



Departamento de Geología
Área de Petrología y Geoquímica
Facultad de Ciencias,
Universidad de Salamanca

**Geoquímica de un suelo desarrollado
sobre areniscas del Terciario:
un caso extremo
en las proximidades de un vertedero**



Laura Sanchón de la Nava

2008

DOLORES PEREIRA GÓMEZ. Profesora Titular del Área de Petrología y Geoquímica del Departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

JOSÉ FORTEZA, Doctor en Química.

CERTIFICAN: Que han revisado la memoria del trabajo de investigación **“GEOQUÍMINCA DE UN SUELO DESARROLLADO SOBRE LAS ARENISCAS DEL Terciario: UN CASO EXTREMO EN LAS PROXIMIDADES DE UN VERTEDERO.”** Realizado por Dña. LAURA SANCHÓN DE LA NAVA en el Área de Petrología y Geoquímica, y autorizan su presentación para optar al Grado de Salamanca.

Salamanca, 18 de Abril de 2008

Los directores del Trabajo

Maria Dolores Pereira Gómez

José Forteza

AGRADECIMIENTOS

A Lola Pereira, por compartir sus conocimientos y por el apoyo y dedicación recibido durante este tiempo. También a José Forteza por sus sugerencias y ayuda con el trabajo de investigación.

A los miembros del Área de Petrología y Geoquímica, por su apoyo técnico y material.

Al IRNA-CSIC de Salamanca, por su colaboración en los análisis de pH y materia orgánica.

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

A José Nespereira y José A. Blanco por su ayuda y aporte de material.

A Alicia González, Concejala de Medioambiente y a Jose A. de la Fuente por facilitarme datos sobre el estado del vertedero de Salamanca.

A mi familia y amigos, por todo el apoyo que me han dado, a lo largo de este tiempo. A Juncal gracias por la ayuda de material bibliográfico. Y en especial a Alberto y Marianela por todo su apoyo y ayuda.

Este trabajo se ha beneficiado de la subvención del Proyecto de la Junta de Castilla y León; SA05/04.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	1
Relación entre los residuos municipales y la contaminación del suelo.....	5
Posibles efectos adversos en los seres humanos.....	8
2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	9
3. MARCO GEOLÓGICO.....	15
4. ANTECEDENTES.....	23
5. METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	27
5. 1. TRABAJO DE CAMPO.....	29
<u>5.1.1. Los perfiles de muestreo.....</u>	29
5. 2. TRABAJO DE LABORATORIO.....	33
<u>5.2.1. Preparación de las muestras.....</u>	33
<u>5.2.2. Análisis químico.....</u>	33
<u>5.2.3. Análisis de pH y de materia orgánica.....</u>	33
5. 3. TRABAJO DE GABINETE.....	33
6. OBJETIVOS.....	35
7. DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS.....	39
7. 1. VARIACIONES CON LA DISTANCIA DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS MAYORES.....	43

7.2. VARIACIONES CON LA DISTANCIA DE LOS DISTINTOS ELEMENTOS TRAZA.....	61
7.3. VARIACIÓN DE LOS ELEMENTOS MAYORES CON LA PROFUNDIDAD.....	81
7.4. VARIACIÓN DE LOS ELEMENTOS TRAZA CON LA PROFUNDIDAD.....	87
7.5. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE LOS ELEMENTOS MAYORES ENCONTRADOS EN EL SUELO CON RELACIÓN A SU CONTENIDO EN LA ROCA MADRE DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	93
7.6. COMPARACIÓN DE LOS VALORES DE LOS ELEMENTOS TRAZA ENCONTRADOS EN EL SUELO CON RELACIÓN A SU CONTENIDO EN LA ROCA MADRE DEL ÁREA DE ESTUDIO.....	99
8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	105
9. BIBLIOGRAFÍA.....	111
10. ANEXO.....	119

INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN

El trabajo que se presenta en esta memoria es un estudio de la composición geoquímica de un suelo desarrollado sobre una roca de origen terciario, con un avance en las posibles interpretaciones que de los resultados puedan hacerse.

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

Aunque la geoquímica del suelo es función directa de la geoquímica del sustrato geológico sobre el que se desarrolla ocasionalmente, la sobreexplotación y el mal uso de los suelos han dado lugar a la contaminación y degradación de los mismos por la acción antropogénica. Actuaciones indirectas, como las actividades industriales, eliminación de residuos urbanos y transporte, entre otras, han ocasionado su deterioro.

Existen varios tipos de elementos que forman parte de la naturaleza, pero que en altas concentraciones pueden ser nocivos para el medio y para los seres vivos (Seoánez Calvo, 1999). Algunos de estos elementos son los metales pesados, que en pequeñas dosis pueden ser beneficiosos para los organismos vivos, y de hecho son utilizados como micronutrientes, pero pasado un umbral se convierten en elementos nocivos para la salud. El suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a tales niveles que llegan a ser nocivas, dando lugar a la pérdida de nutrientes, con incremento de la toxicidad y modificación de las propiedades fisicoquímicas. (García & Dorronsoro, 2002).

Podemos definir dos tipos de contaminación: Una es la *contaminación natural*, frecuentemente 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. Un ejemplo de esta contaminación se ha observado en suelos desarrollados sobre serpentinitas, rocas metamórficas derivadas de la alteración de rocas ígneas ultramáficas (García & Dorronsoro 2002). Las serpentinitas pueden incorporar al suelo que se desarrolla sobre ellas, un alto contenido en Cr y Ni, y considerarlos como contaminantes del suelo, aunque se hayan adquirido de forma natural. El otro tipo de *contaminación* es la *inducida o antrópica*, de origen exógeno (González et al, 2002), que en su mayor parte es provocada por los seres humanos y que puede tener importantes consecuencias sobre los suelos y sobre la vida que se realiza en ellos, tanto en plantas como en animales.

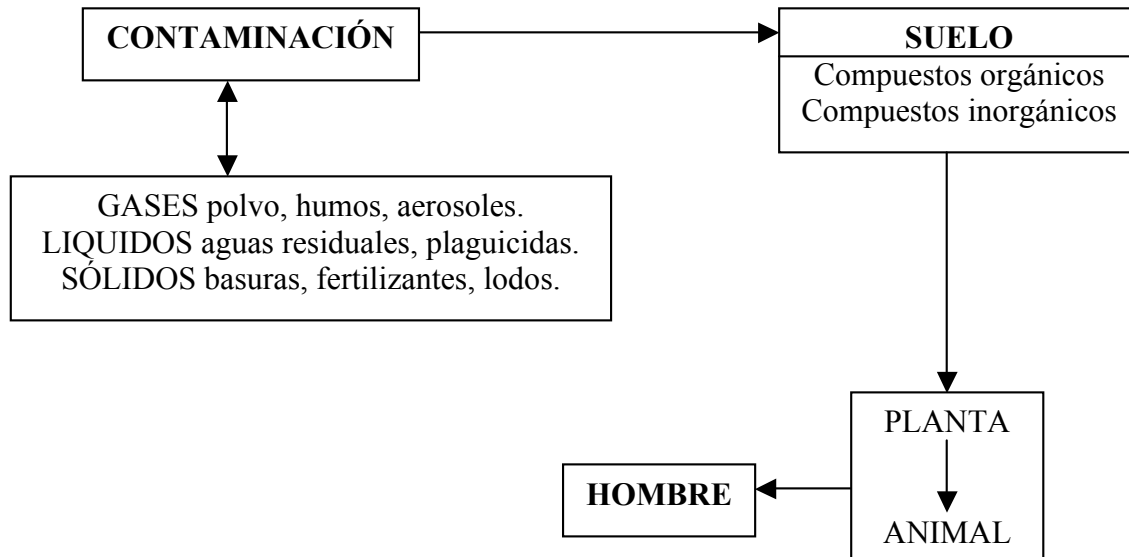


Figura 1. Trayectoria de incorporación de los contaminantes. (García & Dorronsoro, 2002, adaptado de Mas & Azcue, 1993.)

El desarrollo de las actividades humanas ha dado lugar a nuevos productos contaminantes (Figura 1), (Bueno et al, 1997; Bernal, 2002; García & Dorronsoro, 2002), con las consecuencias derivadas. Y en la actualidad, el creciente aumento de los desechos y un mayor conocimiento por parte de la ciudadanía, han producido una creciente preocupación por el medio ambiente.

Existen múltiples referencias a la calidad del agua y del aire, realizándose sobre ellos estudios exhaustivos y procesos de descontaminación. Con respecto al suelo, los conocimientos son menores y las actuaciones sobre él son más restringidas y, cuando se realizan, mucho más caras.

Al ser el suelo el agente protector de los sistemas hídricos y biológicos, es importante el hecho de llevar a cabo sobre él todos los controles necesarios.

Para poder evaluar de una mejor forma las características del suelo y conocer así qué actividades son más y menos susceptibles de desarrollarse sobre él, se han creado los *estudios de evaluación de impacto ambiental*, los cuales en la actualidad se aplican más exhaustivamente para poder evaluar el potencial contaminador de una actividad en el punto donde se va a localizar.

Un concepto a tener en cuenta es la *carga crítica* de un contaminante, refiriéndose al valor máximo de un elemento que es capaz de admitir un suelo sin que se produzcan efectos nocivos sobre él (Macías, 1993).

La utilización de estos dos conceptos en el estudio de los suelos nos llevará a conocer mejor el comportamiento de los diferentes elementos que pueden resultar tóxicos y como influirían en cada tipo de sustrato, sabiendo así qué actividades se pueden instalar en cada suelo, para que se produzca el menor impacto posible sobre él.

Relación entre los residuos municipales y la contaminación del suelo

En muchos países, los residuos municipales se han convertido en un serio inconveniente. Ejemplo de esta problemática se da en países como Estonia, Australia y Nueva Zelanda.

En el caso de Estonia, la acumulación de los residuos se ha llevado sin control en muchos vertederos, provocando también la preocupación de otros países vecinos como Finlandia, que estableció un sistema para llevar a cabo una recogida de desechos sin llegar a buen término. Posteriormente se comenzaron programas de reciclado pero que no fueron eficientes por la falta de recogida selectiva. A causa de todo ello y de una creciente preocupación por la salud humana y cómo puede afectar esto a los suelos de la zona donde se localizan esos vertederos, en su mayoría incontrolados, el Ministerio de Medioambiente de Estonia ha establecido una serie de iniciativas a corto y largo plazo para realizar una recogida más controlada de los residuos. En Estonia también se reclama la existencia de trabajos que indiquen el posible grado de contaminación que han sufrido los suelos por causa de estos vertederos (Environmental performance review of Bulgaria, 2000).

En Australia y Nueva Zelanda también les preocupa la cantidad de residuos municipales que se generan y cómo pueden afectar a las características del suelo y de las plantas. En estos países, existe un mayor entendimiento de cómo los residuos tienen ciertos componentes, como los metales pesados, que pueden afectar a las propiedades físicas y químicas de los sustratos. Ahora se requieren más investigaciones que ayuden a tener un conocimiento más estricto de las características de los residuos y de los tipos de contaminación que pueden producir en los suelos. (Cameron et al, 1997).

En el presente trabajo se ha llevado a cabo una recogida de muestras en la zona próxima al vertedero de Salamanca (Figura 2), el cual está sellado en un 75% y en el que se realizaron obras de impermeabilización en los laterales en el año 1999. Se intentará identificar la posible existencia de variaciones geoquímicas en el suelo, que pudieran ser producidas por la acción antropogénica que se desarrolla en la zona debido a la ubicación de este vertedero. Se trata de un vertedero donde se acumulan residuos sólidos urbanos, y se sitúa sobre un suelo que se ha desarrollado sobre un sustrato de origen Terciario.

A efectos de su influencia sanitaria, se ha de tener en cuenta la localización de este vertedero, muy próximo a la ciudad de Salamanca y a la población de Villamayor de la Armuña. Y es de considerar también la proximidad de una urbanización muy cercana a él.

El posible foco de la contaminación (vertedero), de este suelo se encuentra situado en un pequeño cerro, sin que se aprecien medidas contra el vertido de los lixiviados ya que existen acumulaciones de lodos en las zonas exteriores. Los muestreos se han llevado a cabo en dos zonas: una más elevada y plana sin cultivo en la actualidad y otra que presenta cierta inclinación del terreno y que está en cultivo de cereales. Lo que pretendemos aclarar en este estudio es si las variaciones geoquímicas encontradas en el suelo son consecuencia de circunstancias externas a la propia naturaleza del suelo, debiéndose por tanto a la acción antropogénica por la instalación del vertedero de RSU en la zona de estudio.

En la actualidad, este centro está siendo sustituido por un centro de tratamiento de residuos (CTR) en la localidad de Gomecello; de esta manera dejarán de llegar los residuos urbanos, y con ellos la contaminación, al vertedero de Salamanca, convirtiéndose ahora en prioridad la recuperación de los terrenos adyacentes al vertedero.

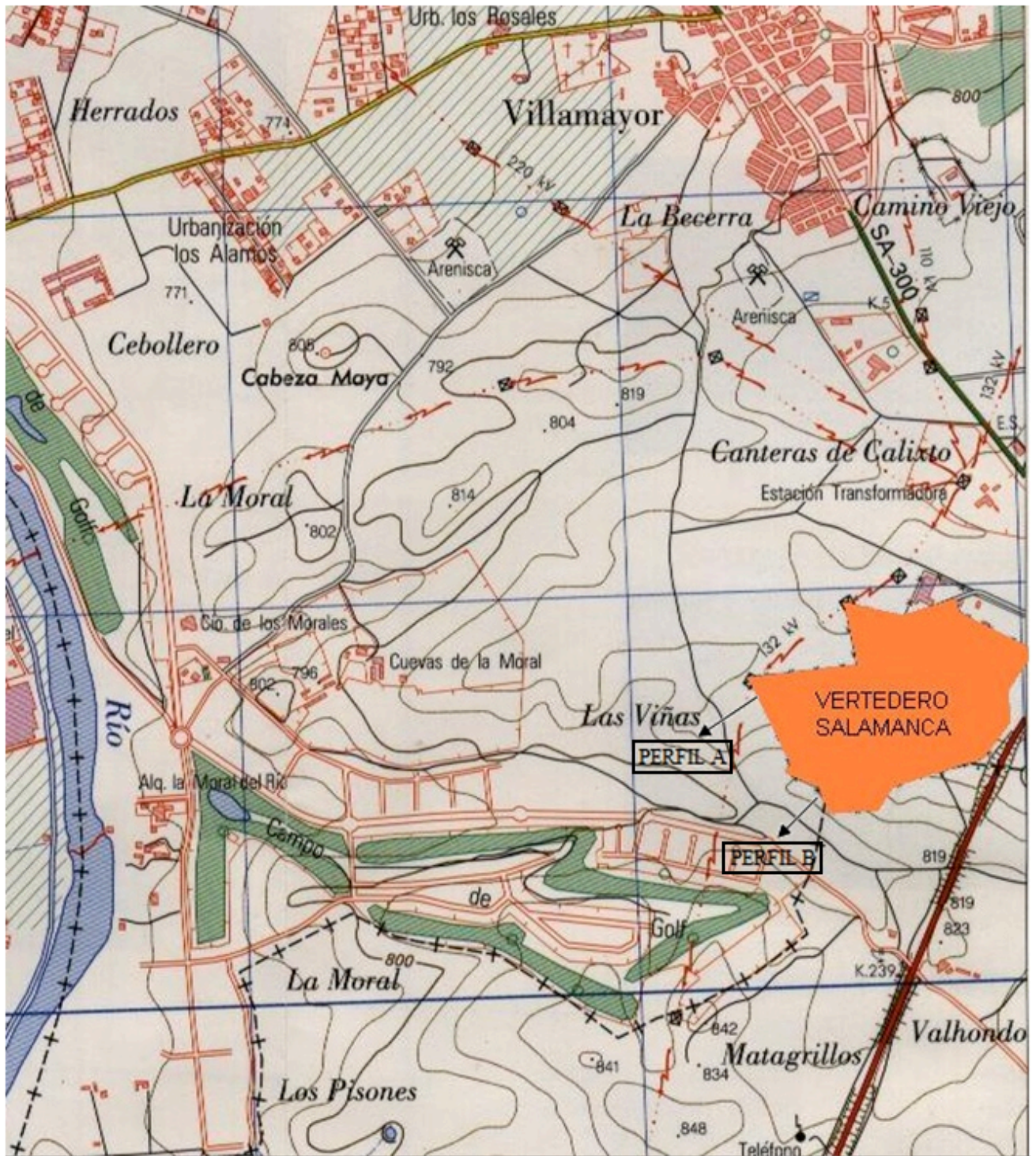


Figura 2.- Localización del vertedero de Salamanca. (Mapa Topográfico Nacional de España, 2002)

Posibles efectos adversos en los seres humanos

La mayoría de los elementos químicos son esenciales para los organismos, incluyendo al ser humano, pero ya sea por carencia o por exceso hay algunos elementos que pueden afectar a la salud. Esto ocurre con elementos tales como el V, Mo, Ba, Na, S, Si, Al, y Ni pudiendo llegar a ser tóxicos por sí mismos, dependiendo de su concentración o debido a la formación de algún otro compuesto. Algunos elementos como el Cu y P, en altas cantidades pueden llegar a ser letales. (Reimann & Caritat, 1998; Bunnell et al, 2007).

Otros elementos considerados como esenciales son Li, K, Zn, Mn y Mg. Se trata de elementos no tóxicos y se hacen más notables los efectos nocivos debidos a la deficiencia en el organismo que los producidos por su alta concentración. (Reimann & Caritat, 1998; García & Dorronsoro, 2002).

El caso del Cr es especial, ya que a pesar de ser esencial, en el caso del Cr⁶⁺ se trata de un elemento extremadamente tóxico, y algunos de sus compuestos son altamente cancerígenos. El Cd es también un elemento no tóxico en sí mismo y sus efectos nocivos se deben a la capacidad de sustitución en el organismo de Cu, Fe y Al. La acción tóxica del Pb es debida a su acumulación en el hígado, pulmón, encéfalo y huesos, y también debida a la difícil eliminación del organismo. (Reimann & Caritat, 1998; García & Dorronsoro, 2002).

El Be y el Sr se consideran como tóxicos y no esenciales, y producen efectos en la reproducción celular, y en altas concentraciones son cancerígenos. (Reimann & Caritat, 1998).

El Ba es un elemento esencial para algunos organismos, pero los compuestos solubles son tóxicos para los humanos, plantas y animales. El Cu también es esencial pero en altas concentraciones es tóxico. El Co es tóxico para los humanos cuando se reciben dosis de más de 25 mg/día. También hay que tener en cuenta que el polvo de Co es cancerígeno. (Reimann & Caritat, 1998). Hay elementos que no son eliminados por su alta persistencia y se acumulan en zonas del cuerpo humano.

SITUACIÓN GEOGRÁFICA

2. SITUACIÓN GEOGRÁFICA

El área objeto de este trabajo se localiza en los alrededores de la localidad de Villamayor de la Armuña en la parte centro-noreste de la provincia de Salamanca. (Figura 3).



Figura 3.- Situación del vertedero entre las localidades de Salamanca, al sur, y Villamayor de la Armuña, al norte.

Para su estudio se ha utilizado la hoja de Salamanca 478 (13-19) de la serie Magna (IGME). Otros mapas utilizados son: el topográfico nacional de España 478-I (Villamayor) a escala 1:25.000, y los mapas geológico-mineros de Castilla y León a escala 1:400.000.

La provincia de Salamanca, con una extensión de 12.336 Km², está condicionada por la morfología de la zona. Encontramos desde zonas de montaña, que rodean la provincia, a zonas de penillanura, y en el interior de la provincia tenemos zonas de páramos y cuestas que accidentan el relieve.

La penillanura es la parte más destacable de la orografía de esta zona, en la cual destaca principalmente la localizada en la parte meridional de la provincia. Estas penillanuras se han formado por el arrasamiento de la antigua alineación hercínica, que hace posible el afloramiento del zócalo, cuya heterogénea naturaleza geológica es la responsable de la formación de la penillanura poligénica. (Atlas de España, 1992).

Las diferentes penillanuras se sitúan sobre materiales graníticos, metamórficos y esquistoso-grauváquicos, localizándose estos últimos en la parte meridional de Salamanca. Se caracterizan por la presencia de relieves residuales y por procesos de hundimiento, que forman cubetas. Todos estos relieves han sido posteriormente cubiertos y colmatados por materiales terciarios y seguidamente de materiales miocénicos. Estos procesos han dado como resultado la formación de un relieve modelado, con extensas llanuras escalonadas, y hacia la parte Noroeste de la provincia, los relieves ondulados generados en estas zonas de penillanura se han ido suavizando. (Atlas de España, 1992).

Es de destacar el relieve de las altas llanuras disecadas, formadas en plataformas detríticas construidas sobre depósitos aluviales. La nota más característica de la morfología es, por tanto, la dualidad existente entre los páramos y las campiñas. (Atlas de España, 1992).

Al considerar el *relieve* y la morfología se observa que en la hoja de Salamanca (478), las diferencias de cota no son relevantes, siendo los puntos más elevados los de aproximadamente unos 980 metros, y los más bajos tienen alrededor de 780 metros, en la zona de la vega del río Tormes. (Mapa geológico de España, 1996).

Con respecto a la tectónica de la zona, existen una serie de fracturas, generadas durante las dos orogenias que afectaron a los materiales: la Hercínica y la Alpina. Estas franjas deprimidas han sido aprovechadas posteriormente para el encauzamiento de la red hidrográfica de la provincia y la comunidad. La red fluvial en la provincia está formada por el río Duero y sus afluentes, entre ellos el río Tormes, que es el que discurre próximo a la zona de trabajo, hacia la parte Oeste. (Mapa geológico de España, 1996).

