anexo I)

Aunque la geoquímica de un suelo es función directa de la geoquímica del sustrato geológico sobre el que se desarrolla, en ocasiones la sobreexplotación y el mal uso de los suelos han dado lugar a la contaminación y degradación de dichos suelos.

Podemos definir dos tipos de contaminación. Una es la *contaminación natural*, casi siempre endógena, producida por elementos que se acumulan en el suelo debido al desarrollo del mismo sobre una roca madre con un alto contenido en ciertos elementos. Otro tipo es la *contaminación inducida* o antrópica, de origen exógeno (González et al, 2002), que en su mayor parte es

producida por los seres humanos, y que puede tener importantes consecuencias sobre los suelos y sobre la vida que se realiza sobre ellos, tanto en plantas como en animales.

En 1988, se realizó un proyecto financiado por la Diputación de Salamanca, en el que se realizó un muestreo de suelos de la provincia, con la preparación y análisis de los mismos. Los resultados de dichos análisis indicaron que las formaciones superficiales no presentaban una marcada influencia en cuanto a contaminación en elementos traza (García Blázquez, 2002). Los datos obtenidos se pudieron comparar con los que estima la normativa holandesa como valores objetivo y valores de intervención, que se toman como referencia en toda Europa (ver valores en tabla 1 del Anexo II).

Según esta normativa, el valor objetivo es aquel valor para el cual un suelo es apto para una función determinada y valor de intervención es el valor que indica una clara contaminación y a partir del cual habría que elaborar un protocolo de recuperación, diferente para cada tipo de actividad. 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 & Pendias, 1992; Kabata Pendias, 1995; Martin, 2000, Perez et al., 2000).

En este trabajo se van a comparar los resultados obtenidos con los valores que marca la normativa holandesa, tanto objetivo como de intervención, y los valores propuestos por la normativa catalana (Tabla 2 del Anexo II). No existe una ley general para el Estado Español que proponga valores a partir de los cuales se considere que un suelo presenta contaminación. Por ello hemos utilizado las normativas citadas anteriormente.

En el suelo existen elementos minoritarios, que en excesivas cantidades pueden resultar perjudiciales para la salud. Dentro de estos elementos se encuentran los metales pesados, que en pequeñas cantidades pueden resultar



beneficiosos para los organismos vivos, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud, incluso pueden llegar a ser un peligro para las plantas que en ellos se desarrollan y para los animales que consumen estas plantas, incorporándose a la cadena trófica. El contenido total de metales pesados en el suelo da idea del nivel de contaminación, pero es la fracción asimilable de metal por la planta y su movilidad la que indica el grado de toxicidad potencial del elemento para los seres vivos (González et al., 2000; Pérez et al., 2000; González Hernández et al., 2002).

Este trabajo tiene como objetivo fundamental apreciar y diferenciar si las variaciones geoquímicas que se producen en los suelos se deben a causas extrínsecas al material (actividades antropogénicas) desarrolladas por la influencia de la explotación minera, que al desarrollarse sin la necesaria planificación producen un cambio negativo de las propiedades del suelo, pero teniendo en cuenta las características litológicas del medio, topografía y variaciones climáticas.

Para lograr este objetivo, se comparan nuestros datos con los datos obtenidos por García Blázquez, 2002 y con los datos de geoquímica del sustrato rocoso sobre el que se genera el suelo de este estudio para localizar los posibles focos de contaminación en una zona más concreta de la provincia de Salamanca, alrededor de la explotación minera de Barruecopardo. Aunque ésta explotación minera fue cerrada en los años ochenta (1983) debido a que su rendimiento no era económicamente rentable, el aumento de la cotización de wolframio en el mercado extranjero ha contribuido al aumento de los estudios de las minas de elementos metálicos en la provincia.

En las figuras 1, 2 y 3 se muestra el aspecto general de la zona de trabajo, así como el que muestra actualmente la explotación.



*Figura 1: Vista general de la zona de estudio.*



*Figura 2: Vista general de la zona de estudio.*



*Figura 3: Vista general de la mina.*

### **Efecto de los elementos en los seres humanos.**

Estudios en Geomedicina demuestran que dentro de factores que pueden ocasionar trastornos que afectan al ser humano se puede citar la acumulación de determinados elementos, y entre ellos se pueden agrupar algunos con características comunes, como pueden ser el vanadio, molibdeno, bario, sodio, azufre, silicio, aluminio y níquel, esenciales para algunos organismos, pero que pueden llegar a ser tóxicos en función de la concentración en la que se encuentran o cuando entran a formar parte de otros compuestos, potenciando su toxicidad. En los casos del cobre y del fósforo, si se administran en altas dosis tienen un efecto letal (Reimann-Caritat, 1998).

Una relación de elementos (litio, potasio, cinc, manganeso y magnesio) cuya toxicidad no está descrita bajo circunstancias normales y cuyas deficiencias son más extendidas, se consideran como elementos esenciales, es decir, básicos para el desarrollo de las funciones del organismo en óptimas condiciones. Por otro lado se puede mencionar el titanio, que ya no se considera como un elemento esencial (Reimann-Caritat, 1998).

El berilio y el estroncio son considerados como elementos tóxicos, pudiendo llegar a producir alteraciones en la reproducción celular y a altas concentraciones desarrollar ciertos tipos de cáncer.

El hierro se considera también un elemento esencial, pero puede llegar a ser tóxico para el ser humano si se ingiere agua con niveles de hierro superiores a 200 mg/l (Reimann-Caritat, 1998).

En el caso del cromo, el cual también es esencial para el desarrollo de las funciones del cuerpo humano bajo condiciones favorables, hay que considerar que puede presentarse como catión con valencia 6, extremadamente tóxico, siendo sus compuestos en algunos casos altamente cancerígenos.

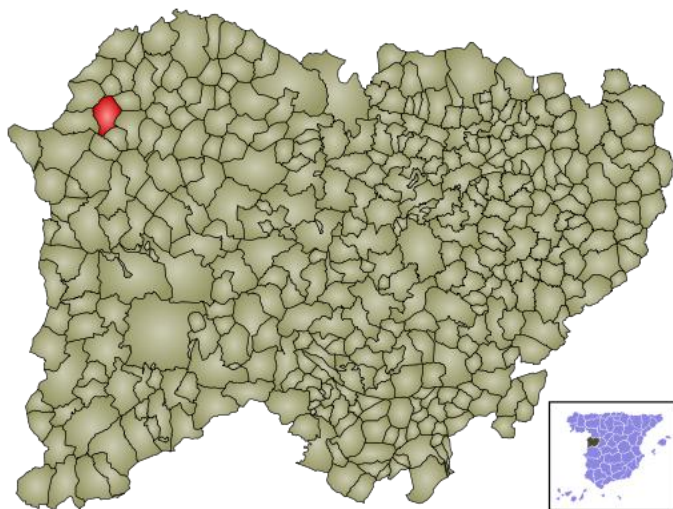
El cadmio es un elemento no tóxico en sí, pero es altamente dañino debido a su gran capacidad de sustitución en el organismo con el cobre, el hierro y el aluminio, impidiendo la función esencial que realizan estos elementos al ser expulsados de las estructuras en que se encuentran.

El plomo desarrolla su acción tóxica al ser adsorbido por el hígado, el pulmón, el encéfalo y los huesos y también debido a su difícil eliminación (ya que es un elemento de comportamiento acumulativo), porque el propio organismo no es capaz de eliminarlo con la facilidad como lo haría sobre otro tipo de elementos, y permanece mucho tiempo en el cuerpo humano antes de poder ser eliminado (Reimann-Caritat, 1998).

Por último mencionar el calcio, que es el mayor nutriente, siendo, por tanto, no tóxico, aunque si se ingieren altas cantidades puede depositarse en ciertas zonas del organismo y no eliminarse fácilmente (Tarvainen, 1996; Reimann-Caritat, 1998).

## **2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.**

La zona objeto de estudio está localizada en la parte noroeste de Salamanca, en los alrededores de la localidad de Barruecopardo y muy próxima a la frontera con Portugal (Figura 4).



*Figura 4: Localización de Barruecopardo en la provincia de Salamanca*

Se encuentra en la Hoja: Vilvestre (448/449); del Mapa Topográfico del Servicio Geográfico del Ejército a escala 1:50.000.

El municipio de Barruecopardo se encuentra a 94km de la capital y pertenece a la comarca de Las Arribes, dentro del Parque Natural de Las Arribes del Duero. Se sitúa a una altitud de 730 metros sobre el nivel del mar. Tiene una superficie de 37,85 kilómetros cuadrados y cuenta con una población de 501 habitantes. Barruecopardo ha sido un pueblo agrícola y ganadero hasta que se abrieron las minas, al mismo tiempo que estallaban las guerras mundiales (1914,1939), y que ha permanecido abierta hasta 1983...). Estas minas surtían de wolframio a la fábrica de Santa Ana de Bolueta en Vizcaya.

La superficie que ocupa la actividad minera es de 1500 metros de longitud en un recinto de cuatro hectáreas aproximadamente. En las figuras 5 y 6 se pueden apreciar varias vistas de la zona de trabajo.

En la provincia de Salamanca cabe destacar la presencia de penillanuras, cuya superficie es resultante del arrasamiento de la antigua alineación herciniana, que hace posible el afloramiento de los materiales característicos del zócalo, cuya heterogénea naturaleza geológica reproduce la diversidad del roquedo y de los procesos tectónico- erosivos que han afectado a su evolución a lo largo del tiempo, responsables de la formación de una típica penillanura poligénica. Cabe destacar como ejemplo, la notable importancia que en él adquiere el sector correspondiente a la penillanura granítica, desarrollada a expensas del gran batolito central, cuya resistencia ha favorecido la planitud del relieve, siendo característica esencial en los Campos de Ledesma y Vitigudino, este último donde se desarrolla este trabajo.

Las penillanuras de Salamanca, se encuentran sobre materiales metamórficos, flanqueando la superficie granítica. El Complejo Esquisto Grauváquico sobre el que se asientan, aparece localmente alterado por la frecuente presencia de relieves residuales (Sierra de Tamames) o por los procesos de hundimiento que han dado lugar a la formación de la cubeta tectónica de Ciudad Rodrigo, posteriormente recubierta por depósitos terciarios (Rodríguez Alonso, 1985; Díez Balda, 1986).

Salamanca presenta condiciones climáticas mediterráneas con influencia atlántica. En la zona en la que se encuentra el estudio de este trabajo, podemos decir que se trata de un clima mediterráneo térmico o eumediterráneo. Este tipo de clima se da porque hay valles protegidos de los vientos y las precipitaciones son más numerosas que en un clima mediterráneo típico.

Los inviernos son fríos alcanzando temperaturas de 3–4°C y dándose en ocasiones extremismo de las mínimas absolutas dando 15° y 18°C negativos, prolongándose las heladas. Los veranos dan medias que rozan los 21°C,

aunque esporádicamente se pueden experimentar ascensos que rebasan los 35 e incluso los 40 grados; pero la tónica dominante son estíos no excesivamente calurosos. La precipitación media anual varía según la orografía del terreno; en áreas de montaña se alcanzan volúmenes por encima de los 700 mm, pero la mayor parte del territorio se sitúa en el interior del espacio delimitado por las isoyetas de 350 y 500 mm. También la precipitación varía en función de la estación del año (Mapa hidrogeológico de Castilla y León, 1995). Debido a estas condiciones físicas, la actividad agrícola se basa principalmente en una agricultura tradicional, donde el cereal de secano es el cultivo predominante, aunque en los últimos años, se ha incrementado la extensión del campo de regadío, dedicado a los forrajes y hortalizas, situado en el fondo de los valles (Mapa Agronómico Nacional (cultivos y aprovechamientos), 1970)

Sobre el bloque paleozoico predominan las asociaciones de cambisoles húmicos y dístricos, y sobre los materiales del cenozoico aparecen luvisoles, pero la vegetación, el clima y la acción del hombre han hecho que aparezcan una gran variedad de suelos. En la zona que nos ocupa, los suelos más importantes que aparecen son cambisoles húmicos, dístricos y gleicos (Santos & García, 1993, Trueba *et al.*, 1999)

La cobertura vegetal en la zona presenta en su mayoría encinares, seguido de terrenos de cultivo, y en menor proporción formaciones vegetales de melojares o rebollares y regiones con matorrales subseriales, formaciones arbustivas y subarbustivas (jaras y tomillos) . En algunas áreas más montañosas, se pueden encontrar formaciones de pinares. En la zona de estudio podemos decir que la vegetación predominante son las jaras y los madroños en las orillas de los arroyos, y los robledales y encinares en las zonas menos húmedas.



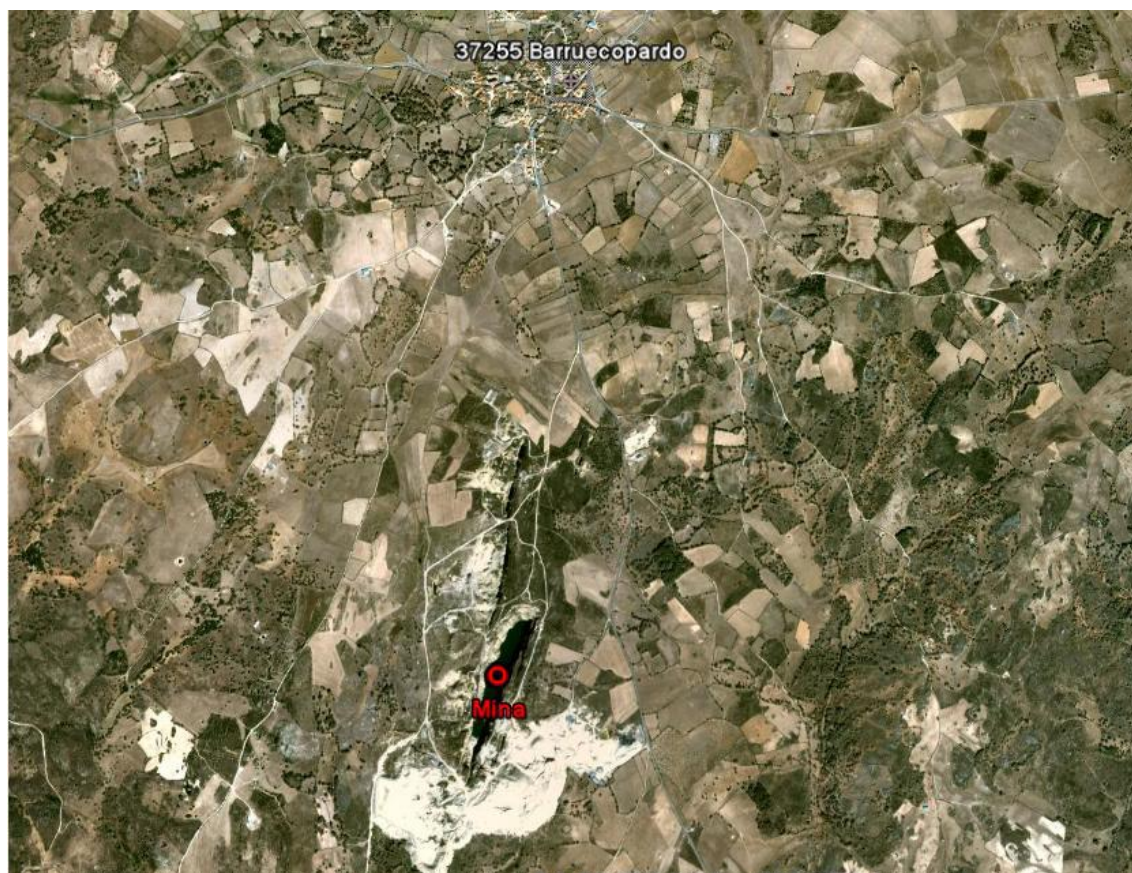
En la figura 5 se puede apreciar, en primer plano, edificios abandonados que formaban parte en la explotación de la mina, y en segundo término se puede apreciar la vegetación de la zona, con encinas y matorrales.



*Figura 5: Vista de edificios abandonados y vegetación en los alrededores de la mina.*

En el estudio de la geoquímica de suelos y formaciones superficiales en distintas regiones, es importante conocer el clima y la vegetación, ya que estos pueden actuar como factores capaces de movilizar los elementos, en función de las condiciones climatológicas o, en el caso de la flora, retener ciertos elementos de los estudiados y falsear los resultados obtenidos.

En la figura 6 vemos la vista aérea de la zona de estudio, en la que se ve la explotación minera.



*Figura 6: Vista general aérea de la zona de estudio.*

### 3. MARCO GEOLÓGICO: MATERIALES SOBRE LOS QUE SE DESARROLLAN LAS FORMACIONES SUPERFICIALES MUESTREADAS.

Es importante determinar el material geológico sobre el que se desarrollan las formaciones superficiales, puesto que determinados elementos traza pueden acumularse preferentemente en determinados minerales constituyentes de la roca. Geológicamente hablando, la provincia de Salamanca tiene un origen muy antiguo, con materiales ligados a la orogenia Hercínica. La comarca de Las Arribes, donde se encuentra el municipio de Barruecopardo, está formado por una serie de valles encajados por los que discurren el río Duero y sus afluentes. En la figura 7 podemos ver un mapa-esquema geológico del Macizo Ibérico.

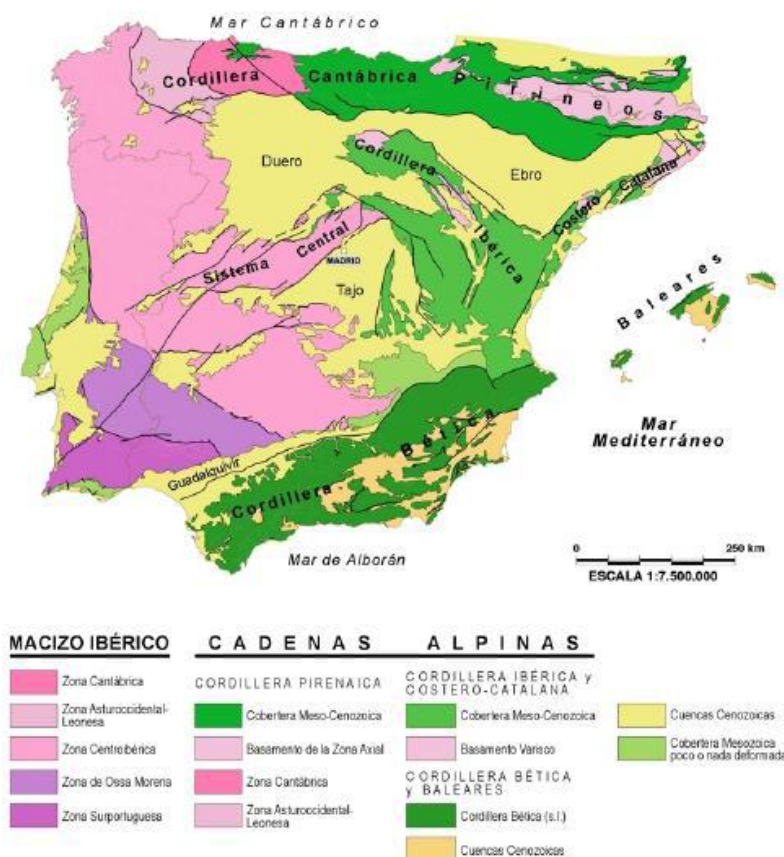
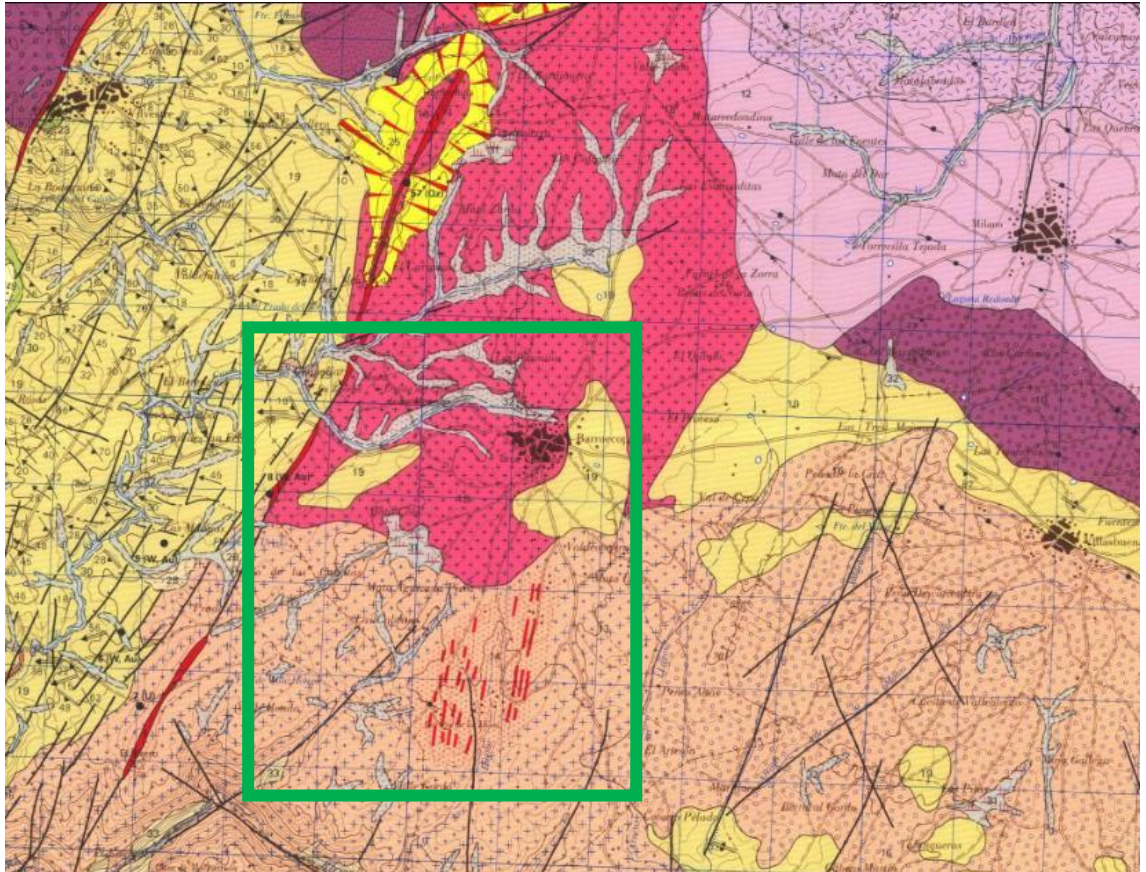


Figura 7: Materiales geológicos del Macizo Ibérico (Geología de España, 2004, Instituto Tecnológico Geominero).

La zona de estudio en la que se centra este trabajo, se encuentra enclavada en el macizo de Barruecopardo (Mapa Geológico de España escala 1:50000 del Instituto Geológico y Minero de España).

La figura 8 muestra el mapa geológico de la zona, con Barruecopardo en el centro de la imagen. Se ha señalado la zona de trabajo.



*Figura 8: Mapa geológico de la zona de estudio (Mapa Geológico de España (1996): Escala 1:50.000, nº 449).*

En la provincia de Salamanca hay dos unidades estructurales muy diferentes: el Macizo Hespérico y la Cuenca del Duero.

El Macizo Hespérico, donde se localiza Barruecopardo se caracteriza litológicamente por la gran extensión que ocupan los afloramientos de rocas graníticas y ortogneísicas, que a su vez se encajan en una potente serie metamórfico-sedimentaria. En esta serie metamórfica se distinguen materiales

de naturaleza esquistosa y otros de naturaleza diversa como areniscas, cuarcitas, calizas, etc. (Martínez Fernández, 1974; Carnicero, 1980; López-Plaza, 1982; Rodríguez Alonso, 1985; Diez Balda, 1986; Alonso Rojo *et al.*, 2002).

La Cuenca del Duero es una gran depresión formada por hundimiento del Macizo Hespérico (zócalo hercínico) que se ha rellenado por sedimentos continentales. Estos sedimentos Terciarios presentan en la provincia de Salamanca una gran variedad litológica (areniscas silíceas, conglomerados, arcillas, calizas, margas, etc.).

El río Duero y sus afluentes, Tormes entre otros, han cortado, al encajarse, los materiales geológicos antes citados, desarrollando sistemas de terrazas fluviales con depósitos de gravas y arenas del Cuaternario.

