

Departamento de Geología. Área de Petrología y Geoquímica

Universidad de Salamanca – Facultad de Ciencias



PROYECTO FIN DE CARRERA

**Composición química de un suelo en
las proximidades de vías de
comunicación.
Influencias antropogénicas**

**Autor: GERARDO CALVO BUENO
Tutora: MARÍA DOLORES PEREIRA GÓMEZ**

Salamanca, 2011

Dra. MARÍA DOLORES PEREIRA GÓMEZ. Prof. Titular del Área de Petrología y Geoquímica del departamento de Geología de la Universidad de Salamanca.

CERTIFICA: Que ha revisado el proyecto de fin de carrera **“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE UN SUELO EN LAS PROXIMIDADES DE VÍAS DE COMUNICACIÓN. INFLUENCIAS ANTROPOGÉNICAS”** realizado por D. GERARDO CALVO BUENO en el Área de Petrología y Geoquímica, y autoriza su presentación para optar al título de Ingeniería Geológica.

Salamanca, 4 de Febrero de 2011

La directora del proyecto:

María Dolores Pereira Gómez

AGRADECIMIENTOS

A Lola Pereira, por su ayuda, esfuerzo y dedicación (y en ocasiones paciencia) mostrada durante todo este tiempo.

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

A mis padres y hermanas, por sus ánimos a la hora de comenzar esta etapa tan importante de mi vida, porque sin ellos hubiera dejado escapar la oportunidad de darme cuenta que con esfuerzo, puedo llegar a superarme día a día, y conseguir el reto que me proponga; Y lo que es más importante, hacer que me sienta orgulloso de mí mismo por ello. Espero que vosotros también lo estéis.

A todas las personas que en esta experiencia he conocido. Con los que tanto he vivido y estoy seguro que seguiré viviendo.

Y en general, a todas las personas que de un modo u otro han estado ahí apoyándome durante estos años.

Gracias de corazón.

*“...ahí no hablan de otra cosa, de las puestas de sol, de lo hermoso que es ver esa gran bola de fuego perder fuerza y derretirse en el océano, y cómo el fuego brilla en su interior...
...pero déjame decirte una cosa: no hace falta que tengas miedo.”*

ÍNDICE:

1.- INTRODUCCIÓN	1
2.- ANTECEDENTES	3
2.1.- Influencia de los metales pesados a lo largo de la historia.....	3
2.2.- Legislación sobre suelos contaminados	5
2.3.- Importancia de los metales pesados	9
2.3.1.- Características de los metales pesados y efectos sobre la salud	13
2.4.- Contaminación por metales pesados en el entorno de las carreteras	25
3.- OBJETIVOS.....	27
4.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA.....	29
5.- MARCO GEOLÓGICO.....	33
6- METODOLOGÍA DE TRABAJO	37
6.1.- Trabajo de campo	37
6.2.- Trabajo de laboratorio	41
6.3.- Trabajo de gabinete	43

7-DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS	45
7.1.- Variaciones con la distancia de los elementos mayores.....	46
7.2- Comparación de las concentraciones de los elementos mayores en el suelo y en la roca madre del área de estudio.....	65
7.3.- Descripción de los valores de los elementos traza en la zona de estudio.....	74
8-DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	93
9-BIBLIOGRAFÍA	99
10.-ANEXO.....	105

1.-INTRODUCCIÓN

Según el Real Decreto 9/2005, del 14 de Enero, podemos definir suelo, como la “capa superior de la corteza terrestre, situada entre el lecho rocoso y la superficie, compuesto por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos y que constituye la interfaz entre la tierra, el aire y el agua, lo que le confiere capacidad de desempeñar tanto funciones naturales como de uso”.

Los diferentes suelos se originan como producto de una larga evolución natural y están sometidos a los diferentes tipos de actividades, tanto humanas como animales, y sus propiedades naturales les permiten autoregenerarse en ciertas condiciones no muy extremas; sin embargo, al someterse a actividades industriales, agrarias, entre otras acciones de gran incidencia sobre el suelo, sus propiedades quedan anuladas y pierde la capacidad de autogeneración.

Los suelos son capaces de retener y acumular los agentes contaminantes durante años, ya que es uno de los medios receptores de la contaminación más sensibles y vulnerables, y sus problemas más comunes tienen que ver con las actividades antropogénicas. Sufren el vertido constante de todo tipo de residuos, siendo los más habituales los metales pesados, los hidrocarburos, los aceites minerales y los pesticidas. Aunque a corto plazo no se advierten los efectos nocivos de dichos residuos, con el paso del tiempo cualquier alteración del suelo, o incluso, los cambios climáticos puntuales pueden ocasionar la liberación de los contaminantes almacenados, pudiendo afectar a otros medios como el aire o las aguas superficiales y subterráneas.

Además, como los contaminantes se mueven a través de las capas más permeables del terreno, se corre el riesgo de afectar a las zonas limítrofes.

La génesis del suelo es un proceso extremadamente lento. La formación de una capa de 30 cm de suelo puede durar de 1000 a 10000 años. Debe considerarse como un recurso no renovable y por lo tanto un bien a proteger.

Hasta finales del siglo XX, el suelo no había sido considerado como un recurso agotable ni se había planteado la necesidad de su mantenimiento. Este desconocimiento, unido a los impulsos de desarrollo de la sociedad moderna, originó una degradación progresiva de los suelos debido principalmente a la incorrecta gestión agrícola, industrial y económica, e incluso, en alguna forma, cultural (Seoánez Calvo et al., 1999).

En este trabajo se expone un estudio sobre la evolución de la geoquímica de un suelo, desde el sustrato rocoso hasta las formaciones más superficiales, en las inmediaciones de una construcción antrópica, en este caso una carretera.

2.- ANTECEDENTES

2.1.- Influencia de los metales pesados a lo largo de la historia.

Finney (1987) define la contaminación del suelo como la presencia de algún constituyente en el mismo, causada por la actividad del hombre, en una concentración tal que hay un riesgo importante de daño para los que usan ese suelo o que provoca una restricción de su libre utilización. Este riesgo puede presentarse en distintas maneras: perjuicio para la salud humana, animales o plantas; daños en la estructura del suelo; contaminación de aguas subterráneas o superficiales en contacto con el suelo.

El aporte de contaminantes al suelo derivado de acciones antropogénicas, no es un fenómeno actual como demuestran los trabajos de Martínez Cortizas et al. (1997). Estos autores analizan uno de los metales pesados más utilizados en la historia de la humanidad, el plomo (Pb), existente a diferentes profundidades en turberas de Galicia, cuya deposición ha sido datada, existiendo máximos contenidos que coinciden con determinados periodos históricos y prehistóricos, como muestra la figura 1.