El *clima* de la zona es de tipo continental, con alguna influencia atlántica. Presenta inviernos largos y fríos, y veranos cortos y frescos, con la aparición esporádica de algunas tormentas. Las temperaturas medias en el invierno son de 3° a 4 °C, aunque en ocasiones aparecen valores extremos de 15° y 18 °C negativos. Los veranos, por su

parte, presentan una temperatura media de 21 °C, pero también en ocasiones se llegan a alcanzar valores de hasta 35° ó 40 °C. La precipitación anual que se registra es de unos 400 mm a 600 mm, aproximadamente, y aunque es irregular a lo largo de todo el año, se producen principalmente en la estaciones de otoño y primavera. Además hay que considerar la diferente cantidad de precipitaciones que se dan de unos puntos de la provincia a otros, debido al cambio de orografía, siendo en las zonas de montaña donde se da la mayor cantidad de lluvia. (Atlas de España, 1992).

La *vegetación* de la provincia de Salamanca está marcada sobre todo por la existencia de encinares. A parte de esto también tenemos zonas de pinares, matorrales, arbustos y grandes extensiones de terreno utilizados para el cultivo, además de pastizales. (Mapa Agronómico Nacional, 1970; García, 2002).

Todos los puntos tenidos en cuenta en esta parte del trabajo, desde la morfología al clima y la vegetación del territorio, se han de tener en cuenta ya que influyen de forma decisiva sobre la movilidad y concentración de los diferentes elementos en el suelo, que son el objeto de estudio en el presente trabajo.



MARCO GEOLÓGICO

3. MARCO GEOLÓGICO

Es importante, determinar el tipo de material geológico, sobre el que se desarrollan las diferentes formaciones superficiales estudiadas, debido a que existen determinados elementos traza que se pueden acumular de forma natural en algunos de los minerales que forman la roca de la zona de estudio. Estos elementos pueden aparecer en los resultados de los análisis, sin tener que ver con la acción antropogénica que se ha desarrollado sobre el suelo.

Las formaciones superficiales de la provincia de Salamanca se sitúan geológicamente en dos unidades estructurales fundamentales; la **Zona Centroibérica** del **Macizo Hespérico**, según la clasificación de Julivert et al (1972), y la zona de la **Cuenca del Duero**. (Mapa geológico de España, 1996).

Desde el punto de vista estructural, la **Zona Centroibérica** se divide en dos dominios formados durante la primera fase hercínica: el Dominio de Pliegues Verticales y el Dominio de pliegues Acostados. (Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, 1998).

La parte de la provincia de Salamanca que aparece en la hoja 478 se encuentra dentro del Dominio de Pliegues Verticales. Los materiales que encontramos son en un 40 % metasedimentos véndico-cámbricos y ordovícicos; el resto de los materiales son terciarios y cuaternarios.

La **Zona Centroibérica** se vio afectada por dos importantes orogénias: la Orogenia Hercínica y la Orogenia Alpina.

La *Orogenia Hercínica* afectó a los materiales véndico-cámbricos y ordovícicos, por medio de una deformación polifásica, existiendo tres fases principales de deformación, más una fase tardihercínica; a esta orogenia se la han asociado además procesos de metamorfismo y plutonismo.

Las estructuras formadas son principalmente pliegues con foliación asociada y cabalgamientos, pero también aparecen zonas de cizallas extensionales y transcurrentes. (Mapa Geológico de España, 1996; Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, 1998).

- La primera fase Hercínica, se caracteriza por ser una fase compresiva relacionada con un acortamiento, dando lugar a un plegamiento de los materiales precámbricos y paleozoicos.
Junto con el engrosamiento cortical de esta fase, se produce un metamorfismo progrado de presión intermedia.
En el material que aparece en la hoja de Salamanca aparecen pliegues de dirección NO-SE con un plano axial subvertical con una esquistosidad (S1) asociada, debidas todas las estructuras a la deformación D1.
- La segunda fase Hercínica, en algunos casos se caracteriza por la continuación de la deformación compresiva de la anterior fase. Las estructuras que se generan son cabalgamientos dúctiles y pliegues aplastados.
En cuanto al metamorfismo, en un principio es de grado medio a medio-alto, y posteriormente se presenta un cambio a unas condiciones de menor presión, que posiblemente pudo ser de carácter isotérmico.
Observamos en los materiales cartografiados en la hoja de Salamanca, como la intensidad del cizallamiento aumenta en las zonas más profundas, dando pliegues fuertemente apretados, asimétricos y con charnelas curvas. Junto con los pliegues generados por la cizalla dúctil, aparece asociada una esquistosidad (S2).
- La tercera fase Hercínica, se trata de una nueva etapa compresiva relacionada con un acortamiento, que da lugar a un plegamiento y a un cizallamiento que afecta a las anteriores fases.
Durante la tercera fase se da una esquistosidad (S3), que provoca la crenulación de la anterior.
Con los materiales que aparecen en la Hoja de Salamanca, vemos como por el desarrollo de esta fase se producen pliegues de todo orden. Las isogradas del metamorfismo progrado que se da en la zona son afectadas por las macroestructuras de esta fase. Además, se reconocen frecuentemente fallas y zonas de cizallas subverticales que pasan

posteriormente a subhorizontales, de forma que son coherentes con el acortamiento sufrido en la región.

- La fase tardihercínica, se caracteriza por la existencia de una fracturación general, observándose la presencia de una familia de fallas de dirección NE-SO. Durante esta etapa, algunas estructuras rejuegan con cizallas subverticales o fallas normales, formándose de esta manera nuevos sistemas conjugados de cizallas. También se dan fallas y pliegues muy abiertos con diversas direcciones.

Los materiales cartografiados en la zona de la Hoja de Salamanca, tienen muy poco desarrollo, apareciendo únicamente en tramos pelíticos. No aparecen macro ni mesopliegues, aunque si tenemos algún pequeño pliegue de plano axial subvertical.

La *Orogenia Alpina*, se caracteriza por una tectónica frágil, que a escala regional da una serie de fracturas con una componente de movimiento horizontal. La actividad de estos rejuegos mesozoicos y alpinos, además afectó al registro sedimentario cenozoico. La actividad, durante este periodo generó algunos indicios indirectos como son lineaciones y alguna anomalía geográfica o geológica. (Mapa geológico de España, 1996; Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, 1998).

La **Cuenca del Duero** (Figura 4), es una importante depresión de 50.000 Km² generada por el hundimiento del **Macizo Hespérico**, y que se ha rellenado por sedimentos continentales de edad terciaria y de una gran variedad litológica.

Es una cuenca de intraplaca asimétrica de evolución compleja, con espesores que varían entre 400 metros en la zona sur y oeste a 3000 metros en el norte y este, y que se individualizó a finales del Cretácico o principios del Paleógeno, junto con la primera fase compresiva de la Orogenia Alpina, siguiendo las directrices tardihercínicas.

El origen y evolución de la cuenca y de sus cuencas satélites periféricas se debe a diversos factores que han concurrido en ella, como el contexto estructural, las últimas etapas compresivas, el diferente tectonismo de los bordes, la variedad litológica y finalmente por la evolución paleoclimática.

La **Cuenca del Duero** se ha formado por el transcurso de diferentes etapas geológicas: (Mapa Geológico y Minero de Castilla y León, 1998).

- La primera fase se origina a finales del Cretácico, en la que se dan diferentes procesos de sedimentación de distintas litologías.
- La segunda fase, producida en el Eoceno Medio, comienza con un importante relleno sedimentario de diversas litologías.
- La tercera fase de relleno, sucede con la última ruptura, en el periodo del Mioceno inferior-Plioceno.
- La cuarta y última fase, va desde el Plioceno hasta la actualidad, produciéndose un vaciado de los materiales terciarios que serán sustituidos por los cuaternarios, dando lugar a la apertura de la cuenca hacia el Atlántico.

Todos los procesos evolutivos han quedado reflejados en la geología de la ciudad de Salamanca y en sus alrededores. El basamento está constituido, por materiales paleozoicos de naturaleza pizarrosa y cuarcita, y en ellos ha quedado marcada la acción de las Orogenias Hercínica y Alpina. Sobre todo ello, se han situado los materiales terciarios, en los que se evidencian los procesos de desarrollo por los que ha pasado la Cuenca del Duero. Los materiales más recientes, son los depositados por la red fluvial y también por la evolución actual del relieve. Existe a la vez, un registro cada vez más importante que refleja la acción humana en el entorno geológico: los rellenos antrópicos (Nespereira, 2006).

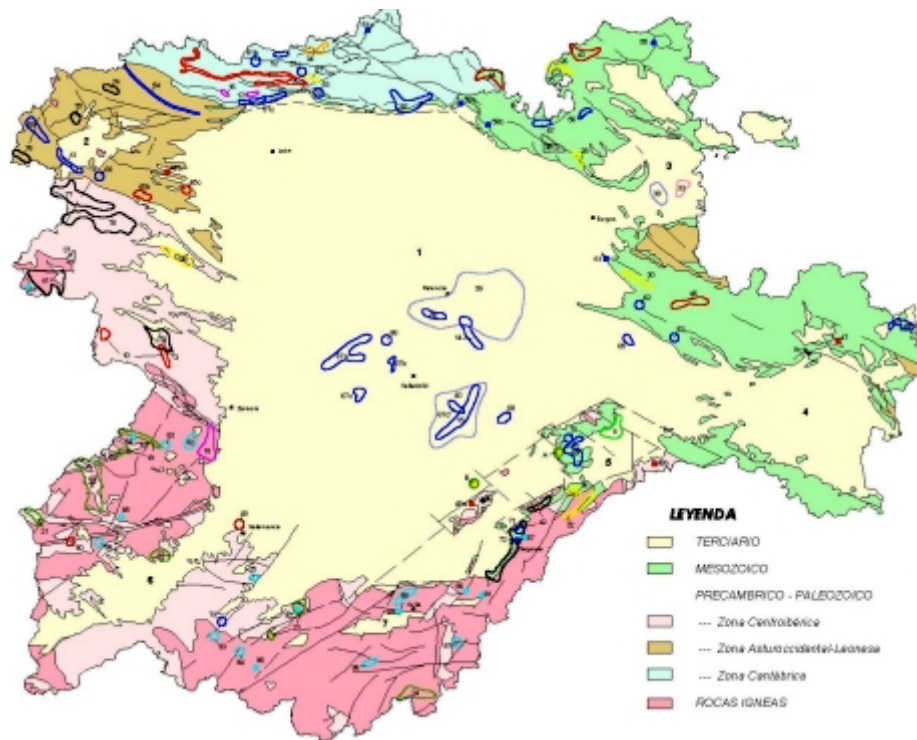


Figura 4.- Esquema geológico de la Cuenca del Duero, Comunidad de Castilla y León.
(SIEMCALSA, 1998).

Sobre todos los materiales afectados por las orogenias, metamorfismos y procesos de sedimentación, se han desarrollado suelos de litologías y características variadas. De esta forma, sobre las rocas metamórficas como las pizarras y las cuarcitas, se han producido suelos ácidos, del tipo regosoles, litosoles y luvisoles, mientras que sobre depósitos del Terciario, tales como los conglomerados, areniscas, arcillas, calizas y margas se han desarrollado suelos de tipo litosoles, regosoles, cambisoles y vertisoles. (Santos & García, 1993).



Figura 5.- Material sobre el que se asienta el vertedero de Salamanca.

El vertedero de Salamanca se localiza asentado sobre los materiales de las Arcosas del Teso Grande (Figura 5), formadas por una alternancia de tramos arenosos heterométricos con matriz limosa y arcillosa y con tramos limo-arcillosos, con cantos en su mayoría de cuarzo, y donde se ha desarrollado un suelo de tipo luvisol. (Nespereira, 2006).

ANTECEDENTES

4. ANTECEDENTES

Como la contaminación del aire, agua y suelo es cada vez más evidente, se llevan a cabo actualmente una serie de trabajos para evaluarla.

En cuanto al agua y el aire, existen muy diferentes formas de evitar y tratar su contaminación, para lo que se utilizan diferentes filtros, tratamientos químicos, etc. Pero en lo que se refiere al suelo, la forma de intentar evitar y tratar una posible contaminación es más dificultosa y bastante más costosa.

En diferentes países se han realizado estudios cartográficos para caracterizar cada tipo de suelo, de forma que se pueda saber qué actividades son más o menos indicadas para que se desarrollen sobre él. Todo esto ha llevado a la elaboración de ciertas normativas sobre el contenido de elementos traza en algunos países, tales como la normativa holandesa, o a nivel más amplio, la normativa europea. De esta forma se establecen los valores de los elementos que son admisibles, hasta cierto punto, en los diferentes tipos de suelos. En esta norma, existen dos parámetros a tener en cuenta: el valor objetivo, el cual determina los valores para los cuales el suelo es aceptable para una determinada actividad, y el valor intervención, siendo éste el que indica que en ese suelo existe una clara contaminación y precisa de una intervención descontaminante. Además existe una guía de la calidad del suelo, realizada por la Generalitat de Cataluña, sobre el suelo de esta comunidad, y que puede ser aplicada a otras zonas de nuestro país.

En España, actualmente se utilizan los estudios de *evaluación de impacto ambiental* para conocer la aceptabilidad de una actividad por los diferentes factores ambientales de una zona determinada, además de incluir el concepto de *carga crítica de un contaminante*.

Es importante, saber que cada vez existen más estudios en nuestro país encaminados a conocer mejor los niveles de contaminación en los diferentes suelos. Existen trabajos cartográficos, como una cartografía temática de suelos de Salamanca (Santos & García, 1993). Estos pueden ser utilizados para conocer mejor los suelos, y cómo se verían afectados por una posible contaminación.

Hay estudios más concretos, por ejemplo los realizados sobre la alteración de ciertas rocas, como las areniscas del Terciario, la Arenisca de Villamayor (Alonso et al, 1989; Blanco et al, 1989). Hay que tener en cuenta que las alteraciones sufridas por una roca de este tipo pueden afectar al suelo que se desarrolla sobre ella.

En la zona donde se ha realizado este trabajo existen otros estudios anteriores, en zonas próximas de la comunidad de Castilla y León y en la provincia de Salamanca. Tenemos una cartografía de suelos del área periurbana de Salamanca, que fue realizada con la finalidad de establecer una serie de recomendaciones para el establecimiento de ciertas actividades industriales, agrícolas, etc. y qué suelos deben de ser protegidos debido a su sensibilidad o por tener algún tipo de interés, como puede ser ecológico o arqueológico (Santos & García, 1993). Otro trabajo describe los diferentes tipos de suelos de la provincia e incorpora un mapa a escala 1:200.000 en el que se representan los diferentes tipos de suelos de Salamanca (García Rodríguez et al, 1979).

En 1988 se llevo a cabo un trabajo subvencionado por la Diputación de Salamanca, en el cual se realizó un amplio muestreo de los suelos de la provincia (García, 2002.). Los datos recogidos mostraron que no existía una alta concentración en lo que se refiere a elementos traza. Los resultados fueron comparados con los de la normativa holandesa, que es hasta ahora la utilizada en toda Europa, ya que utilizan un análisis de suelo total.

Con posterioridad a éste se han realizado otros estudios subvencionados por proyectos de la Junta de Castilla y León, y cuyos datos fueron comparados con los del anterior trabajo. Uno ha tratado de la evaluación de unos muestreos realizados en diferentes puntos de las provincias de Salamanca y Valladolid, además de un estudio puntual del caso de la contaminación por un foco tal como el Vertedero de Bejar (García, 2002). Otro trabajo que se realizó paralelamente el anterior, estudió la contaminación producida en el suelo, por el tráfico rodado de una carretera (Bernal, 2002).

El presente estudio busca añadir, junto a los anteriores citados, un mayor número de datos para conocer mejor el comportamiento geoquímico de los constituyentes de los suelos, y cómo les puede afectar la contaminación antropogénica.

METODOLOGÍA DE TRABAJO

5. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Para caracterizar geoquímicamente los suelos próximos al foco de contaminación de carácter antrópico, el vertedero de Salamanca, se han tomado una serie de muestras en dos perfiles diferentes (Figura 6). Por la forma de recogida, se busca obtener la evolución de los diferentes elementos con la distancia al foco contaminante, además de su evolución con el aumento de profundidad en el suelo y con respecto a las características geoquímicas de la roca madre, a partir de la cual se desarrolló este suelo.

5.1. Trabajo de campo.

En la zona, se han realizado dos perfiles de muestreo diferentes: el perfil A y el perfil B, separados entre sí por unos 100 metros aproximadamente, y situados a diferentes alturas. Los dos muestreos se diferencian porque uno se encuentra a una cota ligeramente mayor y por la inclinación que presentan. Además, los muestreos también se diferencian por su litología, siendo una más arcillosa que la otra.

5.1.1. Los perfiles de muestreo

En ambos perfiles se han tomado muestras en seis puntos separados entre sí cinco metros, que se encuentran en el horizonte A del suelo. En el primer y último punto de cada tramo se han recogido, además de las muestras de superficie, unas muestras que se encuentran a mayor profundidad, entre unos 20-30 cm., en el horizonte AC (Figura 7). Esto último nos ayuda a evaluar la evolución del suelo con el aumento de profundidad.



Figura 6: Vista conjunta de los dos perfiles donde se han tomado las muestras.

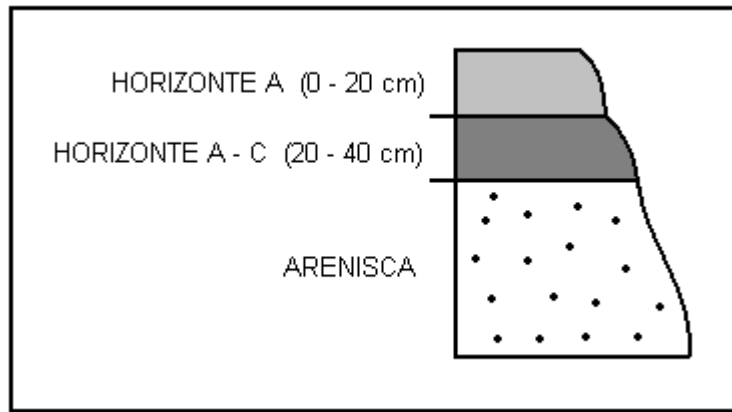


Figura 7.- Corte vertical en el que se observan los diferentes horizontes donde se han tomado las muestras.

La recogida de muestras se ha llevado a cabo retirando primeramente la cobertera vegetal del suelo y recogiendo posteriormente una cantidad de suelo de aproximadamente 1.5 a 2 kilogramos. Las muestras se han introducido en bolsas de plástico debidamente etiquetadas, para que se relacionaran fácilmente con la zona. En el mismo momento de la recogida se ha tomado nota de los diferentes datos de la distancia y profundidad, así como de las características del suelo en cada tramo.

Perfil A (Figura 8)

En este caso la primera muestra ha sido tomada a un metro del límite inferior del vertedero, y las posteriores se separan entre sí la misma distancia unas de otras (5 metros).

La zona de muestreo se caracteriza por ser bastante plana y por estar a una cota ligeramente mayor de aproximadamente 10 metros de diferencia, con respecto al otro perfil.

La litología de esta zona se caracteriza por un suelo más pardo-rojizo y más arenoso que el que se encuentra en el otro perfil. Además tiene una mayor presencia de cantos en el suelo. Está mejor conservado por estar en una zona llana, mantiene la cobertera de gravas en la superficie, con pocos signos de erosión.

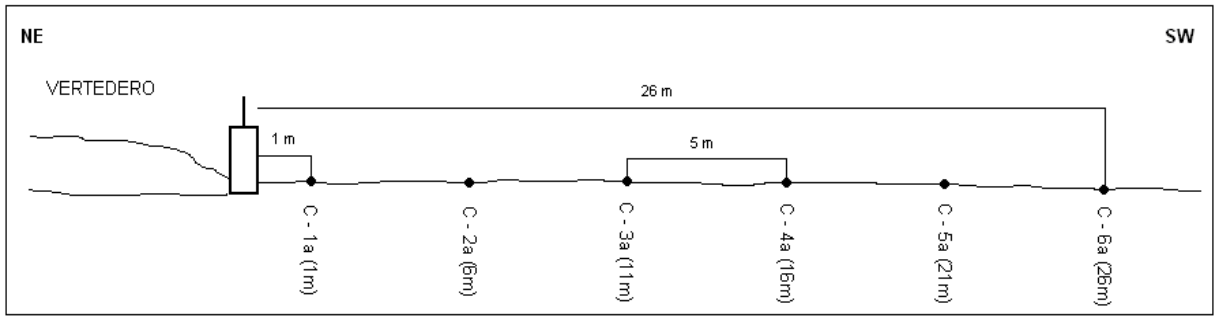


Figura 8.- Corte del perfil A en dirección NE – SW.

Perfil B (Figura 9)

En este caso la primera muestra está recogida a cuatro metros del límite inferior del vertedero y al final de un pequeño talud. El resto de las muestras están separadas entre sí cinco metros cada una de la anterior.

En la línea de recogida de estas muestras hay una pequeña pendiente. La zona se encuentra a una cota un poco más baja que el anterior muestreo, con una diferencia de aproximadamente 10 metros, que va aumentando ya que este perfil se ha realizado con una pendiente descendente, entre 5° y 10°.

La litología que se aprecia en este muestreo se caracteriza por un material más gris y más arcilloso, además de presentar menor cantidad de cantos. Al ser un suelo labrado y en pendiente, está parcialmente erosionado y es mucho más arcilloso que el del perfil anterior.