Sobre estos materiales se han desarrollado suelos de naturaleza diversa. Así, encontramos sobre granitos, cuarcitas y pizarras suelos ácidos de tipo Leptosoles y Regosoles eútricos y dístricos; suelos básicos de tipo Luvisoles y Cambisoles crómicos y cálcicos, sobre areniscas, conglomerados y depósitos fluviales; y por último Regosoles y Leptosoles calcáricos sobre margas y calizas (Trueba *et al.*, 1999).

La figura 9 muestra la división del macizo hespérico según Julivert.



Figura 9: División del Macizo Ibérico, según Julivert et al. (1974).

En la zona de estudio aparecen los siguientes tipos de litologías:

↳ Cantos y arenas (aluvial-coluvial): son mezclas de depósitos coluviales y fluviales de fondo de valle. Como el transporte es escaso, son cantos y arenas de tamaños variables. La potencia es escasa y está asociada a la dinámica actual.

↳ Granito “ala de mosca” de tamaño de grano medio-grueso: geoquímicamente, son rocas con cuarzo.

↳ Metasedimentos pelíticos-samíticos con intercalaciones cuarcíticas: se trata de sedimentos que contienen arcillas y arenas.

↳ Facies porfídica (macizo de Barreras-Saldeana): es un granito de dos micas. Su alteración da origen a grandes bolos redondeados de tamaño métrico y es lo que se denomina en geomorfología “berrocales”. Una de las características más destacables es el tamaño de grano. Los constituyentes de esta facies son: cuarzo, feldespato potásico, plagioclasas, biotita y moscovita, y como accesorios se encuentran opacos, circón, apatito y óxidos. Como minerales secundarios encontramos sericita, moscovita y clorita.

↳ Granito de Barruecopardo: se presenta en lajas y bolos redondeados dando berrocales. No presenta orientación o foliación mineral. Tienen gran contenido en cuarzo y corindón y bajo contenido en calcio, hierro, magnesio y titanio y alto contenido en fósforo. Se trata de un monzogranito en el diagrama QAPF.

#### **4. ANTECEDENTES.**

El imparable aumento de actividad industrial, así como todo tipo de acciones que conllevan una mejora en el nivel de vida de la sociedad actual, ha dado lugar a un incremento en la preocupación de los ciudadanos y las autoridades competentes por el efecto que aquellas producen indefectiblemente en el medioambiente. Los suelos son el principal agente protector de los sistemas hídricos y biológicos superficiales. Por esto, es muy importante conocer sus características y en el caso de que se observen irregularidades en su composición, actuar a tiempo (Seoáñez Calvo, 1999).

La zona de estudio de este trabajo, tuvo su máximo esplendor en la II guerra mundial (1939-1945), ya que el mineral extraído era utilizado por los participantes de la guerra para la fabricación de armamento. Los minerales que se extraían en esta mina son muy cotizados para la fabricación de herramientas de corte y de alta durabilidad y endurecimiento de acero.

Uno de los conceptos propuestos para la protección de la calidad ambiental son los *Estudios de Evaluación de Impactos Ambientales*, cuya utilización se inició en los años 70 y hoy están ampliamente difundidos en casi todos los países. Otro concepto importante es el de *Cargas Críticas de Contaminantes*, que se propuso en los años 80 cuando se empezó a discutir, a nivel mundial, sobre la reducción de las emisiones de gases contaminantes ácidos a la atmósfera. Se entiende como Carga Crítica de Contaminantes la máxima cantidad de un componente dado, que, a largo plazo, no causaría cambios químicos que produjesen efectos dañinos sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas (Nilsson, 1986; Nilsson y Grenfelt, 1988; Salazar Martínez, 2002).

Es importante saber que actualmente existen en nuestro país más estudios encaminados a conocer mejor los niveles de contaminación de los



diferentes suelos, que pueden ser utilizados para conocer mejor los suelos y como se verían afectados por la entrada de un agente contaminante. Uno de esos estudios se realiza paralelamente a este trabajo. En él se estudia la influencia en la concentración de metales pesados en un suelo en las cercanías de una carretera con tráfico intenso (Calvo Bueno, 2011).

La aplicación del concepto de carga crítica contaminante, parte de la idea de que es posible determinar las curvas de respuesta de los sistemas naturales frente a los diferentes contaminantes producidos por las actuaciones humanas. Determinando estas respuestas sería factible la selección previa de los lugares de instalación de determinadas actividades en aquellas zonas donde exista mayor capacidad de amortiguación de contaminantes (Cardona *et al.* 1997).

La contaminación de suelos se puede producir mediante diversas vías: a través de fuentes que dispersan los metales pesados, o bien a través de fuentes puntuales que originan la acumulación de éstos en áreas restringidas (González Hernández *et al.*, 2002; García, 2002). Como ejemplos de ambos tipos de fuentes podemos citar la polución que genera el tráfico como contaminante difusor y los residuos producidos por una explotación minera como agente contaminante, objeto de estudio de este trabajo. Los metales pesados tienden a acumularse e inmovilizarse en el suelo, pero hay una Carga Crítica desde la cual la acumulación y los fenómenos de amortiguación del suelo son insuficientes para proteger a los ecosistemas de los efectos nocivos de estos metales.

Además, la movilidad y biodisponibilidad de los metales pesados varía fuertemente en función de diferentes factores, especialmente con el pH (Jiménez Ballesta, 1995), es importante saber que los principales factores de la variación en los contenidos de metales pesados son el tipo de suelo y la litología (Navas, *et al.* 2002). Aunque existe una normativa holandesa en la que

se definen los valores objetivo y de intervención (ver punto 1 de esta memoria), de metales en sistemas terrestres y acuáticos, en gran parte de España no hay cartografía del contenido de metales pesados en los suelos.

Hay numerosa bibliografía sobre estudios realizados referentes a contenidos de diferentes metales pesados en suelos y plantas, entre los que pueden citarse, Lagarerrff & Specht, 1970; Gish & Christensen, 1973. ; Álvarez González, 1978; Sanchidrian & Mariño, 1980.

El protocolo internacional para el control de emisiones de metales pesados (firmado en Ginebra en 1998) considera que los metales más preocupantes son cadmio, mercurio y plomo.

En un principio la explotación de Barruecopardo fue abierta para la extracción de oro, en los años cuarenta. Fue descubierta por un ciudadano alemán y el primer pozo que se abrió fue en 1912, pero pronto fue cerrada, ya que dicha extracción de este metal no era rentable. Posteriormente fue reabierta para la explotación de otros minerales, para los cuales, la extracción si era económicamente rentable hasta que en 1983 la mina fue definitivamente cerrada. Esta explotación minera se va a reabrir en el año 2012 y por este motivo es interesante hacer un seguimiento de la posible influencia que tenga en el medio ambiente.

El yacimiento consiste en diversos filones de cuarzo con una dirección aproximada de N-S, paralela y abierta en abanico, con mineralización de wolframita, scheelita, arsenopirita y pirita. Los filones tienen una potencia aproximada de 2 a 10 metros, con una separación de 50 cm aproximadamente y que están asociados al granito de tendencia alcalina de dos micas, sintectónico, de Barruecopardo (Antona, J.F; Fallick, A.E; García Sanchez, A; 1992). Se trata de una zona muy rica en turmalinas. En la parte sur de la mina predomina la microclinización mientras que en la parte norte de la mina se hace

más notable la greisenización.

En las figuras 10 y 11 podemos ver alguno de estos filones de distinta potencia.



*Figura 10: Filones de la zona de estudio de distinta potencia.*



*Figura 11: Filones de la zona de estudio de distinta potencia.*

Los minerales que se extraían en la mina eran wolframita y scheelita. La wolframita químicamente se trata de un wolframato mixto de hierro y manganeso. La wolframita a menudo se encuentra con cuarzo en pegmatitas graníticas, como es el caso de la mina de Barruecopardo, pero también se encuentra como producto hidrotermal. A veces va acompañada de casiterita, blenda o galena. La scheelita es un mineral que está formado por tungsteno y calcio. Aparece como cristales prismáticos o aciculares y se utiliza principalmente como mena de óxido de wolframio (WO<sub>3</sub>).

En la figura 12 se puede apreciar la mineralización en uno de los diques que se encuentran en la zona de estudio



*Figura 12: Mineralización en un dique en la zona de estudio.*

Se pensó en la realización de este proyecto debido a que en la actualidad existen posibilidades de reabrir las minas. La posibilidad de reapertura pasa por que el mercado internacional del wolframio está en alza actualmente.

## **5. OBJETIVOS.**

Este trabajo pretende conocer si existe alguna concentración anómala de algún elemento pesado en el suelo de los alrededores de la explotación minera de Barruecopardo.

Se quiere conocer si las variaciones geoquímicas que se han producido en los suelos se deben a causas propias de la roca o a la influencia de las actividades antropogénicas desarrolladas en las cercanías de la actividad minera, teniendo en cuenta las características litológicas del medio, topografía y variaciones climáticas.

Para obtener esta información se compararan los datos recogidos para este trabajo con los datos procedentes de los análisis de García Blázquez, 2002 y los datos recogidos en el Magna.

Los datos de suelos de nuestro trabajo se comparan con al geoquímica publicada en la memoria del Magna hoja nº 448/449 en cuanto a mayores, tomando los elementos traza de López Plaza y Gonzalo, 1993.

## **6. METODOLOGÍA.**

Diferenciaremos dos apartados secuenciales. Para ello se han utilizado las muestras recogidas por García Blázquez, 2002 en las proximidades de la explotación minera, haciendo una conminución posterior sobre ellas (Página 31, al final).

1. El primero de ellos forma parte de un trabajo realizado por Ana María García Blázquez en el año 2002, en el cual se analizaron alrededor de 500 muestras entre las provincias de Salamanca y Valladolid, en función a la proximidad con alguna actividad antropogénica que pudiera influir en los aspectos geoquímicos de dichos suelos.

2. En el segundo, lo que se pretende es caracterizar geoquímicamente los suelos próximos a un posible foco de contaminación de carácter antrópico (la explotación minera de Barruecopardo) siendo la finalidad comprobar si existe una gradación entre las concentraciones de metales pesados biodisponibles en suelos con relación a la distancia del posible foco contaminante. Para ello se han utilizado las muestras recogidas por García Blázquez, 2002, en las proximidades de la explotación minera.

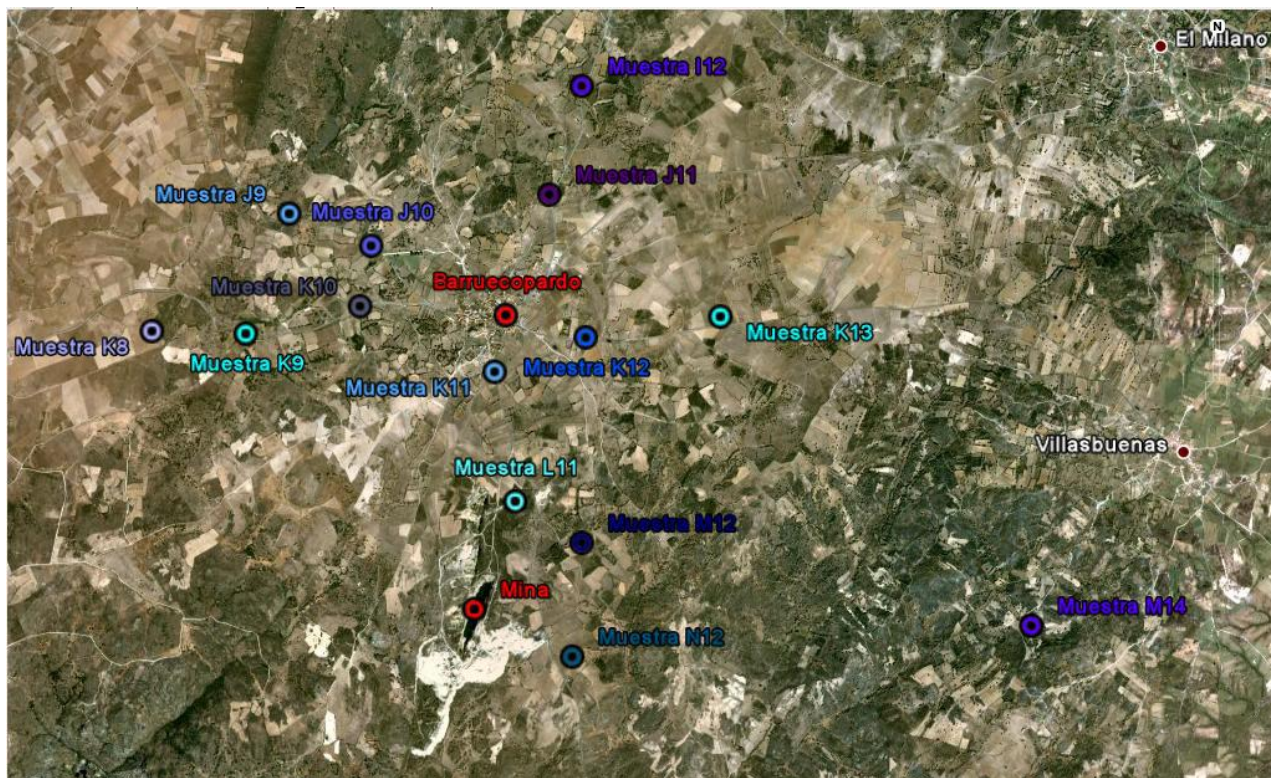
## **6.1. Trabajo de campo.**

Como habíamos utilizado las muestras ya recogidas, nuestro trabajo de campo consistió en ir a la zona donde se habían recogido dichas muestras y confirmar su localización.

Estas muestras fueron recogidas en el horizonte A de los suelos, que es la capa mas supercificial del suelo.

También en el trabajo de campo se observó si los puntos donde habían sido recogidas las muestras tenían alguna característica especial, como por ejemplo estar cerca de la explotación minera, estar próxima a núcleos de población, estar en alguna zona de cultivo, etcétera.

En la figura 13 están localizadas todas las muestras que se han utilizado en nuestro trabajo.



*Figura 13: Identificación de los puntos de recogida para comprobar su posición con respecto a la mina.*



## **6.2 Trabajo de laboratorio.**

Las muestras recogidas por García Blázquez, 2002, se bajaron al laboratorio del Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca para su análisis.

Allí se tamizaron con una malla de diámetro de 0.75 mm, almacenando sólo el material de tamaño inferior al de la malla. Posteriormente se molieron las muestras en un molino de aros excéntricos de volframato de tungsteno (de vidia) para su posterior análisis químico, el cual se ha realizado con un ICP-ES (Barrio Martín, 1995) en el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca. Se han determinado un total de 26 elementos en un total de 14 muestras.

Para la determinación de elementos mayores se han analizado con un espectrómetro ICP-OES y para los elementos traza se ha realizado un análisis con un espectrómetro ICP-MS.

En la figura 14 (a) vemos una fotografía del espectrómetro ICP-OES, y en la figura 14 (b) un espectrómetro ICP-MS.



*Figuras 14 (a) y (b): Espectrómetros.*

El ICP-OES se compone de dos porciones. El ICP y el óptico espectrómetro. La antorcha del ICP consiste en 3 concéntricos cuarzo tubos de cristal. Una bobina refrigerada por agua de a radiofrecuencia Generador (RF) que rodea la parte de la antorcha. Argón el gas se utiliza típicamente para crear plasma.

ICP-MS es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud ( ng/l – mg/l). Su principal característica es que posee unos límites de detección para la mayoría de los elementos de unas pocas ppb – ppt que la hace ideal para el análisis de elementos traza.

### **6.3 Trabajo de gabinete.**

El trabajo de gabinete ha implicado, en una primera fase, la elaboración de la síntesis geográfica, geológica y bibliográfica, relacionada, esta última, con los antecedentes en cuanto a concentraciones de metales pesados en distintas formaciones superficiales. Posteriormente, en una segunda fase, se ha procedido al análisis de los datos obtenidos, teniendo en cuenta los resultados destacados que se han encontrado.

Posteriormente, se llevó a cabo la representación gráfica de los datos obtenidos en el análisis de las muestras mediante la creación de tablas comparativas, que mostrasen la variación en la concentración de cada elemento, y la descripción e interpretación de las mayores concentraciones.

Además, se aplicó un estudio estadístico usando el coeficiente de correlación Pearson, pudiendo observar correlaciones diversas: los datos de García Blázquez con los datos de este trabajo y los datos geoquímicos del Magna con los datos de este estudio.

A partir de estos puntos se han elaborado una serie de conclusiones y una discusión sobre los resultados obtenidos.

En el trabajo se han utilizado una serie de programas informáticos, para procesar y evaluar los datos, así como para la obtención de gráficos, dibujos y fotografías:

1. Para procesar el texto se ha utilizado el programa WORD 2007.
2. Para la obtención de tablas y gráficos se ha utilizado el programa EXCEL 2007.

## **7. DESCRIPCIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.**

Las muestras estudiadas han sido recogidas en el horizonte más superficial de los suelos en los alrededores de la explotación minera, por eso hay que tener en cuenta que la mayoría de los máximos y mínimos obtenidos en cuanto a concentración, se debe a la influencia de esa proximidad.

Los elementos analizados en las muestras de estudio son: Si, As, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Li, Nb, Ni, Pb, S, Se, Sr, V, W, Zn, Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn, Na, P, Ti y Mo.

Para su descripción e interpretación se adjuntan las tablas en las que se encuentran los resultados obtenidos para los diferentes elementos analizados. En primer lugar se realiza una descripción de los diferentes elementos encontrados en el suelo.

En la tabla 1 se muestran los límites de detección en el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca, para muestras en disolución.

Si	0,05	Zn	0,01
Al	0,05	Li	0,05
Fe	0,05	Cu	0,01
Mn	0,01	Cr	0,05
Mg	0,01	V	0,01
Ca	0,01	Be	0,01
Na	0,07	Mo	0,01
K	0,05	Ni	0,05
Ti	0,05	Pb	0,05
P	0,50	Cd	0,02
Ba	0,01	Co	0,06
Sr	0,01	As	0,50
S	0,50	Se	0,50

Tabla 1: límites de detección en el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca para muestras en disolución.

La descripción de los resultados se realizará para cada elemento por separado a partir de los valores analíticos que se encuentran en las tablas 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16 y 17 del anexo II. Posteriormente se han realizado unos gráficos para ayudar a su comprensión en el análisis interelemental (gráficos 1 y 2 del anexo II). Cuando nos refiramos a los coeficientes de correlación, hay que señalar que el índice aplicado es de  $R > 0.75$  para considerar que dos elementos están correlacionados entre sí.

Las muestras que hemos tenido en cuenta en este trabajo son: I12, J9, J10, J11, K8, K9, K10, K11, K12, K13, L11, M12, M14, N12. Se han elegido estas muestras para aplicar los resultados a nuestros objetivos y ver si la proximidad de la mina influye en la geoquímica de los suelos.

### **Descripción de análisis.**

Hay que recordar en este punto, que los análisis realizados para este trabajo, son concentraciones en suelo, ya que los análisis realizados para el trabajo de García Blázquez, 2002, fueron concentraciones en disolución.

#### **Elementos mayores:**

**Silicio:** El silicio es un elemento que aparece a elevadas concentraciones en torno a las carreteras, aunque puede deberse a que el punto donde aparece la máxima concentración de este elemento esté próximo a una carretera. La máxima concentración de silicio la encontramos en la muestra I12, con un valor de 73,25%. Esta muestra está situada al Norte del núcleo urbano de Barruecopardo, junto a la carretera que lo une con La Zarza de Pumareda. Es una muestra se que encuentra muy alejada de la mina, en una zona relativamente llana, próxima a la Ribera de las Casas. Se trata de una muestra recogida sobre metasedimentos pelítico-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. En esta muestra encontramos el valor máximo de concentración también de cinc, y el mínimo valor de níquel. El máximo valor para este elemento encontrado por García Blázquez, (2002) es de 32,56 ppm (0,003 %) en la muestra K12, en una zona bastante próxima a la explotación minera. Podemos destacar que en éste mismo punto de muestreo García Blázquez localizó también la máxima concentración de magnesio, calcio, titanio, bario, estroncio, azufre, zinc, litio, níquel, plomo, cobalto y selenio. En cuanto a la geología en la que se localizó la muestra, se trata de un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca”, grano medio-grueso. Esta muestra K12 se encuentra en una zona llana próxima al arroyo de las Yagos.

El valor mínimo de silicio encontrado aparece en la muestra K12, con un valor de 62,75 %. Es una muestra recogida al Este del pueblo, próxima a la carretera que le da acceso desde Villasbuenas, muy próxima al cementerio, y esta recogida también sobre el mismo tipo de suelo que la muestra donde se encuentra el valor máximo. En esta muestra K12 encontramos también el valor

máximo de magnesio, plomo y estroncio, y el valor mínimo de wolframio. El valor mínimo hallado por García Blázquez (2002) para el silicio, lo encontramos en la muestra M12, que es una muestra muy próxima a la mina, asentada sobre un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca”, de grano medio-grueso. Se trata de una zona llana. Este valor es de 3,09 ppm (0,0003 %).

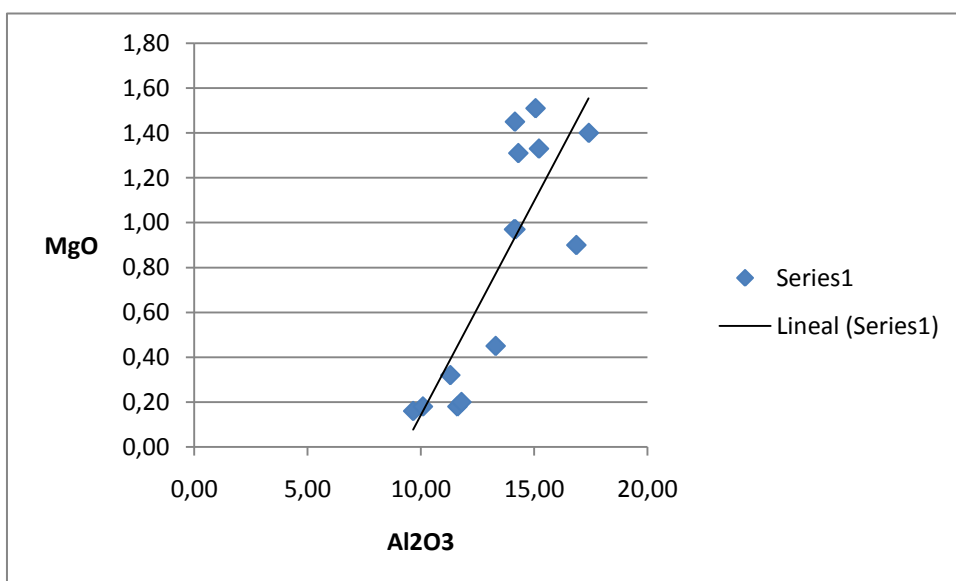
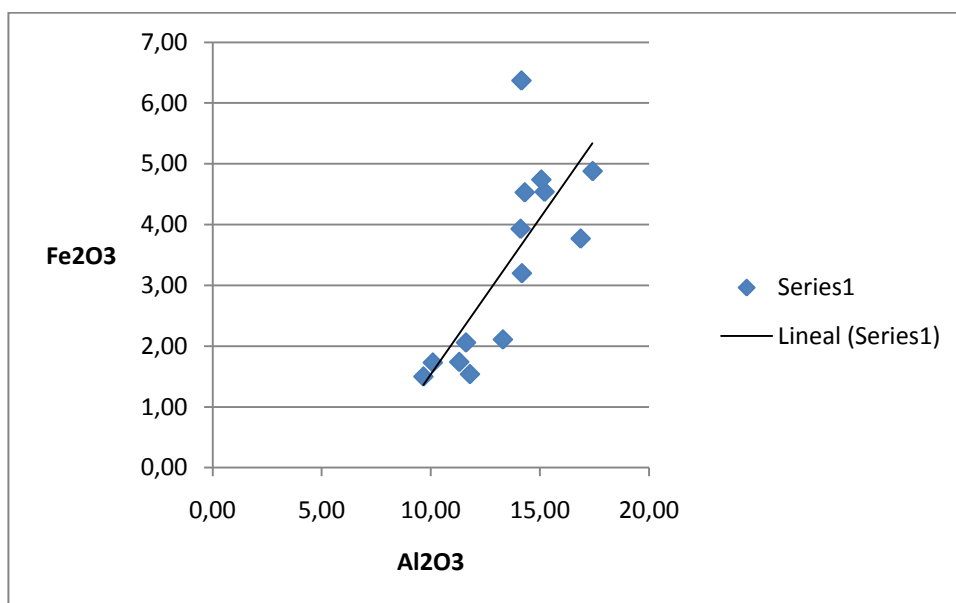
Al observar los datos de concentraciones que se encuentran en el Magna y los datos obtenidos en este trabajo, se observa que ambos valores son muy similares, por lo tanto, la cantidad de Si que aparece en el suelo proviene directamente de la roca sobre la que se desarrolla el suelo.