Los primeros indicios de contaminación datan de hace unos 2800 años, y corresponde a la edad de bronce. El motivo de que en la edad de bronce (aleación de cobre y estaño), hubiese tal cantidad de plomo, es porque éste entró a sustituir al estaño, al ser este último más escaso en la naturaleza.

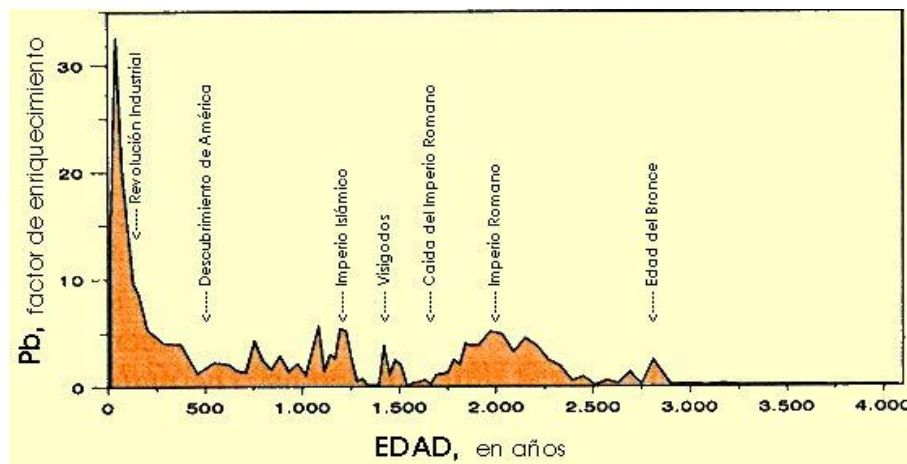


Figura 1: Contenido en Pb en función de la antigüedad en una turbera de Galicia según Martínez Cortizas et al. (1997)

La frenética actividad minera que el Imperio Romano desarrolló en la Península Ibérica queda muy bien reflejada en la gráfica, ya que la producción de plomo en Iberia representaba el 40 % del total mundial (García & Dorronsoro, 2002)

La caída de este Imperio coincide con una importante disminución del plomo contenido en el suelo, el cual vuelve a mostrar un marcado incremento coincidiendo con la llegada a la Península de los pueblos germánicos, concretamente los Visigodos (siglo VI).

A continuación se produce una caída drástica de los contenidos de Pb que coincide con la llegada del Islam. El establecimiento del dominio árabe en el sur y de los reinos cristianos en la parte norte de la Península, conduce a un progreso de las civilizaciones, con el consiguiente enriquecimiento de los contaminantes.

En el siglo XV las reservas mineras de la península quedan agotadas, y el descubrimiento del Nuevo Mundo facilita la incorporación de abundantes materiales que provocan un marcadísimo incremento del Pb en el suelo, e intensificando la contaminación en la Revolución Metalúrgica y Revolución Industrial de los siglos XVIII y XIX.

El siglo XX, con su industria basada en el petróleo, está representado por unas concentraciones de metales pesados de hasta 35 veces más elevadas que las que corresponden a condiciones no contaminantes, correspondientes a los periodos prehistóricos de la Edad de Piedra. En fechas muy recientes, la implantación de las gasolinas sin plomo y la sustitución de las tuberías de plomo por derivados del plástico (PVC), queda registrada por un drástico decrecimiento de la contaminación por plomo en el suelo (García & Dorronsoro, 2002)

2.2.- Legislación sobre suelos contaminados

Con el paso de los años, se ha ido despertando en los países desarrollados un interés en cuestiones medioambientales, como resultado de los problemas que genera el desarrollo de la sociedad industrial y de una naciente conciencia ecológica que tiende a reaccionar frente a la situación de degradación ambiental que padecemos (vertidos incontrolados, contaminación atmosférica, contaminación de los suelos, gestión inadecuada de los residuos...). La protección del medio ambiente se ha convertido en uno de los objetivos prioritarios de todos los gobiernos.

El ámbito de los suelos no es una excepción. A pesar de que la regulación en materia de protección del suelo se ha ido conformando de forma tímida y sectorial, podemos afirmar que hoy en día el ordenamiento jurídico español, como el de otros estados europeos, dispone de una normativa protectora ambiental cuya preocupación es, por un lado, reparar los daños que se han podido causar a los suelos, y por otro, evitar que se produzcan nuevos daños.

A pesar de la evidencia de la vulnerabilidad ecológica de los suelos, tanto la legislación europea como la española habían carecido de instrumentos normativos para promover su protección legal. La calidad ecológica del agua y del aire estaban reguladas y protegidas por numerosas directivas de la unión europea y por leyes y otras normas españolas de diverso rango, así como por acuerdos internacionales en el marco de distintas instituciones, pero en el caso de los suelos esto ocurriría posteriormente.

En 1972 quedó reflejada la preocupación que suscitaba los posibles efectos de la contaminación en formaciones superficiales, con la carta Europea de Suelos del Consejo de Europa, donde se reconoció que los suelos necesitaban una especial protección para detener su destrucción y degradación por procesos de erosión y deficiencias en las técnicas de cultivo, como su contaminación por aporte de sustancias tóxicas. En 1986 se crea la primera Directiva Europea dedicada específicamente a la protección de suelos: directiva 86/278 sobre aplicación de lodos de depuradora en suelos agrícolas, y en 1987 se reconoce la necesidad de que exista una reglamentación específica, y los países miembros deben elaborar normas para promover esta

protección mediante la coordinación de las diferentes políticas sectoriales que puedan afectarlos.

Holanda fue la pionera en Europa en 1987 con la publicación de la Lista Holandesa (Tabla 4, Anexo), en las que se establecen normas técnicas para determinar niveles críticos de diversos contaminantes en suelos, entre los que se incluían los metales pesados. 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.

En España, hasta 1994, con el Plan Nacional de Recuperación de suelos Contaminados, no se pone de manifiesto la preocupación por las consecuencias de la contaminación de suelos, con la actuación en 274 puntos graves detectados en toda España de los 4500 inventariados.

Pero no es hasta la promulgación de la ley 10\98 de 21 de Abril , sobre Residuos, cuando en España se dispone de una norma legal que permitiera proteger los suelos contra la contaminación y, en el caso de los ya contaminados, identificarlos y caracterizarlos utilizando para ello una metodología normalizada y técnicamente rigurosa. Esta ley vino condicionada fundamentalmente por la dificultad de su aplicación, al no existir por parte del Gobierno Central la determinación de los componentes que deben ser considerados como peligrosos, ni los estándares o umbrales de calidad a partir

de los cuales se puede considerar un suelo contaminado o no (García Moreno, 2003).