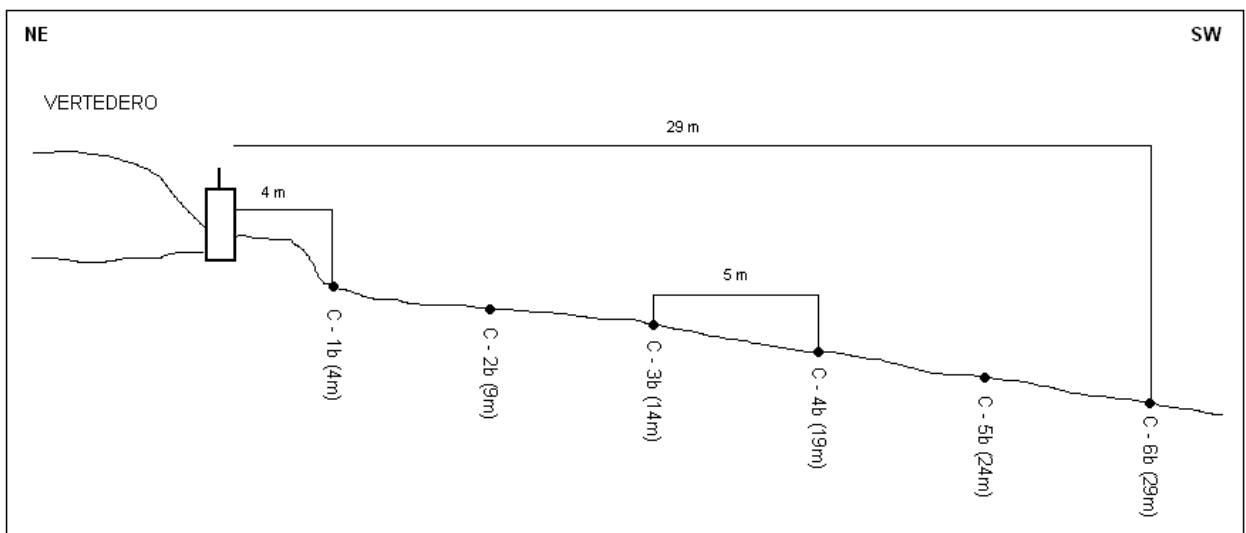


Figura 9.- Corte del perfil B en dirección N-S.

5.2. Trabajo de laboratorio.

5.2.1. Preparación de las muestras

Lo primero que se llevo a cabo fue el secado de las muestras en el laboratorio a temperatura ambiente. Después las muestras se tamizaron utilizando una malla de luz de dos milímetros, y se almacenó únicamente la fracción menor.

Posteriormente, las muestras ya tamizadas fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño mediante la utilización de un molino de acero de aros excéntricos.

5.2.2. Análisis químico

El análisis químico se ha realizado mediante un ICP-OES y un ICP-MS, en el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca. Se han determinado un total de treinta y un elementos, entre mayores y traza. Los límites de detección de cada uno de ellos figuran en las tablas 1, 2 y 3 (ver anexo).

5.2.3. Análisis de pH y de materia orgánica

Se han tomado las dos primeras y las dos últimas muestras de cada perfil para realizar la medición de estos valores. El pH se mide en la pasta de saturación del suelo con agua (Richards, 1954). Las medidas se efectuaron con un pHmetro Beckman H2 con electrodos de vidrios y calomelanos. La materia orgánica se determina mediante oxidación con dicromato potásico (Walkley & Black, 1934), tomado de Jackson (1958).

5.3. Trabajo de Gabinete.

El trabajo de gabinete que se ha llevado a cabo ha implicado la redacción de una síntesis geográfica y geológica de la zona. También se han completado una serie de esquemas para situar y describir la zona.

Se han realizado igualmente una serie de gráficos para relacionar los distintos muestreos, y la distinta evolución que presentan los elementos respecto a la distancia y a

la profundidad, comparándolos además con los datos que se han obtenido de la roca madre de la zona.

Se ha hecho una descripción y una primera interpretación de los datos obtenidos. Estos se expresan en su mayor parte en ppm, pero existen algunos elementos que por su baja concentración se expresan en ppb. (Tablas 1, 2 y 3).

A partir de estos puntos se han elaborado una serie de conclusiones y una discusión sobre los resultados obtenidos, que se aportan al final de esta memoria.

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.

- Para procesar el texto se ha utilizado el programa WORD 2003.
- Para la obtención de tablas y gráficos se ha utilizado el programa EXCEL 2003.
- Para el tratamiento de imágenes se ha utilizado los programas IMAGEMIXER y PHOTOSTICHT.

OBJETIVOS

6. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es estudiar las posibles variaciones geoquímicas de los suelos de la zona de estudio, y analizar si son debidas a la evolución natural del mismo, o por el contrario si tienen que ver con la acción antropogénica que le influyen, a causa de las diferentes actividades que se realizan sobre él o en sus cercanías, para lo cual se tiene en cuenta la litología de la zona y su topografía.

Los objetivos concretos son:

1. Conocer si las diferentes variaciones geoquímicas que aparecen en los suelos estudiados son debidas a la propia naturaleza del material sobre el que se desarrollan o por el contrario si son debidas a la acción antropogénica realizada en la zona.
2. Por otra parte se quiere conocer si existe una gradación de los diferentes elementos químicos, en especial de los metales pesados, con relación a la distancia con el foco contaminante, así como con la profundidad.
3. Por último, se desean comparar los valores obtenidos con los de la normativa holandesa y europea, y ver de esta manera el posible grado de contaminación que presenta el suelo.

DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

7. DESCRIPCIÓN DE RESULTADOS

Uno de los objetivos de este trabajo es caracterizar geoquímicamente los suelos próximos a un foco contaminante de carácter antrópico, el vertedero de Salamanca, y comprobar de esta manera la gradación en el suelo de los diferentes elementos con respecto a la distancia a dicho foco de contaminación y con relación a la movilidad de estos elementos en la profundidad. Otro de los objetivos a realizar es comparar los datos con los de las normativas holandesa y europea. Para cumplir estos objetivos, presentamos los resultados obtenidos en el análisis químico de las fracciones superficiales estudiadas.

Los elementos que se han analizado en las diferentes muestras son Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti, P, como óxidos, y Ba, Co, Cr, Cu, Li, Nb, Ni, Pb, S, Sc, Sr, V, Y, Zn, Be, As, Se, Zr, Mo y Cd. El grado de humedad se ha medido como pérdidas al fuego, y se expresa como material volátil (M.V.). Además se ha medido el pH y la cantidad de materia orgánica en algunas de las muestras, tal como se ha descrito en el apartado de metodología de trabajo, obteniéndose: para el perfil A la media del pH es 5,7 y la media de la materia orgánica 1,08; para el perfil B la media del pH es 6,1 y la media de la materia orgánica 1,10.

Para su descripción e interpretación se adjuntan las tablas 4, 5, 6, 7, 8 y 9 (ver anexo), en las que se encuentran los resultados obtenidos para los diferentes elementos analizados en las muestras de los dos perfiles propuestos. Para diferenciar las muestras de los dos perfiles hemos utilizado la siguiente nomenclatura: para el perfil A Ref-a y para el perfil B Ref-b. También incluimos los análisis de lo que hemos dado como roca madre. Además, a partir de esas tablas se han realizado una serie de gráficos (Figuras de la 10 a la 34), en los cuales se puede ver la evolución que lleva cada elemento y la comparación entre los mismos, estudiando la posible correlación.

Los resultados que se han obtenido en este estudio se han comparado con la normativa holandesa y europea de los suelos. (Tablas 10 y 11, ver anexo).

En primer lugar, se realiza una descripción de los diferentes elementos encontrados en el suelo, para lo cual se realiza un estudio de su evolución con la distancia, la profundidad y con respecto a la roca madre, en los dos perfiles del suelo estudiado. Además, se realiza una comparación entre los perfiles A y B para los casos de la distancia y la profundidad.

Al final de cada apartado se incluye un resumen, con los puntos más relevantes.

Esta descripción de resultados nos llevará a una interpretación preliminar de los datos obtenidos.

7. 1. Variaciones con la distancia de los distintos elementos mayores

Las concentraciones en el suelo de los diferentes elementos mayores presentan algunas diferencias entre las distintas zonas de muestreo, pero en la mayoría no llegan a ser diferencias notables.

En cada una de las zonas estudiadas, podemos ver como se correlacionan entre sí varios de los elementos estudiados. La descripción se hace en base a valores máximos y mínimos, y se expresa la correlación entre parámetros mediante R, siendo R el factor de correlación de Pearson.

Perfil A

Si:

La evolución con la distancia de este elemento sigue una tendencia descendente, aunque presenta su nivel máximo en el segundo punto con un 87,95% y el menor nivel en el sexto punto con un 84,90%. (Figura 10).

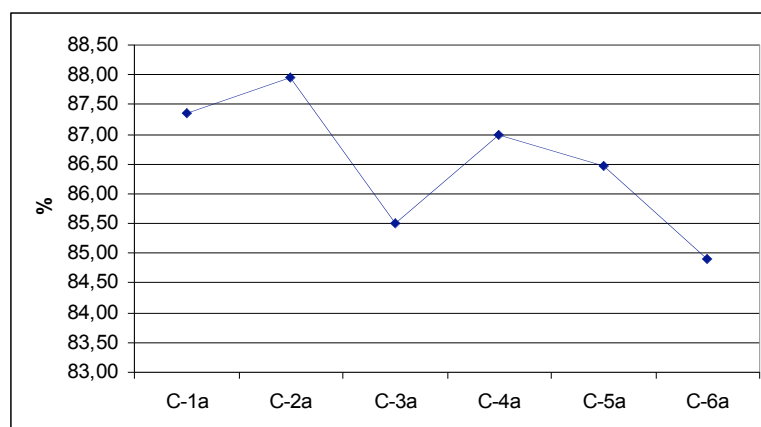


Figura 10.- Gráfico de la evolución con la distancia del SiO₂.

Al:

Presenta una tendencia ligeramente ascendente, siendo la variación con la distancia poco notable. El valor máximo lo encontramos en el sexto punto con un 6'17% y el mínimo en el segundo punto con un 4,98%. (Figura 11).

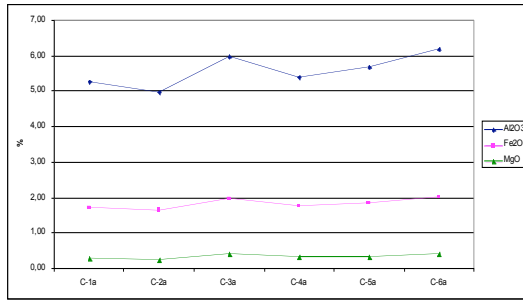


Figura 11.- Gráfico de la evolución con la distancia del Al₂O₃, Fe₂O₃ y MgO.

Se correlaciona con los siguientes elementos del mismo muestreo; Fe₂O₃ (Figura 12), MgO y M.V. $R_{Al, Fe} = 0,9920$.

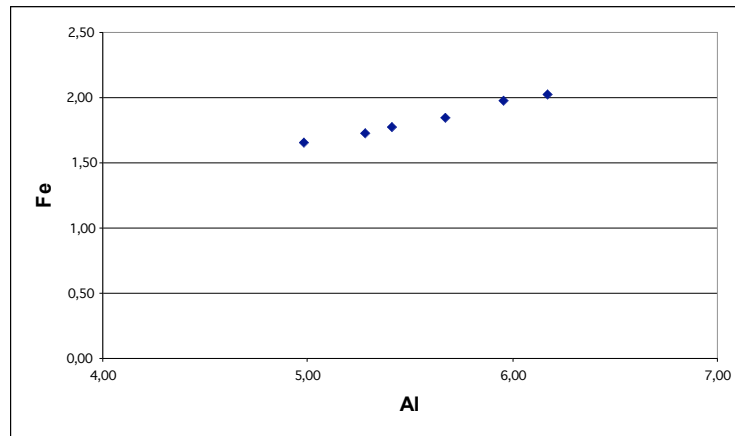


Figura 12.- Correlación entre el Al y el Fe, del perfil A.

Fe:

La evolución es ascendente con el valor máximo en el sexto punto con un 2,02% y el mínimo de 1,66%. Pero la variación es baja de unos puntos a otros. (Figura 11).

Se correlaciona la tendencia con la del Al₂O₃ (Figura 12), MgO y M.V.

Mn:

Los valores son los mismos a lo largo de todo el muestreo, siendo de 0,02%.

Mg:

Tiene una tendencia ascendente sin variaciones muy altas, el valor mínimo es de 0,28% en el segundo punto y el máximo de 0,42% se encuentra en el sexto punto. El tercer valor, sin ser el más alto, es mayor que los otros. (Figura 11).

Se correlaciona con el Fe_2O_3 , Al_2O_3 y M.V.

Ca:

Evoluciona de forma ascendente con la distancia. El nivel máximo lo encontramos en el tercer punto con un 0,22% y el mínimo en el primer y segundo punto con un 0,17%. (Figura 13).

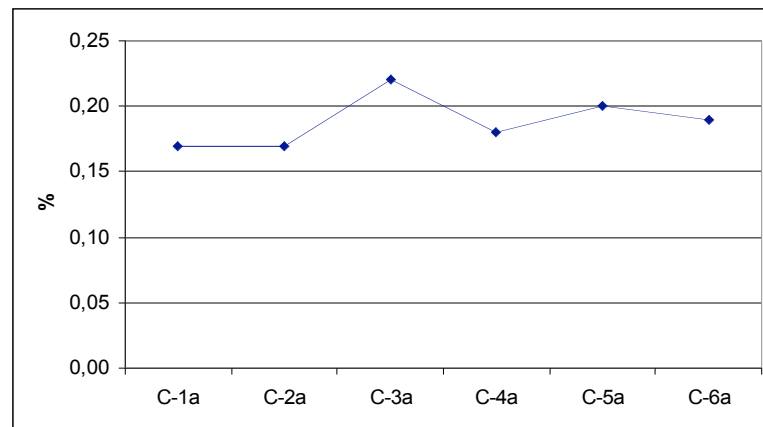


Figura 13.- Gráfico de la evolución con la distancia del CaO.

Na:

Tiene una tendencia descendente, con poca variación en los diferentes puntos. El valor máximo está en el segundo punto con un 0,34% y un mínimo de 0,24% en el sexto punto. (Figura 14).

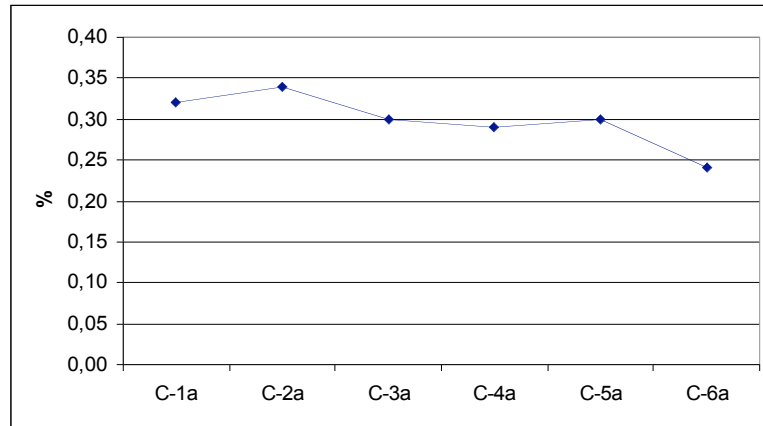


Figura 14.- Gráfico de la evolución con la distancia del Na₂O.

K:

Presenta una evolución ascendente del primer al tercer punto y descendente del quinto punto al sexto, siendo el cuarto más bajo que los dos que los rodean. El máximo valor está en el tercer y quinto punto con un 1,75% y el mínimo en el primer punto con un 1,67%. (Figura 15).

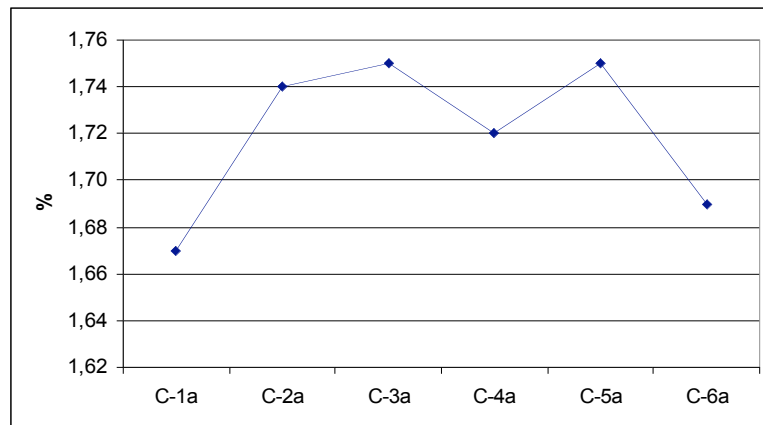


Figura 15.- Gráfico de la evolución con la distancia del K₂O.

Ti:

La evolución es descendente, aunque existen dos valores mínimos uno en el primer punto y otro en el sexto punto con un valor de 0,26%. La tendencia desciende

desde el segundo punto en el que se encuentra el valor máximo de 0,31%, hasta el sexto punto. (Figura 16).

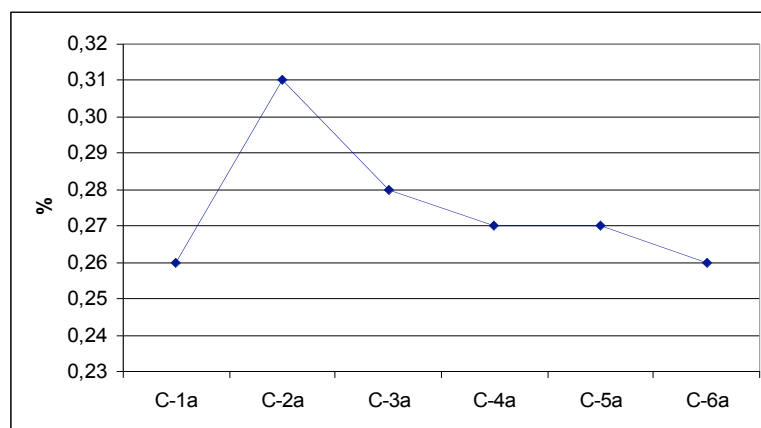


Figura 16.- Gráfico de la evolución con la distancia del TiO_2 .

P:

Todos los puntos varían entre dos valores máximo y mínimo. El máximo se encuentra en los puntos tercero y sexto, siendo de 0,07%. El mínimo se encuentra en el primer, segundo, cuarto y quinto punto con un valor de 0,06%. (Figura 17).

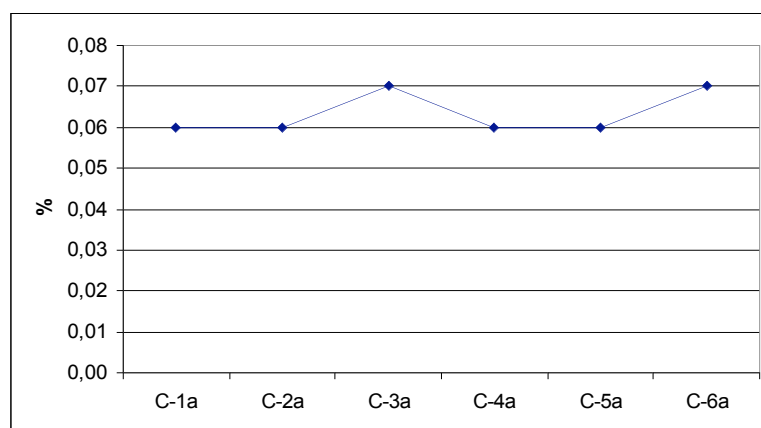


Figura 17.- Gráfico de la evolución con la distancia del P_2O_5 .

M.V.:

La tendencia es generalmente ascendente. El valor mínimo está en el segundo punto con un 2,78% y el máximo está en el tercer punto con un valor de 4,07%. (Figura 18).

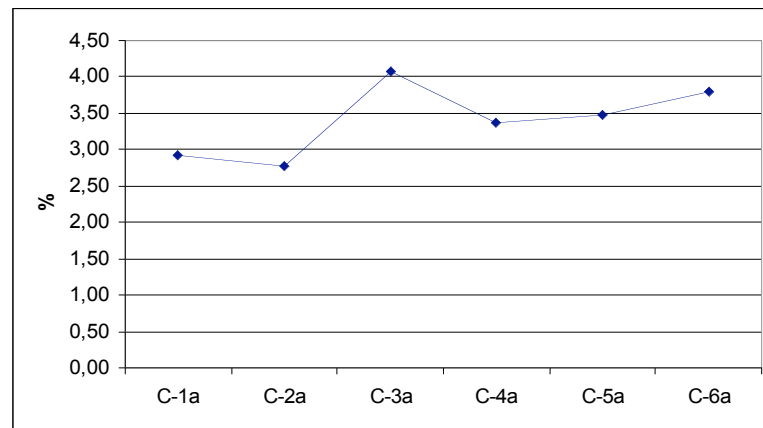


Figura 18.- Gráfico de la evolución con la distancia del M.V.

Este parámetro se correlaciona con los elementos Fe_2O_3 , Al_2O_3 y MgO , del mismo muestreo.

Perfil B

Si:

Presenta una evolución completamente opuesta al perfil anterior, de forma ascendente, teniendo el punto de menor cantidad en el segundo con un 75,27% y el máximo se encuentra en el sexto punto con un 78,70%. (Figura 19).

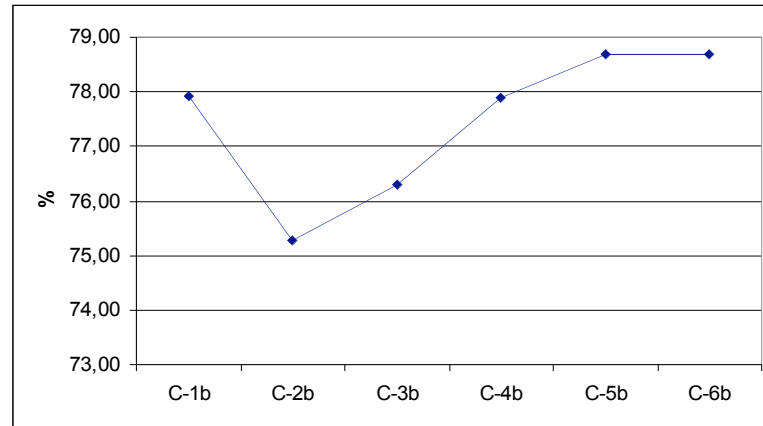


Figura 19.- Gráfico de la evolución con la distancia del SiO₂.

Al:

La evolución de las muestras sigue una tendencia descendente con un valor máximo en el segundo punto con un 9,89% y el mínimo en el sexto punto con un 8,21%. (Figura 20).