**Aluminio:** El valor máximo encontrado es de 17,41 % en la muestra K10, situada al Oeste del núcleo urbano de Barruecopardo. Se trata de suelo procedente de granito de Barruecopardo. En esta muestra podemos destacar la presencia también de un máximo de bario. La máxima concentración encontrada por García Blázquez (2002) para este elemento se encontró en la muestra J10 con una concentración de 101,07 ppm (0,01%). Podemos destacar que en esta muestra también coincidió el máximo de cromo, molibdeno (junto con otros dos máximos de la misma cantidad en muestras L12 y M14), y cadmio. Esta muestra se encuentra relativamente alejada de la explotación minera pero muy próxima a una carretera con bastante afluencia de tráfico. Geológicamente se trata de un suelo con cantos y arenas (aluvial-coluvial).

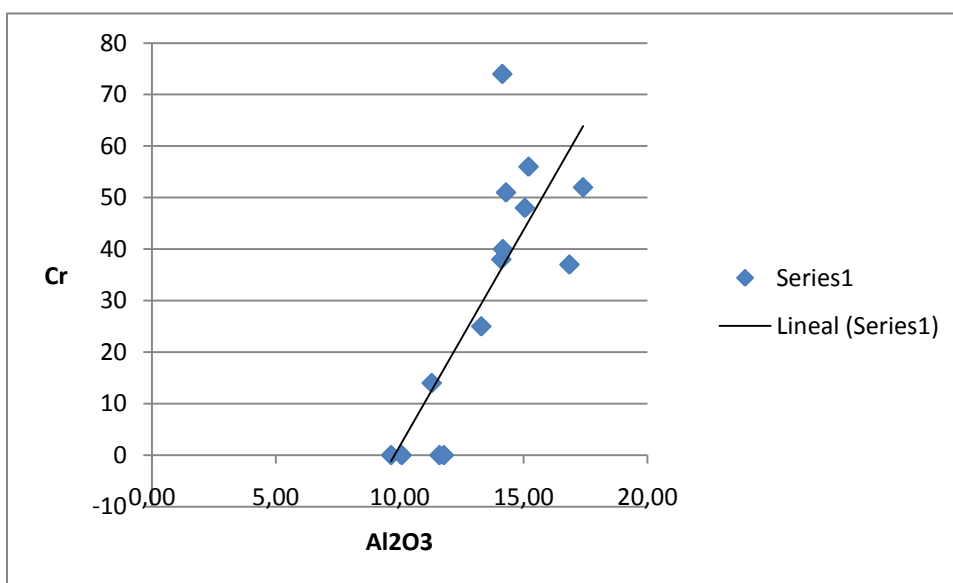
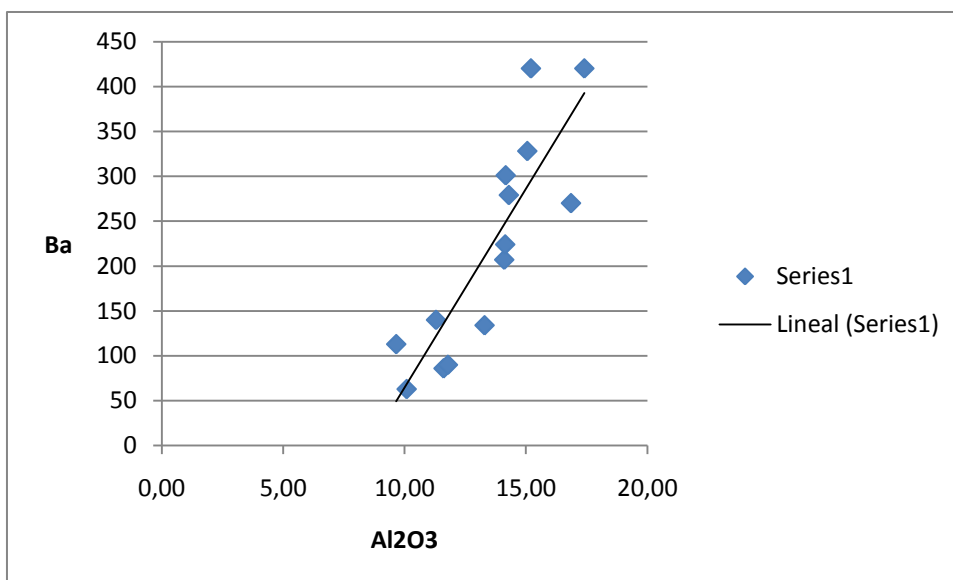
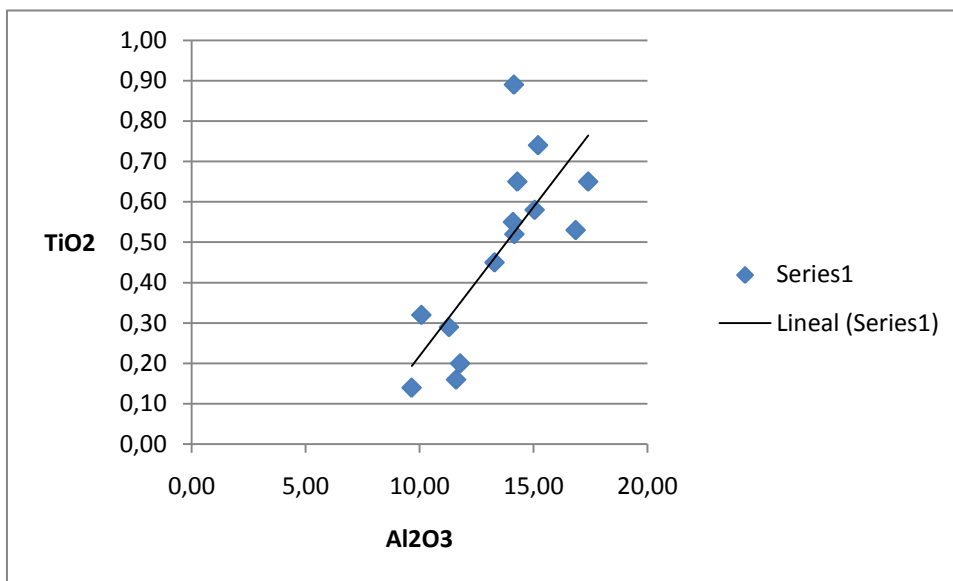
El valor mínimo es de 9,66 % en la muestra L11, situada muy próxima a la mina. Esta es la muestra más cercana a la explotación. Está recogida en un suelo sobre granito “ala de mosca” de tamaño de grano medio-grueso. Encontramos mínimos también en esta muestra de hierro, magnesio, titanio y de niobio, y un máximo de bario. El valor más bajo localizado por García Blázquez (2002) para este elemento fue de 20,28 ppm (0,002%) y se encontró en la muestra N12. Es una muestra próxima a la mina asentada sobre suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca”, de grano medio-grueso.

Comparándolo con los datos recogidos en el Magna, se observa que las concentraciones que aparecen en el Magna son menores que las que aparecen en el suelo, por lo tanto, el aluminio que aparece procede de otro lugar pero no de la roca sobre la que se desarrolla el suelo. Correlacionando los datos de este proyecto con las concentraciones en las rocas se observa que el aluminio se correlaciona bien positivamente con el manganeso, cromo, molibdeno y níquel y negativamente con el yodo.

El aluminio tiene muy buena correlación interelemental positiva con el hierro (0,77), magnesio (0,83), titanio (0,76), bario (0,86) y cromo (0,80).







**Calcio:** El calcio aparece en elevadas concentraciones en algunos puntos de ciertas carreteras. En la muestra K12 es donde encontramos el valor máximo de concentración, con un valor de 1,93 %. Esta muestra se recogió en una zona bastante cerca de la mina, más o menos llana, junto al arroyo de los Yagos. Se trata de un suelo con metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. Aquí también encontramos máximos de magnesio, plomo y estroncio, y un mínimo de wolframio. El máximo valor encontrado por García Blázquez (2002) fue de 779,20 ppm (0,08%) en la muestra K12 (referida anteriormente).

El valor mínimo de concentración encontrado es de 0,04 %, y se localiza en la muestra K8, zona bastante alejada de la mina, en la que se encuentra el mismo tipo de suelo que en la muestra de valor máximo. En esta muestra K8 encontramos mínimos de sodio y cobalto y máximos de hierro, manganeso, titanio, cromo, molibdeno, níquel y vanadio. 18,42 ppm (0,002%) es la mínima concentración de calcio encontrada por García Blázquez (2002) en las muestras recogidas. Se encuentra en la muestra K8, que es la misma muestra en la que se localiza el máximo para los datos de este trabajo. Se sitúa en una pradera, formada por metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas.

Correlacionando estos datos con los obtenidos por García Blázquez (2002), se observa que el calcio se correlaciona muy bien con el calcio de los datos de García Blázquez (2002), estroncio, azufre, cinc, níquel, cobalto y selenio.

Al comparar los datos obtenidos en las muestras de este trabajo con las concentraciones que aparecen en el Magna, observamos que únicamente la concentración que aparece en la muestra K12 es mayor que las concentraciones que aparecen en el Magna, por tanto, el calcio que aparece en el suelo en el que se recogió la muestra no procede de la roca sobre la que se desarrolla. En los demás casos el calcio que aparece en el suelo proviene de la roca. Al correlacionar estos datos del suelo con los de la roca observamos que

se correlacionan bien el calcio del suelo con el rubidio de la roca.

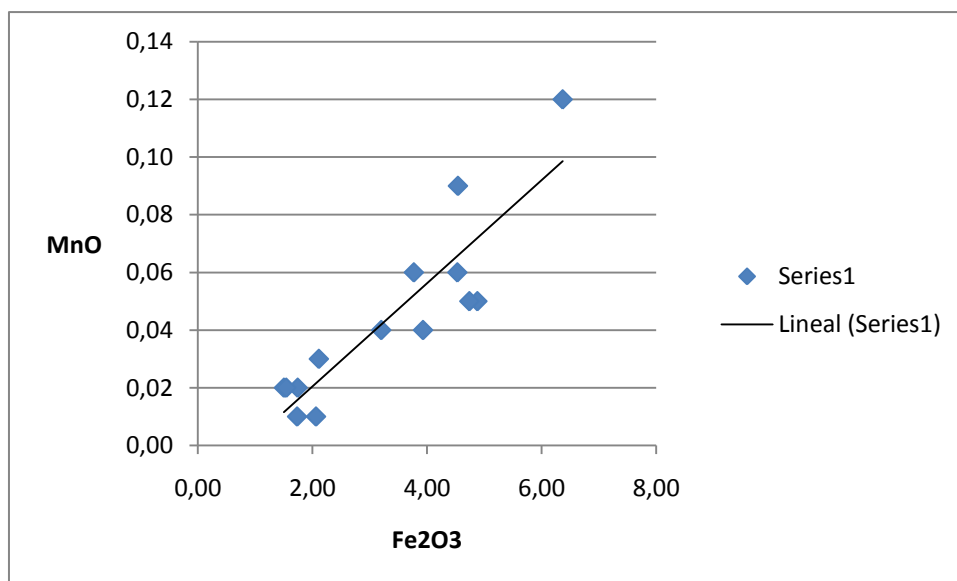
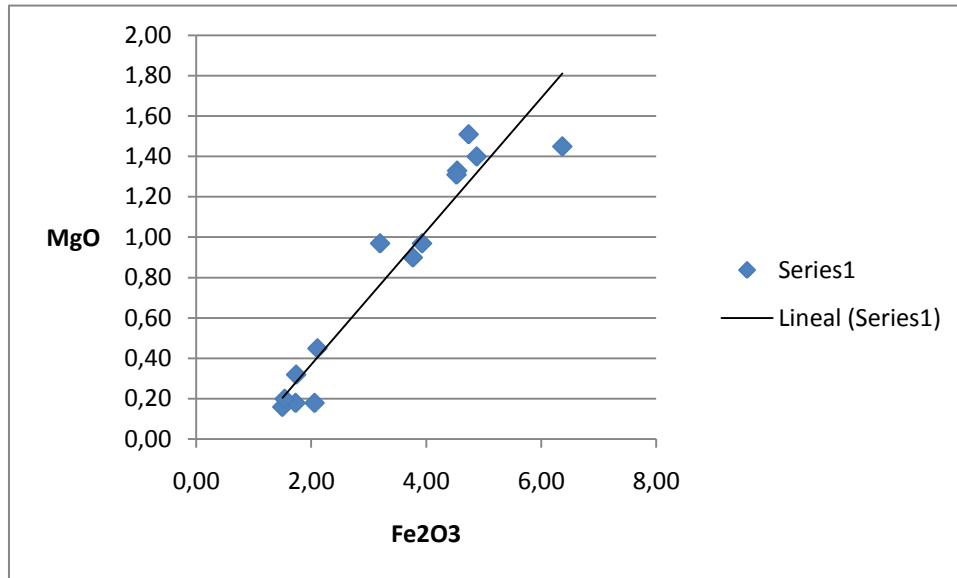
No se correlaciona con ningún elemento de forma interelemental.

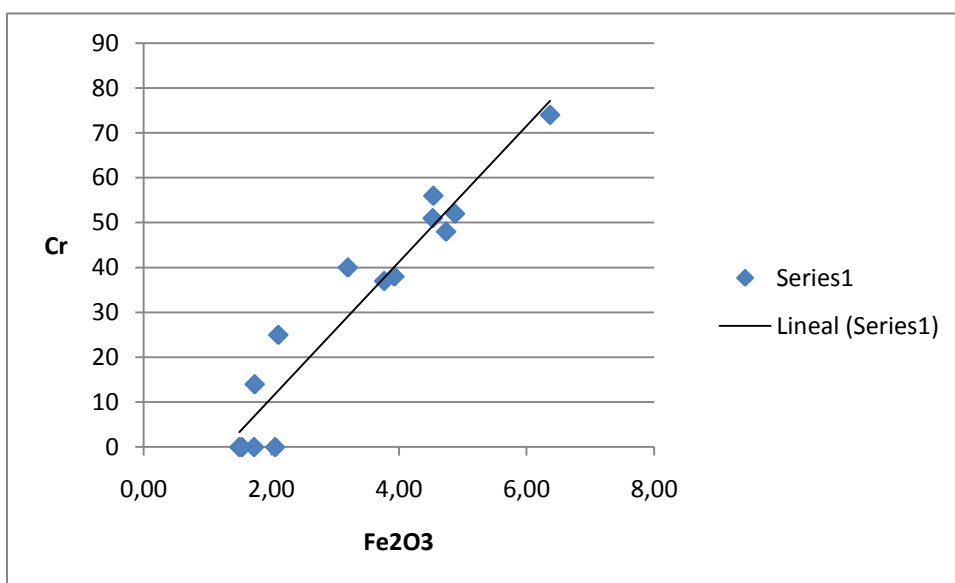
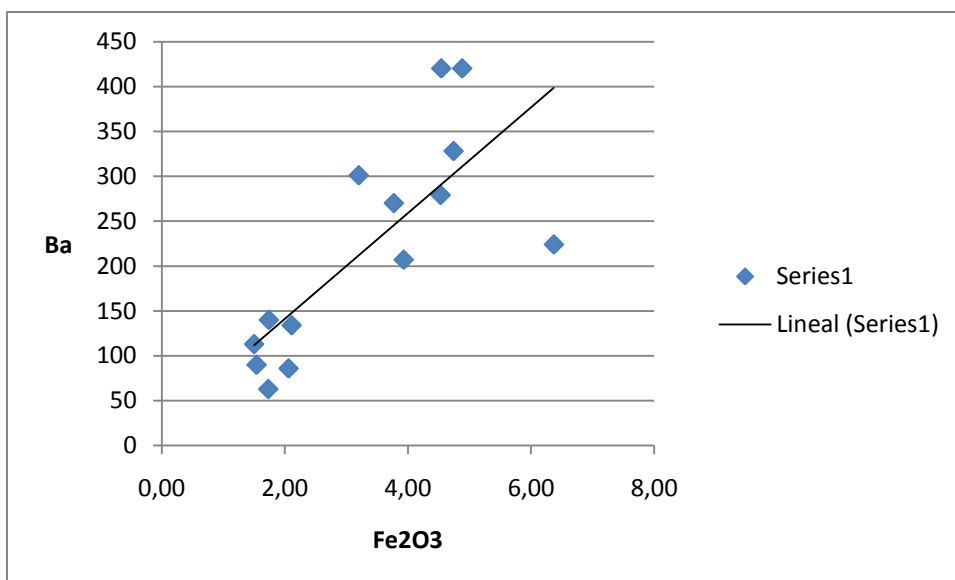
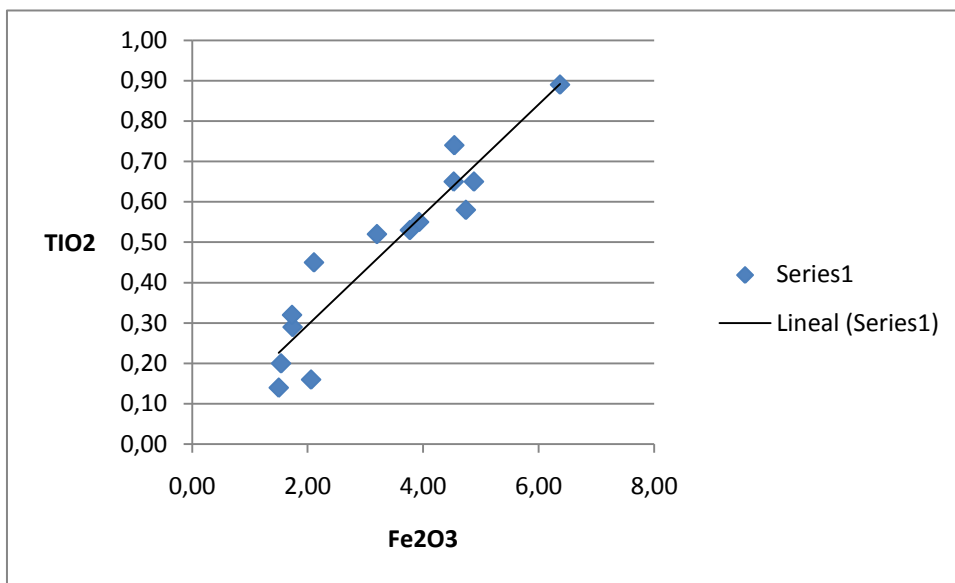
**Hierro:** Es un elemento que aparece en elevadas concentraciones en campos agrícolas cercanos a maizales y zonas de regadío. En la muestra K8, descrita anteriormente, se encuentra la máxima concentración, con un valor de 6,37 %. En esta muestra también coinciden los máximos de manganeso, titanio, cromo, niobio, níquel y vanadio, y los mínimos de calcio, sodio y cobalto. La máxima concentración de hierro encontrada por García Blázquez (2002) se encuentra en la muestra M12 con una cantidad de 39,33 ppm (0,004%). En esta misma muestra M12 se encuentran los máximos de cobre y arsénico. La muestra M12 está muy próxima a la mina, localizada en un área sin ningún cambio brusco de altitud. Su litología pasa por ser un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca”, de grano medio-grosso.

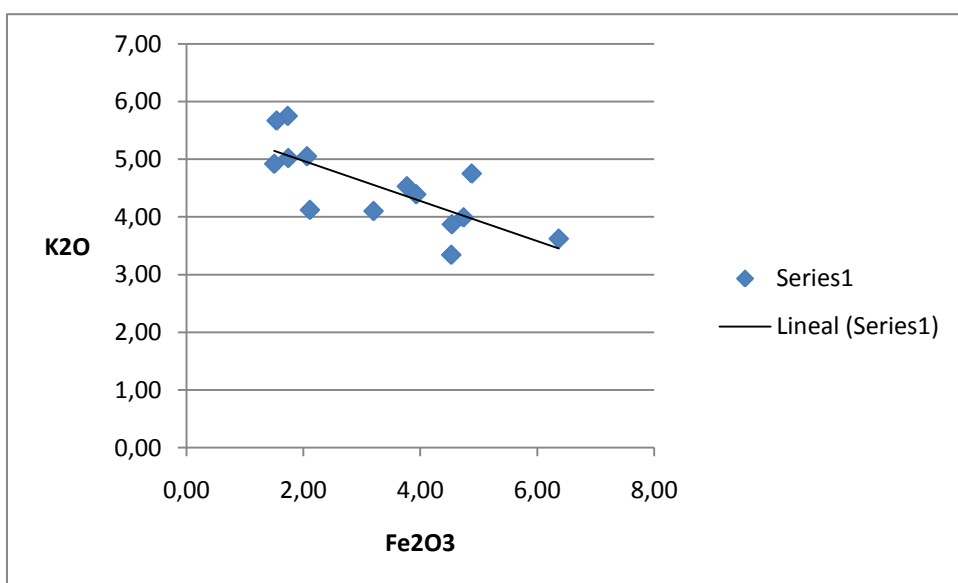
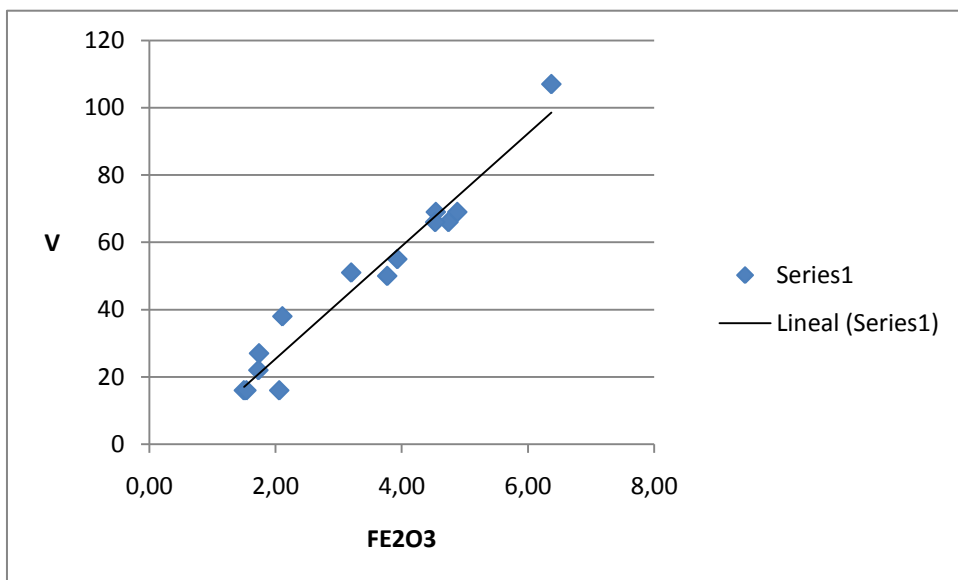
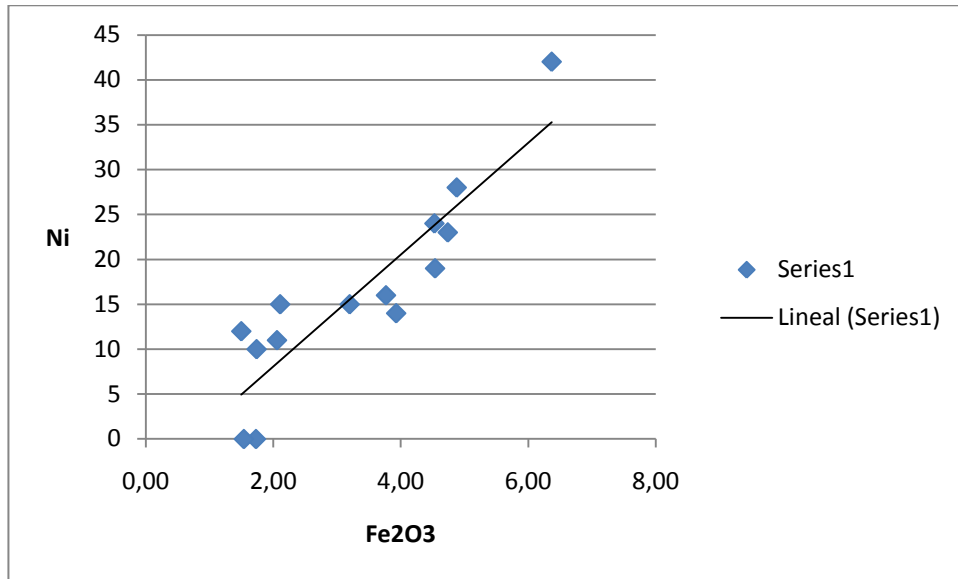
El valor mínimo es de 1,15 % localizado en la muestra L11. En esta muestra coinciden el máximo de cobalto y los mínimos de aluminio, hierro, magnesio, titanio, arsénico, estroncio vanadio y cinc. El valor mínimo encontrado por García Blázquez (2002) para este elemento fue de 5,76 ppm (0,0006%) en la muestra K8, que es una muestra bastante alejada de la mina, en una pradera, con un suelo formado por metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas.