Ante la demora de la Administración Central en establecer estos criterios, algunas Comunidades Autónomas elaboraron sus propios planes y estrategias sobre suelos contaminados:

-País Vasco: Plan de Suelos Contaminados. (Ley 1\2005, de 4 de Febrero, de prevención y corrección de la contaminación del suelo del País Vasco).

-Comunidad de Madrid: Plan Regional de Suelos Contaminados. (Artículo 14 del Decreto 326/1999 de Suelos Contaminados de 18 de Noviembre)

- Criterios provisionales de calidad del suelo en Cataluña.

Pero estos distintos criterios de aplicación en las diferentes regiones españolas conllevan unas dificultades añadidas a la hora de clasificar los suelos, pues dentro del mismo país no hay unanimidad en la aplicación de estas clasificaciones.

Era absolutamente necesaria la concreción de determinados aspectos de la Ley 10/1998 y un mayor desarrollo normativo de la misma para que fuera realmente operativa y aplicable.

Este vacío normativo fue cubierto mediante el Real Decreto 9/2005 de 14 de Enero, sobre Relación de Actividades Potencialmente Contaminantes y Criterios y Estándares para la Declaración de Suelos Contaminados, que vino a desarrollar el título mencionado y creó un inventario nacional de suelos contaminados, priorizando los tratamientos in situ, aunque algunos instrumentos no fueron aplicables realmente hasta 2007, año en que,

casualmente, se transpuso la directiva sobre responsabilidad medioambiental, a través de la ley 26\2007, del 26 de Octubre, de Responsabilidad Medioambiental.

Un año más tarde, se promulgó el Real Decreto 2090\2008 que desarrolla parcialmente esta ley.

El 26 de febrero de 2009 se publicó el plan nacional integrado de residuos que presta una especial atención a suelos contaminados.

Aún con la existencia de normas referentes a la contaminación de suelos en España, la heterogeneidad de criterios con que en los diferentes países se definen los suelos contaminados, se cuantifican los riesgos aceptables y se adoptan los instrumentos y metodologías de caracterización, hacen que en la actualidad siga siendo difícil la regulación conjunta de dichos suelos.

2.3.- Importancia de los metales pesados

En el suelo existen unos elementos minoritarios que se encuentran en muy bajas concentraciones, y al evolucionar la vida adaptándose a estas disponibilidades, ha ocurrido que las concentraciones más altas de estos elementos se han vuelto tóxicas para los organismos (Figura 2). Son los llamados metales pesados.

Estos elementos tienen como características comunes una densidad igual o mayor a 5 g/cm^3 cuando está en forma elemental, o poseen un número atómico superior a 20, si excluimos a los metales alcalinos y alcalino-térreos.

Otra característica es que la presencia en la corteza terrestre es inferior al 0,1% y casi siempre menor del 0,01%.

El número de metales pesados asciende a 38, pero se restringe habitualmente a las 12 metales utilizados y emitidos por la actividad industrial: Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sn y Zn. Otros (no metales), como el As, Se, S, B o F, sobre todo los dos primeros, se suelen incluir erróneamente, pues ni son metales, ni su densidad es superior a 5g/cm^3 .

Dentro de estos metales pesados existen dos grupos, los llamados oligoelementos o micronutrientes, que son los requeridos en pequeñas cantidades, o cantidades traza por plantas y animales, y son necesarios para que los organismos completen su ciclo vital, pero que pasado cierto umbral pueden volverse tóxicos, como por ejemplo: As, B, Co, Cr, Cu, Mo, Mn, Ni, Se y Zn, y el otro grupo diferenciado son los metales pesados sin función biológica conocida y altamente tóxicos, entre los que se encuentran: Cd, Ni, Cu, Hg, Sb, Pb y Bi.

Las concentraciones anómalas que se presentan en un suelo pueden ser por causas naturales. Por ejemplo, los suelos desarrollados sobre serpentinitas y otras rocas ultramáficas tienen altos contenidos en Cr, Ni, Cu y Mn. Estas concentraciones deberían ser únicamente función de la composición del material original y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo, pero la actividad humana incrementa el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables.

La evaluación y control de los suelos contaminados requiere disponer de datos, a fin de salvaguardar la calidad humana, animal y ambiental. En este sentido, las concentraciones de metales pesados en suelos deben ser incluidas

en cualquier evaluación de la calidad ambiental del suelo, ya que un déficit o exceso de los mismos puede afectar el crecimiento vegetal y animal y/o la salud humana (Fergusson, 1990 , Baize & Sterckeman, 2001).

Distintos estudios sobre la presencia de elementos pesados en suelos (Zn, Pb, Cu y Cd, especialmente), la concentración y movilidad de éstos, señalan que los elementos metálicos son retenidos en la capa más superficial (Horizonte A) de la mayoría de los suelos (F. Macías, 1993; Seoáñez Calvo et al.,1999).

Varios autores coinciden en afirmar que la concentración de las fases asimilables permanece invariable durante años, presentándose en el suelo como contaminantes persistentes e irreversibles, lo que puede dar origen a graves perturbaciones, tanto en los vegetales como en los animales que los consuman (Seoáñez Calvo et al.,1999).

Los metales pesados tienden a acumularse e inmovilizarse en el suelo, pero hay una Carga Crítica a partir de la cual la acumulación y los fenómenos de amortiguación del suelo son insuficientes para proteger a los ecosistemas de los efectos nocivos de estos metales producidos por las actuaciones humanas.

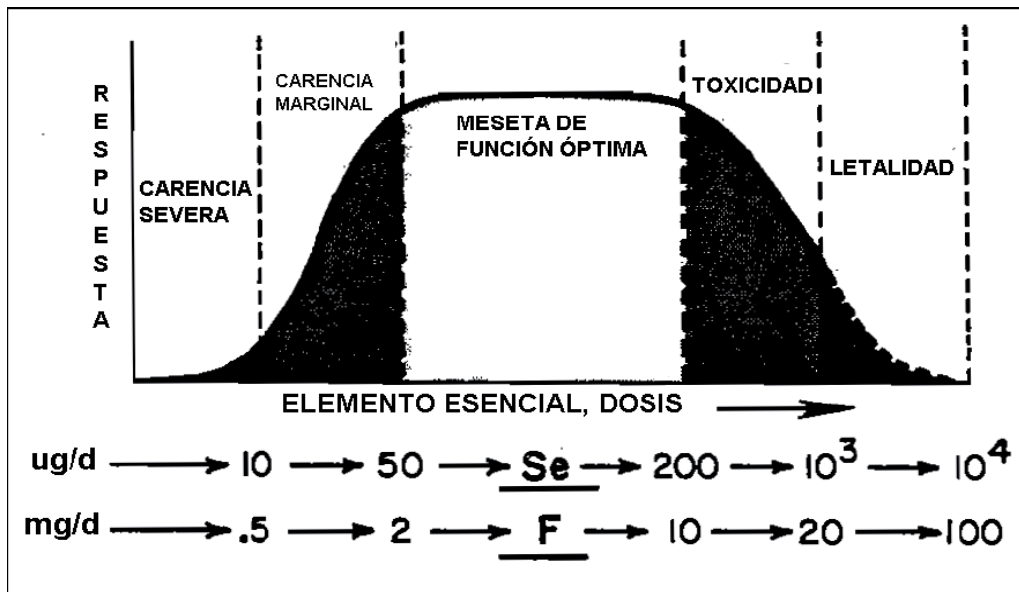


Figura 2 : Rango de dosis – respuesta de un elemento esencial. Se incluye dosis específica por día para el selenio (en µg), y para el flúor (en mg). (Alarcón-Corredor, 2005).