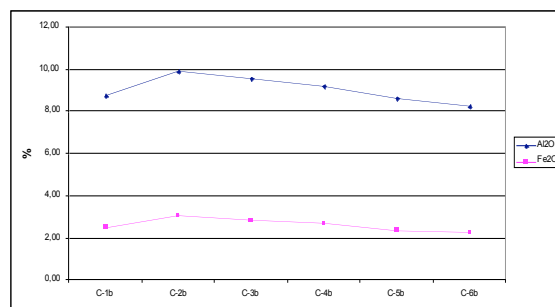


Figura 20.- Gráfico de la evolución con la distancia del Al₂O₃ y Fe₂O₃.

Se correlaciona con los elementos Fe₂O₃ (Figura 21), MnO, MgO, CaO, TiO₂ y M.V. R_{Al, Fe} = 0,9903.

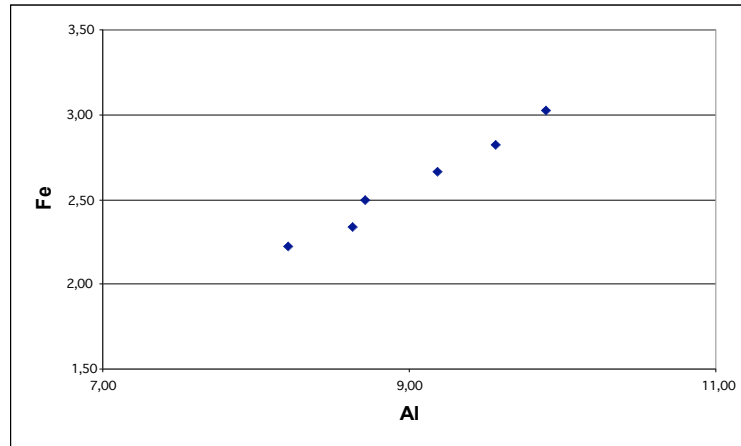


Figura 21.- Correlación entre el Al y el Fe del perfil B.

Fe:

La evolución es descendente con un máximo de 3,02% en el segundo punto, y un mínimo de 2,22% en el sexto punto. (Figura 20).

Se correlaciona con Al_2O_3 (Figura 21), MnO, MgO, CaO, TiO_2 y M.V.

Mn:

La tendencia es descendente sin llegar a variar en gran cantidad, apareciendo el valor máximo en el segundo punto con un 0,06% y un mínimo de 0,03% en el quinto y sexto punto. (Figura 22).

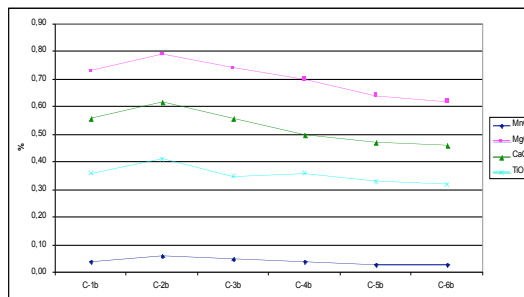


Figura 22.- Gráfico de la evolución con la distancia del MnO, MgO, CaO y TiO_2 .

Se correlaciona con el Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, TiO_2 y M.V.

Mg:

Las muestras, en cuanto a este elemento, evolucionan de forma descendente con un valor máximo de 0,79% en el segundo punto del muestreo y un mínimo de 0,62% en el sexto punto. (Figura 22).

Se correlaciona con los elementos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , CaO (Figura 23), TiO_2 y M.V. $R_{Mg, Ca} = 0,9766$.

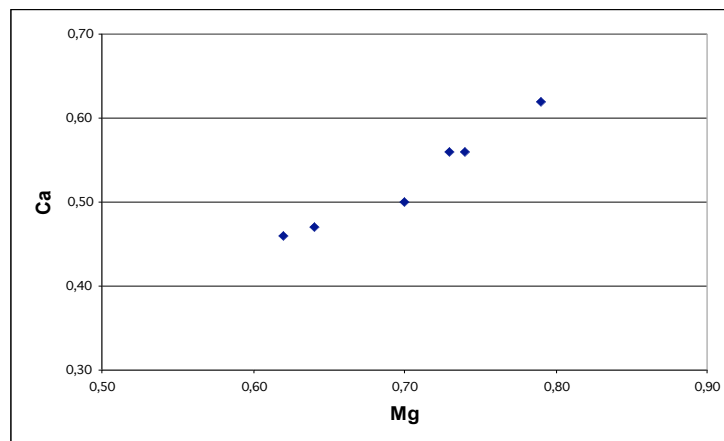


Figura 23.- Correlación entre el Mg y el Ca del perfil B.

Ca:

Presenta una tendencia descendente a partir del segundo punto, ya que el primero presenta el valor más bajo. El valor máximo de 0,62% se encuentra en el segundo punto y el mínimo de 0,46% está en el sexto punto. (Figura 22).

Dentro de este perfil B el elemento se correlaciona con Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO (Figura 23), TiO_2 y M.V.

Na:

Tiene también una tendencia descendente, con el máximo de 0,28% en el primer punto y el mínimo de 0,19% en el sexto punto. Aunque en el segundo punto el valor es más bajo que el resto, a excepción del sexto valor. (Figura 24).

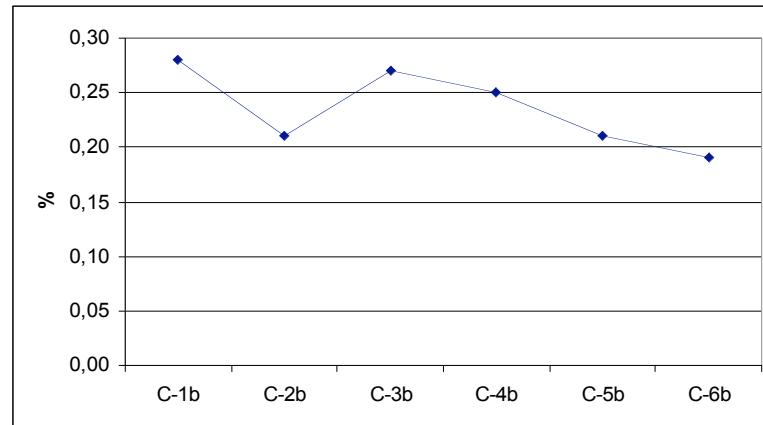


Figura 24.- Gráfico de la evolución con la distancia del Na₂O.

K:

Presenta una evolución con una tendencia descendente del primer al tercer punto, siendo este último el mínimo con un 2,22%. (Figura 25).

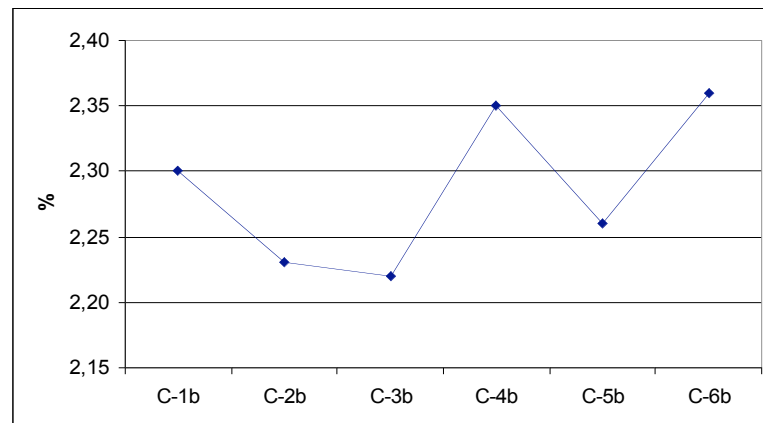


Figura 25.- Gráfico de la evolución con la distancia del K₂O.

Ti:

Evoluciona también de forma descendente; el valor máximo es el del segundo punto con un 0,41% y el mínimo en el sexto punto con un 0,32%.(Figura 22).

Se correlaciona con los elementos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO y M.V.

P:

Se encuentra una variación entre dos valores, un máximo que se encuentra en el cuarto y quinto punto con un valor de 0,09% y un mínimo en los puntos primero, segundo, tercero y sexto de 0,08%. (Figura 26).

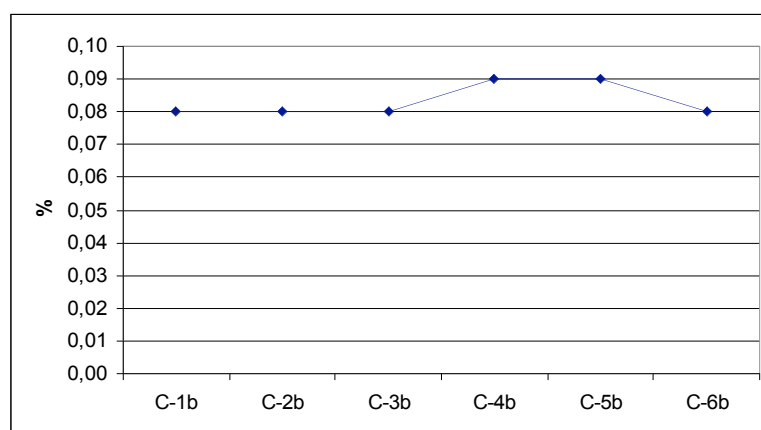


Figura 26.- Gráfico de la evolución con la distancia del P_2O_5 .

M.V.:

La tendencia es descendente a partir del segundo punto, ya que antes se eleva del primero al segundo punto ligeramente. El valor máximo se encuentra en el segundo punto con un 7,17% y el mínimo en el sexto punto con un 5,96%. (Figura 27).

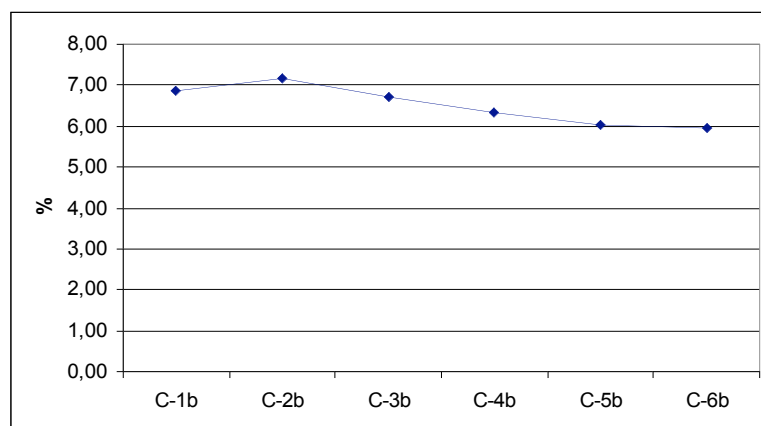


Figura 27.- Gráfico de la evolución con la distancia del M.V.

Se correlaciona con los elementos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO y TiO_2 .

Comparación de los perfiles

La comparación de los elementos mayores en los dos perfiles puede verse de forma gráfica en las figuras 28a y 28b. En la figura 28b se ha suprimido la SiO_2 para evitar la falta de información gráfica que produce su máxima concentración.

Si:

Si comparamos los perfiles vemos como el SiO_2 tiene una tendencia contraria en cada una de las muestras. Además comprobamos como la concentración de este elemento es mayor en las muestras del perfil A que en las del perfil B.

Al:

La evolución es contraria entre ambos perfiles, siguiendo una tendencia ligeramente ascendente en el perfil A y descendente en el perfil B. La concentración de este elemento es mayor en las muestras del perfil B que en las del perfil A.

Fe:

Teniendo tendencias opuestas, en cada uno de los perfiles, los valores son mayores en el perfil B que en el A.

Mn:

Los valores de este elemento son más altos en el perfil A que en el perfil B. Y mientras que en el perfil A el valor es el mismo en todos los puntos, en el perfil B los valores descienden.

Mg:

Al comparar los distintos muestreos vemos que en cada uno de ellos la evolución es opuesta. Encontramos valores más altos en el perfil B que en el A.

Ca:

Vemos cómo entre los distintos perfiles la evolución es en cierta medida opuesta, y los valores son mayores en el B que en el A.

Na:

Tenemos unos valores que evolucionan de manera similar, y los valores son ligeramente más altos en el perfil A que el B.

K:

Las tendencias de ambos muestreos son opuestas, y los valores son mayores en el perfil B que en el A.

Ti:

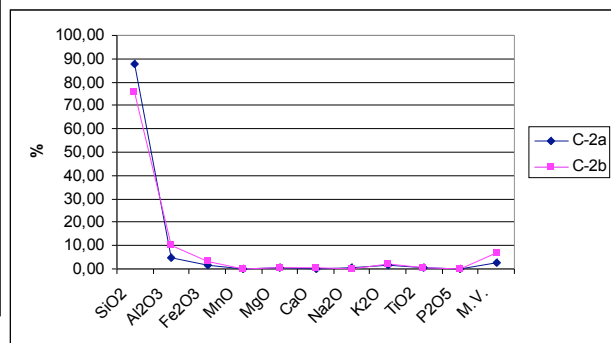
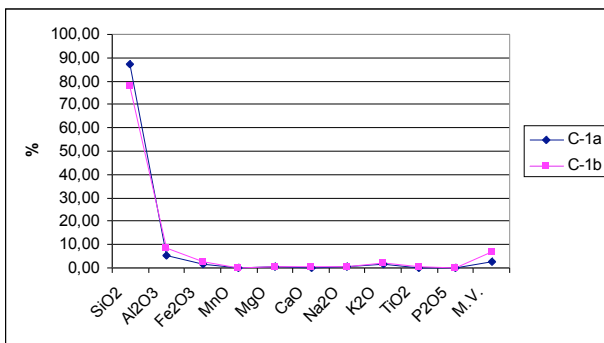
Al compararlas vemos como su evolución es muy parecida, aunque en las muestras b las diferencias entre unos puntos y otros son menores. Además los valores son mayores en el perfil B que en el A.

P:

Al comparar ambas muestras vemos que la variación de los valores es mínima. Y al final de cada muestreo comprobamos que la evolución es contraria. Los valores son algo más elevados en el perfil B que en el A.

M.V.:

La comparación entre ambos muestreos nos indica una evolución contraria, con valores más elevados en el perfil B que el A.



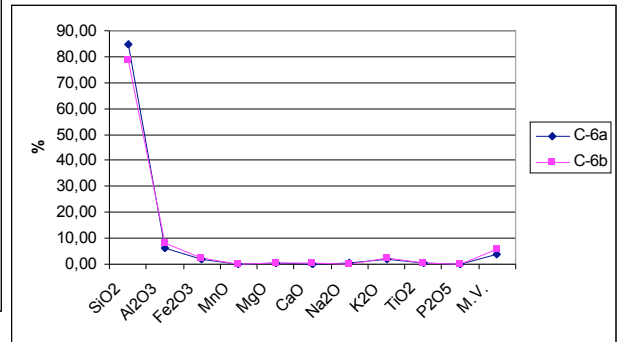
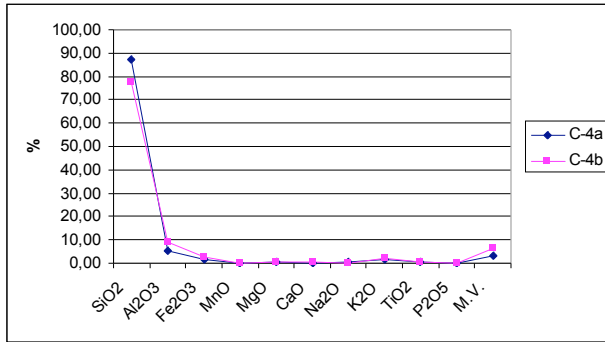
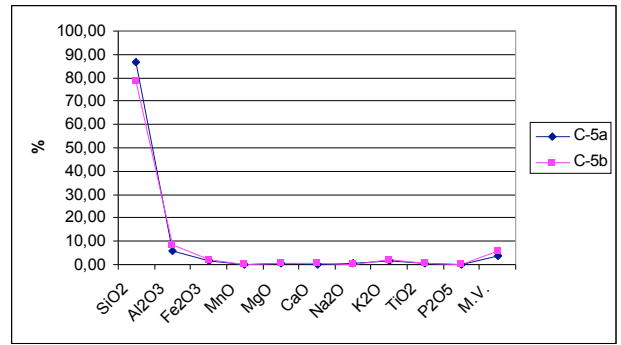
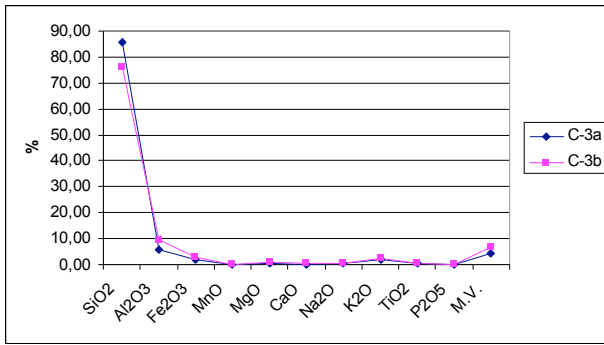
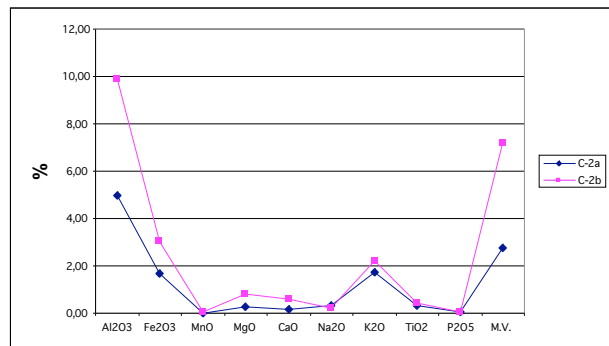
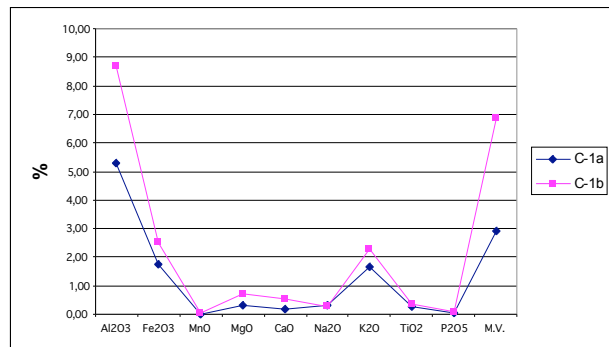


Figura 28a.- Gráficos de comparación entre los diferentes puntos de los perfiles A y B, para los elementos mayores.



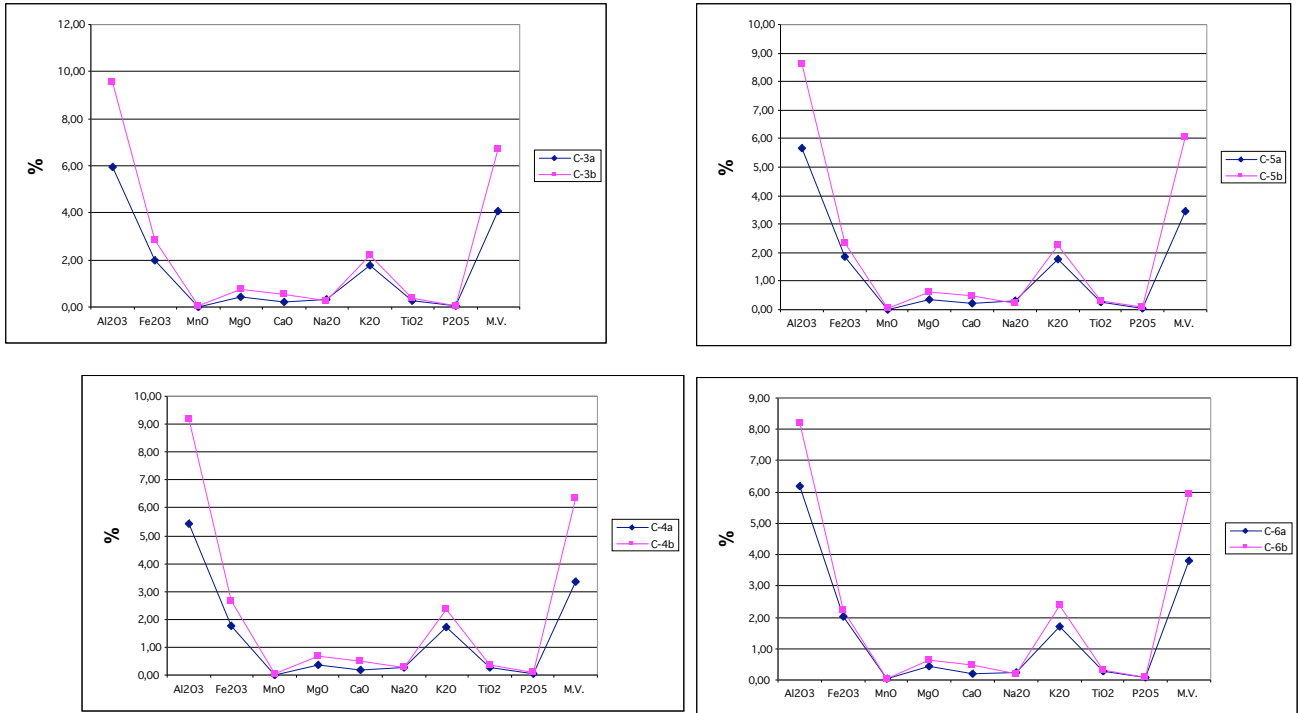


Figura 28b.- Gráficos de comparación entre los diferentes puntos de los perfiles A y B para los elementos mayores, eliminando los valores del Si.

Resumen

En este primer apartado de descripción de la evolución de los elementos mayores con la distancia, podemos destacar una serie de puntos:

- Se observa como en cada uno de los perfiles hay una serie de elementos que se correlacionan los unos con los otros. Así en el perfil A tenemos el

grupo formado por Al_2O_3 , Fe_2O_3 y MgO , que siguen una tendencia evolutiva igual, ascendiendo todos. También podemos considerar el CaO y el M.V. con una evolución similar. Otro grupo está constituido por el SiO_2 , Na_2O , y TiO_2 que presentan una evolución muy similar, alcanzando todos ellos su punto máximo de concentración en el segundo punto del perfil A.