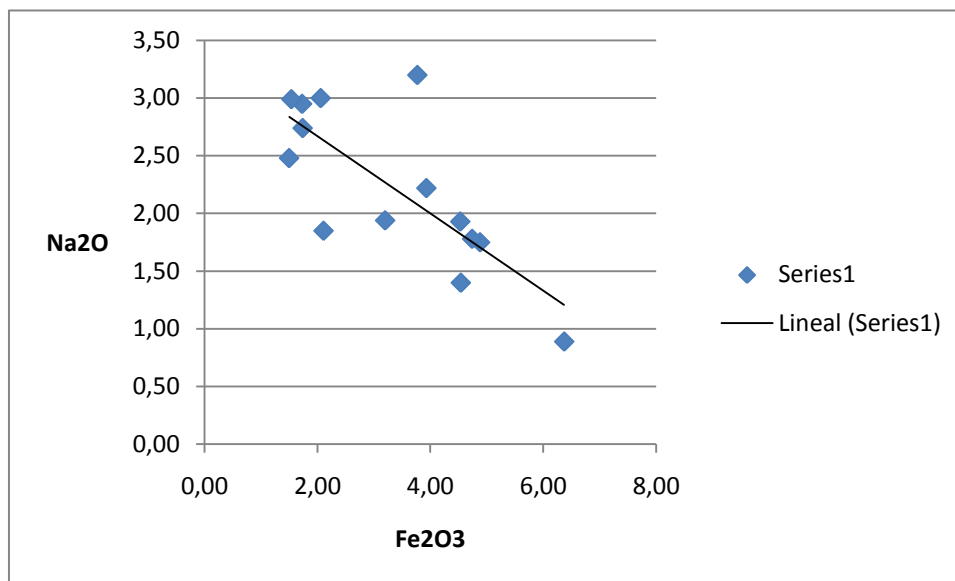
Al comparar las concentraciones de hierro de las muestras con las concentraciones que aparecen en el Magna, se observa que los valores son más elevados en el suelo que en la roca, por lo tanto, el hierro que aparece en el suelo no procede de la roca sobre la que se desarrolla. Correlacionando las concentraciones en el suelo con las que se encuentran en la roca, se observa que el hierro se correlaciona bien con el cromo, molibdeno, berilio, niobio y cobre de forma positiva todas ellas.

El hierro tiene buena correlación interelemental positiva con magnesio (0,96), manganeso (0,90), titanio (0,94), bario (0,76), cromo (0,96), níquel (0,90) y vanadio (0,98), y buena correlación negativa con potasio (0,75) y sodio (0,76).









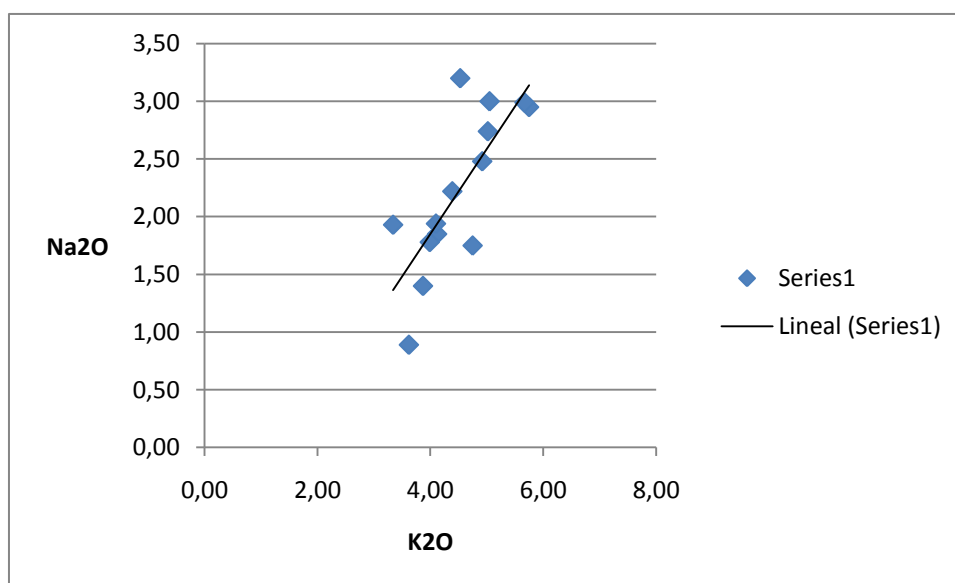
**Potasio:** El potasio aparece en elevadas concentraciones junto a carreteras y caminos de algunos puntos de la provincia. El valor máximo encontrado en las muestras seleccionadas es de 5,75 %, en la muestra M14, muestra recogida al Este de la mina, junto a una mina de cuarzo, mina de las Senaras. Se trata de un suelo desarrollado sobre una facies porfídica (Macizo de Barreras-Saldeana). Aquí también encontramos el valor mínimo de manganeso, bario, cobalto y plomo. No se encuentra ningún otro máximo en esta muestra. García Blázquez (2002) encontró su valor máximo en la muestra J11 (referida anteriormente) con un valor de 80,62 ppm (0,008%).

El valor mínimo es de 3,34% y lo encontramos en la muestra K13, muestra situada al Este del núcleo urbano, próxima a la carretera que une Barruecopardo con Villasbuenas. Podría llegarse a situar en la ribera de Val de Crespo. Se trata de un suelo desarrollado sobre metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. En esta misma muestra encontramos el máximo valor de concentración de litio y el mínimo de fosforo. La mínima concentración de potasio encontrada por García Blázquez (2002) fue en la muestra M12 con un valor de 2.90 ppm (0,0003%).

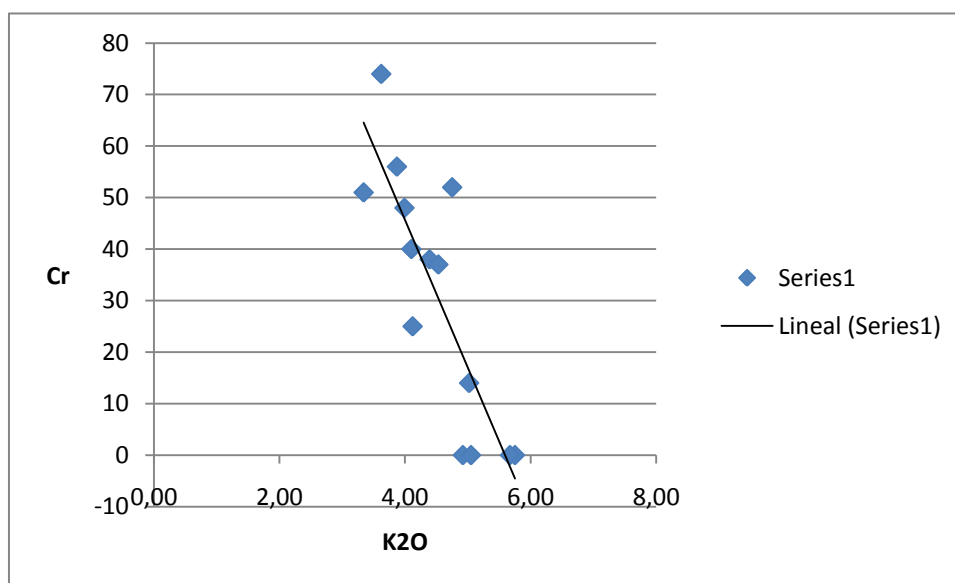
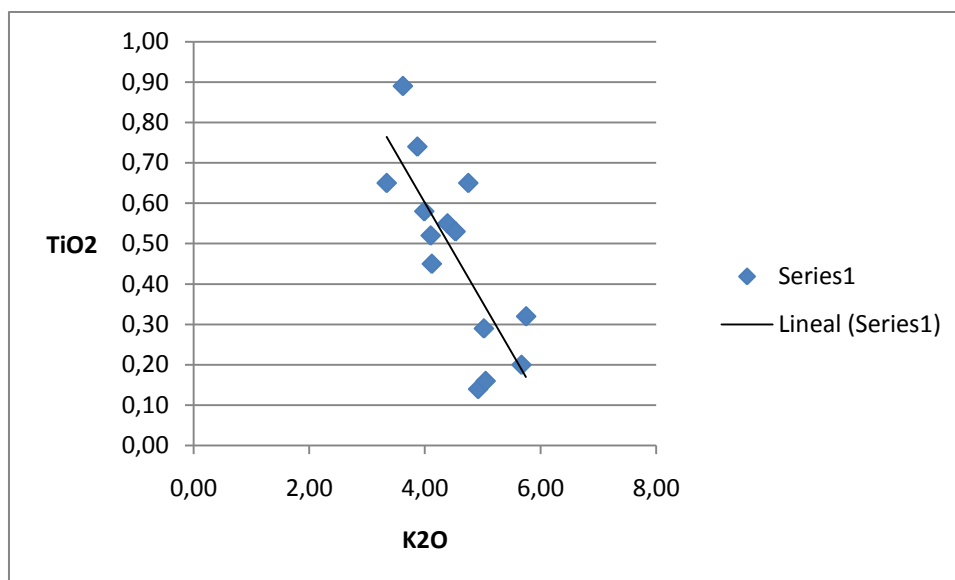
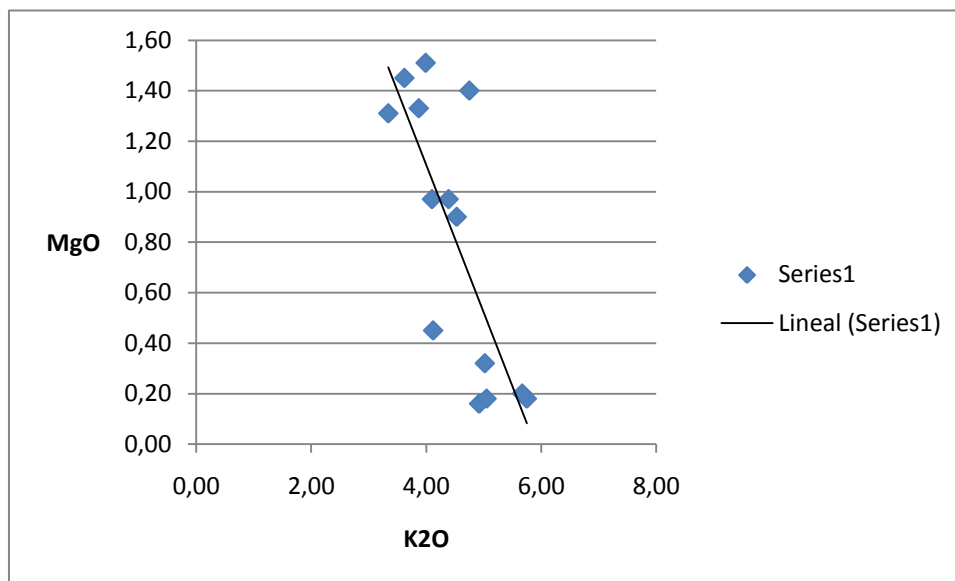
Al correlacionar los datos de concentraciones de este trabajo con los de García Blázquez (2002) se observa que el potasio del suelo se correlaciona bien con el bario de la roca.

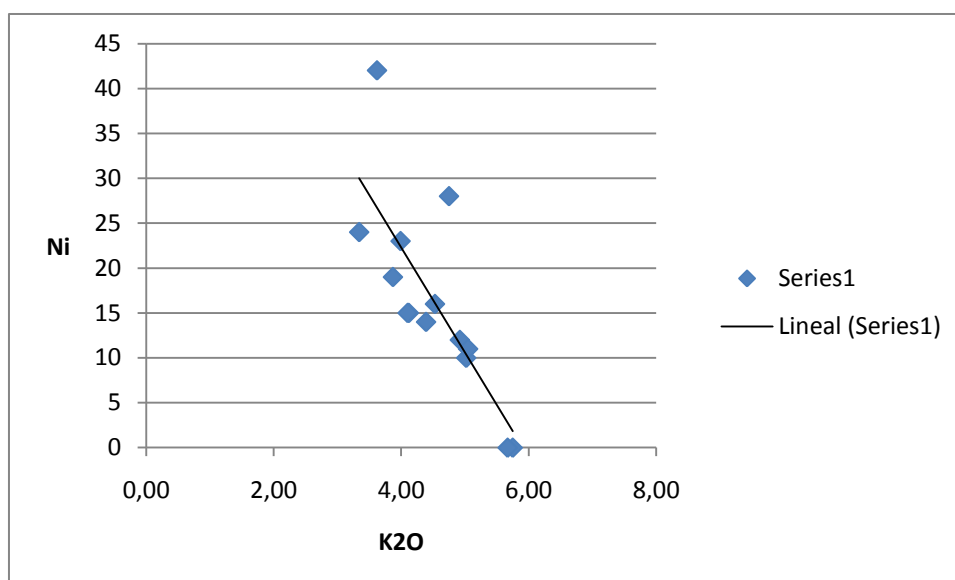
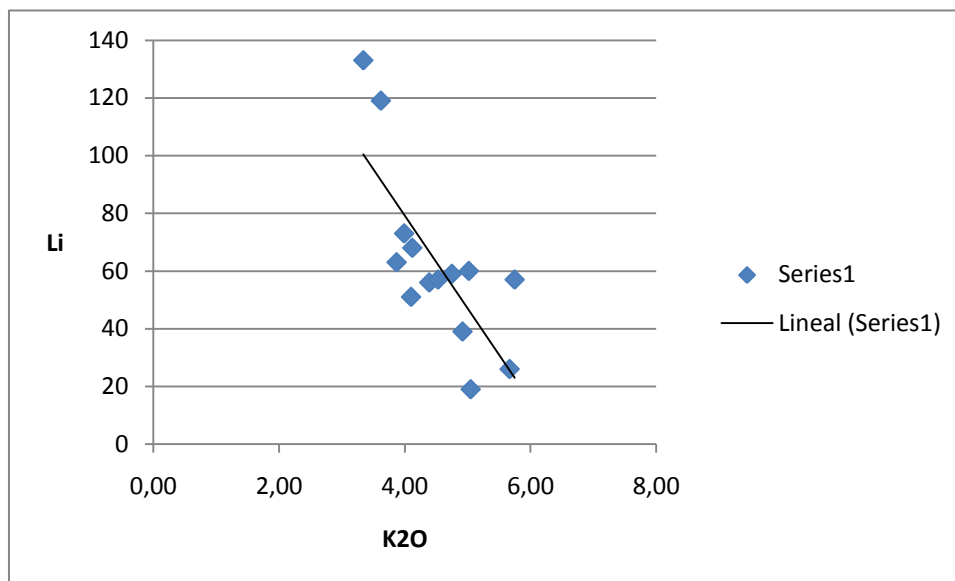
Si comparamos los valores que encontramos en el Magna, con los valores de concentración que hemos obtenido en este trabajo, se observa que ambos datos son muy parecidos, por lo tanto, el potasio que aparece en el suelo procede de la roca sobre la que éste se desarrolla. Correlacionando los datos de concentración del suelo con los de la roca, se puede observar que el potasio del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el yodo de la roca y de forma negativa con el litio y níquel de la roca.

El potasio tiene buena correlación interelemental positiva con el sodio (0,77) y buena correlación interelemental negativa con el magnesio (0,89), titanio (0,79), cromo (0,84), litio (0,76) y níquel (0,78).









**Magnesio:** El magnesio aparece en elevadas concentraciones en algún punto de ciertas carreteras cercanas a vías de ferrocarril y en cementerios. El valor máximo localizado para el magnesio lo encontramos en la muestra K12, con un valor de 1,51 %. En este punto encontramos los valores máximos de calcio, plomo y estroncio y el valor mínimo de wolframio. La máxima concentración localizada por García Blázquez (2002) fue de 37,78 ppm (0,004%) y se localizó también en la muestra K12, en la que se sitúan también los máximos de silicio, calcio, titanio, bario, estroncio, azufre, cinc, litio, níquel, plomo, cobalto y selenio. Se encuentra situada a una distancia media de la mina. Se trata de Metasedimentos pelítico-psamíticos con intercalaciones

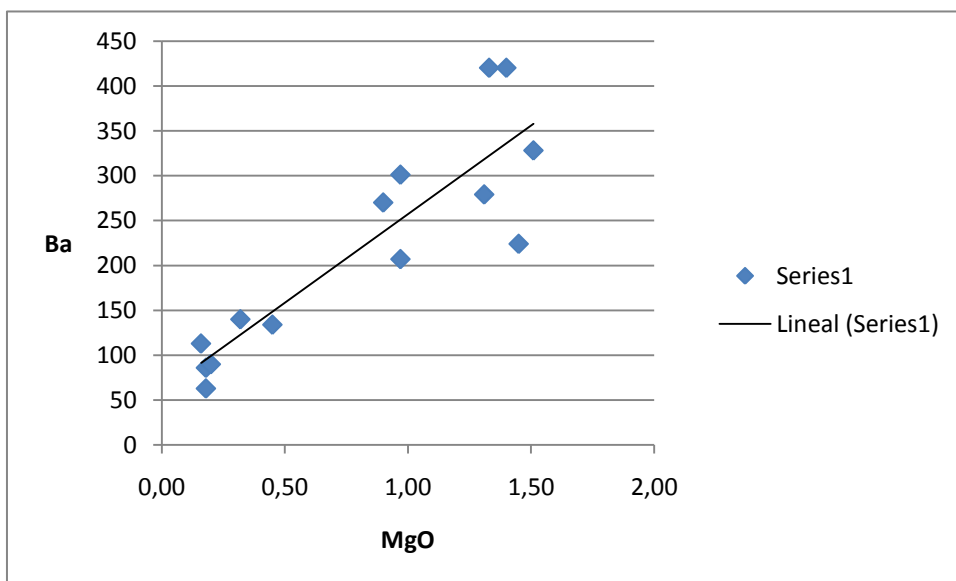
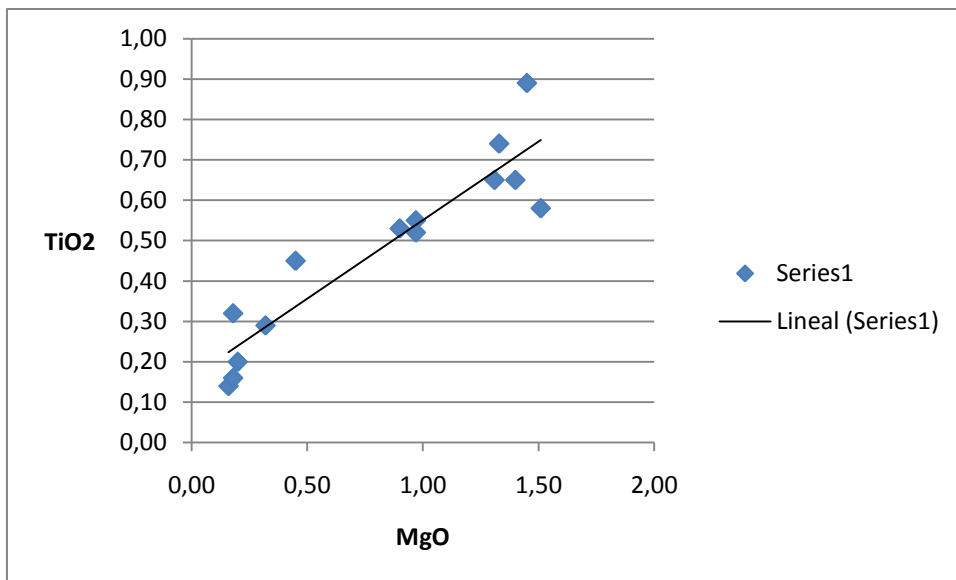
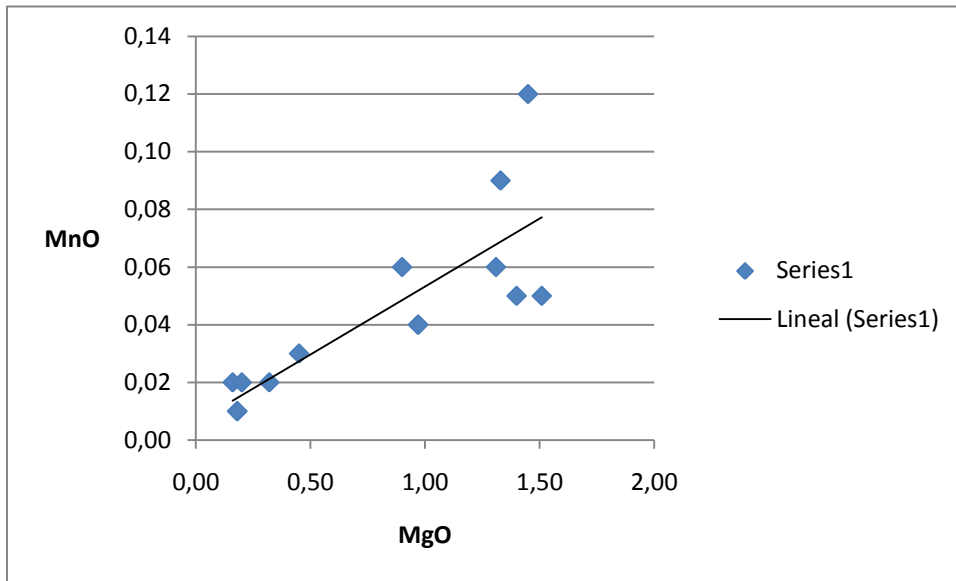
cuarcíticas. Esta muestra fue recogida en una zona llana próxima al arroyo de los Yagos.