Se entiende por Carga Crítica de contaminantes a la máxima cantidad de un componente dado que, a largo término, no causaría cambios químicos que produjesen efectos dañinos sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas según los conocimientos disponibles (Andersen et al., 1986; Nilsson, 1986; Nilsson & Grenfelt, 1988).

2.3.1.- Características de los metales pesados y efectos sobre la salud.

En este apartado analizaré uno a uno los diferentes elementos estudiados en las muestras, describiendo sus características más importantes, usos generales y efectos que pueden tener sobre los organismos.

Bario (Ba): El Ba es un elemento metálico que es muy parecido químicamente al calcio, pero más reactivo.

Constituye el 0,0425 % en peso de la corteza terrestre. Siempre se encuentra combinado en la naturaleza, siendo la baritina (sulfato) el mineral más importante; le sigue la whiterita (carbonato). También puede aparecer como trazas en minerales esenciales de las rocas, como por ejemplo los feldespatos.

Reacciona con el cobre y se oxida con mucha facilidad cuando se encuentra expuesto al aire y es muy reactivo cuando hay presencia de alcohol o agua, donde se disuelve con mucha facilidad y hace que se encuentre con facilidad en lagos, ríos y arroyos, pudiéndose acumular en peces y organismos acuáticos.

El Ba es muy utilizado en pirotecnia, concretamente el nitrato de Ba, para dar color verde. El Ba metálico no tiene muchas aplicaciones prácticas en el campo que nos interesa, aunque a veces se encuentra como recubrimiento en conductores eléctricos en aparatos electrónicos y en sistemas de encendido de automóviles. El sulfato de bario ($BaSO_4$) es utilizado como material de

relleno para los productos de caucho y también en pintura, y el sulfato de Ba purificado es utilizado en radiología para diagnosticar problemas gastrointestinales, ya que es opaco a los Rayos X. El carbonato de bario se utiliza en la fabricación de raticidas.

Los efectos sobre la salud del Ba dependen de la solubilidad de los compuestos. Pequeñas cantidades de Ba soluble en agua pueden causar en las personas problemas respiratorios, incremento de la presión sanguínea, alteración en el ritmo del corazón, irritabilidad estomacal, debilidad en los músculos, cambios en los reflejos nerviosos, edema cerebral y daño en los riñones cuando la ingesta de Ba se produce de forma más prolongada. Todos los compuestos solubles del bario son tóxicos y fácilmente absorbidos en el tracto gastrointestinal, y posteriormente acumulados en los huesos. La ingesta de 2 a 4 gramos de cloruro de bario puede conducir a la muerte. Los iones del bario ejercen un efecto paralizante sobre el músculo cardíaco.

El Departamento de Salud y Servicios Humanos (DHHS) y la Agencia Internacional para la Investigación del Cáncer (IARC) no han clasificado al bario como elemento cancerígeno. La Agencia de Protección Ambiental (EPA) ha determinado que es improbable que la ingestión de bario produzca cáncer en seres humanos. No hay prueba de que el Ba pueda causar infertilidad o defectos de nacimiento.

Estroncio (Sr): El Sr es un metal blando de color plateado brillante, algo maleable, que rápidamente se oxida en presencia de aire, adquiriendo un tono amarillento por la formación de óxido.

Es el menos abundante de los metales alcalinotérreos. La corteza de la Tierra contiene el 0.042 % de Sr, y este elemento es tan abundante como el cloro y el azufre. Los principales minerales son la celestita, SO_4Sr , y la estroncianita, CO_3Sr , pudiéndose presentar también como traza en algunos minerales esenciales de las rocas, como son los feldespatos.

Los compuestos del Sr pueden moverse a través del medio ambiente con bastante facilidad, porque mucho de los compuestos son solubles en agua.

El principal uso del Sr hoy en día es en la fabricación de cristales para tubos de rayos catódicos en televisores, debido a la existencia de regulaciones legales que obligan a utilizar este metal para filtrar los rayos X, evitando que incidan sobre el telespectador.

Es usado en pirotecnia (nitrato) , cerámica, industria del vidrio y como pigmento en pinturas para producir colores rojos, en la producción de imanes de ferrita, y como componente de diversas aleaciones. Es utilizado en diversas aplicaciones ópticas debido a su índice de refracción extremadamente alto y una dispersión óptica mayor que la del diamante, y para la fabricación de medicamentos (cloruro y peróxido).

El único compuesto del Sr que es considerado peligroso para la salud humana, incluso en pequeñas cantidades, es el cromato de Sr. El cromo tóxico que éste contiene es el que causa la toxicidad del compuesto. El cromato de Sr es conocido por causar cáncer de pulmón, pero el riesgo de exposición ha sido reducido por los procedimientos de seguridad de las compañías donde este compuesto esté presente, así que no es un riesgo importante para la salud.

Azufre (S): . Es un no metal abundante, de tonalidad amarilla, blando, frágil y ligero. La proporción del S en la corteza terrestre es de 0.03-0.1 %.

Con frecuencia se encuentra como elemento libre cerca de las regiones volcánicas (depósitos impuros), aunque es un elemento activo que se combina directamente con la mayor parte de los elementos conocidos. Todas las formas del S son insolubles en agua.

Es protagonista en gran cantidad de procesos industriales como la producción de ácido sulfúrico para baterías, la fabricación de pólvora, el vulcanizado del caucho y en aislantes eléctricos. El S tiene usos como fungicida y en la manufactura de fosfatos fertilizantes. Los sulfitos se usan para blanquear el papel y en cerillas. El tiosulfato de sodio o amonio se emplea en la industria fotográfica como «fijador» ya que disuelve el bromuro de plata; y el sulfato de magnesio (sal de Epsom) tiene usos diversos como laxante, exfoliante, o suplemento nutritivo para plantas.

En la cantidad justa, el S es un elemento necesario para nuestro organismo ya que algunos aminoácidos y encimas lo contienen, y es de gran importancia para la estructura y ensamblaje de las proteínas.