- En cuanto al perfil B tenemos un grupo bastante amplio de elementos con la misma tendencia evolutiva; son el Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , TiO_2 y el M.V. alcanzando todos su máximo nivel de concentración en el segundo punto de muestreo.
- Comprobamos como nos aparecen claras diferencias en cada uno de los dos perfiles estudiados, de tal forma que mientras elementos como Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , K_2O y el M.V. aumentan su contenido con la distancia en el suelo en el perfil A, en el B les sucede todo lo contrario presentando una clara disminución con el aumento de la distancia.
- En el caso del SiO_2 ocurre a la inversa: su concentración va en aumento en el perfil B y en disminución en el A.
El MnO en el perfil A no presenta prácticamente variaciones, mientras el perfil B tiene tendencia descendente con la distancia.
Y por último, los elementos P_2O_5 , Na_2O y TiO_2 no tienen variación alguna del uno al otro perfil.
- Es importante destacar cómo en todos los puntos del perfil A el contenido en SiO_2 es mayor que en el perfil B, mientras que para el resto de los elementos su concentración es más alta en el perfil B, aunque a la vez es bastante cercana, debido en parte a la erosión sufrida por estar en pendiente y que al ser más arcilloso actúa el complejo de absorción arcillo-húmico.

7. 2. Variaciones con la distancia de los distintos elementos traza

Entre las dos zonas de muestreo, hay una clara oposición de la evolución de algunos de los elementos, pudiendo ser debida a la composición mineral del propio suelo, y que según el tipo de elemento se retenga mejor en una de las dos zonas. También se ha de considerar la posibilidad de la influencia en este tipo de retención de la topografía de la zona.

Dentro de los elementos traza existen algunos valores que nos pueden indicar alguna anomalía, que puede ser más o menos importante, dependiendo del elemento que

se trate, como por ejemplo el Zr que presenta una concentración muy elevada en el primer punto del perfil B.

Al igual que los elementos mayores, dentro de los traza también encontramos una serie de correlaciones de unos elementos con otros.

Perfil A

Ba:

La tendencia del elemento es a ir aumentando a medida que crece la distancia. El valor máximo se alcanza en el punto cuatro con 273 ppm y el mínimo está en el primer punto con 249 ppm. (Ambos niveles por encima del valor objetivo de la normativa holandesa; ver tabla 10).

Co:

Presenta una tendencia ascendente a partir del segundo punto, ya que antes presenta un pequeño descenso. El valor mínimo se encuentra en el segundo punto con 17 ppm y el máximo el quinto y sexto punto con 19 ppm. Por lo tanto los valores no varían en la zona en gran medida. (Ambos niveles cerca del valor objetivo de la normativa holandesa; ver tabla 10).

Cr:

La tendencia es ascendente, aunque el último punto presenta cierto descenso. El valor mínimo aparece en el segundo punto con 199 ppm y un máximo de 226 ppm. (Ambos niveles por encima del valor objetivo de la normativa holandesa; (ver tabla 10) y muy por encima de los valores de la normativa europea; ver tabla 11).

Cu:

La tendencia se podría considerar como descendente, aunque en los últimos puntos existe un pequeño ascenso de los niveles de este elemento en el suelo. El valor más elevado lo encontramos en el segundo punto con 32 ppm y el mínimo se encuentra en el cuarto punto con 19 ppm. (El máximo nivel cerca del valor objetivo de la normativa holandesa; (ver tabla 10) y todos los valores un poco superiores a los niveles de la normativa europea; ver tabla 11).

Li:

Los valores no presentan grandes variaciones, pero tienen una tendencia ligeramente ascendente. El valor máximo es de 38 ppm, localizado en el tercer punto, y el mínimo es de 32 ppm, encontrándose en el primer y segundo punto.

Nb:

La tendencia es variable, pasando de tener un ascenso del primer al segundo punto, para luego descender hasta el quinto punto y volver a ascender ligeramente. El valor máximo se encuentra en el segundo punto con 17 ppm y el mínimo en el primer y quinto punto con 15 ppm.

Ni:

Los niveles de este elemento van descendiendo con la distancia. El valor máximo se alcanza en el primer punto con 31 ppm y el valor mínimo que se alcanza en las últimas cuatro muestras es de 27 ppm. (Niveles máximos cerca del valor objetivo de la normativa holandesa (ver tabla 10) y un poco superiores a los niveles de la normativa europea, ver tabla 11).

Pb:

No presenta variaciones muy altas, ya que tienen una evolución bastante lineal. Alcanza el valor máximo en el quinto punto con 53 ppm y el mínimo está en el segundo punto con 40 ppm. (Valores superiores a los de la normativa europea; ver tabla 11).

S:

Los valores de este elemento van en descenso con el aumento de la distancia. En el primer punto de la serie encontramos un valor mucho más elevado que el del resto, pudiendo ser debido a alguna anomalía del terreno. El valor máximo es de 609 ppm, el nivel mínimo que se encuentra en el segundo punto es de 127 ppm y a partir de aquí los valores se mantienen muy próximos.

Sc:

Los valores no varían mucho ya que todas las muestras se encuentran entre un nivel máximo y mínimo. El mínimo es de 13 ppm y máximo es de 14 ppm.

Sr:

La tendencia del elemento es ascendente con el aumento de la distancia. El valor máximo se alcanza en el último punto y es de 67 ppm; el mínimo lo encontramos en los dos primeros puntos con 57 ppm.

V:

La tendencia que sigue es ascendente, alcanzando el valor máximo en el último punto con 76 ppm. El mínimo lo encontramos en el segundo punto con 65 ppm.

El V se correlaciona con el Sr.

Y:

Las variaciones son muy pocas ya que casi todas las muestras presentan el mismo valor de 18 ppm. Sólo sube el nivel en el punto tercero con 19 ppm, una variación muy poco importante.

Zn:

No presenta variaciones importantes de los niveles del elemento en los diferentes puntos, alcanzando una mayor variación en los últimos puntos donde tenemos el mínimo de 48 ppm en el cuarto punto y el máximo de 87 ppm en el quinto punto. (Los niveles se encuentran entre medias de los dos valores de la normativa europea; ver tabla 11).

Se correlaciona con el Zr. (Figura 29). $R_{Zn, Zr} = 0,9242$.

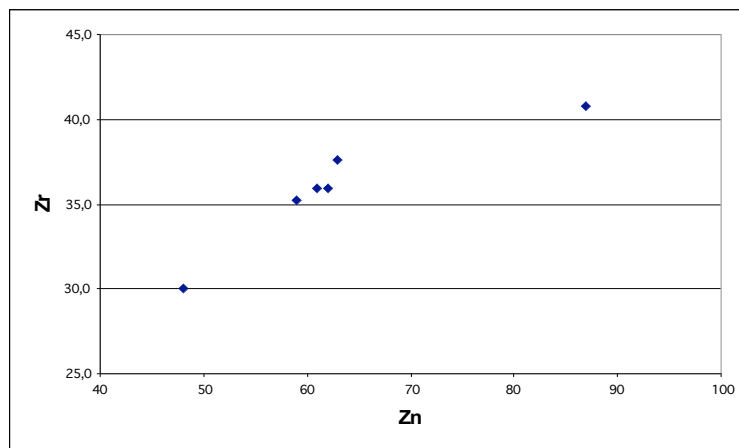


Figura 29.- Correlación entre el Zn y el Zr en el perfil A.

Be:

Las variaciones no son muy importantes, con una tendencia bastante lineal, el valor máximo de 2,9 ppm está en el sexto punto y el mínimo de 2,4 ppm está en el segundo y cuarto punto del perfil.

As:

Las variaciones no son importantes, con una tendencia bastante monótona, aunque algo ascendente. Alcanza el máximo en el último punto con un valor de 8,4 ppm y un mínimo de 5,4 ppm en el punto cuarto.

El As se correlaciona con el Be. (Figura 30). $R_{As, Be} = 0,8442$.

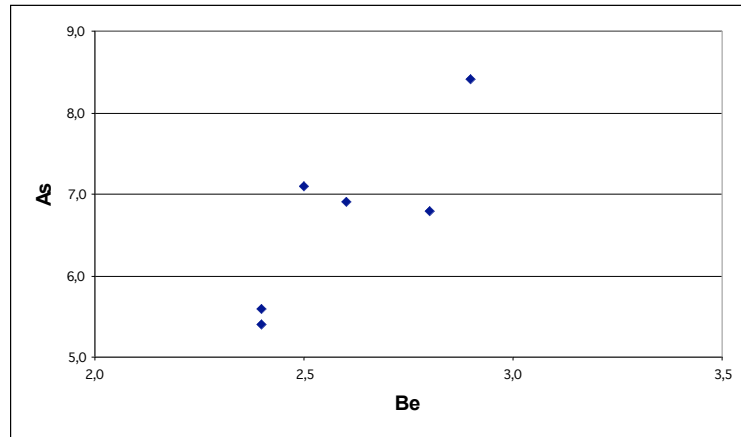


Figura 30.- Correlación entre el Be y el As en el perfil A.

Zr:

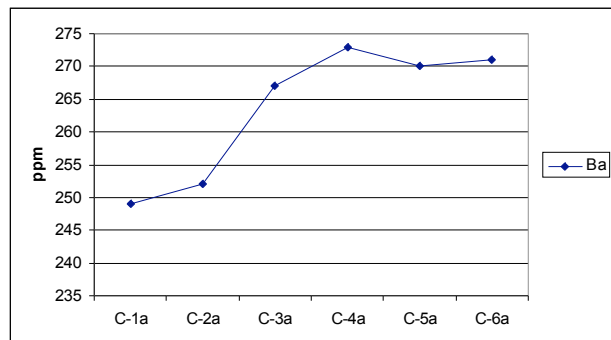
Los valores no varían de forma importante, el valor máximo es de 40,8 ppm encontrándose en el sexto punto y el mínimo de 30 ppm en el cuarto punto. La tendencia que presenta es descendente.

Se correlaciona con el Zn.

Mo y Cd:

Ambos elementos se han analizado pero su contenido en todas las muestras aparece por debajo del límite de detección.

La evolución de todos los elementos citados en este apartado, se puede ver de forma grafica en la Figura 31.



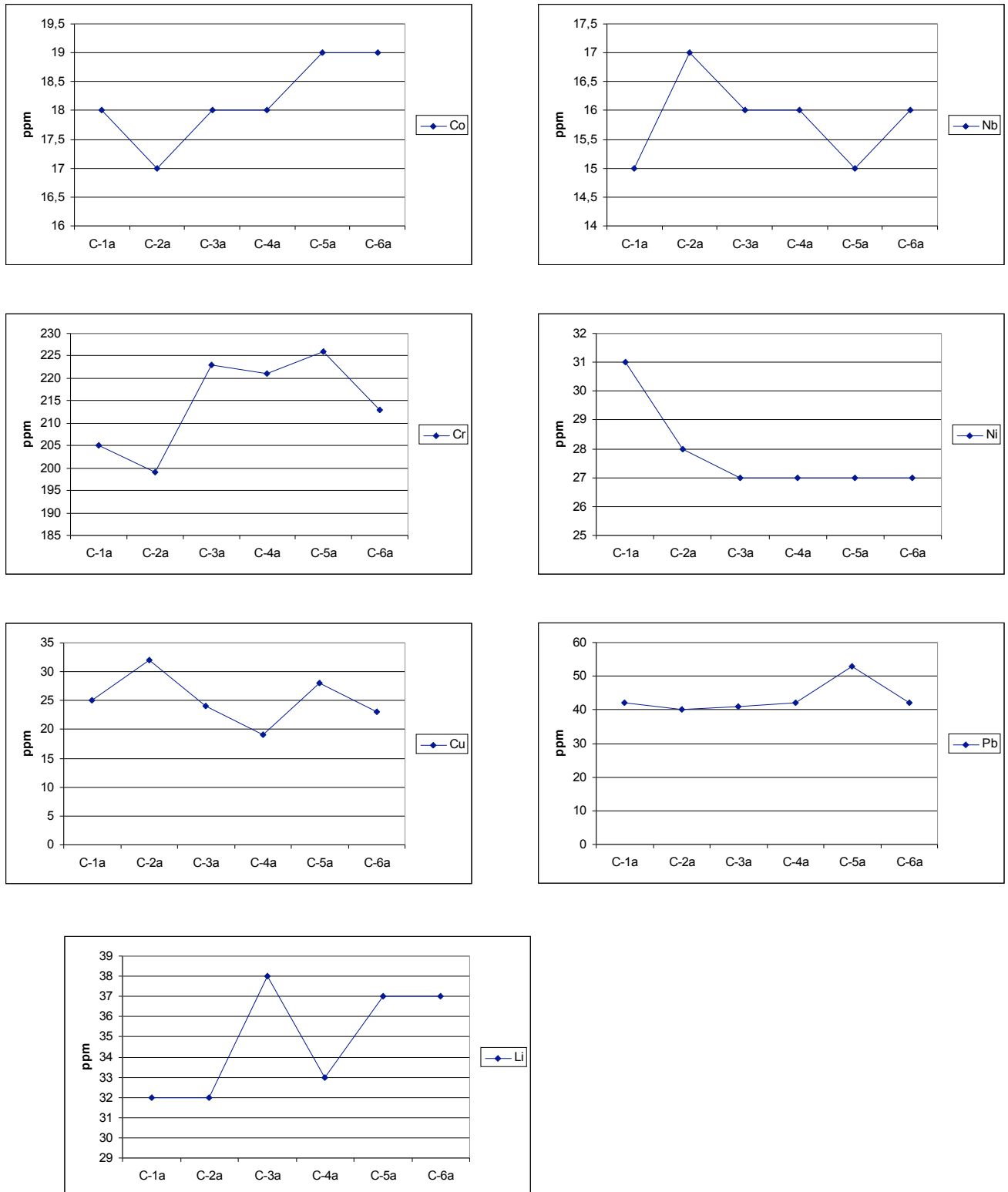


Figura 31.- Diferentes gráficos de la evolución con la distancia de los elementos traza para el perfil A.

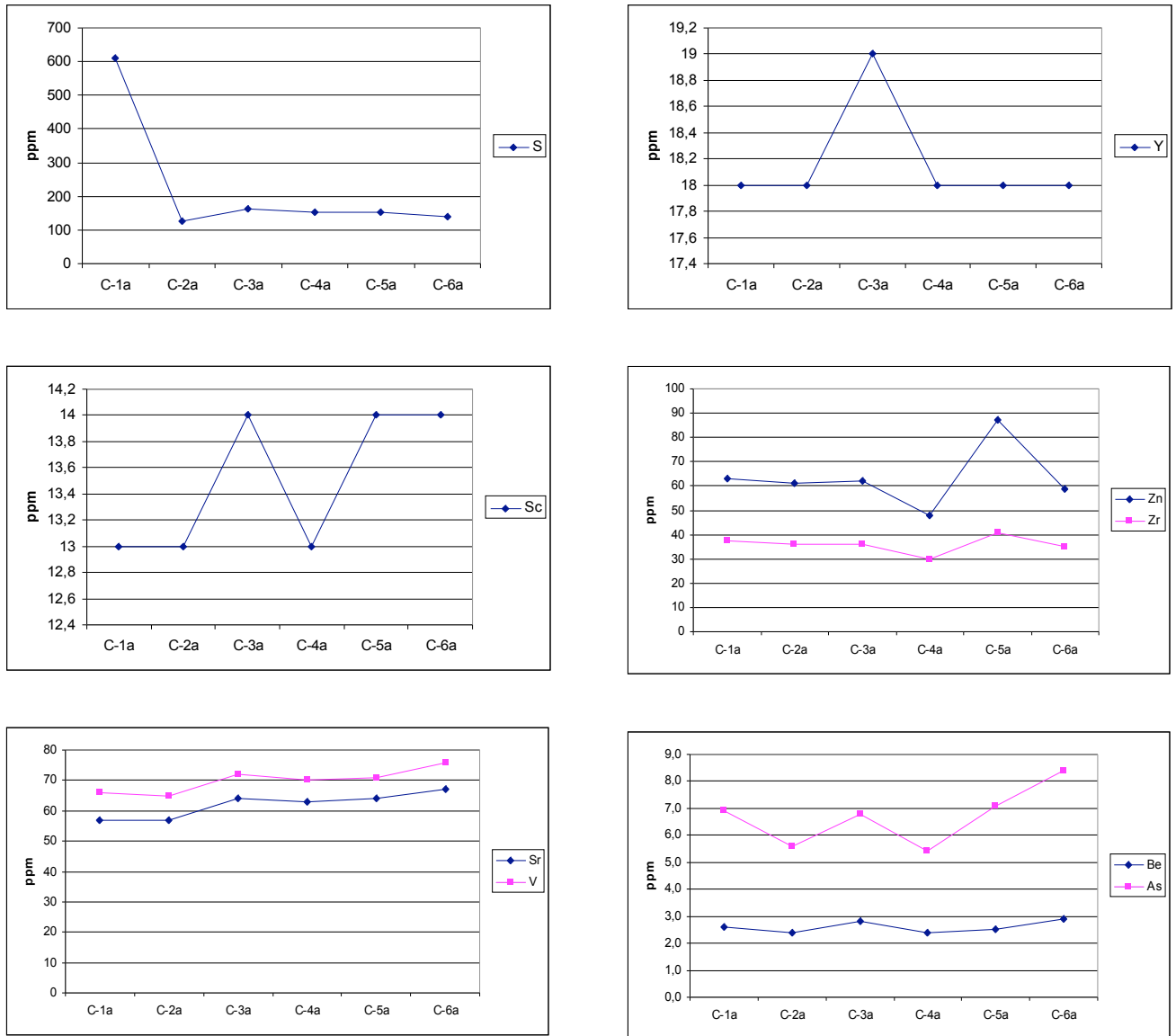


Figura 31. (Continuación) - Diferentes gráficos de la evolución con la distancia de los elementos traza para el perfil A.

Perfil B

Ba:

Presenta una tendencia descendente a partir del segundo punto que presenta el valor máximo de 494 ppm, el valor mínimo es de 373 ppm, que se obtiene en el sexto punto. (Niveles muy por encima del valor objetivo de la normativa holandesa; ver tabla 10).

Se correlaciona con el Sr, el V y el As (Figura 32). $R_{Ba, As} = 0,9453$.

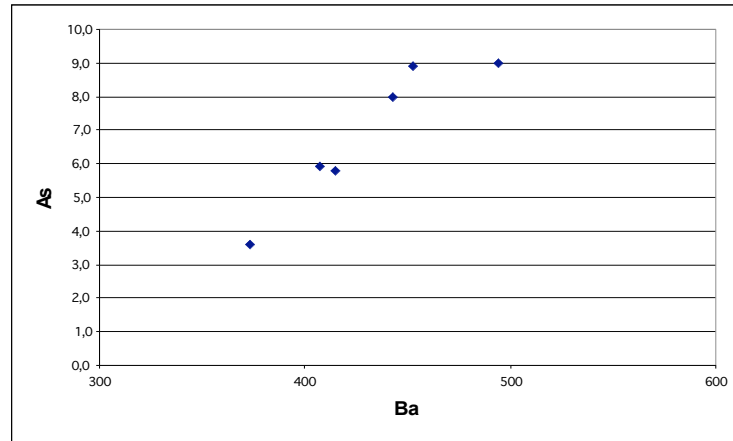


Figura 32.- Correlación entre el Ba y el As para el perfil B.

Co:

Presenta una tendencia descendente a partir del segundo punto, pero con valores muy próximos, siendo el máximo de 23 ppm y el mínimo de 20 ppm. (El valor máximo está por encima del valor objetivo de la normativa holandesa; ver tabla 10).

Se correlaciona con el Li.

Cr:

No presenta grandes variaciones, con pequeños ascensos en los puntos medios, descensos en el primer y último punto.

El valor mínimo se encuentra en el segundo, tercer y sexto punto con 169 ppm, y el máximo de 174 ppm se encuentra en el quinto punto. (Ambos niveles por encima del valor objetivo de la normativa holandesa; (ver tabla 10) y se encuentran muy por encima de los valores de la normativa europea; ver tabla 11).

Se correlaciona con el Cu.

Cu:

Presenta una tendencia que se consideraría como ascendente desde el punto segundo al quinto. En el primer punto se nos presenta un descenso, al igual que en el paso del quinto al sexto punto. El valor máximo se encuentra en el quinto punto con 38 ppm y el mínimo en el sexto punto con 20 ppm. (Niveles máximos por encima del valor

objetivo de la normativa holandesa; (ver tabla 10) y valores algo superiores a los de la normativa europea; ver tabla 11).

Se correlaciona con el Co.

Li:

Sigue una tendencia descendente de la serie, que presenta un valor máximo de 45 ppm en el segundo punto y un mínimo de 38 ppm en el sexto punto.

Se correlaciona con el Co.

Nb:

Las variaciones no son muy importantes. Encontrándose el nivel máximo en el segundo punto con 19 ppm y el mínimo en el tercer punto con 17 ppm. El resto de los valores es de 18 ppm.

Ni:

No se encuentran grandes variaciones, el valor máximo que se alcanza es de 34 ppm en el cuarto punto y el mínimo de 29 ppm se alcanza en el sexto punto. La parte final del muestreo muestra una tendencia descendente. (Niveles máximos cerca del valor objetivo de la normativa holandesa; (ver tabla 10), y también algo por encima de los valores de la normativa europea; ver tabla 11).

Pb:

Tienen una tendencia ascendente con el máximo en el sexto punto con 72 ppm y el mínimo en el segundo punto con 48 ppm. Del primer al segundo punto los valores descienden para aumentar continuamente después. (Valores un poco superiores a los de la normativa europea; ver tabla 11).

S:

Los valores van aproximadamente en descenso, presentando un mínimo de 164 ppm en el sexto punto y un máximo de 306 ppm en el tercer punto a partir del cual los valores descienden continuamente.

Sc:

Los valores sólo varían entre dos niveles uno de 15 ppm en el primer, quinto y sexto punto que es el valor mínimo y un máximo de 16 ppm en el segundo, tercer y cuarto punto.