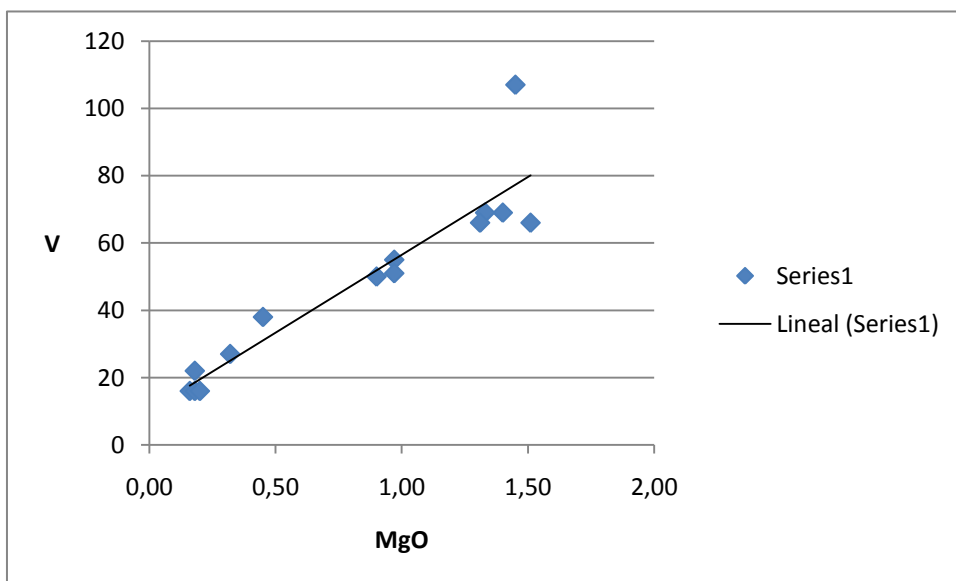
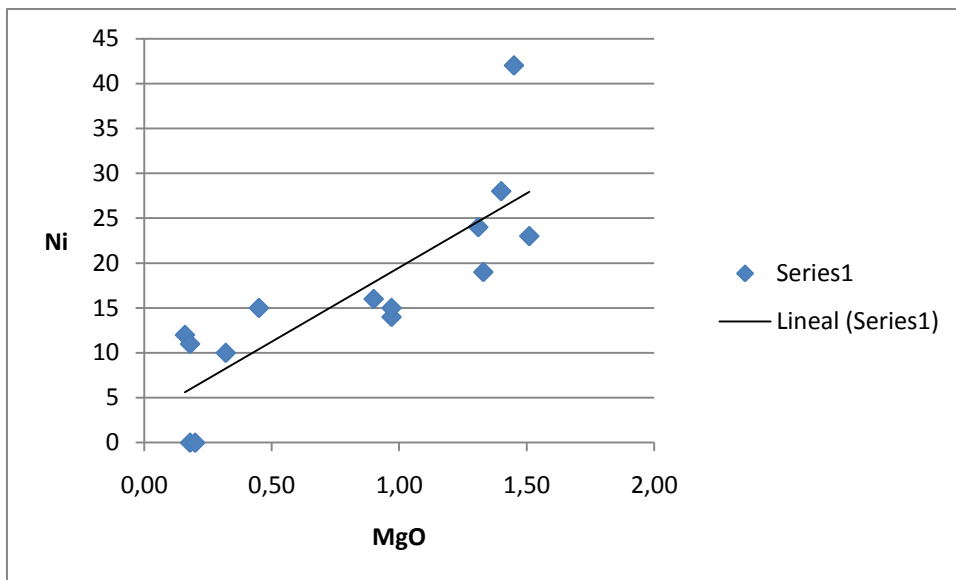
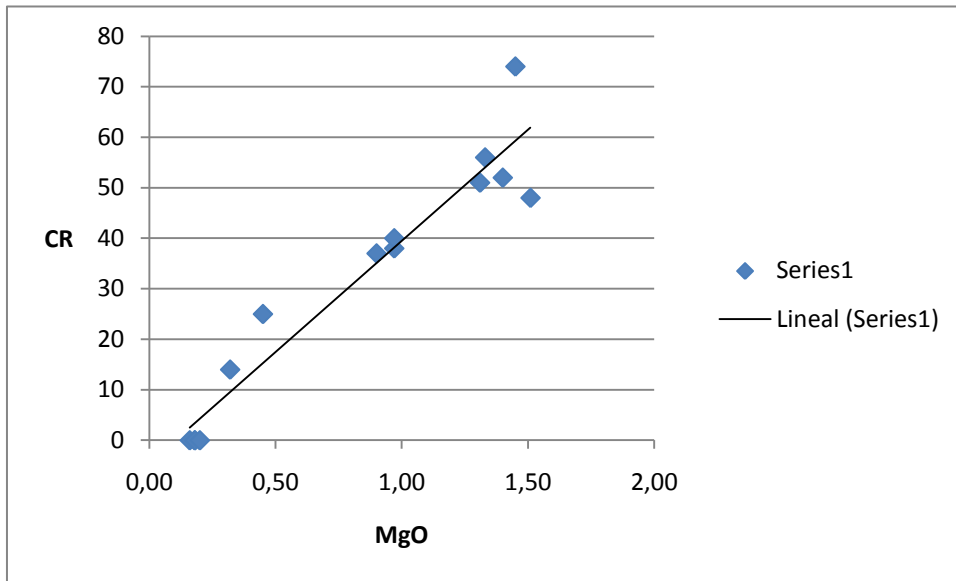
La mínima concentración de magnesio en las muestras estudiadas se localiza en la muestra L11, con un valor de 0,16 %. En esta muestra encontramos la máxima concentración de cobalto y los mínimos de aluminio, hierro, titanio, arsénico, plomo, estroncio, vanadio y cinc. La muestra con menor concentración de magnesio encontrada por García Blázquez (2002) es la muestra M12, con una concentración de 1,64 ppm (0,0002%). Esta muestra está localizada muy próxima a la mina, sobre una zona sin elevaciones importantes, y sobre granito "ala de mosca" de grano medio-grueso.

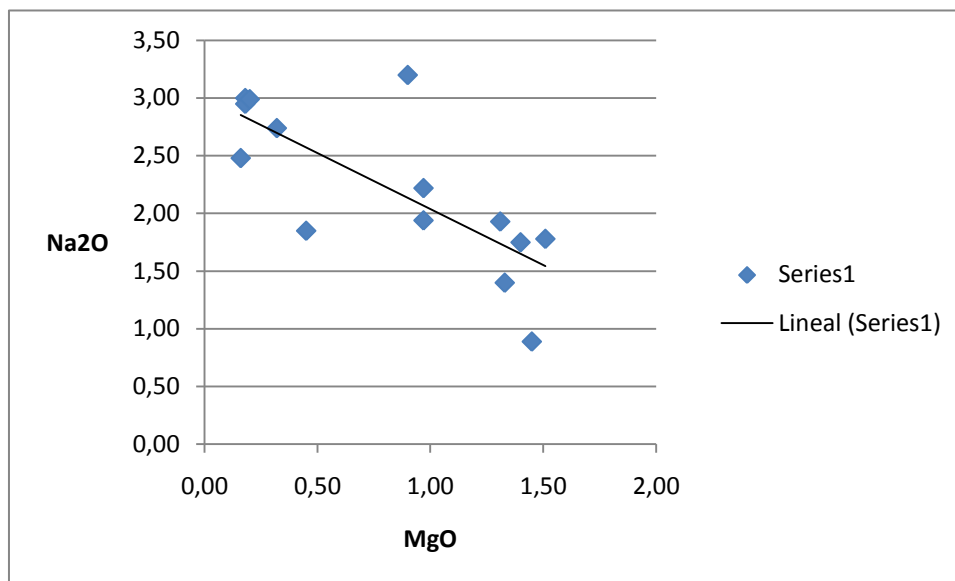
Comparando los valores recogidos en el Magna con los valores de concentración de Mg obtenidos en los análisis de este trabajo, se observa que las muestras K8, K10, K11, K12 y K13 tienen valores superiores a los que se encuentran en el Magna, por lo tanto ese magnesio no procede de la roca sobre la que se desarrolla el suelo. En el caso de las demás muestras el magnesio encontrado si procede de la roca sobre la que se asientan.

Correlacionando los datos de concentración en suelo con los datos de concentración de elementos en roca, se observa que el magnesio del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el cromo, molibdeno, berilio y cobre.

El magnesio está correlacionado interelementalmente de forma positiva con el manganeso (0,81), titanio (0,92), bario (0,88), cromo (0,96), níquel (0,82) y vanadio (0,93), y negativamente con el sodio (0,76).







**Manganeso:** El manganeso se encuentra en elevadas concentraciones en ciertos puntos de algunas carreteras y caminos de la provincia y, en ocasiones, en algún campo de cultivo o en zonas cercanas a circulación de trenes. 0,1% es el valor máximo de concentración encontrado en las muestras estudiadas. Lo encontramos en la muestra K8, donde encontramos también los máximos de concentración de hierro, titanio, cromo, niobio, níquel y vanadio, y las mínimas concentraciones de calcio, sodio y cobalto. El valor máximo del muestreo de García Blázquez (2002) fue de 14,13 ppm (0,001%) en la muestra K11. En esta muestra no se encuentra ningún otro máximo. Se encuentra situada a una distancia media de la mina, muy próxima al casco urbano de Barruecopardo. Se trata de un suelo formado por metasedimentos pelítico-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas.

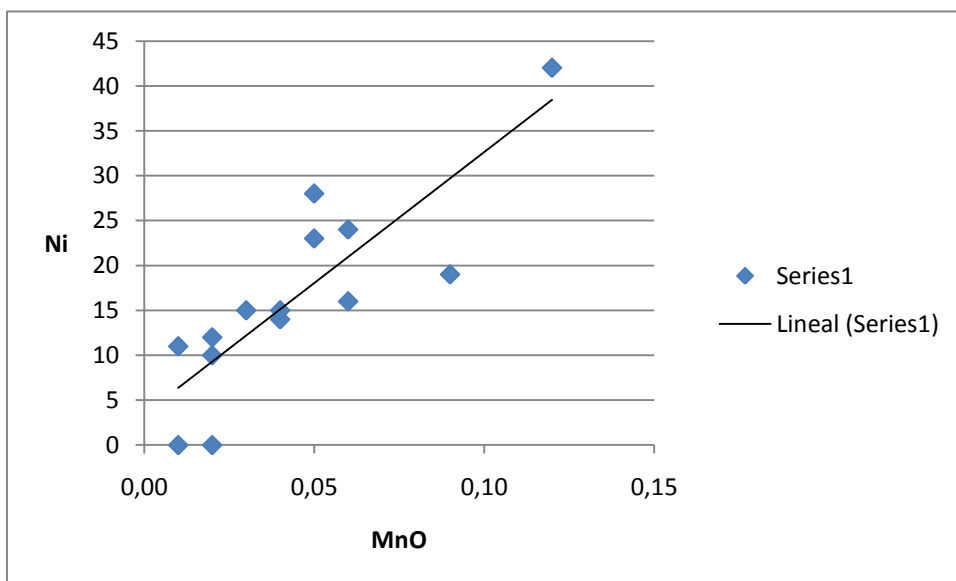
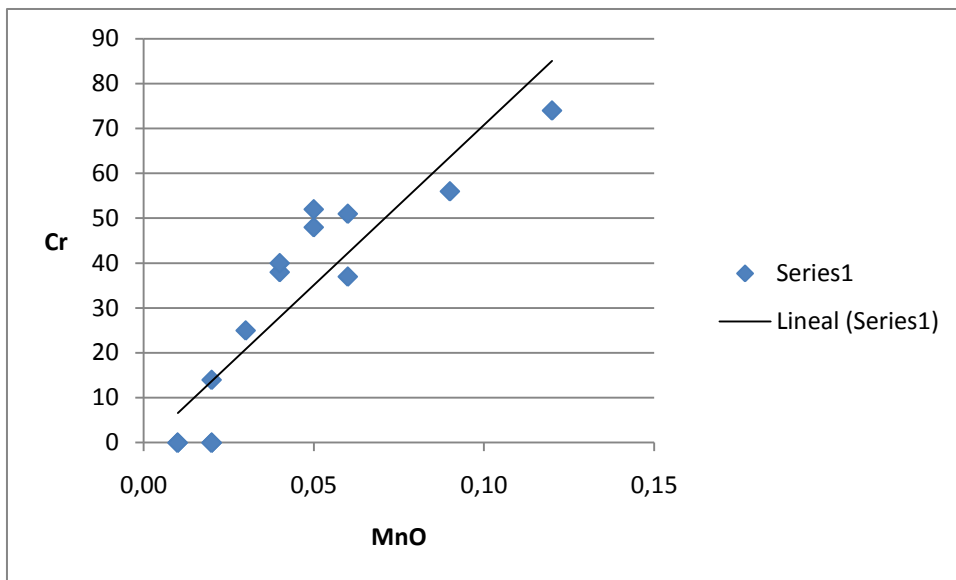
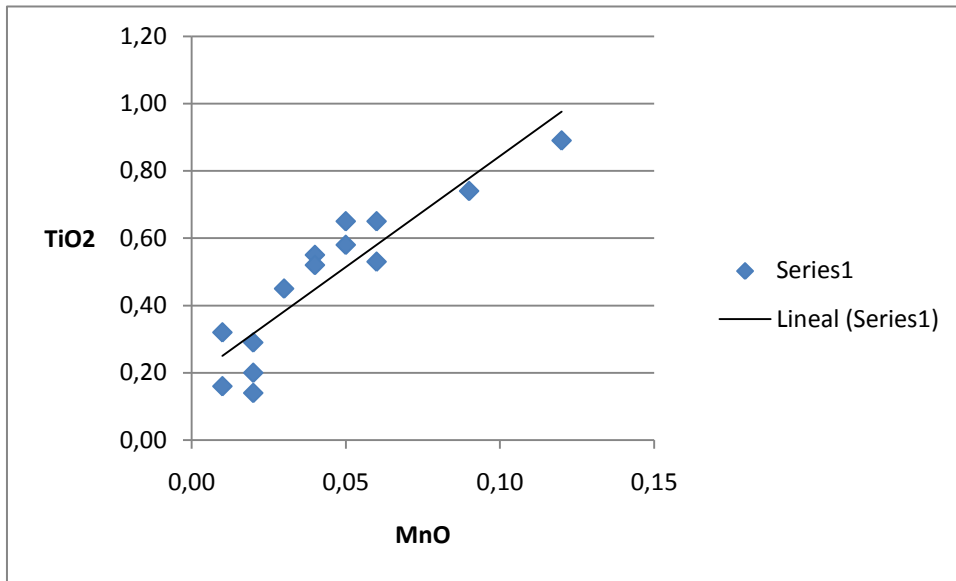
La mínima concentración de manganeso encontrada es de 0,01% y la encontramos en las muestras M12 y M14. La muestra M12 está localizada muy próxima a la explotación minera, desarrollada sobre granito “ala de mosca” de tamaño de grano medio-grueso. En esta muestra encontramos los valores máximos de concentración de fósforo, cobre y wolframio, y los valores mínimos de material volátil, litio y vanadio. En la muestra M14, descrita anteriormente, encontramos el máximo valor de potasio y los mínimos de bario, cobalto y

plomo. El valor más bajo, en cuanto a concentración de manganeso, encontrado por García Blázquez (2002) fue en la muestra K11, con un valor de 1,47 ppm (0,0001%). Esta muestra se encuentra muy próxima al núcleo urbano de Barruecopardo, junto a la báscula municipal. Se trata de metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas.

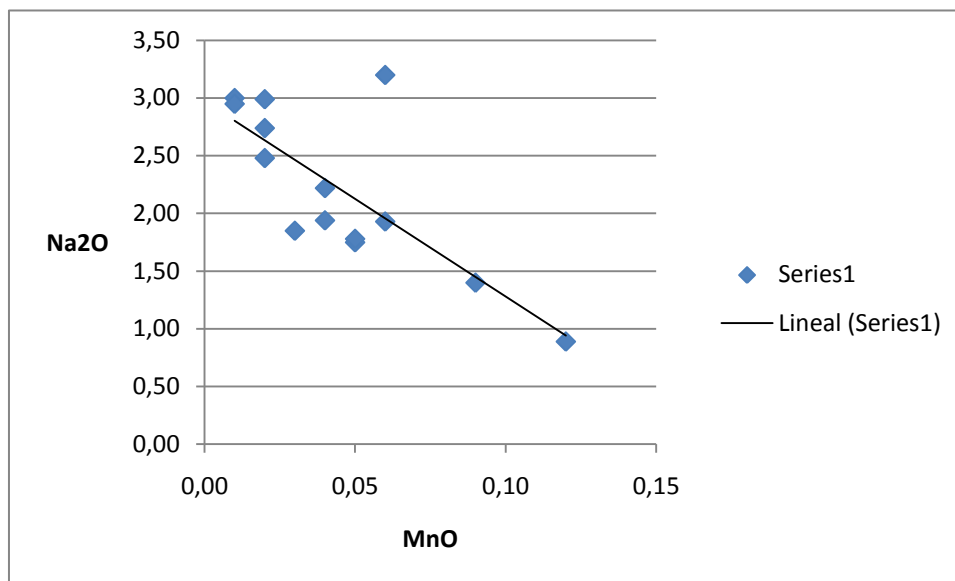
Comparando los datos de concentraciones de Mn de las muestras con los datos recogidos en el Magna, se observa que los valores de concentración son muy similares a excepción del valor encontrado en la muestra K8 que supera con mucho los valores que aparecen en el Magna. Por lo tanto, el manganeso encontrado en la mayoría de las muestras proviene de la roca sobre la que se ha desarrollado el suelo a excepción del encontrado en la muestra K8, que no procede de esa roca.

Al correlacionar los datos de concentraciones en el suelo con los de la roca, se observa que el manganeso encontrado en el suelo se correlaciona bien de forma positiva con el cromo, molibdeno y berilio de la roca sobre la que se desarrolla el suelo.

El manganeso tiene buena correlación interelemental positiva con el titanio (0,91), cromo (0,90) y níquel (0,84) y buena correlación negativa con el sodio (0,77).







**Sodio:** El sodio aparece en elevadas concentraciones junto a alguna que otra carretera y en algún campo, pero en el caso de Barruecopardo aparece en altas concentraciones en la mina de wolframio al igual que el manganeso. En la muestra K9 es donde encontramos la máxima concentración de sodio, con un valor de 3,20 %. Esta muestra está situada al Oeste del pueblo, junto a una carretera de afluencia de tráfico, que une Barruecopardo con Santa Bárbara. Esta muestra K9 se ha tomado en un suelo desarrollado sobre granito de Barruecopardo. En esta muestra no encontramos ningún máximo o mínimo más. El máximo valor de concentración de sodio obtenido por García Blázquez fue de 14,26 ppm (0,001%) en la muestra J11. En esta muestra se encuentra también el máximo valor de potasio, cromo, molibdeno y calcio. Se trata de una muestra bastante alejada de la mina, situada en una zona sin elevaciones importantes. Geológicamente se trata de un suelo desarrollado sobre granito de Barruecopardo.

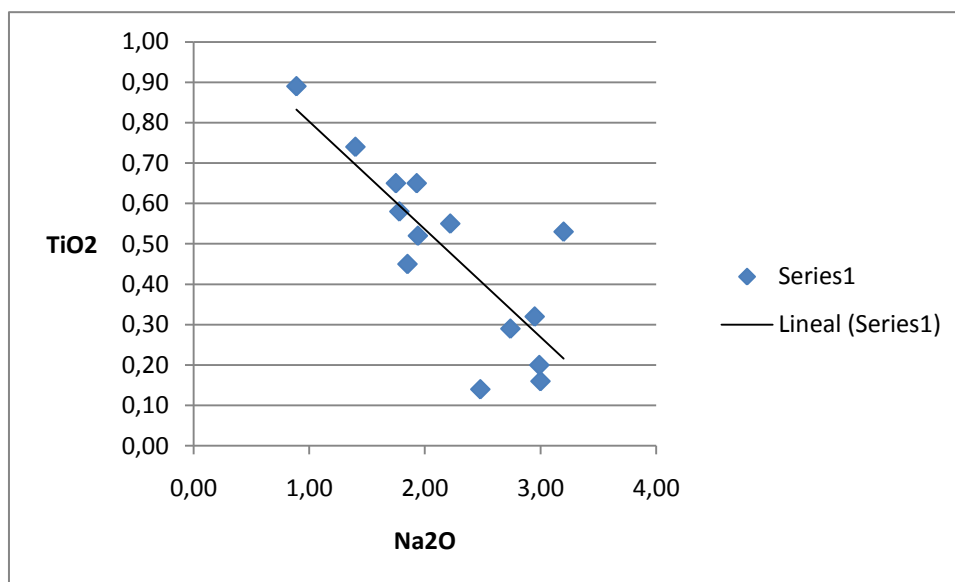
El valor mínimo de concentración de sodio lo encontramos en la muestra K8, donde encontramos también los valores máximos de hierro, manganeso, cromo, niobio, níquel y vanadio y los valores mínimos de calcio y cobalto. La mínima concentración de sodio tiene un valor de 0,89 %. En la muestra K8 García Blázquez (2002) encontró la mínima concentración de

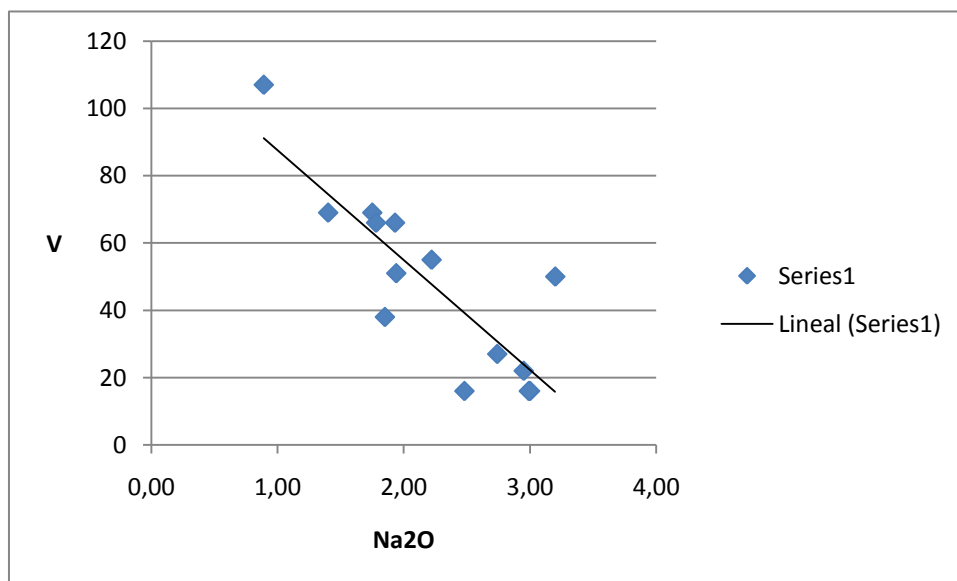
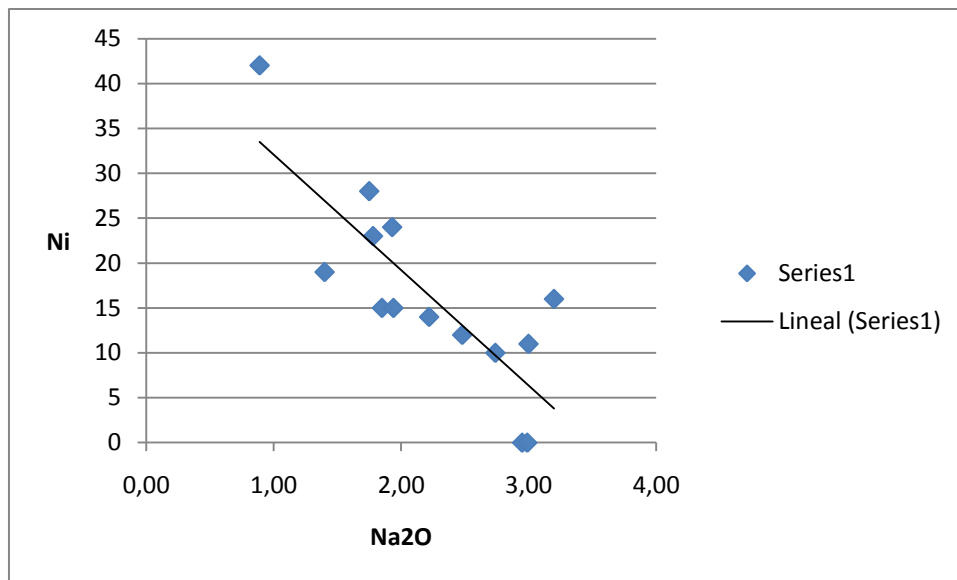
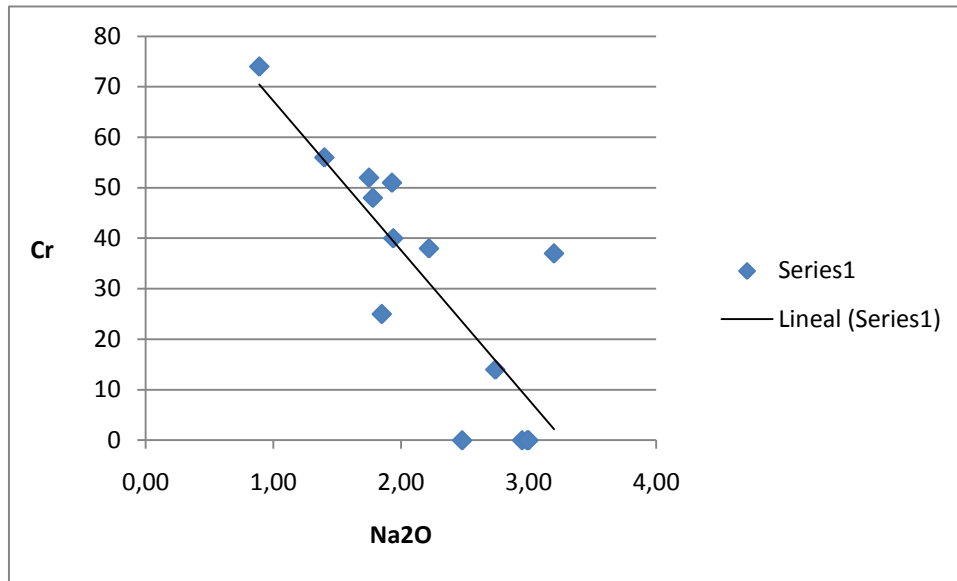
sodio, con un valor de 8,67 ppm (0,0009%).