El S se suele encontrar en la naturaleza en forma de sulfuros. Durante diversos procesos se añaden al medio ambiente enlaces de azufre dañinos para los seres vivos. Estos enlaces de S dañinos también se forman en la naturaleza durante diversas reacciones, sobre todo cuando se han añadido sustancias que no están presentes de forma natural. Los compuestos del S a menudo son altamente tóxicos. En general las sustancias sulfurosas pueden tener efectos adversos para la salud humana, como provocar alteración de la

circulación sanguínea, provocando así daños cardíacos. Efectos en vista y audición, desórdenes estomacales y gastrointestinales, y puede llegar a dañar hígado y riñones, daños en sistema inmunitario, y el dióxido de S puede reaccionar con el agua de los pulmones, provocando hemorragias y asfixia.

Zinc (Zn): Es uno de los elementos menos comunes; se estima que forma parte de la corteza terrestre en un 0.0005-0.02 %. Es un metal químicamente activo. El principal mineral portador de Zn es la blenda o esfalerita de Zn, ZnS.

Los usos más importantes del Zn lo constituyen las aleaciones y el recubrimiento protector contra la corrosión de otros metales. El hierro o el acero recubiertos con zinc se denominan galvanizados, y esto puede hacerse por diferentes procesos: inmersión del artículo en zinc fundido (proceso de hot-dip), depositando zinc electrolíticamente sobre el artículo como un baño chapeado (electro galvanizado), exponiendo el artículo a zinc en polvo cerca de su punto de fusión (sherardizing) o rociándolo con zinc fundido (metalizado).

Las aplicaciones que más nos interesan de dicho elemento son las relacionadas con la industria automovilística: fabricación de radiadores, y baterías, en la galvanización de tanques y conducciones, como anti-oxidante en los aceites, también en el proceso de vulcanización de los neumáticos.

Es un elemento esencial para el desarrollo de muchas clases de organismos vegetales y animales. Una deficiencia de Zn en la dieta humana puede deteriorar el crecimiento y la madurez y produce también anemia. La insulina es una proteína que contiene Zn. El Zn está presente en la mayor parte

de los alimentos, especialmente en los que son ricos en proteínas. En promedio, el cuerpo humano contiene cerca de dos gramos de zinc.

Demasiada cantidad de Zinc puede también causar problemas de salud eminentes, como úlcera de estómago, irritación de la piel, vómitos, náuseas y anemia, dañar el páncreas y perturbar el metabolismo de las proteínas, y causar arterioesclerosis. Exposiciones al clorato de Zinc intensivas pueden causar desordenes respiratorios.

Litio (Li): Es un elemento moderadamente abundante y está presente en la corteza terrestre en 65 partes por millón (ppm). El Salar de Uyuni, en Bolivia, concentra la mitad de la reserva mundial de Li.

En su forma pura, es un metal blando, de color blanco plata, que se oxida rápidamente en aire o agua. Es el elemento sólido más ligero.

El Li en la industria se utiliza en forma de estearato de Li como espesante para grasas lubricantes. Se emplea también en aplicaciones de transferencia de calor debido a su elevado calor específico, y por su elevado potencial electroquímico constituye un ánodo adecuado para las baterías eléctricas. Las sales de Li, particularmente el carbonato de Li y el citrato de Li, se emplean en el tratamiento de la manía y la depresión bipolar. Es un estabilizador del estado de ánimo.

El cloruro de Li y el bromuro de Li tienen una elevada higroscopicidad por lo que son excelentes secantes. El segundo se emplea en bombas de calor de absorción.

El estearato de Li es un lubricante de propósito general en aplicaciones a alta temperatura. El hidróxido de Li se usa en los vehículos espaciales y submarinos para depurar el aire extrayendo el dióxido de carbono.

Es componente común de las aleaciones de aluminio, cadmio, cobre y manganeso empleadas en la construcción aeronáutica, y se ha empleado con éxito en la fabricación de cerámicas y lentes. También tiene aplicaciones nucleares.

En el año 2010, las baterías de Li se han convertido en el arma principal para reemplazar a los contaminantes combustibles fósiles por la incorporación de los vehículos eléctricos al mercado automovilístico, aunque aún sea un mercado incipiente en ese sector.

La cantidad de Li en el cuerpo humano es aproximadamente de 7 mg. El Li no presenta uso biológico conocido, y no es absorbido fácilmente por el cuerpo humano. La mayor parte se excreta directamente. Aunque el Li no es un elemento esencial, influye en el metabolismo.

Si el Li es ingerido, puede provocar calambres abdominales, dolor abdominal, sensación de quemadura, náuseas, shock o colapso, vómitos y debilidad. La inhalación de la sustancia puede causar edema pulmonar.

Cobre (Cu): Se trata de un metal de transición, duradero, porque se puede reciclar un número casi ilimitado de veces sin que pierda sus propiedades mecánicas, y se caracteriza por su baja actividad química.

El Cu es uno de los pocos metales que pueden encontrarse en la naturaleza en estado "nativo", es decir, sin combinar con otros elementos. Por ello fue uno de los primeros en ser utilizado por el ser humano.

Ocupa el lugar 25 en abundancia entre los elementos de la corteza terrestre, y tiene su mayor depósito conocido en la cordillera de los Andes, en Chile, bajo la forma de pórfido cuprífero, que son depósitos de Cu de gran tonelaje y baja ley, relacionados con intrusiones ígneas. Este país posee aproximadamente el 25 % de las reservas mundiales conocidas de Cu.

Gracias a sus propiedades físicas (elemento con mayor conductividad eléctrica y térmica después de la plata, gran resistencia a la corrosión y oxidación), propiedades mecánicas (fácil de mecanizar, muy buena ductilidad y maleabilidad, lo que permite producir láminas e hilos muy finos, y sus diferentes aleaciones, como veremos más adelante, le confieren propiedades diferentes. Además, sus propiedades mejoran a bajas temperaturas, lo que permite utilizarlo en aplicaciones criogénicas, propiedades químicas (estados de oxidación bajos), propiedades biológicas (importante papel en el proceso de la fotosíntesis en plantas y en la formación de glóbulos rojos y al mantenimiento de los vasos sanguíneos, nervios, sistema inmunitario y huesos y por tanto es esencial para la vida humana), hacen que sea el tercer metal más utilizado en el mundo, por detrás del hierro y el aluminio.

El Cu es importante en multitud de actividades económicas y ha sido considerado un recurso estratégico en situaciones de conflicto.

Es el material más utilizado para la fabricación de cables telefónicos, y como conductor en numerosos equipos eléctricos como generadores, motores y transformadores.