Sr:

Lo que tenemos es una tendencia descendente, a partir del segundo punto, en el cual se alcanza el valor máximo de 81 ppm y el mínimo lo encontramos en el último punto del muestreo con 72 ppm. Comprobamos como los valores son muy cercanos.

Se correlaciona con el Ba, el V y el As.

V:

Los valores son muy aproximados los unos a los otros, siendo el máximo de 97 ppm y el mínimo de 83 ppm.

Se correlaciona con el Ba, el Sr y el As.

Y:

Presenta una variación de la tendencia descendente a partir del segundo punto, donde tenemos el valor máximo de 25 ppm y el mínimo de 21 ppm aparece en el último punto. Las variaciones no son grandes en este muestreo.

Zn:

Presenta una posible anomalía en el primer punto ya que tenemos un nivel muy elevado del elemento de 134 ppm, que es máximo. El mínimo es de 57 ppm y se encuentra en el último punto. La tendencia que se sigue es descendente con el aumento de la distancia. (El primer punto del muestreo se encuentra muy por encima de los valores de la normativa europea; ver tabla 11).

Be:

Las variaciones son muy pequeñas de unos puntos a otros. El máximo se encuentra en el segundo punto de 3,7 ppm y el mínimo en los dos últimos puntos del perfil con 3,2 ppm.

As:

Presenta una tendencia descendente a partir del segundo punto, donde tenemos el máximo valor de 9 ppm, el mínimo es de 3,6 ppm en el sexto punto del perfil.

Se correlaciona con el Ba, el Sr y el V.

Zr:

Encontramos una anomalía de 479 ppm en el primer punto, después de este nivel los valores nos descienden por debajo de las 100 ppm.

El mínimo lo encontramos en el último punto del perfil con 53 ppm.

Mo y Cd:

Se ha realizado su análisis pero todos los valores se encuentran por debajo del límite de detección.

La evolución de todos los elementos citados en este apartado, se puede ver de forma gráfica en la Figura 33.

Descripción de resultados

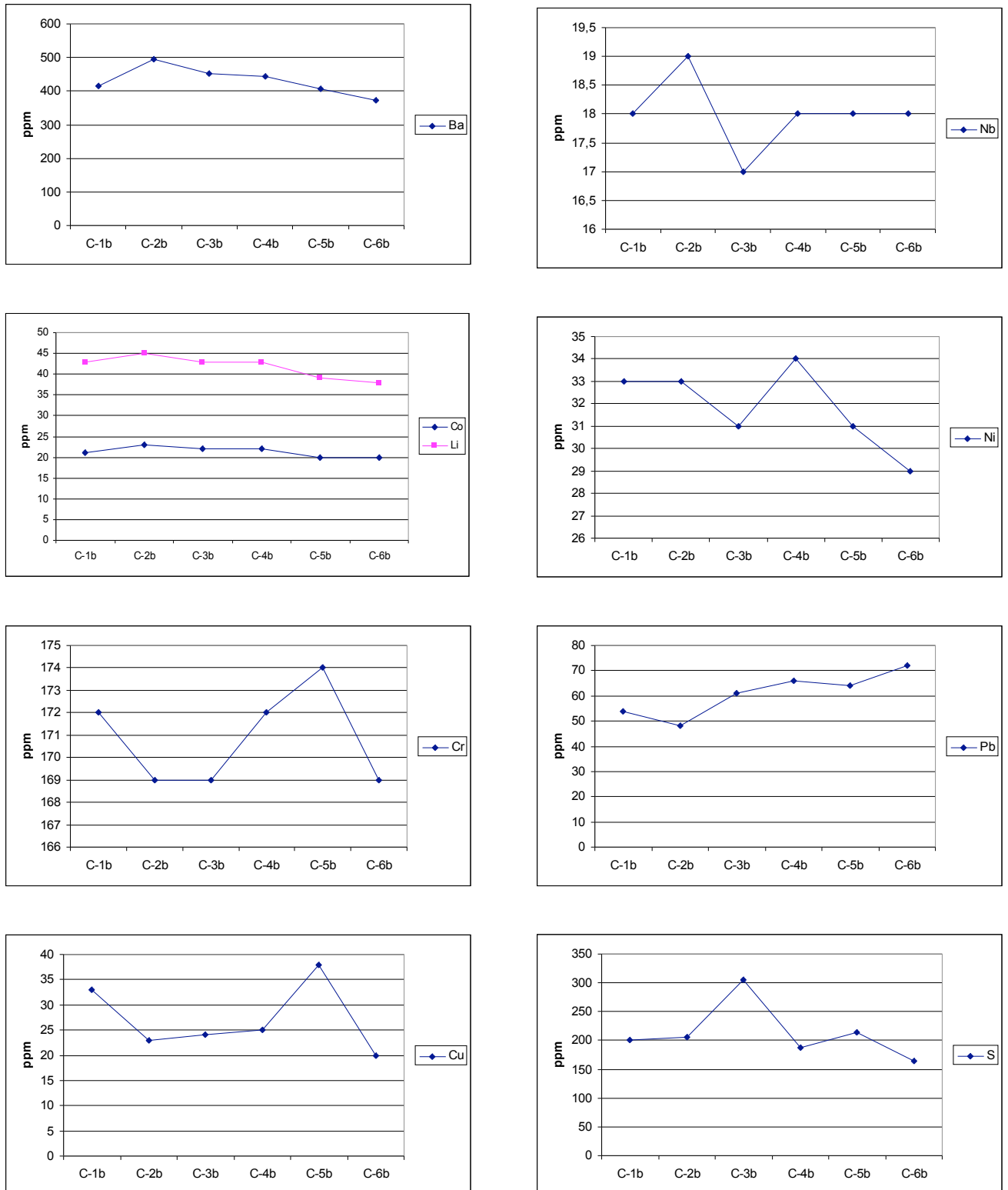


Figura 33.- Diferentes gráficos de la evolución con la distancia de los elementos traza para el perfil B.

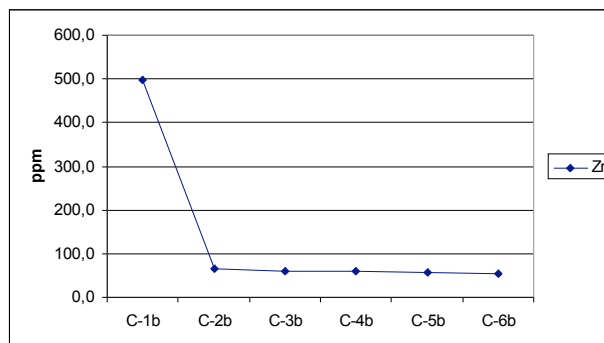
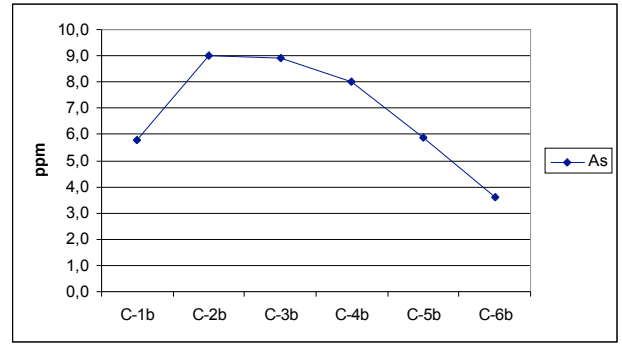
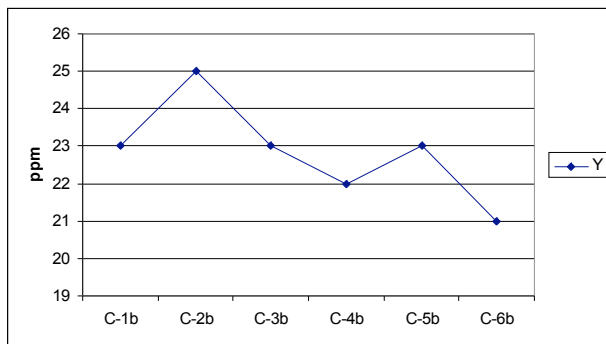
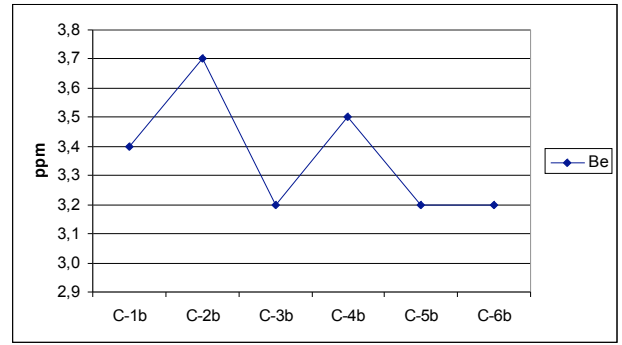
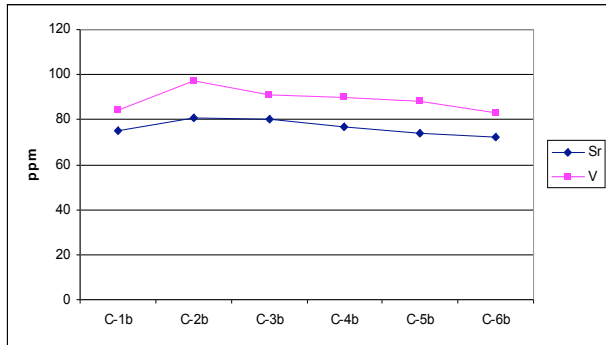
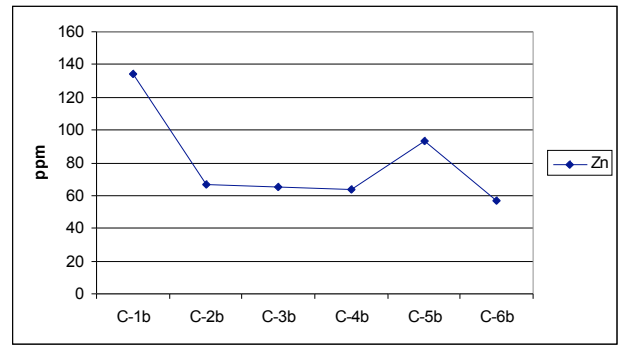
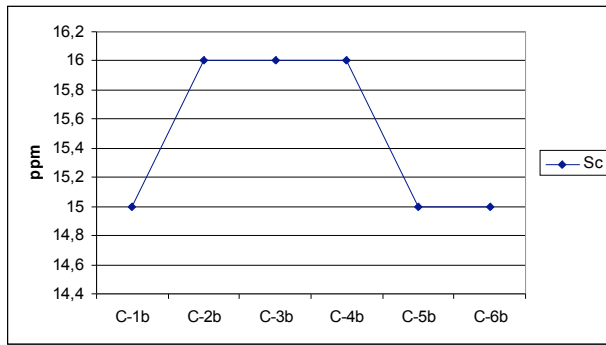


Figura 33.- (Continuación) - Diferentes gráficos de la evolución con la distancia de los elementos traza para el perfil B.

Comparación entre muestreos de los perfiles A y B

A continuación se describe la comparación de los elementos traza en ambos perfiles, pudiendo visualizarse de forma grafica en la figura 34.

Ba:

Al comparar un muestreo con otro vemos como la evolución es contraria. Los valores del perfil B son bastante más elevados que los del A.

Co:

Al comparar ambas zonas vemos como cada punto del perfil es opuesto al del otro perfil, siguiendo una tendencia distinta. Los valores son algo más elevados en el perfil B que en el A.

Cr:

Al compararlas observamos que mientras que los puntos del perfil A aumentan de forma general, en el perfil B se encuentran descensos y subidas de la cantidad del elemento.

En este caso los valores son algo más elevados en A que en B.

Cu:

Al compararlas observamos que varían de forma inversa, sobre todo al principio de la serie. Los valores son muy parecidos en ambas series.

Li:

Al compararlas se podría considerar como los valores en el perfil A aumenta mientras que en B descienden, siguiendo por tanto, en los distintos perfiles, tendencias opuestas.

Los valores en B son más elevados que en el perfil A.

Nb:

Al comparar ambos muestreos tenemos que mientras que en B se mantienen bastante estáticos en A descienden en general.

Los valores son algo más altos en B que en A.

Ni:

Al compararlas vemos que el perfil A desciende de forma algo más pronunciada que el perfil B, además de que en esta última también hay algún ascenso de unos puntos a otros.

Los valores que tenemos son algo más elevados en el B que en el A.

Pb:

Al compararlas podemos decir que en ambos perfiles los valores aumentan, aunque esto es de forma más pronunciada en el B que en el A.

S:

Se podría considerar que las variaciones en el perfil B, con los aumentos y descensos que presenta, son más pronunciados que la variación de los valores que tenemos en el perfil A, exceptuando el valor del primer punto.

Sc:

Al compararlas se podría decir que presenta cierta oposición en la evolución de la tendencia con la distancia del elemento, aunque en ambas no hay una variación importante de los niveles.

Los valores son un poco mayores en B que en A.

Sr:

Al compararlas vemos que las variaciones en ambos perfiles no son muy elevadas. La tendencia es contraria entre ellos, pero los valores son algo más elevados en B.

V:

Al comparar vemos que las tendencias son opuestas entre sí y los valores son más elevados en B que en A.

Y:

Observamos que mientras que en el perfil A los valores se pueden considerar como invariables, en B descienden. Siendo los valores más altos en B que en A.

Zn:

Al compararlos tenemos que en general en ambos perfiles la tendencia es a descender. Además en A y B los valores son próximos aunque algunos son más altos en B que en A.

Be:

Al compararlos tenemos que en el perfil A los valores en un principio descienden y luego aumentan y en B en cambio parece que los valores descienden. Los valores son más elevados en B que en A.

As:

Al compararlas vemos como mientras que los valores en A descienden para luego aumentar, en B descienden progresivamente.

En ambos muestreos los valores que obtenemos son próximos.

Zr:

Al comparar, el perfil A tiene una tendencia descendente al igual que el perfil B. Los valores son más elevados en B que en A.

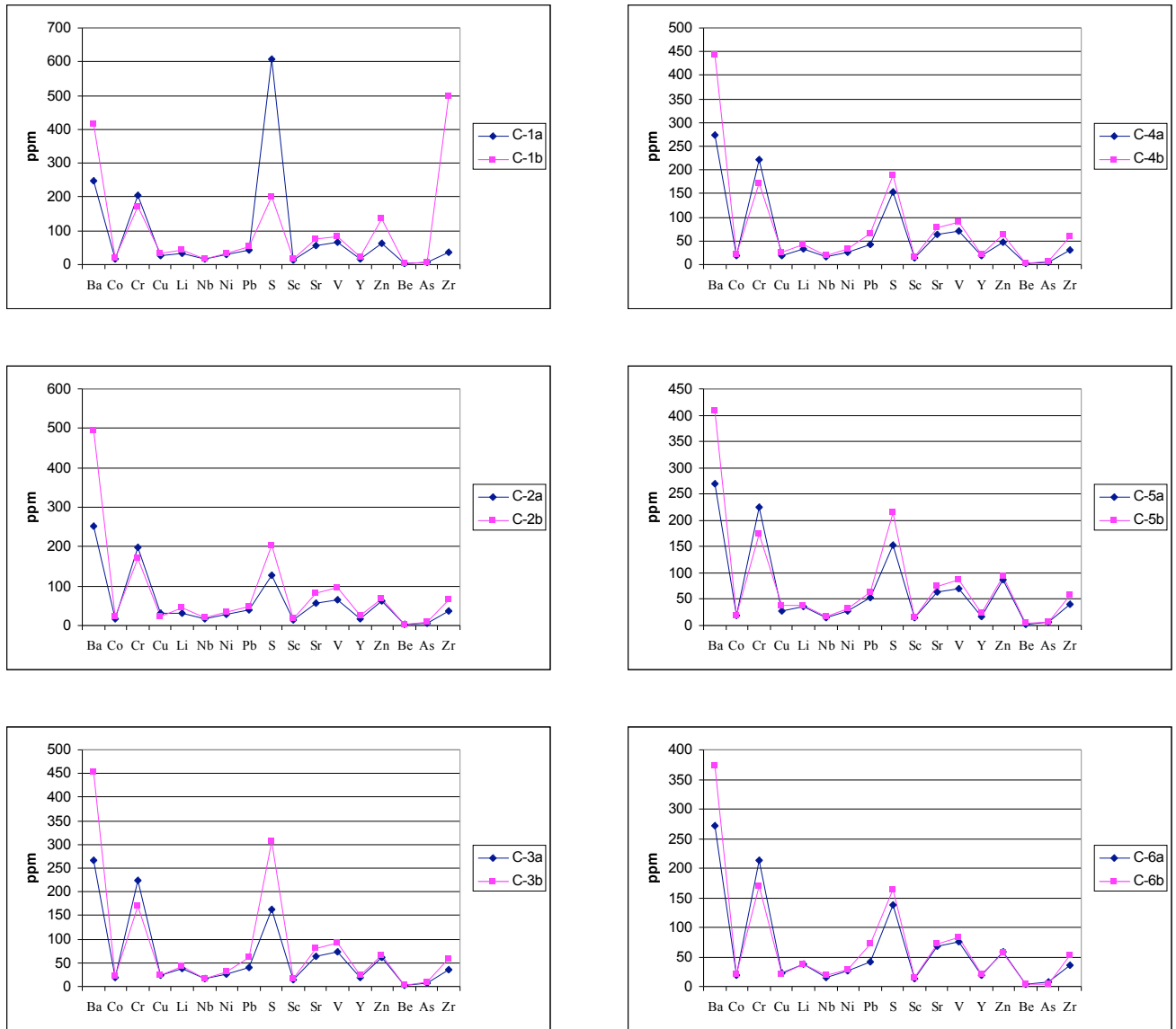


Figura 34.- Gráficos de comparación entre los diferentes puntos de los perfiles A y B, para los elementos traza.

Resumen

En este segundo apartado comprobamos de nuevo como existen varios elementos traza que se correlacionan unos con otros.

- En el perfil A se define un grupo formado por el Sr, V, Be y As que presentan una tendencia en la cual el máximo se encuentra en el sexto punto y el mínimo en el segundo. Otro grupo es el formado por el Zn y Zr, presentando estos dos elementos el máximo en el quinto punto y el mínimo en el cuarto punto. Además las tendencias que tienen los elementos como el Ni y S, también son muy similares.
- En el perfil B tenemos un grupo formado por Ba, Sr, V, As, Co y Li que presenta el máximo en el segundo punto y el mínimo en el sexto punto. Otro grupo es el formado por Cr y Cu con una tendencia muy parecida en la cual el máximo está en el quinto punto y el mínimo en el sexto punto.
- Así vemos como ciertos elementos como el Ba, Co, Sr y V mientras que su concentración en el perfil A aumenta a medida que crece distancia, en el perfil B disminuye. Lo contrario sucede con el Cu que aumenta en B y disminuye en A con la distancia. También varía de la misma forma en los dos perfiles el S, disminuyendo en ambos al alejarnos del posible foco contaminante. Otros elementos como Nb, Sc, Be, As, Y, Ni y Li tienen unos valores que no varían en gran medida en ninguno de los dos perfiles.
- La mayoría de los elementos traza se presentan en mayor concentración en el perfil B que en el A al comparar entre sí los diferentes puntos de cada muestreo, siendo en algunos casos la diferencia muy alta, como por ejemplo para el Zr y el Ba en el primer punto. En el primer punto de recogida de muestra del perfil A la cantidad de S es mucho mayor que el mismo punto del perfil B, debido a que el suelo es arcilloso y es retenido por el complejo de la arcilla del suelo, además de poderse deber a una

anomalía antropogénica generada por el vertido de residuos en la zona.
El Cr está en todos los puntos del perfil A en mayor cantidad.

- En el perfil A, al ser más arenoso y más ácido la movilidad de los elementos traza es mayor y por tanto hay menos concentración que en el perfil B que tiene un pH más alto y es más arcilloso.

7.3. Variación de los elementos mayores con la profundidad

Al igual que con la distancia, los elementos mayores también presentan una variación a medida que aumenta la profundidad. Para poder evaluar la evolución de los elementos con respecto a este parámetro, se ha realizado una recogida de muestras a una mayor profundidad, en el horizonte AC, en el primer y último punto de cada uno de los perfiles, de la zona de estudio.

Perfil A

Si:

En el primer punto de muestreo el valor que encontrábamos en la zona superficial desciende al 87,25% al aumentar la profundidad. En cambio, en el último punto aumenta un poco la cantidad de este elemento hasta un 85,34%. La tendencia que sigue este elemento es descendente en profundidad.

Al:

En el primer punto observamos que con el aumento de la profundidad el elemento ha disminuido hasta 5,26%, pero por el contrario en el último punto aumenta 6,28%, la cantidad es mayor en el último punto por lo que la tendencia en profundidad es ascendente.

Fe:

En estas muestras tanto en el primer como en el último punto del perfil los valores, con respecto a los que se encuentran a menos profundidad, disminuyen. El valor que tenemos en el último punto es mayor que en el primero, y por tanto la tendencia que sigue el elemento en profundidad es ascendente.

Mn:

Los valores que tenemos de este elemento a mayor profundidad en ambos puntos no varían con respecto a los que se encuentran en las muestras recogidas en su superficie.

Mg:

En ambos puntos del muestreo los valores aumentan con la profundidad, pero en muy pequeña medida. El último punto tiene una concentración más alta del elemento que el primero; por tanto la tendencia es ascendente.

Ca:

Los valores de éste elemento disminuyen con la profundidad hasta desaparecer en los dos puntos.

Na:

En el primer y último punto la concentración de Na desciende con la profundidad de forma ligera. El valor que tenemos a más profundidad en el primer punto es mayor que en el último, y la tendencia es descendente.

K:

En ambos puntos de este perfil, con el aumento de la profundidad, tenemos que los valores descienden ligeramente. El valor es mayor en el último punto y por tanto tiene una tendencia ascendente en el horizonte AC.