Comparando los datos de concentraciones que aparecen en las muestras y en el Magna, se observa que los valores son muy similares e incluso en algunos casos estos valores que aparecen en el Magna son superiores a los que se encuentran en las muestras, por lo tanto el sodio que aparece en el suelo procede de la roca sobre la que se desarrolla.

Correlacionando los datos de concentración de este trabajo y los de Magna, se observa que la concentración de sodio del suelo esta correlacionado de forma positiva con el yodo de la roca y de forma negativa con el escandio, litio y níquel de la roca.

Tiene buena correlación interelemental negativa con el titanio (0,82), cromo (0,82), níquel (0,82) y vanadio 0,84). No tiene correlación interelemental positiva con ningún elemento.





**Fósforo:** El fósforo aparece en elevadas concentraciones en algunos puntos de las carreteras y caminos de la provincia, en ciertos campos de cultivo. 0,50 % es la máxima concentración encontrada para las muestras recogidas, y la encontramos en la muestra M12. Esta muestra está muy próxima a la explotación, al Sur del núcleo urbano de Barruecopardo, y coincide con la máxima concentración de arsénico en la misma muestra y la mínima de manganeso, litio y vanadio. Se trata de una muestra recogida en un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca” de tamaño de grano medio-grueso. El máximo valor encontrado por García Blázquez (2002) fue de 33.63 ppm (0,003%) en la muestra N12. En esta misma muestra no se encuentran máximos de otros elementos. Se trata de una zona bastante próxima a la mina sin elevaciones en los alrededores. La muestra N12 fue recogida en un suelo desarrollado sobre granito ala de mosca de grano medio-grueso.

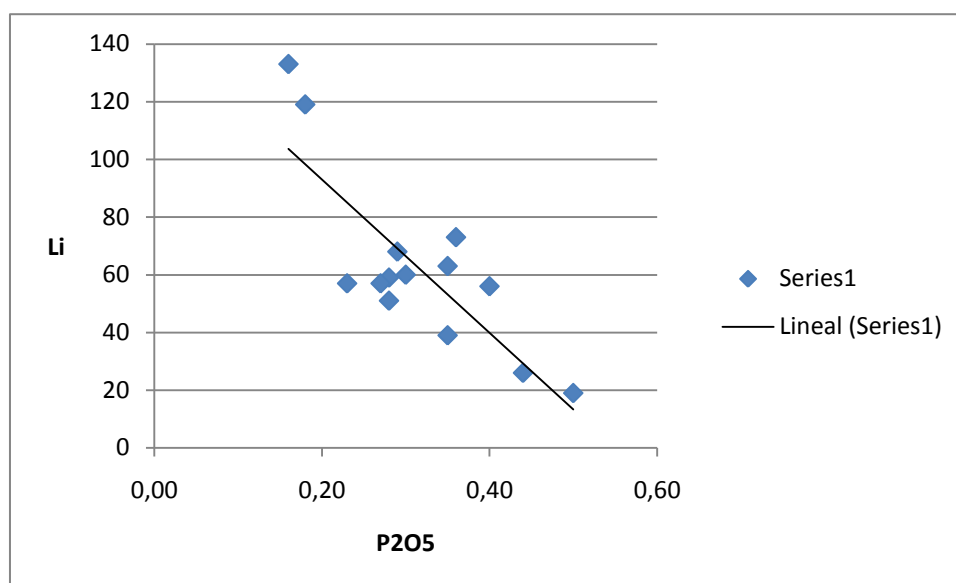
El valor mínimo de concentración es de 0,16 % y se localiza en la muestra K13, que es una muestra recogida al lado de la carretera que une Barruecopardo con Villasbuenas, al Este del municipio. Se trata de una muestra recogida en un suelo desarrollado sobre metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. En esta muestra también se encuentran el máximo de litio y el mínimo de potasio. 1,31 ppm (0,0001%) es la mínima concentración que García Blázquez (2002) encontró en las muestras recogidas, localizada en la muestra K8.

Correlacionando los datos de concentración en suelos y los datos de concentración en disolución, observamos que el fósforo del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el fósforo del agua en la que se disuelve.

Teniendo en cuenta los valores de concentración de las muestras y los recogidos en el Magna se observa que ambos son muy parecidos, por lo tanto el fósforo que aparece en el suelo procede de la roca sobre la que se desarrolla este.

Correlacionando los datos de concentración de los elementos en el suelo y en la roca, observamos que el fósforo del suelo se encuentra bien correlacionado de forma positiva con el estaño, niobio y cobre de la roca, y de forma negativa con el azufre y escandio.

Únicamente se correlaciona interelementalmente con un elemento, el litio, y lo hace de forma negativa (0,82).



**Titanio:** Normalmente, los valores máximos obtenidos en estas zonas de estudio se localizan en carreteras, caminos y cruces de ambos. La máxima concentración encontrada de titanio es de 0,89 %, localizada en la muestra K8, en la que se encuentran también los máximos de hierro, manganeso, cromo, niobio, níquel y vanadio, y los valores mínimos de concentración de calcio, sodio y cobalto. El valor máximo localizado en las muestras de García Blázquez (2002) se encontró en la muestra K12 (referida anteriormente) con un valor de 0,14 ppm (0,00001%).

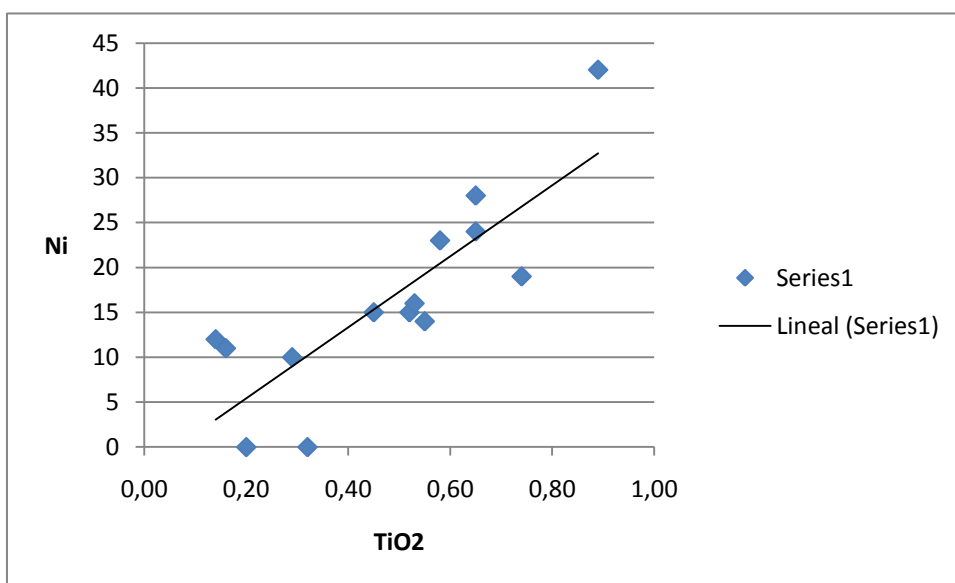
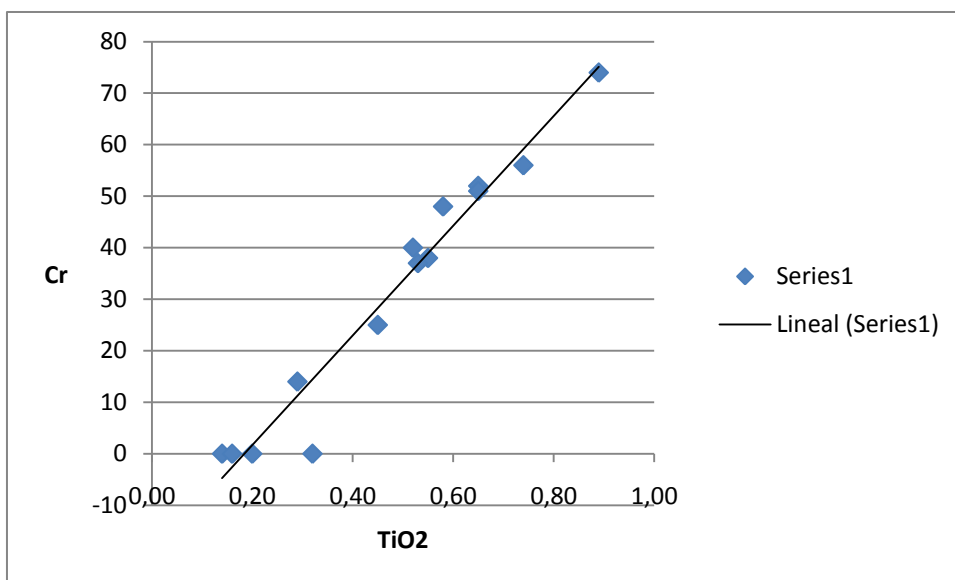
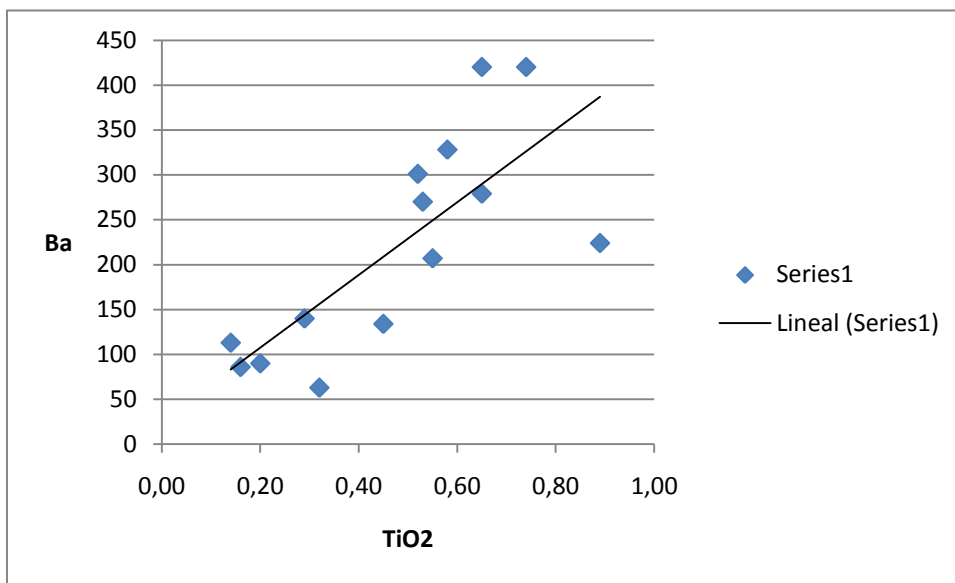
La mínima concentración de titanio es de 0,14 % y se encuentra en la muestra L11, la muestra más próxima a la explotación, y en la que únicamente encontramos un máximo, el de cobalto, y numerosos mínimos: aluminio, hierro,

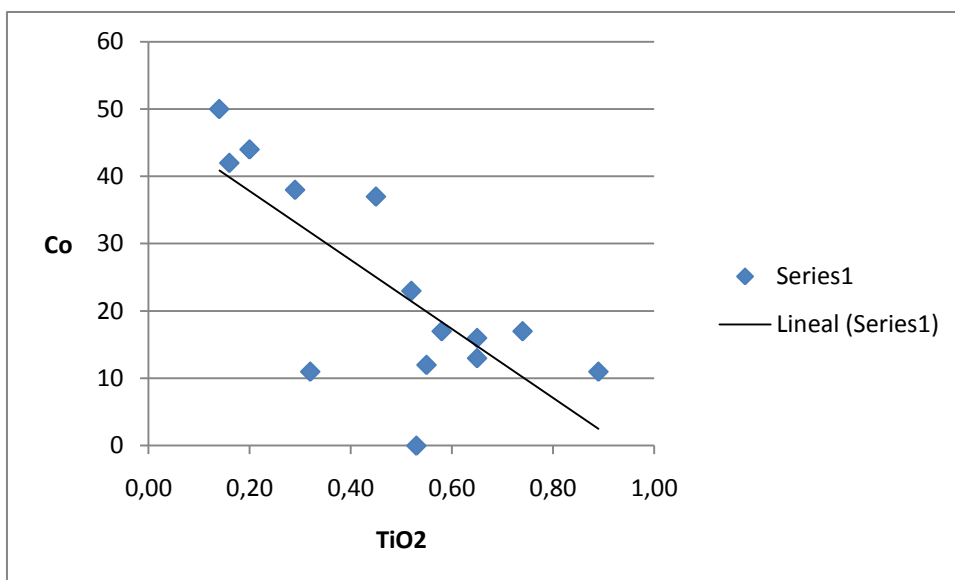
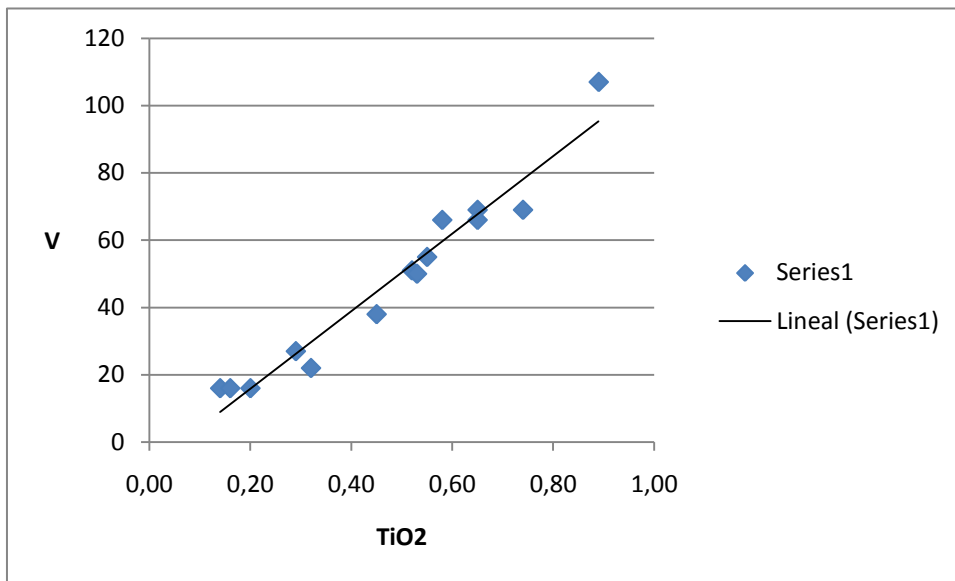
magnesio, arsénico, plomo, estroncio, vanadio y cinc. Hay dos muestras recogidas por García Blázquez con un valor mínimo para el Ti de 0,01 ppm (0,000001%). Estas muestras son K8 y K10. La muestra K8 está descrita en otros elementos y la muestra K10 se encuentra en una zona más o menos llana, a una distancia media de la mina, asentada sobre granito de Barruecopardo. En este punto tenemos que mencionar que la mayoría de las concentraciones de titanio encontradas en las muestras de García Blázquez, estaban por debajo del límite de detección analítico (0,05 ppm en disolución por el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca), a excepción de cuatro muestras (I12, J9, J11 y K12).

Observando los valores de concentración del suelo y de la roca vemos que los datos que se han obtenido de las muestras son ligeramente superiores a los que aparecen en el Magna, por lo tanto, aunque la mayoría del titanio procede de la roca sobre la que se desarrolla el suelo, parte puede proceder de otra fuente externa.

Correlacionando los datos de concentraciones en el suelo con los datos de concentraciones en la roca se observa que el titanio del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el cromo, molibdeno, niobio y níquel de la roca y de forma negativa con el yodo de la roca.

Tiene buena correlación interelemental positiva con el bario (0,76), cromo (0,98), níquel (0,83) y vanadio (0,98) y se correlaciona negativamente con el cobalto (0,75).







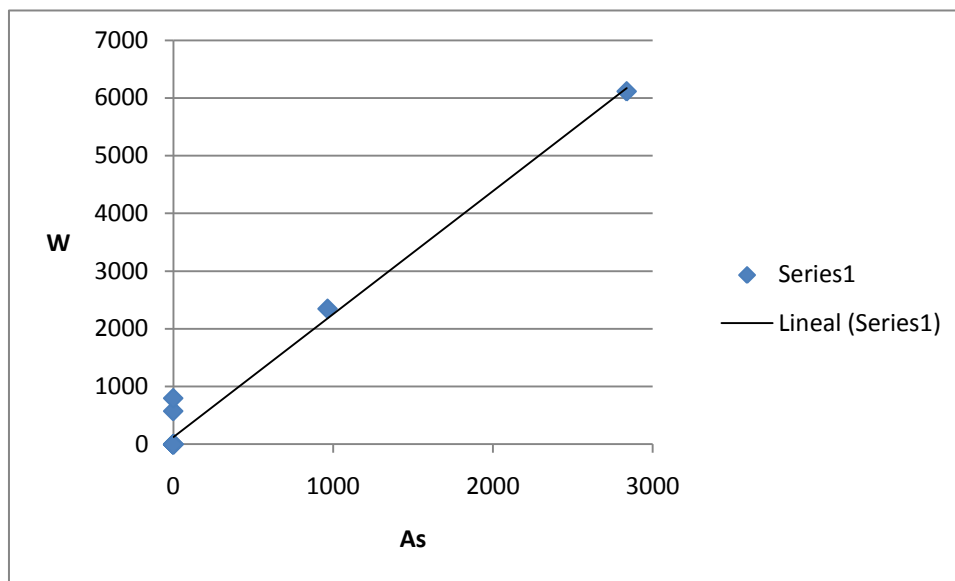
Elementos traza:

**Arsénico:** En este punto destacamos que únicamente dos de las muestras recogidas tienen presencia de arsénico, y ambas en muy alta cantidad. Estas dos muestras son M12, donde se localiza el máximo, 2838 ppm, y la muestra L11, con un valor de 966 ppm. Ambas cantidades son muy elevadas y tendrán que tenerse en cuenta a la hora de la interpretación de los resultados. En la muestra M12 se encuentra también la máxima concentración de fósforo, cobre y wolframio y la mínima de manganeso, litio y vanadio. Según las muestras de García Blázquez (2002) el valor máximo hallado fue de 35.25 ppm. Este valor es extremadamente elevado y habría que tenerlo en cuenta como punto de seguimiento, para ver su evolución a lo largo del tiempo. Se encuentra en la mina de wolframio de Barruecopardo, en un suelo desarrollado en la base de una antigua escombrera. Este valor se encuentra en la muestra M12, donde se encuentran también los máximos de hierro y cobre. Se trata de una muestra muy próxima a la mina, en la que el suelo se ha desarrollado sobre granito "ala de mosca", de grano medio-grueso, y se encuentra en una zona llana.

El mínimo punto de concentración encontrado por García Blázquez (2002) para el arsénico se encuentra en la muestra M14, con un valor de 0,02 ppm, que se encuentra por debajo del límite de detección analítico. Esta muestra ya ha sido referida en otras ocasiones. Podemos destacar que en varias de las muestras estudiadas, el valor resultante de concentración está por debajo del límite de detección analítico.

Al correlacionar los datos de concentraciones en suelo con los datos de concentraciones en disolución, observamos que el arsénico del suelo se correlaciona bien con el arsénico de la disolución.

Se encuentra correlacionado interelementalmente de forma positiva con el wolframio.



**Bario:** Encontramos dos puntos con la misma concentración máxima para el bario, en las muestras K10 y K11, con un valor de 420 ppm. La muestra K10 se ha mencionado anteriormente, y la muestra K11 se encuentra muy próxima al casco urbano de Barruecopardo, junto a la báscula y el frontón del pueblo. En esta muestra únicamente se encuentra este máximo, pero encontramos la mínima cantidad de niobio. La máxima concentración que se alcanza en las muestras seleccionadas por García Blázquez (2002) fue de 2,57 ppm, localizado en la muestra K12.

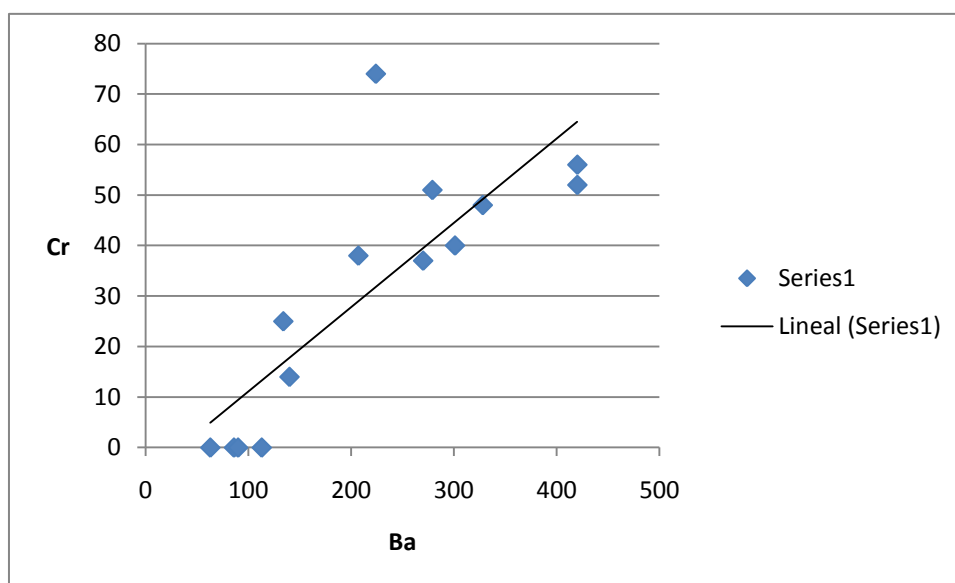
La mínima concentración la encontramos en la muestra M14, mencionada con anterioridad, y que tiene un valor de 63 ppm. El valor mínimo encontrado por García Blázquez (2002) para este elemento fue de 0,03 ppm en la muestra M12.

Comparando los datos de concentración de la roca con los datos obtenidos para la concentración de elementos en el suelo se observa que la concentración de bario en tres de las muestras analizadas tienen valores similares en ambos datos pero en las demás muestras el valor de concentración en el suelo es menor que el valor de concentración en la roca, por lo tanto el bario del suelo procede de la roca sobre la que se desarrolla

dicho suelo.

Al correlacionar los datos de concentraciones en suelo con los datos de concentraciones en roca, observamos que el bario del suelo se correlaciona de forma positiva con el hierro, molibdeno y vanadio de la roca y de forma negativa con el Tántalo.

Únicamente se correlaciona interelementalmente con el cromo (0,81) de forma positiva. No se correlaciona interelementalmente de forma negativa con ningún elemento.



**Berilio:** No se ha detectado presencia de berilio en las muestras seleccionadas para este trabajo. Según las muestras recogidas por García Blázquez (2002), la máxima concentración fue de 0,05 ppm en la muestra J9. En esta muestra únicamente se encuentra este máximo de concentración. Se trata de una zona alejada de la mina junto a una carretera con afluencia de tráfico. Es una zona sin elevaciones importantes en lo que se refiere a topografía y fue recogida en cantos y arenas (aluvial-coluvial). Se encontraron cinco puntos con un valor mínimo de concentración de 0,01 ppm, justo en el límite de detección analítico, en las muestras J10, K8, K11, K12 y N12, todas

ellas mencionadas anteriormente a excepción de la muestra J10, que se trata de una muestra próxima al núcleo urbano, junto a la ermita del Cristo de las Mercedes, al lado de una carretera. El sustrato sobre el que se desarrolla el suelo son cantos y arenas (aluvial-coluvial).