Varios componentes de coches y camiones, principalmente los radiadores, frenos y cojinetes, además naturalmente de los cables y motores eléctricos (un coche pequeño contiene en total en torno a 20 kg de Cu,

subiendo esta cifra a 45 kg para los de mayor tamaño), en trenes, y en los cascos de los barcos. En fabricación de monedas, bisutería, y un largo etcètera, sin contar las utilidades de sus aleaciones más importantes: Latón (Cobre y Zinc): utilizado en campos muy diversos como bisutería, armamento, soldadura... y el Bronce (Cobre y Estaño), usado en baterías eléctricas, válvulas, tuberías...

Aunque el Cu es un oligoelemento necesario para la vida, unos niveles altos de este elemento en el organismo pueden ser dañinos para la salud.

Su inhalación puede producir irritación de las vías respiratorias, y una ingestión de niveles altos de Cu puede producir náuseas, vómitos y diarrea. El exceso de Cu en la sangre puede dañar el hígado y los riñones, e incluso causar la muerte.

Debemos tener en cuenta, que el Cu, puede tener efectos ambientales importantes. Puede interrumpir la actividad en el suelo, su influencia negativa en la actividad de microorganismos y lombrices de tierra, y, debido a esto, la descomposición de la materia orgánica puede disminuir.

Cromo (Cr): El Cr es un metal de transición muy resistente frente a la corrosión. Su estado de oxidación más alto es el +6, aunque estos compuestos son muy oxidantes. Los estados de oxidación +4 y +5 son poco frecuentes, mientras que los estados más estables son +2 y +3.

Sus aplicaciones principales están en el campo de la metalurgia, gracias a su resistencia a la corrosión y acabado brillante. Se usa también en la fabricación de aleaciones (acero inoxidable), fabricación de colorantes y pinturas.

El Cr (+3), es un elemento esencial para los organismos, ya que participa en el metabolismo de los lípidos e hidratos de carbono, pero en altas concentraciones puede resultar tóxico. El Cr (+6) es el más tóxico para los organismos. Puede causar desde erupciones cutáneas, malestar de estómago y úlceras, hasta problemas más importantes como debilitamiento del sistema inmune, daño en riñones e hígado, alteración del material genético, cáncer de pulmón y en casos extremos, la muerte.

Vanadio (V): Es un metal de transición de color blanco, y es dúctil y brillante. Se encuentra en 68 minerales diferentes así como en combustibles fósiles como el petróleo crudo y el carbón. Se explota sobretodo en Sudáfrica. El V está presente en la naturaleza en una proporción aproximada del 0.02 %, pero es muy raro obtenerlo en estado muy puro debido a su gran reactividad frente al oxígeno, nitrógeno y carbono. La resistencia del vanadio a los ácidos clorhídrico y sulfúrico es notable y resiste el ataque del agua salada.

Sus usos más frecuentes son como aditivo en acero inoxidable (material quirúrgico, y en aceros empleados en llantas y ejes de ruedas, cigüeñales, engranajes, y otros componentes críticos de vehículos), así como en algunos motores.

Es un elemento esencial en algunos seres vivos como algas y hongos, como centro activo de algunas de sus enzimas. No está clara su esencialidad en los humanos, aunque algunos compuestos del V pueden llegar a imitar y potenciar la actividad de la insulina.

Un alto contenido de este elemento en el organismo puede desencadenar numerosos daños en corazón, estómago e intestinos, en el sistema nervioso, así como mareos y cambios de comportamiento.

Plomo (Pb): es un metal pesado que rara vez se encuentra en su estado elemental, sino como sulfuro de plomo (galena), o carbonato de plomo (cerusita).

El Pb forma aleaciones con muchos metales, y, en general, se emplea en esta forma en la mayor parte de sus aplicaciones.

Se aplica también en la fabricación de baterías, municiones, como anticorrosivo, en las pinturas de exterior, como cubierta para cables (de teléfono, de televisión, de internet o de electricidad).

Es uno de los elementos que más nos interesa evaluar en este trabajo, ya que una de las principales fuentes de plomo, como consecuencia de la actividad humana, la constituye la combustión de gasolinas que lo contienen como aditivo, principalmente de Pb tetraetilo $(C_2H_5)_4Pb$, siendo la cantidad de Pb variable según el octanaje y legislación de cada país (Sanchidrian & Mariño, 1979; Bueno et al, 1997). Es en los motores diesel donde la formación de partículas adquiere importancia. De hecho, actualmente se ha comprobado que el diesel puede ser más contaminante que la gasolina.

Por ello, uno de los ecosistemas más afectados lo constituye el entorno de las autopistas y carreteras con gran densidad de tráfico (Olson & Skogerbe, 1975; Sanchidrian & Mariño, 1979). La expulsión de estas partículas se produce a través de los tubos de escape, principalmente los que están defectuosos.

La movilidad del Pb es escasa debido a la naturaleza insoluble de los compuestos bajo cuyas formas se encuentra en el suelo, quedando por tanto limitada su acumulación a los primeros centímetros de la superficie (Sanchidrian & Mariño, 1979; 1980).

El plomo no cumple ninguna función esencial en el cuerpo humano, y sí es considerado como elemento tóxico. Su alta concentración en el organismo puede desencadenar en saturnismo o plumbosis (intoxicación por plomo), pudiendo provocar desde perturbaciones en la presión sanguínea, cerebro, sistema nervioso, disminución de la fertilidad y alteración en el comportamiento, hasta la muerte por paro cardio-respiratorio.

2.4.- Contaminación por metales pesados en el entorno de las carreteras:

De las recientes preocupaciones medioambientales, las formaciones superficiales desarrolladas en las proximidades de las carreteras son de gran interés, debido a la posible transmisión de los contaminantes que contienen a causa del tráfico y de las actividades de mantenimiento, convirtiéndose en un riesgo ambiental y para la salud humana.

En estas formaciones superficiales se pueden detectar grandes cantidades de metales y su origen está relacionado con los procesos de combustión de los vehículos, la degradación del firme de la calzada, la aplicación de productos químicos de mantenimiento, la degradación de los vehículos, de las señales de tráfico o de las barreras, dependiendo también de variables como son la densidad de tráfico, la edad de las carreteras, la dirección y velocidad de los vientos, tipos de suelo y vehículos, entre otras.

La contaminación procedente de estas fuentes se emite en forma de partículas y, dependiendo de las condiciones climáticas, las partículas más gruesas pueden acumularse inmediatamente en los linderos del asfalto, mezclándose con componentes naturales y dando lugar al sedimento depositado en la calzada. La contaminación de metales disminuye en concentración y profundidad a medida que aumenta la distancia con la vía de comunicación (López- Mesas & Pérez, 2008).