Ti:

Con el aumento de la profundidad la cantidad del elemento en el suelo aumenta. El valor del elemento es muy ligeramente superior en el primer punto y nos da una tendencia algo descendente, aunque ambos valores están muy próximos.

P:

Los valores son muy próximos a los que hay a menor profundidad. De tal forma que en el primer punto el valor se nos mantiene y en el último sube pero muy poco. El último valor es mayor que el primero por lo que la tendencia es ligeramente ascendente.

M.V.:

En el primer punto del perfil el valor asciende, mientras que en el último punto desciende con el aumento de la profundidad. El valor del último punto es mayor que el del primero por lo que la tendencia que sigue este parámetro en profundidad es ascendente.

Perfil B

Si:

El valor del elemento en el primer punto desciende a 77,64%, mientras que en el último aumenta a 78,81, ambos de forma leve con respecto al aumento de profundidad. El valor es algo más elevado en el último punto, y la tendencia ascendente en el horizonte AC.

Al:

En el primer punto el valor del elemento aumenta (8,77%) y en el último punto desciende (8,08%) con el aumento de la profundidad. La tendencia es descendente al ser

mayor la concentración de Al registrada en el primer punto que en el último del horizonte AC.

Fe:

En ambos puntos los valores descienden con respecto a los de la superficie, siendo muy próximos.

Mn:

Los valores en ambos puntos se mantienen con respecto a los que se encuentran en la zona más superficial. Además son muy próximos entre sí.

Mg:

Los valores que se encuentran en profundidad son prácticamente iguales a los que tenemos en el horizonte A. Pero la tendencia que sigue el elemento en profundidad es descendente del primer (0,75%) al último punto (0,63%).

Ca:

Los valores descienden de forma notable, llegando hasta la mitad del valor que teníamos a menor profundidad en el horizonte A. El valor del primer punto (0,25%) es mayor por lo que la tendencia es descendente.

Na:

Los valores de ambos puntos del muestreo, a mayor profundidad descienden. El valor es ligeramente mayor en el último punto (0,14%) que en el primero (0,11%) del horizonte AC y la tendencia por lo tanto es ascendente.

K:

En ambos puntos los valores descienden con respecto a los que teníamos a menor profundidad. Es algo más elevado el valor en el último punto, pero la diferencia es muy poca.

Ti:

Los valores aumentan con respecto a los que tenemos a menor profundidad. Entre ambos puntos la variación es poca siendo algo mayor el valor del primer punto del horizonte AC.

P:

En el primer punto el valor se mantiene con respecto al del nivel superior de muestreo. En el último punto sube muy ligeramente el valor encontrado con respecto al nivel que se presentaba en el horizonte A. Ambos valores registrados a mayor profundidad son muy próximos.

M.V.:

Los valores en los dos puntos aumentan con respecto a los valores de las muestras más superficiales. El valor es mayor en el primer punto que en el último y por tanto la tendencia es descendente.

Resumen

La evolución de los perfiles es igual para todos los elementos al observar la variación de los mismos del horizonte A al horizonte AC, siguiendo los elementos la misma tendencia de evolución con la distancia, tanto en los niveles más superficiales como en los más profundos.

Al referirnos únicamente a las muestras tomadas en el horizonte AC, observamos como el SiO_2 disminuye en el perfil A y aumenta en el perfil B, por el contrario otros elementos como el Al_2O_3 , MgO , TiO_2 y M.V. tienen una concentración que aumenta en el perfil A y disminuye en el perfil B. MnO , P_2O_5 y CaO tienen la misma evolución en ambos perfiles.

7. 4. Variación de los elementos traza con la profundidad.

Dentro de los elementos traza también tenemos variaciones importantes en cada uno de los muestreos, respecto a la profundidad.

Tenemos algunos elementos como Cr (sólo para el caso del perfil A), Cu, Nb y Ni, que se encuentran por debajo del límite de detección en las muestras tomadas en el horizonte AC: aparece concentración de los mismos en el horizonte A, pero a mayor profundidad ya no se detectan.

Perfil A

Ba:

La evolución con el aumento de la profundidad produce un pequeño descenso de bajo grado en los niveles de este elemento al pasar al horizonte AC. La tendencia que sigue el elemento en profundidad es ascendente, y por lo tanto tiene la misma evolución que en superficie.

Co:

Este elemento presenta un ascenso en su concentración respecto a los niveles más superficiales. La tendencia que sigue el Co en profundidad es descendente.

Li:

Respecto a los contenidos encontrados en superficie del elemento se observa como a más profundidad los valores descienden. La tendencia que sigue en la profundidad el Li es ascendente.

Pb:

Los valores de concentración del Pb descienden bastante a medida que pasamos de menor a mayor profundidad. Los valores no varían mucho entre las dos muestras tomadas en el horizonte AC.

S:

Los valores de este elemento disminuyen en gran medida con el aumento de profundidad, llegando a valores muy bajos. Además tenemos que señalar que en el último punto, para esta profundidad, el valor se encuentra por debajo del límite de detección.

Sc:

El aumento de la profundidad produce en los valores de este elemento no varía prácticamente y se mantienen muy parejos a los que tenemos a nivel de superficie.

Sr:

Los valores descienden en pequeña medida con el aumento de la profundidad, siguiendo al igual que en superficie una evolución ascendente ya que el valor que tenemos en el último punto es mayor que el primero del horizonte AC.

V:

Respecto a este elemento encontramos que sus valores descienden con el aumento de la profundidad.

Y:

Aunque la variación es muy pequeña, con respecto a las muestras superficiales los valores aumentan, siendo el mismo valor en el primer y último punto (20ppm) de las muestras tomadas a más profundidad.

Zn:

Los valores de este elemento en el horizonte AC descienden bastante con respecto a las muestras que tenemos en la zona más superficial. Además tiene una evolución parecida a la superficial ya que el valor en el último punto (16 ppm) de muestreo a mayor profundidad es menor que en el primero (22 ppm).

As:

Los valores de As descienden mucho con el aumento de la profundidad. Los valores estudiados en el horizonte AC son muy próximos entre ellos.

Zr:

Al igual que el anterior elemento, los valores descienden mucho con respecto a la superficie y son muy próximos entre sí los tomados en el horizonte AC.

Mo y Cd:

Ambos están por debajo del límite de detección.

Perfil B

Ba:

Al aumentar la profundidad los valores de este elemento van disminuyendo aunque no lo hacen en gran medida. Tienen además la misma tendencia descendente en profundidad, del primer (398 ppm) al último punto (330 ppm).

Co:

Los valores del Co aumentan a medida que aumenta la profundidad de las muestras.

Cr:

Los valores de este elemento disminuyen, en gran medida con la profundidad, pasando de tener unos contenidos de 172 y 169 ppm en el primer y último punto, respectivamente, de las muestras del horizonte A, a tener 15 y 10 ppm en el primer y último punto, respectivamente, del horizonte AC.

Li:

Este elemento disminuye mucho su proporción con el aumento de la profundidad. Los valores en los dos puntos del horizonte AC son muy próximos.

Pb:

Los valores que encontramos en el horizonte AC, de este elemento disminuyen hasta más de la mitad de los valores que encontrábamos en el horizonte A.

S:

Este elemento presenta también una disminución importante de los valores con el aumento de profundidad, siendo más acusado este descenso en el último punto del muestreo, en el cual pasa de tener una concentración de 164 ppm en el nivel superior a tener 17 ppm en el nivel inferior de recogida de muestras.

Sc:

Los valores de este elemento se mantienen iguales en ambos horizontes.

Sr:

Los valores de este elemento disminuyen con el aumento de profundidad, aunque no lo hacen en gran medida, ya que la diferencia entre ambos horizontes de muestreo es mínima.

V:

Al aumentar la profundidad, este elemento desciende su concentración en el suelo, siguiendo tanto la superior como la inferior una tendencia muy lineal: de uno a otro punto no varían en gran medida.

Y:

Aunque lo hace en pequeña medida, este elemento aumenta su concentración en el suelo con el aumento de la profundidad.

Zn:

Los valores que encontramos en el horizonte AC son muy cercanos en ambos puntos de este horizonte. Estos valores disminuyen con respecto al horizonte superior. Además se ha de tener en cuenta, que en el primer punto del horizonte A tenemos un

pico de la concentración de este elemento con 134 ppm que pasan a 47 ppm en el horizonte AC.

As:

El contenido de este elemento desciende mucho con respecto a la concentración que se encontraba en el horizonte A, siendo los valores en los dos puntos de muestreo del horizonte AC iguales.

Zr:

Al igual que el elemento anterior, la concentración del Zr disminuye mucho con respecto al contenido de la superficie. Los valores encontrados en profundidad aunque muy próximos, descienden del primer al último punto.

Mo y Cd:

Aparecen por debajo del límite de detección en las muestras tomadas en el horizonte A, pero a más profundidad si aparecen niveles de ambos elementos.

Resumen

Al comparar los dos perfiles, vemos como con respecto a la superficie, en las muestras que se han tomado a mayor profundidad, los valores de los diferentes elementos tienen la misma evolución en ambos. De esa manera el Co aumenta su concentración en profundidad, el Ba, Pb, S, Sr, V, Zn, Li, As y Zr disminuyen su concentración con respecto a la superficie; y Sc y Y presentan unos niveles de concentración que no varían entre sí.

Al contrastar únicamente los valores que tenemos en el horizonte AC en ambos perfiles, sí existen variaciones de uno a otro perfil con relación a la tendencia que siguen los elementos, de tal forma que el Ba, Sr y V aumenta en el perfil A y disminuye en el perfil B; el Co por el contrario disminuye en el perfil A y aumenta en el perfil B; el Sc, Pb, S y Zn no tienen variaciones de sus niveles en ambos perfiles.

7. 5. Comparación de los valores de los elementos mayores encontrados en el suelo con relación a su contenido en la roca madre del área de estudio.

En la zona de estudio se han analizado dos muestras diferentes de roca madre, muestra M-126 y M-128 (ver tabla 9), que proceden del trabajo de Nespereira, 2007.

Hemos comparado los análisis de estas muestras con las de los suelos que se desarrollan a partir de ellas.

Perfil A

Si:

Con respecto a una de las muestras de roca madre, la M-126, el contenido de este elemento varía poco siendo ligeramente más elevado su contenido en el suelo. Al contrario, con relación a la otra muestra M-128 los valores varían en mayor grado llegando a una diferencia de 20 ppm, con respecto al valor medio del elemento en el suelo. Además el valor sigue siendo más elevado en el suelo.

Al:

Los valores de este elemento en la roca madre son más elevados que los que están presentes en el suelo, variando en mayor medida en la muestra M-128 que en la M-126, con respecto a los valores del suelo.

Fe:

Al comparar el contenido en el suelo con el que se presenta en estas dos muestras de roca vemos que la variación es diferente en cada una. La muestra M-126 tiene unos valores muy parecidos a los del suelo aunque algo más bajos. Mientras, la muestra M-128 tiene unos contenidos de este elemento bastante más altos que los del suelo.

Mn:

Los valores de este elemento en la roca varían bastante de la muestra M-126 a la M-128; mientras que la muestra M-126 tiene un valor muy cercano al del elemento en el suelo, en la muestra M-128 nos encontramos con que la cantidad de Mn es mucho mayor que la que tenemos en el suelo.

Mg:

Ambos valores de la roca madre tienen un contenido más elevado de este elemento que el del suelo, siendo la diferencia mucho más alta con respecto a la muestra M-128.

Ca:

Los valores de este elemento en el suelo son menores que los que nos aparecen en la roca madre, y aunque los valores son muy próximos en las dos muestras de la roca, los valores de la muestra M-128 están más alejados del contenido que aparece en el suelo.

Na:

El valor de este elemento en el suelo es más elevado que el contenido de las muestras de roca madre. Los valores son más próximos a la muestra M-128, ya que la muestra M-126 presenta un valor más bajo.

K:

Los valores son algo más bajos que los presentes en las muestras de roca madre, siendo los valores en ambas muestras de roca muy parecidos.

Ti:

El contenido de este elemento en el suelo está más próximo a la muestra M-126 de roca madre, siendo el contenido de Ti en esta muestra M-126 algo más bajo que el contenido del suelo.

P:

Los valores del suelo y de las dos muestras de roca madre son muy cercanos entre sí, y los valores de este muestreo de suelo se encuentran entre medias de los dos valores encontrados en la roca madre.

M.V.:

Los valores del material volátil en la roca son bastante elevados en las dos muestras, pero es bastante superior en la muestra M-128. Al comparar con el contenido de este suelo vemos como para ambas muestras los valores que encontramos en el suelo son mucho más bajos que los contenidos de las rocas.

Perfil B

Si:

Al comparar los valores de este elemento en el suelo con los que encontramos en las muestras de la roca madre, tenemos que los valores en este perfil se encuentran entre medias de las dos muestras de roca.

Al:

Los valores de este elemento, también se encuentran entre las dos diferentes muestras de roca, siendo los valores más cercanos a la muestra M-126, aunque el valor de esta muestra es algo menor.

Fe:

El contenido de este elemento en el suelo está más próximo a la muestra M-126, aunque el valor es algo más bajo.

Mn:

Al igual que el anterior elemento, las muestras de suelo tienen unos valores más cercanos a la muestra M-126 de roca, y la muestra M-128 tiene unos valores bastante más elevados.

Mg:

Los valores son más bajos en el suelo que en cualquiera de las dos muestras de roca madre. Pero los valores son más cercanos a los de la muestra M-126, ya que el valor de la muestra M-128 es mucho más elevada.

Ca:

Los contenidos de este elemento en el suelo, son algo más elevados que el que presenta la roca madre en las dos muestras, que tienen valores muy cercanos.

Na:

Los valores son algo más elevados en el suelo que en la roca, pero los valores son más próximos a la muestra M-128.

K:

Los valores son muy próximos en las dos muestras de roca madre, y comparándolos con los del suelo son también bastante parecidos, sobre todo al contenido de la muestra M-126 de roca.

Ti:

Al comparar los contenidos de este elemento en el suelo, con los de la roca, vemos como los valores son medios entre una y otra muestra de roca. Los valores son más cercanos a la muestra M-126, aunque ésta tenga un menor contenido.

P:

Los valores del suelo son muy parecidos a los de la muestra M-128 de roca madre, aunque algo superiores.

M.V.:

Los contenidos del material volátil en este suelo están muy cercanos a los valores de la muestra M-126.

Resumen

Tenemos dos muestras de roca madre que nos dan resultados del análisis químico bastante diferentes para los elementos mayores. Esto puede ser debido a la existencia de ciertos niveles de arcilla.

Al observar la concentración de los elementos en la roca madre vemos como la mayoría de ellos son más elevados en la muestra M-128. Por tanto la concentración de los elementos encontrados en el suelo es más parecida a la que tenemos en la muestra M-126 de la roca madre en el caso del perfil A, en el que únicamente el Na₂O es más parecido a la muestra M-128. Por otro lado en el perfil B aunque la mayoría de los elementos son más semejantes a la muestra M-126 de roca madre, el CaO, Na₂O y TiO₂ son más semejantes a la muestra M-128.

La comparación del contenido de elementos mayores en la roca para cada uno de los perfiles nos da resultados diferentes; así, en el perfil A tenemos que el SiO_2 y Na_2O tienen mayor concentración en el suelo que en la roca, mientras Al_2O_3 , MgO , CaO , K_2O y M.V. tienen menor contenido en el suelo que en la roca madre. En el perfil B el contenido de CaO y Na_2O es mayor en el suelo que en la roca, y el MgO tiene un contenido menor en el suelo que en la roca madre.

7. 6. Comparación de los valores de los elementos traza encontrados en el suelo con relación a su contenido en la roca madre del área de estudio.

Al comenzar este apartado se ha de tener en cuenta una serie de elementos que aparecen en el suelo, pero que en la roca madre están por debajo del límite de detección. Son Cu, Nb y S.

Además tenemos otros elementos sólo por encima del nivel de detección en una de las muestras de roca madre, como son Cr, Ni y Pb, teniendo un contenido superior sólo en la muestra M-128 (ver tabla 9) de la roca.

Perfil A

Ba:

El contenido en el suelo de este elemento es inferior al que se encuentra en las dos muestras de roca. Pero existe una clara diferencia, ya que aun siendo inferior la muestra M-126 presenta unos contenidos muy parecidos a los del suelo. Mientras la muestra M-128 de roca madre tiene un valor muy alto de este elemento.

Co:

Los valores de este elemento en el suelo son inferiores a los que presenta la roca, estando los contenidos del suelo más cercanos a la muestra M-128 que a la M-126, con unos valores mucho más altos.

Cr:

El contenido encontrado en el suelo, en este caso, es mucho mayor que el que presentan las dos muestras de roca madre, estando la muestra M-126 por debajo del límite de detección.

Li:

La concentración de este elemento en el suelo es mucho mayor en el suelo que en la roca madre.

Ni:

De las muestras de roca madre sólo una de ellas se encuentra por encima del límite de detección. La muestra M-128, al compararla con el contenido de este elemento en el suelo comprobamos como ambos valores son muy próximos, siendo ligeramente superior el contenido del Ni en el suelo.

Pb:

Los valores que encontramos de la roca sólo están por encima del límite de detección en el caso de la muestra M-128. Los valores que aparecen en el suelo son ligeramente inferiores al que presenta la roca.

Sc:

Los valores de este muestreo del suelo son muy cercanos a los de la muestra M-126 de roca madre, mientras que al compararlo con la muestra M-128 vemos que su valor es ligeramente superior.

Sr:

Los valores de este elemento en las dos muestras de roca, son muy próximos. Al comparar estos valores con los del suelo comprobamos que están muy próximos.

V:

La muestra M-128 de roca presenta un nivel mucho más alto de V que la M-126. Los valores de este elemento en el suelo se encuentra entre los dos niveles que

presentan las muestras de roca madre, estando el contenido en el suelo del elemento por encima del de la muestra M-126 y por debajo de la muestra M-128.

Y:

Los valores de este elemento en el suelo están muy cercanos a los de la roca madre aunque son algo inferiores, y más próximos al valor de la muestra M-126.

Zn:

El contenido de este elemento en las dos muestras de roca difiere bastante de una a otra, teniendo mayor cantidad del elemento la muestra M-128. Al comparar las muestras de roca con las de suelo comprobamos como los valores del suelo son más cercanos a los de la muestra M-128, mientras que el valor de la muestra M-126 es muy inferior al contenido del suelo.

As:

El contenido en el suelo es mucho mayor que el de la roca en ambas muestras.

Zr:

Al igual que el anterior elemento el contenido que presenta el suelo es bastante superior al que aparece en la roca.

Perfil B

Ba:

En este caso los niveles son más elevados al compararlos con la muestra M-126 de roca madre, pero a la vez son más bajos que el contenido de este elemento en la muestra M-128.

Co:

Aunque la diferencia es menor que en las muestras a, los valores de este elemento en ambas muestras de la roca madre son bastante más elevados que los que encontramos en las muestras del suelo de esta zona.

Cr:

Sólo tenemos uno de los valores de roca madre, el de la muestra M-128, ya que la muestra M-126 se encuentra por debajo del límite de detección. Nos encontramos con que los valores encontrados en el suelo son mucho más elevados que el contenido que presenta la roca madre en este elemento.

Li:

La concentración de este elemento en el suelo es bastante mayor que la que nos aparece en las dos muestras de roca.

Ni:

En el caso de este elemento tenemos sólo una de las muestras de roca madre por encima del nivel de detección, tratándose de la muestra M-128. Al comparar el valor de este elemento en la roca con los valores que tenemos en el suelo, tenemos que la cantidad en el suelo es mayor que la que aparece en la roca madre.

Pb:

Al igual que el anterior elemento éste también aparece sólo en la muestra M-128 de roca madre por encima del límite de detección, y por lo tanto al compararla con el suelo vemos que, los niveles del elemento en el suelo son algo más elevados que en la roca madre.

Sc:

Los valores de este elemento en el suelo y en la roca son muy próximos, encontrándose los del suelo entre medias de los dos valores de las muestras de roca madre.

Sr:

Los valores del elemento que se encuentran en el suelo son algo más altos que los que encontramos en las muestras de roca madre, las cuales tienen unos valores muy parecidos en el caso de este elemento.

V:

La cantidad de este elemento en el suelo es más próxima al valor de la muestra 128 de roca madre, teniendo ésta un valor más elevado que el del suelo.

Y:

Los valores de la roca madre son menores que los del suelo, aunque muy próximos los unos de los otros.

Zn:

Algunos de los valores del suelo están por encima del valor de este elemento en la roca madre, y otros se encuentran entre medias de los dos valores de la roca que tenemos, aunque mucho más cercanos al valor de la muestra M-128.

As:

El contenido de este elemento en el suelo es muy superior al que aparece en la roca madre.

Zr:

La concentración de este elemento, al igual que el anterior, es mayor en el suelo que en la roca.

Resumen

Al igual que sucede con los elementos mayores, los elementos traza se comparan con dos muestras de roca madre que presentan resultados diferentes de una a otra muestra, teniendo una mayor concentración de los elementos en la muestra M-128.

En el perfil A se nos presentan unas concentraciones mayores de Cr y Ni en el suelo que en la roca madre, mientras la concentración de Ba, Co y Pb es menor en el suelo que en la roca, por ser un suelo arenoso y la movilidad de los elementos es mayor.

En el perfil B tenemos que la concentración de Co, Cr, Ni, Pb, Sr, V y en menor medida Y y Zn tienen un mayor contenido en el suelo que en la roca, por ser arcilloso y un complejo arcillo-húmico que retiene más los elementos. El resto de los elementos tienen unos valores que varían entre una y otra muestra de roca madre.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

8. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las muestras que fueron recogidas para su estudio forman parte de dos perfiles con claras diferencias de topografía y de composición, de tal forma que el perfil A tiene mayor concentración de Si y Mn y el perfil B es más rico en Al, Fe, Mg, Ca, K, Ti, P y M.V. Estas diferencias composicionales indican que el suelo del perfil A es de carácter más arenoso y más ácido, por lo que la movilidad de los elementos es mayor, mientras el perfil B es más arcilloso y de más alto pH, que hacen que los elementos tengan menor movilidad y mayor concentración.