**Cadmio:** No se ha detectado presencia de cadmio en las muestras seleccionadas para este trabajo. Según las muestras recogidas por García Blázquez (2002), el máximo valor de concentración de este elemento fue de 0,02 ppm y se localiza en la muestra J10. En esta muestra se encontró también los máximos valores de concentración de aluminio, cromo y molibdeno. Fue recogida en una zona próxima al núcleo urbano de Barruecopardo, y muy próxima a una carretera de gran afluencia de tráfico. Según el mapa geológico Magna, se trata de un suelo desarrollado con cantos y arenas (aluvial-coluvial). 0,01 ppm es la mínima concentración encontrada por García Blázquez (2002) en las muestras, y se localizó en la muestra M14. Podemos destacar que únicamente en dos de las muestras recogidas por García Blázquez (2002) se detectó cadmio, una de ellas con la concentración por debajo del límite de detección analítico.

**Cobalto:** 50 ppm es la concentración máxima de cobalto encontrada, en la muestra L11, la más próxima a la explotación minera. En esta muestra no se localiza ningún máximo más pero sí numerosos mínimos, como son: aluminio, hierro, magnesio, titanio, arsénico, plomo, estroncio, vanadio y cinc. La máxima concentración encontrada de este elemento en las muestras recogidas por García Blázquez (2002) fue de 0,12 ppm, y se concentra en la muestra K12. Esta muestra fue recogida en una zona más o menos próxima a la mina. Geológicamente hablando se trata de un suelo con metasedimentos pelítico-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. Se encuentra en una zona más o menos llana, sin elevaciones importantes cercanas. En esta muestra también se encuentran los máximos valores de concentración de silicio, magnesio, calcio, titanio, bario, estroncio, azufre, cinc, litio, níquel, plomo, y selenio.

La concentración mínima de cobalto se encuentra en dos de las muestras recogidas, K8 y M14, con un valor de 11 ppm. En la muestra K8 se localizan los máximos de hierro, manganeso, titanio, cromo, niobio, níquel y vanadio y los mínimos de calcio y sodio. En la muestra M14 se localizan la máxima concentración de potasio y las mínimas de manganeso, bario, cobalto y plomo.

En este punto destacamos que únicamente en una de las muestras recogidas no se ha localizado cobalto, K9, al Oeste de Barruecopardo. Encontramos dos puntos con valores mínimos de concentración de este elemento en las muestras de García Blázquez (2002), con un valor de 0,01 ppm, localizados en las muestras J9 y M14, de las cuales hemos hablado anteriormente. Destacamos que únicamente el valor máximo de concentración de cobalto está por encima del límite de detección analítico.

Comparando los datos obtenidos para este trabajo en concentración de elementos en el suelo con los datos de concentración de elementos en la roca, observamos que los valores de concentración de la roca son mucho menores que los que aparecen en el suelo, por lo tanto el cobalto que se encuentra en el suelo no procede de la roca.

Correlacionando los datos de concentración en suelo con los datos de concentración en roca del Magna, observamos que el cobalto del suelo se correlaciona bien de forma negativa con el cromo, molibdeno, berilio y cobre de la roca.

**Cromo:** La máxima concentración que encontramos en las muestras es de 74 ppm, en la muestra K8, en la que coinciden máximos de hierro, manganeso, titanio, niobio y níquel, y mínimos como los de calcio, sodio y cobalto. Según García Blázquez (2002), el valor máximo de cromo en las muestras seleccionadas se dió en la muestra J10, con un valor de 0,03 ppm. En esta misma muestra se encuentra también la máxima concentración de aluminio, molibdeno y cadmio. Esta muestra se recogió en una zona próxima al

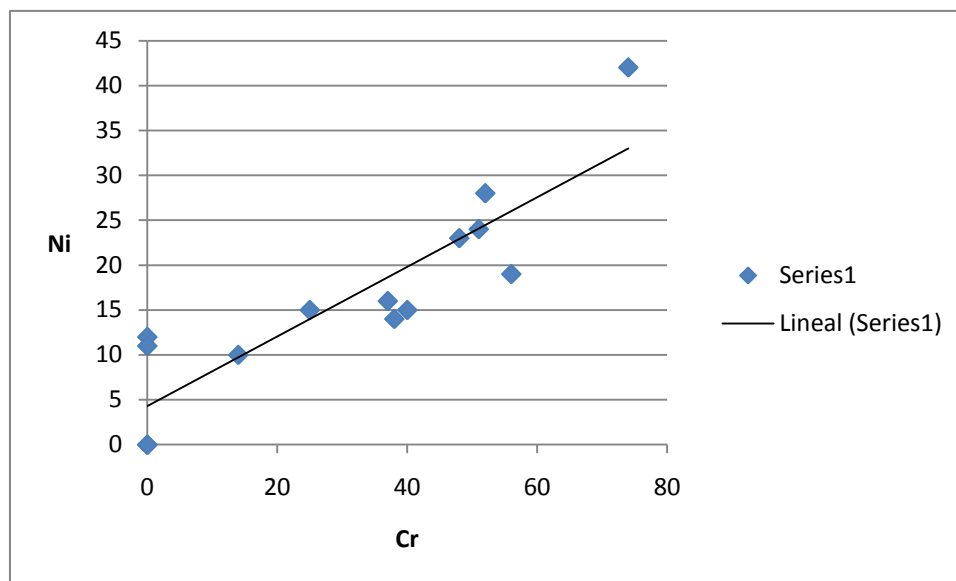
núcleo urbano de Barruecopardo, y muy próxima a una carretera de gran afluencia de tráfico. Según el mapa geológico Magna se trata de un suelo con cantos y arenas (aluvial-coluvial).

La mínima concentración de cromo la encontramos en la muestra I12, al norte de Barruecopardo, junto a la carretera que lo comunica con La Zarza de Pumareda. Se encuentra en una zona más o menos llana junto a la ribera de Las Casas. Es un suelo con metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. En esta muestra únicamente se localiza el máximo valor de concentración de cinc y el mínimo valor de concentración de níquel. Podemos destacar que en cuatro de las muestras recogidas, L11, M12, M14 y N12, no se ha detectado presencia de cromo. El valor mínimo de las muestras seleccionadas de García Blázquez (2002) se encontró en la muestra K12, mencionada anteriormente, con un valor de 0,02 ppm. En este elemento hay que destacar que incluso el valor máximo de concentración se encontraba por debajo del límite de detección analítico.

Comparando los datos de concentración de elementos en suelo y en roca se observa que los datos son prácticamente iguales, únicamente destaca una muestra, K8, en la que la concentración en el suelo es mucho mayor que en la roca, por lo tanto el cromo que se encuentra en el suelo no procede de la roca sobre la que se desarrolla el suelo.

Correlacionando los datos de concentraciones del suelo con los datos de concentraciones de la roca, podemos observar que el cromo del suelo está relacionado de forma positiva con el cromo, molibdeno y berilio de la roca.

Tiene buena correlación interelemental positiva con el níquel.



**Cobre:** La localización de la concentración máxima de cobre coincide con la de fosforo, arsénico y wolframio, en la muestra M12 y con un valor de concentración de 56 ppm. Aquí también se localiza la mínima concentración de manganeso, litio y vanadio. En la muestra M12 podemos encontrar el máximo valor de concentración de las muestras de García Blázquez (2002), con un valor de 0,70 ppm. En esta misma muestra se encontró el máximo valor de concentración de hierro y arsénico. Esta muestra ha sido recogida en una zona muy próxima a la mina, sin elevaciones importantes. Geológicamente se trata de un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca” de grano medio-grueso.

La mínima concentración de cobre se localiza en la muestra N12, que se trata de una muestra recogida en las proximidades de la explotación minera, al sur del núcleo urbano de Barruecopardo, junto a la carretera que lo comunica con la localidad de Saldeana. Se trata de un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca” de tamaño de grano medio-grueso. En esta muestra podemos destacar que únicamente encontramos un mínimo, de vanadio, y ningún máximo. En la muestra M14 de García Blázquez (2002) se encontró la mínima concentración de este elemento, con un valor de 0,02 ppm. Se trata de una

muestra situada al Este de la mina, a una distancia media, sin elevaciones importantes pero localizada junto a una mina de cuarzo, mina de las Senaras. Se encuentra en un suelo desarrollado sobre una facies porfídica (Macizo de Barreras-Saldeanas).

Comparando los datos de concentración de elementos en suelo y en roca, se observa que los valores de concentración en el suelo son mayores que los de la roca, por lo tanto el cobre que aparece en el suelo no procede de la roca sobre la que se desarrolla el suelo.

Al correlacionar estos datos con los datos del magna, podemos destacar que el cobre del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el yodo de la roca y bien de forma negativa con el cromo, molibdeno, niobio y níquel de la roca.

De forma interelemental no se correlaciona con ningún elemento.

**Litio:** 133 ppm es la concentración máxima que se encuentra de litio, y se localiza en la muestra K13, recogida al Este de Barruecopardo, junto a la carretera que lo une con Villasbuenas. En esta muestra encontramos los mínimos de potasio y fosforo pero ningún máximo. Se trata de una muestra recogida sobre un suelo con metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. El valor máximo de concentración de este elemento encontrado en las muestras de García Blázquez (2002) fue de 0,03 ppm y se localiza en dos puntos: muestra I12 y muestra K12. La muestra I12 es una muestra muy alejada de la mina. Podemos destacar que en esta muestra se encuentra también el máximo valor de molibdeno. Esta muestra fue recogida en una zona relativamente llana próxima a la Ribera de las Casas. Se trata de un suelo con metasedimentos pelítico-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. La muestra K12 ya ha sido mencionada con anterioridad.



El valor mínimo de concentración de litio se encuentra en la muestra M12, mencionada anteriormente, con un valor de 19 ppm, en la que se encuentran los máximos de fósforo, arsénico, cobre y wolframio, y los mínimos de manganeso, y vanadio. El valor mínimo de concentración encontrado por García Blázquez (2002) en las muestras seleccionadas se encontró en la muestra K13, una muestra recogida al Este del núcleo urbano de Barruecopardo, junto a una carretera con afluencia de tráfico, a una distancia media de la mina. Son metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. En este elemento hay que destacar que incluso el valor máximo está por debajo del límite de detección analítico en las muestras seleccionadas de García Blázquez (2002).

Se correlaciona de forma negativamente con el fosforo encontrado por García Blázquez.

Comparando los datos de concentraciones de elementos en suelos y en la roca, podemos observar que la mayoría de los datos de concentración en el suelo son muy parecidos a los de la roca, únicamente destacamos tres datos, dos de ellos (muestras K8 y K13) la concentración de la roca es menor que la del suelo, por lo tanto el litio que aparece en el suelo no procede de la roca sobre la que este se desarrolla. La tercera muestra que destacamos es la M12, con una concentración menor en el suelo que en la roca, por lo tanto el litio que encontramos en el suelo de esa muestra procede de la roca sobre la que se desarrolla dicho suelo.

Correlacionando los datos de concentración en suelo con los datos de concentración de la roca, se observa que el litio del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el rubidio de la roca y de forma negativa con el galio, cinc, vanadio, berilio y plomo de la roca.

No se correlaciona con ningún elemento de forma interelemental.

**Niobio:** El valor máximo de concentración de niobio es de 27 ppm, localizado en la muestra K8, mencionada anteriormente, en la que se encuentran las concentraciones máximas de hierro, manganeso, titanio, cromo, níquel y vanadio, y las mínimas de calcio, sodio y cobalto. La mínima concentración tiene un valor de 15 ppm, en la muestra K11, en la que se encuentran el máximo de bario y ningún mínimo más. Este elemento no fue analizado en el trabajo de García Blázquez (2002), y por lo tanto no podemos compararlo con los análisis de este trabajo.

Si comparamos los datos de concentración de los elementos en el suelo y en la roca observamos que los valores son más altos en el suelo que en la roca, por lo tanto el niobio que aparece en el suelo no procede de la roca sobre la que este suelo se desarrolla.

Si correlacionamos los datos de concentración de suelo con los datos de concentración de la roca se observa que el niobio del suelo se correlaciona de forma positiva con el rubidio y tántalo de la roca y de forma negativa con el bario, estroncio, cinc, vanadio, circonio y plomo.

**Níquel:** La máxima concentración la encontramos en la muestra K8, con un valor de 42 ppm, en la que coinciden los máximos de hierro, manganeso, titanio, cromo, niobio y vanadio, y los mínimos de calcio, sodio y cobalto. García Blázquez (2002) encontró la máxima concentración en la muestra K12, con un valor de 0,05 ppm.

La concentración mínima de níquel se encuentra en la muestra I12, recogida al norte de Barruecopardo, junto a la carretera que lo comunica con La Zarza de Pumareda. En esta muestra no se encuentra ningún máximo y únicamente se encuentra el mínimo de cromo. Podemos destacar que existen dos muestras en las que no se detecta níquel: M14 y N12. García Blázquez (2002) encontró la mínima concentración en la muestra J10, mencionada anteriormente, con un valor de concentración de 0,01 ppm. En este punto

podemos destacar que únicamente el valor máximo de concentración de níquel en las muestras seleccionadas de García Blázquez (2002) se encontraba por encima del límite de detección analítico.

Al comparar los datos de concentraciones de los elementos en el suelo y en la roca, se observa que ambos datos son muy similares y por lo tanto el níquel que aparece en el suelo procede de la roca sobre la que se desarrolla dicho suelo. Únicamente destacamos una muestra, K8, en la que la concentración de níquel en el suelo es mucho mayor que en la roca, por eso el níquel encontrado en esa muestra no procede de la roca sobre la que se desarrolla este.

Correlacionando los datos de concentración en el suelo con los datos de concentración en la roca se observa que el níquel del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el litio y el níquel de la roca y de forma negativa con el yodo de la roca

No se correlaciona interelementalmente con ningún elemento.

**Plomo:** 99 ppm es la máxima concentración encontrada, en la muestra K12, en la que coinciden también los máximos de concentración de calcio, magnesio y estroncio, y el mínimo de wolframio. Según García Blázquez (2002), la máxima concentración que se encontró en las muestras seleccionadas, se encuentra en la misma muestra, con un valor de 0,79 ppm.

La mínima concentración de plomo se localiza en las muestras L11 y M14. En la muestra L11 coinciden el máximo de cobalto y los mínimos de aluminio, hierro, magnesio, titanio, arsénico, estroncio, vanadio y cinc. Destacamos que existen cinco muestras en las que no se detecta la presencia de plomo: I11, K9, K10, K13 y N12. El valor mínimo encontrado por García Blázquez (2002) en las muestras fue de 0,06 ppm, en la muestra K9, situada al oeste del núcleo urbano, bastante alejada de la mina, en las proximidades de una carretera con afluencia de tráfico. Esta muestra se encuentra en un suelo

desarrollado sobre el granito de Barruecopardo.

Comparando los datos de concentraciones de elementos en la roca y en el suelo se observa que la mayoría de los valores son muy parecidos y por lo tanto el plomo que aparece en el suelo procede de la roca sobre la que se desarrolla. Únicamente destacamos que en tres de las muestras analizadas, I12, J9 y K12, el valor de concentración de plomo es mayor en el suelo que en la roca, por lo tanto el plomo que se encuentra en este suelo no procede de la roca sobre la que se desarrolla este.

Al correlacionar los datos de este trabajo con los datos de García Blázquez (2002), podemos decir que el plomo se correlaciona bien con el silicio, litio y el selenio.

Al correlacionar los datos de concentración del suelo con los datos de concentración de la roca se observa que el plomo del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el tántalo y de forma negativa con el molibdeno, vanadio y berilio de la roca.

No se correlaciona de forma interelemental con ningún elemento.

**Azufre:** La concentración máxima encontrada es de 813 ppm, en la muestra J9, ya mencionada. En esta muestra únicamente se encuentra el máximo de concentración de azufre y ningún mínimo. Según García Blázquez (2002), el máximo valor de concentración de azufre se localizó en la muestra K12, con un valor de 11,21 ppm.

La concentración mínima de azufre es de 200 ppm, en la muestra K9. Este mínimo únicamente coincide con la máxima concentración de sodio. Según García Blázquez (2002), en la muestra K8 se encontró el valor mínimo de concentración de azufre, 1,09 ppm.

El azufre del suelo se correlaciona positivamente con el titanio de las muestras de García Blázquez (2002), puestas en disolución.

Comparando los datos de concentración de elementos en el suelo y en la roca se observa que los valores de concentración de azufre en el suelo son muchísimo más elevados en el suelo que en la roca, por lo tanto el azufre que aparece en el suelo no procede de la roca sobre la que este se desarrolla.

Al correlacionar los datos de concentración en suelo con los datos de concentración de la roca se observa que el azufre del suelo se correlaciona bien con el escandio, litio y níquel de la roca.

No se correlaciona de forma interelemental con ningún elemento.

**Selenio:** No se ha detectado la presencia de selenio en las muestras recogidas. Según los análisis de García Blázquez (2002) sí se detectó selenio. La máxima concentración de este elemento se encontró en la muestra K12, con un valor de 0,22 ppm. El valor mínimo de concentración se localizó en la muestra L11, con un valor de 0,05 ppm. Esta muestra es la que se encuentra más próxima a la mina, situada entre una carretera con bastante afluencia de tráfico y la explotación minera. Está situada en un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca” de tamaño de grano medio-grueso. Destacamos que incluso el valor máximo de concentración se encuentra por debajo del límite de detección analítico. Únicamente en cinco de las muestras estudiadas por García Blázquez (2002) apareció selenio, aunque siempre por debajo del límite de detección analítico, por lo que no es un dato definitivo.

**Estroncio:** 88 ppm es la concentración máxima que se localiza en la muestra K12, y en la que coinciden también las concentraciones máximas de calcio, magnesio y plomo, la concentración mínima de wolframio. Según García Blázquez (2002), el valor máximo de este elemento se encontró en la muestra K12.

La concentración mínima de estroncio se localiza en la muestra L11, en la que también se puede encontrar la concentración máxima de cobalto y las mínimas de aluminio, hierro, magnesio, titanio, arsénico, plomo, vanadio y cinc. Podemos destacar que existen cinco muestras en las que no se detecta la presencia de estroncio, estas muestras son: J9, K8, M12, M14 y N12. Según los estudios de García Blázquez (2002), el valor mínimo encontrado de este elemento fue de 0,10 ppm en la muestra M12.

Estos datos se correlacionan bien con el estroncio y el cobalto de las muestras de García Blázquez (2002).

Comparando los datos de concentración de elementos en el suelo y en la roca se observa que los datos de concentración de estroncio son muchos menores en el suelo que en la roca, por lo tanto el estroncio que aparece en el suelo procede de la roca sobre la que se desarrolla este suelo.

Correlacionando los datos de concentraciones de en el suelo y los datos de concentraciones en la roca, observamos que el estroncio del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el galio, cinc, vanadio, berilio y plomo de la roca y de forma negativa con el rubidio de la roca.

**Vanadio:** La máxima concentración de vanadio en las muestras estudiadas es de 107 ppm en la muestra K8, donde se encuentran también los máximos valores de concentración de hierro, manganeso, titanio, cromo, niobio y níquel, y los valores mínimos de calcio, sodio y cobalto. Su valor máximo en las muestras recogidas por García Blázquez (2002) fue de 0,20 ppm y se localizó en la muestra J11. Esta muestra fue recogida en una zona muy próxima a una carretera de abundante circulación, al norte del núcleo urbano de Barruecopardo, bastante alejada de la mina. Esta muestra J11 se recogió en el suelo desarrollado sobre el granito de Barruecopardo. En esta muestra también se localizó el máximo valor de concentración de sodio y potasio.

La concentración más baja de vanadio en las muestras seleccionadas es de 16 ppm y se encuentran en tres muestras distintas: L11, M12, N12. Todas estas muestras están mencionadas anteriormente. La muestra L11 coincide con la máxima concentración de cobalto y la mínima de aluminio, hierro, magnesio, titanio, arsénico, plomo, estroncio y cinc. La muestra M12 coincide con la máxima concentración de fósforo, arsénico, cobre y wolframio, y la mínima concentración de manganeso, material volátil y litio. La muestra N12 coincide con la mínima concentración de cobre. Según García Blázquez (2002), se encontraron dos puntos con un valor mínimo de 0,01 ppm, en la muestra M12 y N12. La muestra M12 ya ha sido mencionada anteriormente, y la muestra N12, se recogió en una zona próxima a la mina, en un suelo desarrollado sobre granito “ala de mosca” de grano medio-grueso. Estos dos mínimos se encuentran justo en el límite de detección analítico.

Comparando los datos de concentración de elementos en el suelo y en la roca se observa que únicamente los datos con valor mínimo de concentración son menores en el suelo que en la roca, y por lo tanto proceden de esta. Los demás datos son mucho mayores en el suelo que en la roca y por lo tanto el vanadio que aparece en el suelo no procede de la roca sobre la que se desarrolla este suelo.

Si correlacionamos los datos de concentración en el suelo con los datos de concentración en la roca, se observa que el vanadio del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el cromo, molibdeno, berilio y cobre de la roca.

**Wolframio:** En este punto destacamos que únicamente cuatro muestras de las estudiadas, contienen wolframio. La muestra que contiene la máxima concentración es M12, 6116 ppm, en la que coincide con la máxima concentración de fósforo, arsénico y cobre, y la mínima concentración de manganeso, litio y vanadio.

La mínima concentración de wolframio se localiza en la muestra K12, 576 ppm, donde coincide con las máximas concentraciones de calcio, magnesio, plomo y estroncio. Este elemento no fue analizado en las muestras de García Blázquez (2002). Es un dato a tener en cuenta ya que es un elemento importante en este estudio.

Al correlacionar el valor encontrado para el wolframio en los análisis de este trabajo y las muestras de García Blázquez (2002) encontramos que el wolframio se correlaciona con el cobre y con el arsénico, este último con una alta correlación (0,99). Es importante tener esto presente ya que son dos elementos muy perjudiciales para los seres humanos y que al disolverse en agua pueden entrar en la cadena trófica.

En el caso del wolframio no se pueden comparar los datos de concentración de elementos en el suelo con los de la roca ya que no se tienen datos de concentración en la roca sobre la que se desarrolla el suelo.

**Cinc:** Los máximos se encuentran en pequeñas zonas de algunas carreteras y caminos de la provincia. 99 ppm es la concentración máxima que se encuentra en las muestras recogidas y se localiza en la muestra I12. Esta muestra coincide únicamente con un mínimo de concentración de níquel. El máximo valor de cinc encontrado por García Blázquez (2002) en las muestras seleccionadas fue de 1,17 ppm y se localiza en la muestra K12.

La concentración mínima de cinc es de 19 ppm y se encuentra en la muestra L11, que incluye la máxima concentración de cobalto y las mínimas de aluminio, hierro, magnesio, titanio, arsénico, plomo, estroncio y vanadio. El valor mínimo de concentración encontrado por García Blázquez (2002) fue de 0,08 ppm en la muestra M12.

Comparando los datos de concentración de elementos de la roca y del suelo se observa que la mayoría de los datos de concentración de cinc en el suelo son menores o similares a los de la roca, únicamente destacamos cuatro



muestras en las que el dato de concentración de cinc es mayor en el suelo que en la roca y por lo tanto este elemento que encontramos en el suelo no procede de la roca sobre la que se desarrolla. Estas muestras son I12, K8, K9 y K12.

Si correlacionamos los datos de concentraciones de los elementos en el suelo y en la roca, se observa que el cinc del suelo se correlaciona bien de forma positiva con el yodo y de forma negativa con el cromo, molibdeno y níquel de la roca.

**Molibdeno:** Este elemento no ha sido analizado en las muestras seleccionadas para este trabajo pero se tendrá en cuenta ya que en las muestras de García Blázquez (2002) si fue analizado. Según estos datos de García Blázquez (2002), podemos encontrar tres máximos de molibdeno en las muestras seleccionadas, con un valor de 0,02. Estas muestras son I12, J10 y M14. La muestra I12 fue recogida una zona muy alejada de la mina, situada al Norte del núcleo urbano, junto a una carretera. No presenta elevaciones importantes a su alrededor y geológicamente hablando se trata de una zona con un suelo con metasedimentos pelíticos-psamíticos con intercalaciones cuarcíticas. En esta muestra no se encontró ningún máximo más. La muestra J10 está localizada junto a una carretera, muy próxima a una ermita. Esta muestra fue recogida sobre un suelo con cantos y arenas (aluvial-coluvial). En esta muestra también se localiza el máximo valor de concentración de aluminio, cromo y cadmio. Finalmente, la muestra M14 está muy alejada de la mina, próxima a una mina de cuarzo. Está localizada en una facies porfídica (macizo de Barreras-Saldeana). En esta muestra tampoco se encuentran más máximos de concentración de otros elementos.