Desde un punto de vista forense y ambiental, la carga contaminante de estos sedimentos puede ser fácilmente caracterizada y relacionada con fuentes difusas de contaminación conectadas a las emisiones de los vehículos, actuando como registros medioambientales de información muy valiosa. Dentro de los metales considerados como contaminantes más importantes, destacamos el Pb, producido por antiguos combustibles; Zn, contenido como óxido en los neumáticos y las barreras; Cu, como componente del sistema de frenos y aleaciones, y Cd, presente en los neumáticos y aceites lubricantes, dispersados a causa de pérdidas y accidentes.

3.- OBJETIVOS:

En este trabajo pretendemos determinar si las variaciones geoquímicas que se producen en las formaciones superficiales se deben a la procedencia de éstas, es decir al sustrato geológico sobre el que se desarrollan, en nuestro caso un sustrato ígneo, o si se debe a la influencia de las actividades antrópicas, concretamente a la cercanía a un foco contaminante como es una carretera, la antigua N630, que en su día tuvo una gran densidad de tráfico.

El presente trabajo sirve también como complementación al realizado por Bernal (2002), en el que se estudió la evolución geoquímica en un perfil del lado derecho de la carretera.

Otros trabajos realizados sobre la misma temática de contaminación antrópica de formaciones superficiales son los de Sanchón de la Nava (2008) y Espinosa (2011). Sus conclusiones, junto con las del trabajo aquí presentado, podrían utilizarse para futuros estudios sobre la evolución de los elementos en la zona de interés con el paso del tiempo.

4.- SITUACIÓN GEOGRÁFICA:

La zona de estudio se encuentra en la vertiente norte de la Sierra de Béjar, al SE de Salamanca, junto a la antigua carretera N-630 (Figuras 3 y 4), correspondiente a la hoja de Béjar 553 del Mapa Topográfico Nacional (escala 1:50000), a la altura de la desviación hacia Fresnedoso.

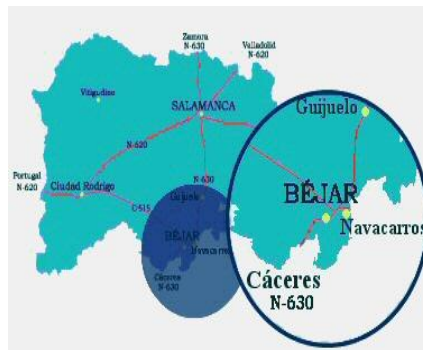


Figura 3: Situación de Béjar dentro de la provincia de Salamanca

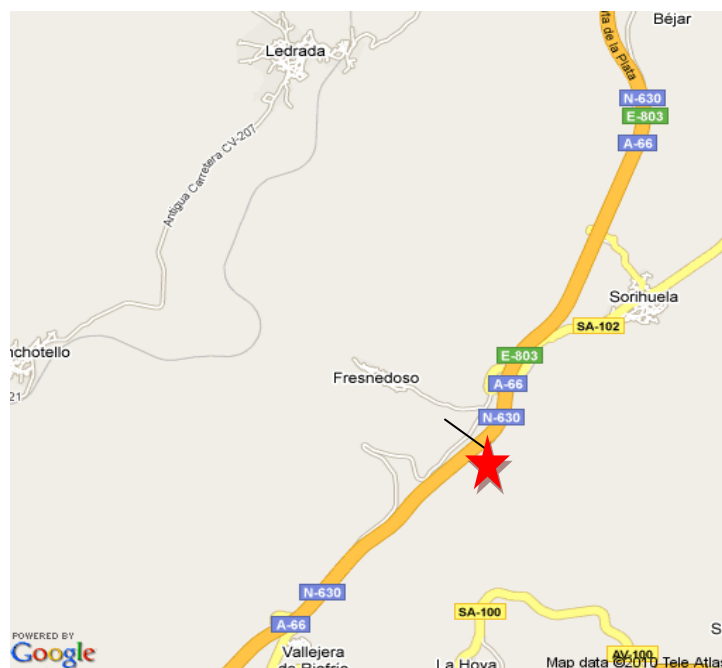


Figura 4: Situación de la carretera nacional N-630 en el punto de recogida de muestras

La localización geográfica decimal de la carretera en el punto de recogida de muestras es: Latitud 40.4430, Longitud -5.70; y la localización en grados: Latitud 40° 25' 58.7994" Longitud -5° 42' 0", a una altura de unos 1080m (altitud referida al nivel medio del mar en Alicante).

Está a 11 km de Béjar y a 65 km de Salamanca capital.

La zona está en un pequeño valle con orientación norte-sur, lo que hace que presente dos ecosistemas totalmente diferentes: por una parte la ladera norte es una dehesa de frondoso roble y la ladera sur matorral bajo con gran cantidad de piedra de granito visible.

La climatología puede ser un factor importante a tener en cuenta en nuestro estudio, ya que puede afectar en la movilización y reacción de los elementos en presencia de agua, por lo que haremos especial hincapié en la pluviometría y termometría así como la influencia de los vientos predominantes de dirección W-E.

En esta zona el clima es de tipo mediterráneo, con una precipitación media anual de unos 1200 mm, caracterizado por una amplia sequía estival, con precipitaciones mensuales inferiores a 30 mm, y un periodo húmedo, como norma general, correspondiente al intervalo Octubre – Marzo.

La morfología del relieve acusado de la zona y una favorable orientación respecto a los frentes nubosos del Atlántico, proporcionan un régimen de precipitaciones más intenso, y un clima menos extremo que el continental de la meseta, por lo que la mayor parte de esta zona presenta un bioclima mediterráneo de tipo húmedo, con temperaturas anuales que varían entre los -8 °C en invierno y unos 35 °C en verano, con frío y calor secos, con primaveras

y otoños muy cortos, pero suavizados por la presencia de la Sierra de Béjar lo que provoca noches frescas en verano.

Nacional 630

La N-630 es una de las carreteras nacionales más largas de España, con una longitud total de 820 km, que une la ciudad de Gijón con Sevilla. Recibe el nombre de Ruta de la Plata porque parte de su trazado discurre por localidades que unía la Vía de la Plata romana que iba desde Mérida a Astorga, un viejo camino donde se llevaron a cabo emigraciones e invasiones guerreras, propagación de culturas y tránsito de rebaños trashumantes , pero sólo comparte con ella el nombre, ya que la primera poseía un recorrido más corto y con ciertas diferencias de trazado.



Figura 5: Situación Vía de la plata



Figura 6: Recorrido N-630

Lo que sí comparte es la idea de crear un eje que permita comunicar el oeste peninsular con los puertos del norte y el sur. También es necesaria para

los viajes entre el centro de la Península Ibérica y Asturias, al ser la vía de entrada al Principado desde el interior. Las localidades más destacadas por las que transcurre son, de norte a sur, Gijón, Oviedo, Mieres, León, Benavente, Zamora, Salamanca, Béjar, Plasencia, Cáceres, Mérida, Almedralejo, Zafra, Guillena, La Algaba, Santiponce y Sevilla.