Las dos muestras de roca madre estudiadas, M-126 y M-128, muestran claras diferencias en el contenido de los elementos químicos, debido a la existencia de niveles arcillosos dentro de la roca arenisca, como ya fue descrito por Nespereira, 2002.

Las muestras tomadas en ambos perfiles del suelo estudiado se asemejan más, en cuanto a su contenido en elementos químicos, a la muestra M-126 de roca madre. Teniendo en cuenta las características que diferencian cada tipo de suelo, el perfil B se pudo desarrollar sobre una roca madre más arcillosa, aunque también puede ser a causa de que dicho suelo esté más desarrollado.

Es importante tener en cuenta que en el perfil B aparecen en mayor cantidad elementos como: Ba, Co, Li, Nb, Pb, Sc, Sr, V, Y, Zn, Be y Zr; pudiendo atribuirse esta concentración a que se trata de un suelo más arcilloso que retiene mejor dichos elementos. Pero también puede interpretarse como debido a la contaminación procedente del vertedero, ya que este perfil se encuentra más próximo a la actual zona de vertido de los residuos. Las altas concentraciones de elementos traza pueden haberse acumulado:

1. Anteriormente al aislamiento del vertedero. Este caso indicaría que las altas concentraciones de elementos traza permanecen durante mucho tiempo.
2. Posteriormente al aislamiento del vertedero. En este caso se explicaría como debido a un fallo del aislamiento con lo que se producirían filtrados.

Para saber el caso que explicaría estas altas concentraciones, debe realizarse un análisis sistemático de los suelos adyacentes a la zona para hacer un seguimiento de las posibles anomalías.

Dentro de la línea de muestreo que se ha seguido para cada uno de los perfiles, existen puntos donde las concentraciones de ciertos elementos son muy altas. Así, en el perfil A encontramos un máximo de acumulación para Cr, Pb, Zn y Zr en el quinto punto; y de Sr, V, Be y As en el sexto punto. En el caso del perfil B hay una alta concentración de Ba, Co, Li, Sr, V, Y, Be y As en el segundo punto. Esta circunstancia puede deberse a dos posibilidades: a la topografía existente en ese punto; o debido a que existan ciertos niveles arcillosos que hallan retenido estas cantidades de elementos.

En ambos perfiles también se encuentran concentraciones más elevadas de ciertos elementos traza en el horizonte A al ser comparado con el horizonte AC; dichos elementos son Cr, Cu, Li, Nb, Ni, Pb, S, V, Zn, Be, As y Zr, y además únicamente en el perfil B también está más alto el Sr.

Concentraciones más altas de algunos elementos también aparecen al comparar el suelo superficial con los resultados de la roca madre a partir de la que se han desarrollado. De esta manera se observa que la cantidad de Cr, Cu, Li, Nb, S, Be, As y Zr, es mayor en el suelo que en la roca para ambos perfiles; en el caso del perfil B además de estos elementos traza se encuentran en mayor concentración el Ni y Pb.

Cr y Cu son dos elementos cuyos valores registrados en el horizonte A están muy por encima de lo que sería normal para este suelo, ya que tanto en el horizonte AC como en la roca madre se encuentran por debajo del límite de detección.

Al comparar los resultados obtenidos de cada elemento entre los diferentes puntos de cada perfil se observan una serie de anomalías:

1. Para el perfil A nos encontramos con una anomalía de S en el primer punto, estando muy por encima del resto de los valores obtenidos en los demás puntos. Puede deberse a un contacto prolongado del suelo con algún tipo de contaminante de origen antropogénico.
2. En el caso del perfil B tenemos dos elementos que presentan una anomalía, el Zn y el Zr, encontrándose ambos muy por encima de los valores que aparecen en el resto de los puntos del perfil. La anomalía de Zn puede deberse al contacto con residuos como pinturas, vidrio,

pigmento, baterías, etc. En el caso del Zr puede deberse a contacto con residuos como vidrio o cerámica industrial, abrasivos, etc.

Interpretamos la concentración anómala de todos estos elementos traza en el sustrato superficial como debido a una aportación antropogénica a causa del vertido de RSU en la zona.

Al comparar los datos obtenidos con la normativa europea se observa que elementos como Cr, Cu, Ni y Pb, para ambos perfiles y Zn para el perfil B, están en concentraciones más altas en el suelo que los valores objetivo para areniscas que aparecen en la tabla de la normativa.

La comparación con los valores objetivo y de intervención de la normativa holandesa indica que en ninguno de los casos ningún valor ha sobrepasado el valor de intervención, pero algunos elementos sí se encuentran en valores que sobrepasan el valor objetivo. Dichos elementos son Ba, Co, Cr, Cu y Ni para el perfil A; y Ba, Cr, Cu y Ni para el perfil B. Resaltamos que muchos de estos elementos son muy tóxicos para el cuerpo humano.

El que estén dichos elementos por encima del valor objetivo considerado en esta normativa indica que estos suelos puede que no sean aceptables para algún tipo de actividad que se quiera realizar en ellos con posterioridad, como pudiera ser la implantación de un espacio de ocio o como cultivos que entren en la cadena trófica, aunque este último caso se está llevando a cabo en la actualidad.

Se propone la realización de un seguimiento periódico de la zona estudiada para ver si los valores encontrados disminuyen o permanecen estables, con lo cual ocasionalmente habría que plantearse una intervención de reducción de concentración de determinados elementos. Una conclusión evidente es que la implantación de una recogida selectiva de basuras en Salamanca y el reciclado de las mismas evitaría parte de esta contaminación.

BIBLIOGRAFÍA

9. BIBLIOGRAFÍA

- Adriano, D. C. (1992): Biogeochemistry of trace metals. CRC Press. pp. 528.
- Alonso, G., Blanco, J. A., Sánchez, S., Fernández, B., & Santisteban, J. I. (1989): Alteraciones asociadas a los paleosuelos de las areniscas de Villamayor (Salamanca). *Studia Geológica Salmantica*. Vol. Esp. 5, pp. 187-207.
- Atlas de España (1992). Ed. El Pais-Aguilar. Tomo I Y II.
- Bernal, M.N., García, A.M., Pereira, D., & Peinado, M.(2001): Aspectos de la geoquímica de las formaciones superficiales de la provincia de Salamanca: resultados preliminares. *Studia Geológica Salmantica*, Vol. 37, pp. 123-139.
- Bernal, M.N., Pereira, D., & Forteza, J. (2003): Influencia antropogénica en la existencia de anomalías geoquímicas de formaciones superficiales. *Studia Geológica Salmantica*, Vol. 39, pp. 37-54.
- Bernal, M. N. (2002): Influencia antropogénica en la existencia de anomalías geoquímicas de formaciones superficiales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias.
- Blanco, J. A., Alonso, G., Fernández, B., & Sánchez, S. (1989): Alteración roja miocena sobre las areniscas de Villamayor. *Studia Geológica Salmantica*. Vol. Esp. 5, pp. 209-222.
- Bueno, J. L., Sastre, H., & Lavin, A.G. (1997): Contaminación e ingeniería medioambiental: Principios generales y actividades contaminantes. Volumen I. Ed. FICYT.
- Bueno, J. L., Sastre, H., & Lavin, A.G. (1997): Contaminación e ingeniería medioambiental: Degradación del suelo y tratamiento de residuos. Volumen IV. Ed. FICYT.

- Bunnell, J. E., Finkelman, R.B., Centeno, J.A., & Selinus, O. (2007): Medical Geology: a globally emerging discipline. *Geologica Acta*, Vol. 5, Nº 3, pp. 273-281.
- Cameron, K.C., Di, H. J., & McLaren R.G. (1997): Is soil an appropriate dumping ground for our wastes? (Abstract). *Australian Journal of Soil Research* 35(5) 995-1035.
- Carta Mundial de Suelos (1982): Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma.
- ECOGEST (1995): Valores objetivo y de intervención para suelo y agua subterránea según la actual normativa holandesa.
- Environmental Performance Review of Bulgaria (2000): Economic Commission for Europe, Committee on Environmental Policy.
<http://www.unece.org/env/epr/studies/bulgaria/contents.html>
- García, A. M. (2002): Contribución a la caracterización geoquímica de las formaciones superficiales de las provincias de Salamanca y Valladolid. Un caso extremo: el vertedero de Béjar (Salamanca). Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias.
- García-Badell, J. J. (1987): La contaminación y el equilibrio ecológico. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias. Madrid.
- García, I., & Dorronsoro, C. (2002): Contaminación del suelo: Degradación del suelo. Tema 10. Universidad de Granada, Edafología. www.ugr.es
- García, I., & Dorronsoro, C. (2002): Contaminación del suelo: Contaminación del suelo e impacto ambiental. Tema 11. Universidad de Granada, Edafología. www.ugr.es

- García, I., & Dorronsoro, C. (2002): Contaminación del suelo: Contaminación por metales pesados. Tema 15. Universidad de Granada, Edafología. www.ugr.es
- García, I., & Dorronsoro, C. (2002): Contaminación del suelo: Vulnerabilidad y autodepuración de los suelos. Tema 18. Universidad de Granada, Edafología. www.ugr.es
- García, I., & Dorronsoro, C. (2002): Contaminación del suelo: Descontaminación de suelos contaminados. Tema 19. Universidad de Granada, Edafología. www.ugr.es
- García Rodríguez, A., Forteza Bonnín, J., Prat Pérez, L., Gallardo Lancho, J., & Lorenzo Martín, L.F. (1979): Suelos. Estudio integrado y multidisciplinario de la dehesa salmantina. 1. Estudio fisiográfico descriptivo. 3^{er}. fasc. pp.65 a 100. Salamanca-Jaca.
- Generalitat de Catalunya. Departament de Medi Ambient. Junta de Residus (1997): Guia d'avaluació de la qualitat del sòl: Criteris provisionals de qualitat del sòl a Catalunya.
- González, F. M., Pereira, M. D., Goy, J. L., Forteza, J., Bernal, M. N., García, A. M., & 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-. Avances en calidad ambiental. Editores: Pedro Ramos Castellanos y Carmen Marquez moreno. Ed. Universidad de Salamanca.
- Hoffmann, V., Knab, M., & Appel, E. (1999): Magnetic susceptibility mapping of roadside pollution. *Journal of Geochemical Exploration* 66, pp. 313-326.

- Jackson, M. L. (1958): Soil chemical analysis. Prentice Hall Inc. Englewood clifl. Londres. pp. 480.
- 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.
- Macías, F. (1993): Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas. Problemática geoambiental y desarrollo, pp. 53-74.
- Mapa Agronómico Nacional (1970): Mapas provinciales de suelos, Salamanca. Ministerio de Agricultura. Madrid.
- Mapa Geológico de España (1996): Escala 1:50.000, nº 478 (Salamanca). ITGE. Madrid.
- Mapa Geológico y Minero de Castilla y León (1998): Escala 1:400.000. Sociedad de Investigación y Explotación Minera de Castilla y León, S.A. SIEMCALSA.
- Mapa Topográfico Nacional de España (2002): Escala 1:25.000, nº 478-I (Villamayor). Ministerio de Fomento. Instituto Geográfico Nacional.
- Mas, A. & Azcue, J. M. (1993): Metales en sistemas biológicos. Ed. Promociones y publicaciones universitarias. Barcelona.
- Moreno, A. M., Pérez, L., & González, J. (1993): Metales pesados en suelos y su relación con las distintas fracciones minerales. Problemática geoambiental y desarrollo, pp. 461-468.
- Nespereira, J. (2006): Estudio, definición y cartografía de unidades geotécnicas en un entorno urbano: Salamanca y su zona de expansión. Tesis Doctoral Universidad de Salamanca.

- Nespereira, J., Yenes, M., Blanco J. A., & Pereira, M. D. (2006): Propiedades geotécnicas de la unidad arcosas del Teso Grande (Salamanca). *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19 (3-4).
- 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 Enviroment, Factsheets for the Geochemist and Enviromental Scientist*. Ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Richards, L. A. (1954): *Diagnosis and improviment of saline and alkalisols*. USDA. Agriculture Handbook 6.
- 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*. Ed. Mundi-Presa.
- Vadillo, I., Carrasco, F., Andreo, B., García, A., & Bosch, C. (1998): Contaminación por lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos en acuíferos carbonatados: vertedero de la Mina (provincia de Málaga). *Jornadas sobre la contaminación de las aguas subterráneas: un problema pendiente*.
- Walkley, A., & Black, I. A. (1934): Am examination of the Degtjaredd method for determining soil organic matter and propossed modification of the chromic acid titration method. *Soil Science* 37, pp. 29-38.
- Van-Camp, L., Bujarrabal, B., Gentile, A. R., Jones, R., Montanarella, L., Olazábal, C., & Selvaradjou, S. K. (2004): Reports of the technical working

groups: Established under the thematic strategy for soil protection. Volume - 4. Contamination and land management. <http://europa.eu.int>.

- www.ecoportal.net
- www.monografias.com/trabajos6/elsu/elsu.shtml

ANEXO

ANEXO

Elementos mayores	ppm
Si	0,05
Al	0,06
Fe	0,04
Mn	0,05
Mg	0,13
Ca	0,06
Na	0,13
K	0,11
Ti	0,07
P	0,14

Tabla 1.- Límites de detección para los elementos mayores, estudiados mediante ICP-OES. (ppm.- partes por millón)

Elementos traza	ppm
Ba	0,05
Co	0,06
Cr	0,05
Cu	0,08
Li	0,25
Nb	0,11
Ni	0,05
Pb	0,04
S	0,05
Sc	0,05
Sr	0,11
V	0,06
Y	0,05
Zn	0,05
Be	0,08
As	0,06
Se	0,05
Zr	0,05
Mo	0,04
Cd	0,07

Tabla 2.- Límites de detección para los elementos traza, estudiados mediante ICP-OES. (ppm.- partes por millón)

Elementos traza	ppb
Li	0,13
Be	0,26
As	0,5
Se	1,5
Zr	0,14
Cd	0,2

Tabla 3.- Límites de detección para los elementos traza, estudiados mediante ICP-MS.
(ppb.- partes por billón).

	C - 1a	C - 2a	C - 3a	C - 4a	C - 5a	C - 6a
SiO₂	87,36	87,95	85,49	87,00	86,46	84,90
Al₂O₃	5,28	4,98	5,96	5,41	5,67	6,17
Fe₂O₃	1,73	1,66	1,98	1,77	1,84	2,02
MnO	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
MgO	0,31	0,28	0,41	0,34	0,35	0,42
CaO	0,17	0,17	0,22	0,18	0,20	0,19
Na₂O	0,32	0,34	0,30	0,29	0,30	0,24
K₂O	1,67	1,74	1,75	1,72	1,75	1,69
TiO₂	0,26	0,31	0,28	0,27	0,27	0,26
P₂O₅	0,06	0,06	0,07	0,06	0,06	0,07
M.V.	2,92	2,78	4,07	3,36	3,47	3,80

Tabla 4.- Resultados de los elementos mayores para el perfil A (en %), en el horizonte A.

	C - 1b	C - 2b	C - 3b	C - 4b	C - 5b	C - 6b
SiO₂	77,92	75,27	76,30	77,90	78,68	78,7
Al₂O₃	8,71	9,89	9,56	9,18	8,63	8,21
Fe₂O₃	2,50	3,02	2,82	2,66	2,34	2,22
MnO	0,04	0,06	0,05	0,04	0,03	0,03
MgO	0,73	0,79	0,74	0,70	0,64	0,62
CaO	0,56	0,62	0,56	0,50	0,47	0,46
Na₂O	0,28	0,21	0,27	0,25	0,21	0,19
K₂O	2,30	2,23	2,22	2,35	2,26	2,36
TiO₂	0,36	0,41	0,35	0,36	0,33	0,32
P₂O₅	0,08	0,08	0,08	0,09	0,09	0,08
M.V.	6,85	7,17	6,72	6,32	6,04	5,96

Tabla 5.- Resultados de los elementos mayores para el perfil B (en %), en el horizonte A.

	C2 - 1a	C2 - 6a
SiO₂	87,25	85,34
Al₂O₃	5,26	6,28
Fe₂O₃	1,46	1,82
MnO	0,02	0,02
MgO	0,34	0,44
CaO	0,00	0,00
Na₂O	0,21	0,18
K₂O	1,56	1,60
TiO₂	0,38	0,36
P₂O₅	0,06	0,08
M.V.	3,08	3,71

	C2 - 1b	C2 - 6b
SiO₂	77,64	78,81
Al₂O₃	8,77	8,08
Fe₂O₃	1,98	1,99
MnO	0,04	0,03
MgO	0,75	0,63
CaO	0,25	0,16
Na₂O	0,11	0,14
K₂O	2,11	2,15
TiO₂	0,50	0,45
P₂O₅	0,08	0,09
M.V.	7,17	6,46

Tabla 6.- Resultados de los elementos mayores, para el perfil A (tabla izquierda) y para el perfil B (tabla derecha), del horizonte AC. (Medido en %).

	C-1a	C-2a	C-3a	C-4a	C-5a	C-6a
Ba	249	252	267	273	270	271
Co	18	17	18	18	19	19
Cr	205	199	223	221	226	213
Cu	25	32	24	19	28	23
Li	32	32	38	33	37	37
Nb	15	17	16	16	15	16
Ni	31	28	27	27	27	27
Pb	42	40	41	42	53	42
S	609	127	163	153	153	138
Sc	13	13	14	13	14	14
Sr	57	57	64	63	64	67
V	66	65	72	70	71	76
Y	18	18	19	18	18	18
Zn	63	61	62	48	87	59
Be	2,6	2,4	2,8	2,4	2,5	2,9
As	6,9	5,6	6,8	5,4	7,1	8,4
Se	*	*	*	*	*	*
Zr	38	36	36	30	41	35
Mo	*	*	*	*	*	*
Cd	*	*	*	*	*	*

	C2 - 1a	C2 - 6a
Ba	232	245
Co	67	51
Cr	*	*
Cu	*	*
Nb	*	*
Ni	*	*
Pb	16	20
S	22	*
Sc	13	13
Sr	44	50
V	39	44
Y	20	20
Zn	22	16
Mo	41	14

	C2 - 1a	C2 - 6a
Li	12	16
Be	*	*
As	19	21
Se	*	*
Zr	37	34
Cd	10	10

Tabla 7.- Resultados de los elementos traza del perfil A, para el horizonte A (tabla superior, en ppm.- partes por millón). Para el horizonte AC (tablas inferiores, izquierda en ppm y derecha en ppb.- partes por billón). (* por debajo del límite de detección).

	C-1b	C-2b	C-3b	C-4b	C-5b	C-6b
Ba	415	494	453	443	407	373
Co	21	23	22	22	20	20
Cr	172	169	169	172	174	169
Cu	33	23	24	25	38	20
Li	43	45	43	43	39	38
Nb	18	19	17	18	18	18
Ni	33	33	31	34	31	29
Pb	54	48	61	66	64	72
S	201	205	306	188	214	164
Sc	15	16	16	16	15	15
Sr	75	81	80	77	74	72
V	84	97	91	90	88	83
Y	23	25	23	22	23	21
Zn	134	67	65	64	93	57
Be	3,4	3,7	3,2	3,5	3,2	3,2
As	5,8	9,0	8,9	8,0	5,9	3,6
Se	*	*	*	*	*	*
Zr	499	66	60	59	58	53
Mo	*	*	*	*	*	*
Cd	*	*	*	*	*	*

	C2 - 1b	C2 - 6b
Ba	398	330
Co	44	46
Cr	15	10
Cu	*	*
Nb	*	*
Ni	*	*
Pb	17	30
S	125	17
Sc	15	14
Sr	60	54
V	57	49
Y	26	22
Zn	47	39
Mo	14	13

	C2 - 1b	C2 - 6b
Li	24	22
Be	*	*
As	17	17
Se	*	*
Zr	65	58
Cd	11	11

Tabla 8.- Resultados de los elementos traza del perfil B, para el horizonte A (tabla superior, en ppm.- partes por millón). Para el horizonte AC (tablas inferiores, izquierda en ppm y derecha en ppb.- partes por billón). (* por debajo del límite de detección).

	M-126	M-128
SiO₂	80,62	66,75
Al₂O₃	7,88	13,04
Fe₂O₃	1,51	4,82
MnO	0,01	0,22
MgO	0,95	1,78
CaO	0,30	0,46
Na₂O	0,12	0,20
K₂O	2,35	2,50
TiO₂	0,26	0,92
P₂O₅	0,05	0,08
M.V.	6,56	9,18

	M-126	M-128
Ba	283	730
Sc	13	19
Sr	62	64
Y	19	22
Co	64	38
Cr	*	43
Cu	*	*
Mo	13	17
Nb	*	*
Ni	*	26
Pb	*	48
S	*	*
V	40	125
Zn	10	79

	M-126	M-128
Li	21	40
Be	*	*
As	10	57
Se	*	*
Zr	36	113
Cd	10	12

Tabla 9.- Resultados de la roca madre de la zona, elementos mayores (tabla superior, en ppm.- partes por millón), elementos traza (tablas inferiores, izquierda en ppm.- partes por millón, y derecha en ppb.- partes por billón). (* por debajo del límite de detección).

	Valor objetivo	Valor intervención
As	29	55
Ba	200	625
Cd	0,8	12
Cr	100	380
Co	20	240
Cu	36	190
Pb	85	530
Mo	10	200
Ni	35	210
Zn	140	720

Tabla 10.- Valores objetivo e intervención para el suelo (mg/ kg. Mat. Seca.), según la normativa holandesa. (Ecogest, 1995).

	Material del cual proviene el suelo
	Arenisca
Cd	0,09 - 0,03
Cr	5 - 37
Cu	2 - 21
Ni	3 - 22
Pb	9 - 39
Zn	6 - 62

Tabla 11.- Valores objetivo y de intervención según la normativa europea, para metales pesados en suelos desarrollados sobre sustrato de areniscas. Los valores indicados aparecen en mg/ kg. (Modificado de la base de datos JRC, 2004).