Encontramos dos muestras con valores mínimos de concentración, la muestra K12 y N12, mencionada anteriormente, y con un valor de concentración de 0,01 ppm, justo en el límite de detección analítico.

### **Interpretación de resultados.**

Al observar de manera general los resultados de las tablas (ver anexo II), se puede deducir que se produce una acumulación de algunos de los elementos estudiados en los alrededores de la mina.

En los datos obtenidos por García Blázquez (2002) y los obtenidos en este trabajo, coinciden las máximas concentraciones en los siguientes elementos: magnesio (muestra K12), calcio (muestra K12), estroncio (muestra K12), cobre (muestra M12), plomo (muestra K12) y arsénico (muestra M12).

Destacamos que la máxima concentración de arsénico, coincide con la máxima concentración de wolframio, además de otros elementos. Se encuentra en la muestra M12, una muestra al Este de la mina y muy próxima a esta. Destacamos este dato ya que el arsénico en elevadas concentraciones es un elemento muy perjudicial para los seres vivos, y se encuentra muy bien correlacionado con el wolframio, elemento que se extraía de la mina estudiada.

En la muestra L11, muestra más próxima a la mina, únicamente se encuentra un máximo de concentración, de cobalto. La muestra K8 es la que mayor número de máximos contiene, con un total de 7 máximos de concentración. Esta muestra se encuentra bastante alejada de la mina, al oeste del pueblo.

Como era de suponer, la máxima concentración de wolframio se encuentra en una muestra muy próxima a la mina, aunque no la más próxima, en la muestra M12.

En la muestra K12, recogida en una zona muy próxima al cementerio municipal, se encuentran concentraciones máximas de calcio, magnesio, plomo y estroncio. En general, algunos de estos elementos son frecuentes encontrarlos en los alrededores de cementerios y proximidades de carreteras.

En la muestra K11, muestra recogida muy próxima al casco urbano de Barruecopardo, no hay casos de concentraciones destacables. En las muestras J10, J11 y N12 no se localizan máximos de concentración. Las muestras J10 y J11 se encuentran bastante alejadas de la explotación minera, al noroeste de Barruecopardo. La muestra N12 se encuentra en las proximidades de la explotación minera, pero no se encuentran concentraciones máximas. En los análisis de García Blázquez (2002), se encontraba en esta muestra un máximo de concentración de fósforo, es decir, aparece cuando la muestra es analizada en disolución, pero no se encuentra máximo en el suelo, aunque sí se encuentran concentraciones de fosforo en todas las muestras.

## **8. DISCUSIÓN**

El análisis final de nuestros resultados se va a basar en aquellos puntos donde se ha observado que existe realmente una anomalía en cuanto a la concentración de elementos considerados como tóxicos para la salud de los seres vivos. Estos puntos están marcados prioritariamente por las muestras K8 y M12.

En la muestra K8 encontramos máximos de concentración de siete elementos que podrían derivarse de la influencia antropogénica, bien porque se han transportado desde un foco puntual, como puede ser la explotación minera, bien por otros agentes contaminantes.

En la muestra M12 se ha detectado la concentración máxima de wolframio. Esta muestra se recogió en un punto muy próximo a la mina, y en ella se ha detectado también una alta concentración de arsénico. Estos elementos se encuentran en la composición química de la roca que constituye el sustrato (y de ahí la importancia económica que en su día tuvo la zona). Por tanto, su acumulación preferente en los suelos de los alrededores de la mina puede considerarse como una acumulación natural, procedente de la desintegración del sustrato en la formación del suelo.

### **8.1. Comparativa con la normativa holandesa.**

Dado que en el Estado Español no existe una norma generalizada que exprese los valores de metales pesados que podrían considerarse como admisibles para la utilización para un uso determinado, hemos utilizado para este trabajo las tablas de la Normativa Holandesa (tabla 1 del anexo II), que es la que tradicionalmente se ha usado en trabajos científicos a la hora de describir la geoquímica de los suelos en un contexto medioambiental. También se ha completado la información con las tablas de elementos traza de la Normativa de la Comunidad de Cataluña (Real Decreto 9/2005 de 14 de enero). Este decreto hace mención a compuestos orgánicos, pero en cuanto a los inorgánicos sólo dice que se compare el suelo con la geoquímica del sustrato (tabla 2 del anexo II).

En estos momentos, el gobierno central está articulando un plan de reformas en este sentido, de manera que durante el presente año 2011 se pueda publicar la Ley de Residuos y Suelos Contaminados. En esta ley se establecerá un régimen jurídico para la producción y gestión de residuos, así como delimitar las competencias que corresponden a las diferentes administraciones públicas.

La comparación de la geoquímica de un suelo con la que se tabula en la Normativa Holandesa ha de ser manejada con precaución. Holanda es un país muy pequeño y estar sujeto a una ley muy restrictiva en cuanto a valores objetivo y de intervención podría hacer que muchos espacios no pudieran ser de beneficio útil. No debería de aplicarse de forma estricta en el caso de países con mayores extensiones de terreno y con una diferente ordenación del territorio.

A continuación se reflexiona sobre el comportamiento de los elementos más importantes en el contexto que se maneja en este trabajo:

**Arsénico:** sólo dos de las muestras recogidas para este trabajo contienen As, y ambos valores están muy por encima de los valores contemplados en las dos normativas tenidas en cuenta: según la normativa holandesa está muy por encima del valor de intervención y según la normativa catalana el suelo no sería apto para uso alguno. En la muestra K8 no se ha registrado arsénico pero en la muestra M12 se encuentra la máxima concentración de este elemento con un valor de 2838 ppm.

**Bario:** ocho de las muestras analizadas sobrepasan el valor objetivo de la normativa holandesa, pero ninguna de ellas supera el valor de intervención. Comparando nuestros valores con los de las tablas de la normativa de Cataluña se observa que no sobrepasa los valores considerados como aptos, por lo que los obtenidos en este trabajo están dentro de los límites aceptados. La muestra K8 contiene concentración importante de bario (224 ppm), sin embargo, en la muestra M12 la cantidad no es tan elevada (86 ppm).

**Cobalto:** en seis muestras de las analizadas se supera el valor objetivo establecido por la normativa holandesa, pero ninguna de ellas supera el valor de intervención. Según la normativa catalana, estas seis muestras también superan el límite catalogado como “otros usos”, pero únicamente una de ellas supera el límite de concentración para suelos de uso urbano. En la muestra K8 se encuentra la mínima concentración de este elemento (11 ppm) pero en la muestra K12 se encuentra una de las mayores concentraciones registradas (42 ppm).

**Cromo:** en ambas normativas se habla de cationes de cromo pero en este proyecto hemos trabajado con el cromo elemental, por lo que no se puede hacer una comparativa inmediata para ver si tenemos una concentración anómala o no de este elemento. La normativa catalana, distingue entre cromo III y cromo VI. Para el cromo VI es mucho más restrictiva ya que es un catión peligroso y cancerígeno. En la muestra K8 se encuentra la máxima concentración de cromo con un valor de 74 ppm, al contrario que en la muestra M12, en la que no se localiza este elemento.

**Cobre:** ninguna de las muestras analizadas superan el valor de intervención, pero ocho de las 14 muestras superan el valor objetivo establecido por la normativa holandesa. Según la normativa de Cataluña únicamente una de las muestras supera el valor calificado como otros usos. Para este elemento se ve claramente que la normativa holandesa es mucho más restrictiva que la catalana. En la muestra K8 se encuentra una concentración no excesiva de este elemento (29 ppm) pero en la muestra M12 se encuentra la máxima concentración de cobre de todas las analizadas.

**Níquel:** únicamente una de las muestras recogidas supera el valor objetivo marcado por la normativa holandesa, pero ninguna alcanza el valor de intervención. Según la normativa catalana, ningún valor de concentración de níquel alcanza algún valor a tener en cuenta. En la muestra K8 se encuentra la máxima concentración de níquel (42 ppm); la muestra M12 presenta una concentración más baja (11 ppm).

**Plomo:** únicamente una muestra alcanza el valor objetivo marcado por la normativa holandesa, pero ninguna alcanza el valor de intervención. Según la normativa de Cataluña, solo dos muestras alcanzan los valores a tener en cuenta para un uso del suelo urbano u otros usos. En las muestras K8 y M12 se localiza una concentración intermedia entre todos los valores obtenidos para este elemento.

**Vanadio:** la normativa holandesa no contempla este elemento, pero la normativa catalana sí. Según ésta, ninguna de las muestras analizadas llega a un valor a tener en cuenta para la utilización de otros usos del suelo. En la muestra K8 se encuentra la máxima concentración de este elemento (107 ppm) y en la muestra M12 la mínima (16 ppm).

**Cinc:** según la normativa holandesa, ningún valor de concentración alcanza el valor objetivo, y según la normativa catalana tampoco se alcanzan valores a tener en cuenta en otros usos del suelo distintos al uso urbano o industrial. La muestra K8 tiene una concentración de cinc muy próxima a la concentración máxima, la muestra M12 presenta una concentración intermedia de las obtenidas para todas las muestras.



## **8.2. Las anomalías observadas.**

La mayoría de las muestras fueron recogidas en las inmediaciones de la explotación minera de wolframio de Barruecopardo.

El estudio de los resultados obtenidos en el análisis de las muestras del trabajo manifiesta que la concentración de alguno de los elementos analizados es muy baja y, en muchos casos, los valores mínimos están por debajo del límite de detección.

La dinámica que han seguido los elementos puede estar relacionada con el propio arrastre del agua de lluvia hacia otras regiones donde la línea de flujo favorezca la acumulación de esas aguas y, con ello, los elementos que transporta.

El estudio de la evolución química de un suelo, y por tanto su estado de salud con respecto a contaminación en trazas, tendría que estar basado en periodos de muestreo menos distanciados. En el caso de que se detectaran anomalías entre muestreos, cabría la posibilidad de elaborar un monitor geoquímico a partir de algún elemento o alguna relación entre elementos que ayudara a un rápido diagnóstico del estado medioambiental de las formaciones superficiales.

En cuanto a elementos mayores, parece que sólo el silicio, calcio (excepto una muestra), potasio, magnesio (a excepción de cinco de ellas), manganeso (menos una de las muestras), sodio, fósforo y titanio están en menor proporción en el nivel superior del suelo que en la roca. Esto quiere decir que han sido aportados de la geoquímica total del sustrato, al desintegrarse ésta en la formación del suelo. Sin embargo, los que aparecen con concentraciones mayores a los del sustrato, como es el caso del aluminio, calcio (únicamente una muestra), hierro, magnesio (cinco de las muestras) y manganeso (una muestra) deben proceder de fuentes alternativas, que han provocado las concentraciones en dicho nivel superficial. La existencia de la

mina puede haber hecho que el remover los materiales haya producido una acumulación selectiva de algunos de los elementos.

En cuanto a elementos traza, el arsénico (aunque no tenemos datos del sustrato suponemos que proviene del suelo ya que se correlaciona bien con el wolframio y es una zona con abundancia de este elemento), bario, cromo (todas las muestras menos una), litio (a excepción de dos), níquel (excepto una), plomo (menos tres de ellas), estroncio, vanadio (cuatro de las muestras), wolframio y cinc (todas las muestras menos cuatro) contienen una concentración menor en el suelo que en la roca y por lo tanto estos elementos provienen de la roca sobre la que se desarrolla este suelo. Por el contrario, parece que el cobalto, cromo (sólo una muestra), cobre, litio (dos muestras), niobio, níquel (una de las muestras), plomo (tres muestras) azufre, vanadio (parte de las muestras) y cinc (cuatro de las muestras), tienen mayor proporción en el suelo que en la roca y por lo tanto no proceden del suelo sobre el que se desarrollan. Esto puede deberse a que otra fuente externa (por ejemplo la mina) haya hecho que se produzca una selección de elementos en cuanto a concentraciones.

Comparando los datos con los de las normativa holandesa y catalana, concluimos que pasan el nivel objetivo los elementos como el bario (ocho muestras), cobalto (seis muestras), cobre (dos muestras), níquel (únicamente la muestra K8) y el plomo (dos muestras). Dos de las muestras de plomo que contienen una alta concentración de este elemento superan el valor dado por la normativa catalana para uso urbano del suelo.

Este es el claro ejemplo para el cual sería necesario un control sistemático ya que, aunque no se considera un nivel preocupante, habría que ver si los valores se alteran hacia arriba, en el caso de la nueva apertura de la explotación.

Comparando los datos del sustrato rocoso de la zona de estudio con los datos estándar de granito G1 y G2 (Govindaraju, K. (1994)) se observa que la concentración de níquel del sustrato rocoso de este trabajo es muy superior al de los granitos estándar. Podríamos suponer que el níquel que aparece en el suelo procede del sustrato granítico sobre el que se ha formado y que esta anomalía se debe a una concentración natural, no debida a factores antropogénicos.

De todos los elementos analizados, únicamente el arsénico supera el nivel de intervención de la normativa holandesa y el nivel de uso para “otros usos” de la normativa catalana.

El mayor valor encontrado se localiza en la muestra M12, con un valor de 2838 ppm, superando con mucho las 55 ppm de la normativa holandesa.

Hay que destacar que ciertos elementos traza se acumulan en las mismas muestras estudiadas en este trabajo y en el de García Blázquez (2002). Tal es el caso del cobre y arsénico en la M12 y plomo y estroncio en la muestra K12. Esto es importante, puesto que se trata de elementos tóxicos para la salud y si aparecen concentraciones altas en muestras puestas sólo en disolución (como es el caso del arsénico, que sobrepasa el valor objetivo de la normativa holandesa (tabla 1 del anexo II)), quiere decir que los elementos no están fijados en la red de los minerales sino adsorbidos en su superficie. Esto facilitaría su incorporación a las aguas que circulen por estos suelos y su posterior incorporación a aguas de consumo.

Algunos elementos traza presentan sus máximos correlacionados con los de los elementos mayores. Tal es el caso del bario, que va asociado a la red de los feldespatos. Estos máximos se pueden interpretar por tanto como dependientes de la integración de los feldespatos en la formación del suelo, que queda reflejada también en el horizonte más superficial, sobre el que hemos trabajado.

La cantidad de arsénico que puede pasar a la cadena trófica a través de los cultivos es bastante baja, pero este elemento puede concentrarse en organismos acuáticos a partir del agua en el que viven. El arsénico puede causar varios efectos sobre la salud, como es irritación del estómago e intestinos, disminución en la producción de glóbulos rojos y blancos, cambios en la piel e irritación de los pulmones. La ingesta de cantidades significantes de arsénico inorgánico puede intensificar las posibilidades de desarrollar cáncer, especialmente de las tipologías de piel, pulmón, hígado y linfa. La mayor parte del arsénico puede pasar rápidamente a la corriente sanguínea. La cantidad que pasa a la sangre dependerá de la cantidad y del tipo de arsénico que se ingiera.

La exposición al arsénico más probable en zonas cercanas a escombreras y lugares donde se produzca su acumulación es mediante inhalación. La aireación de estos suelos, bien de manera natural o por el reabajado de la zona puede poner este elemento en suspensión. Si se respira aire que contiene polvo de arsénico, muchas de las partículas de este se depositarán en el interior de los pulmones y de estos a la sangre.

Al entrar en contacto con suelo o agua contaminada con arsénico, solamente una pequeña cantidad entrará al cuerpo a través de la piel; por eso, este tipo de exposición no es muy importante.

Tanto la forma inorgánica como la forma orgánica de arsénico abandonan el cuerpo en la orina en unos días, pero una cantidad permanecerá en el cuerpo durante meses o incluso años.

## **9. CONCLUSIONES.**

El objetivo fundamental de este trabajo era observar si la presencia de actividades industriales puede afectar la geoquímica de una formación superficial desarrollada sobre un sustrato rocoso. Efectivamente, hemos observado que ciertos elementos aparecen en concentraciones mucho más elevadas en las muestras analizadas del Horizonte A que las que deberían de estar presentes en una teórica formación de este suelo a partir del sustrato.

El estudio se ha desarrollado en los alrededores de la mina de wolframio de Barruecopardo, que tuvo una intensa actividad a principios del siglo XX, fue cerrada a finales de éste, pero existe una alta posibilidad de reactivación de la mina, debido a los cambios económicos que van parejos a la minería de metálicos.

Es por esto que, como conclusión preliminar, podemos decir que la existencia de actividad minera genera unos cambios en las propiedades de los suelos que tienen que ser estudiados en el caso de que dichos suelos vayan a tener usos determinados, como puede ser el cultivo. Si la removilización de material de la mina produce aportes de elementos categorizados como tóxicos para la salud y el medioambiente, hay que sugerir un tratamiento de dichos suelos, o simplemente dedicarlos a otros usos que no afecten a la cadena trófica.

Lo ideal sería hacer un seguimiento periódico de la geoquímica del suelo analizado en este trabajo en el caso de la reapertura de la mina. Con él se podría elaborar un monitor medioambiental que caracterizase la implicación de actividades antrópicas en la variación química de formaciones superficiales, como así se ha notado en otros estudios sobre el mismo tema.

## **10. BIBLOGRAFÍA.**

Alonso Rojo, P., García Sánchez, A. y Santos Francés, F. (2002). Contenidos y línea base referencial de metales pesados en suelos tipo de Salamanca y Valladolid. *Resúmenes del congreso: Avances en Calidad Ambiental*. pp. 83-88. Salamanca.

Álvarez González, A. M. (1978): Contaminación de suelos y plantas por efecto del tráfico rodado en el entorno de las carreteras. *Tesis de Licenciatura, Universidad Autónoma de Madrid*, 69 pp. (Inédita).

Antona, J.F; Fallick, A.E; García Sanchez, A; (1992): Estudio de isotopos estables en las mineralizaciones de W, As y Au de Saucelle-Barruecopardo deposits. NW of Salamanca.

Barrio Martín, S. (1995). Aplicación de las técnicas de absorción y emisión atómica al análisis de elementos traza en suelos y sedimentos. *ITGE: Contaminación y depuración de suelos*, pp. 159-169.

Calvo Bueno, G. (2011). Composición química de un suelo en las proximidades de vías de comunicación: influencias antropogénicas.

Cardona, A., Álvarez, A. Carral, P. y Jiménez Ballesta, R. (1997). Capacidad de amortiguamiento potencial y actual de diversos suelos ácidos del Sistema Central. *Boletín de la Sociedad Española de la Ciencia del Suelo*, nº 3-1, pp. 99-107.

Carnicero, M.A. (1980). Estudio petrológico del metamorfismo y los granitoides entre Cipérez y Aldea del Obispo (W de la provincia de Salamanca). *Tesis Doctoral Universidad de Salamanca*, 202 pp.

Diez Balda, M. A. (1986). El complejo esquisto-grauváquico, las series paleozoicas y la estructura hercínica al sur de Salamanca, *Acta Salmanticensia, Ciencias*, 52. *Ed. Universidad de Salamanca*, 279 pp.

García Blázquez, A. M. (2002): Contribución a la caracterización geoquímica de las formaciones superficiales de las provincias de Salamanca y Valladolid. *Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca*.

García, I., Dorronsoro, C. (2002). Contaminación del suelo por metales pesados. *Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Granada*. Tema 15.

González Hernández, F.M., Pereira, M.D., Goy, J.L., Forteza, J., Bernal, M.N., García, A.M. y Martínez, A. (2002). Concentraciones de metales pesados en suelos de las inmediaciones de Béjar (Salamanca, España): impactos areales –vertederos de RSU y lineales, carretera Salamanca-Cáceres. *Resúmenes del congreso: Avances en Calidad Ambiental*. pp. 321-327. Salamanca.

González, J., Moreno, A. M., Pérez, L., Larrea, M. T., Prieto, P., del Rosa; C., Mosso, A. (2000): Nivel de contaminación en suelos por elementos traza. Impacto sobre las comunidades microbianas. *Edafología. Volumen 7-3. Septiembre 2000*. Pp. 47-54.

Govindaraju, K. (1994) Geostandard Newsletter V d XVIII, Special Issue.

Instituto Tecnológico Geominero, 2004, *Geología de España*.

Julivert, M., Fontbote, J. M., Ribeiro, A., & Conde, L. (1972): Mapa tectónico de la península Ibérica y Baleares. Escala 1:1.000.000. Inst. Geol. Min. España. Madrid.

Jiménez Ballesta, R. Y Sánchez Cabrero, B. (1995). Cargas críticas para la acidez de algunos suelos bajo encinar. *Revista de la Sociedad Geológica Española del Suelo*, 1-1, pp. 35-41.

López- Plaza, M. (1982). Contribución al conocimiento de la dinámica de los cuerpos graníticos en la penillanura salmantino-zamorana. *Tesis Doctoral Universidad de Salamanca*, 333 pp.

López Plaza, M. (1993). Caracterización geoquímica de las anatexitas del Domo del Tormes: provincias de Salamanca y Zamora. *Revista de la sociedad geológica de España*, 16 pp.

Mapa Agronómico Nacional (1970): Mapas provinciales de suelos, Salamanca. Ministerio de Agricultura. Madrid.

Mapa Geológico de España (1996): Escala 1:50.000, nº 449 (Salamanca). ITGE. Madrid.

Mapa Hidrogeológico de Castilla y León: Memoria y Mapa Hidrogeológico (1995). Escala 1:500000. *Junta de Castilla y León*.



Mapa Topográfico Nacional de España (2002): Escala 1:50.000, nº448 (Vilvestre). Ministerio de Fomento. Instituto Geográfico Nacional.

Martín Serrano, A., Monteserín López, V., (2000). Mapa Geológico de España, Hoja 448. *Instituto Tecnológico Geominero de España*.

Martínez Fernández, F. J. (1974). Estudio del área metamórfica y granítica de los Arribes del Duero (Provincias de Salamanca y Zamora). *Tesis Doctoral Universidad de Salamanca*, 286pp. Publicado en: Cuad. Geol. Univ. Oviedo, 7, 3-141.

Navas, A., Machín, J. (2002). Spatial distribution of heavy metals and arsenic in soils of Aragon (northeast Spain): controlling factors and environmental implications. *Applied Geochemistry* 17 (8), 961-973.

Nilsson, J. (1986). Critical loads for sulphur and nitrogen, Miljorapport 1986:11, Nordic Council of Ministers, Copenhagen.

Nilsson, J. y Grennfelt, P. (1988). Critical loads for sulphur and nitrogen. Informe de reunión (Skokloster, Suecia), 19-24 Marzo. pp. 418.

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. Volumen 7-3. Septiembre*, pp. 113-120.

Proyecto de real decreto por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados (2005). Ministerio de Medioambiente. Madrid.

Reimann, C., Caritat, P. (1998). Chemical Elements in the Environment, Factsheets for the Geochemist and Environmental Scientist, Ed. Springer- Verlag, Berlín Heidelberg.

Rodríguez Alonso, M. D. (1985). El complejo esquistó- grauváquico y el paleozoico en el centro- oeste español. *Acta Salmanticensis* 51 (Universidad de Salamanca, Salamanca).

Salazar Martínez, A. (2002). El Suelo como Sistema Ecológico. Eco portal.net (<http://www.ecoport.net/articulos/suelo.htm>).

Santos, F., & García, J. M. (1993): Cartografía temática de suelos y su aplicación a la ordenación del territorio del área periurbana de Salamanca. *Problemática geoambiental y desarrollo*, pp. 553-564.

Seoánez Calvo, M. (1999). Contaminación del suelo: Estudios, tratamiento y gestión. *Ediciones Mundi- Prensa*, Madrid, pp. 141-154.

Tarvainen, T. (1996). Environmental Applications of Geochemical Databases in Finland. *Geological Survey of Finland, Espoo*. 75 páginas y 11 figuras.

Trueba, C., Millán, R., Schmid, T., Lago, C., Roquero, C., Magister, M. (1999). Base de Datos de Propiedades Edafológicas de los Suelos Españoles. Volumen X. Castilla y León (a). *Informes Técnicos Ciemat*, 176 pp.