El origen de la N-630 se encuentra en la Avenida de la Constitución de Gijón, donde se encuentra el mojón del kilómetro 0, y finaliza en el puerto de Sevilla.

La construcción de la autovía A-66, paralelamente a esta, ha supuesto un gran descongestionamiento en la N-630, que era una de las carreteras españolas que más tránsito acogía, lo que la hace objeto de estudio perfecto para nuestra finalidad.

5.- MARCO GEOLÓGICO:

Geológicamente, la zona de estudio se sitúa en el centro de la Zona Galaico - Castellana descrita por (Lotze ,1945), o bien en el centro - norte de la Zona Centro ibérica descrita por (Julibert et al.,1972), en la cadena Hercínica.

La orogenia Hercínica es el evento más importante en la historia de la deformación de las rocas del área estudiada, de edades precámbricas y paleozoicas.

La zona que nos interesa está englobada en un macizo granítico de grandes dimensiones constituido por varios tipos de granodioritas: granodioritas biotíticas con megacrystales de feldespato, granodioritas biotítico- cordieríticas con megacrystales, granodioritas biotítico-anfibólicas sin megacrystales, etc... (Ugidos, 1974).

Los suelos analizados en nuestro caso se desarrollan sobre granitoides postcinemáticos, concretamente monzogranitos – granodioritas biotíticas porfídicas en facies de grano medio con abundantes megacrystales, y como resultado de su evolución se han obtenido suelos ácidos o fuertemente ácidos, con contenidos normales o incluso altos de materia orgánica, con capacidad de intercambio catiónico alta, pobres en fósforo, de textura areno - arcillosa, alta porosidad en general y excelente permeabilidad. Son pobres en coloides arcillosos, y la mineralogía de la fracción arcillosa está compuesta por minerales ilíticos y caoliníticos o gibsita como componentes fundamentales con pequeñas cantidades de vermiculita, clorita, y un interestratificado de illita-clorita (Ramos Criado, 2002)

Topográficamente, la zona se caracteriza por la presencia de un relieve relativamente fuerte, al encontrarse dentro del ámbito geográfico del Sistema Central Español. Al SE del trazado de la carretera se encuentra la Sierra de Béjar, donde se pueden alcanzar alturas superiores a las 2000 m.

Evolución tectónica:

La Orogenia Hercínica es la responsable de los principales eventos tectónicos y metamórficos que afectan a los materiales paleozoicos, así como los eventos ígneos que dan lugar a la intrusión de los granitoides existentes, y a los fenómenos de migmatización y fusión de materiales que afectan a la zona.

La posterior orogenia Alpina, afecta a la mayor parte de los materiales, dando lugar a la fractura del basamento granítico- metamórfico en bloques, reactivando así la fracturación Hercínica. Esta orogenia es la responsable del levantamiento del Sistema Central durante el neógeno.

La orogenia Hercínica según Díez Balda (1989) es polifásica:

- D1: Determina la separación de la Zona Centro Ibérica en dominios. Se produjeron las primeras deformaciones continuas y penetrativas, en secuencias Precámbricas o del Paleozoico superior, formando el dominio de pliegues recumbentes o acostados (carácter rotacional) y el dominio de pliegues verticales (carácter no rotacional). Nuestra zona de estudio,

estaría dentro del dominio de los pliegues verticales, que abarca la provincia de Salamanca en prácticamente toda su superficie, excepto en la parte norte y noreste que ya estaría en el dominio de los pliegues acostados.

- D2: Se desarrolló probablemente como una continuación de D1, pero restringida a bandas dúctiles subhorizontales. Genera zonas de cizalla horizontales y cabalgamientos en el dominio norte.
- D3: Produce plegamientos que afectaron a las estructuras de los dos dominios. En el dominio de pliegues verticales, genera además, grandes zonas de cizalla subverticales.

6.- METODOLOGÍA DE TRABAJO.

6.1.- Trabajo de campo:

En la antigua carretera N-630 (Figura 8) se han recogido 28 muestras correspondientes a la formación superficial en las inmediaciones de dicha carretera. 14 muestras corresponden al lado derecho de la vía y las otras 14 al lado izquierdo.

Estas muestras están recogidas perpendicularmente a la carretera y a la misma distancia en ambos lados, empezando en los primeros centímetros, hasta una distancia de 40 m, con el fin de poder comparar resultados.



Figura 8: Vista general de la carretera N-630 y de la zona de toma de muestras



Figura 9: Detalle perfil lado izquierdo



Figura 10: Detalle perfil lado derecho

Lo primero que tenemos que tener en cuenta es que los dos perfiles tienen claras diferencias topográficas. Si hacemos un seguimiento a toda la zona de muestreo, en el perfil izquierdo se produce un descenso de cota hacia el oeste de unos 4 m desde la muestra situada a 40 m hasta el borde de la carretera. También en los 4 m más cercanos a la vía, dicho perfil presenta una zona de cuneta que puede influir en los resultados finales ya que puede formarse una zona de lavado favorecida por los elementos de desagüe incorporados a lo largo de la carretera. (Figura 9)

También destacaremos la existencia de otro factor antropogénico situado a 5,2 m del borde de la vía. Se trata de una valla que separa el margen de la carretera con una zona privada, y que en el trabajo de campo se observó su adelantado estado de oxidación. Esto podría haber provocado variaciones en la concentración del suelo y alterar las muestras cercanas a dicho elemento.

El perfil derecho posee una zona de cuneta menos pronunciada, y su topografía es considerablemente más suave que el perfil izquierdo, siendo el descenso de cota hacia el oeste de aproximadamente un metro. (Figura 11).

A 3,4 m del borde de la carretera existe un muro que separa la carretera de una zona privada de pastoreo, y se tendrá en cuenta ya que puede ser causante de una posible variación de composición en las muestras más cercanas a él debido a su erosión, ya que está formado por granito. (Figura 10).

También se han analizado dos muestras (A y B) que corresponden a un granito fresco recogido en las cercanías de dicha carretera para poder analizar la verdadera composición de la roca madre. (Tablas 5, 6, 7, 8; Anexo).

Todas las muestras se recogieron en el mes de agosto, evitando así el exceso de humedad en el suelo, y acortando así el tiempo de secado en el laboratorio.

Todas las muestras corresponden al Horizonte A del suelo. Se retiró previamente la cobertura vegetal y se almacenó en bolsas una cantidad de suelo de aproximadamente 1 Kg. Las bolsas fueron numeradas para su fácil identificación, diferenciando las recogidas en ambos lados de la carretera.

El trabajo de muestreo completo se recogió en un cuaderno de campo anotando los datos de localización y de distancia a la que se tomaban las muestras con respecto a la carretera.

También se realizaron diversas fotografías del entorno y de la toma de muestras.

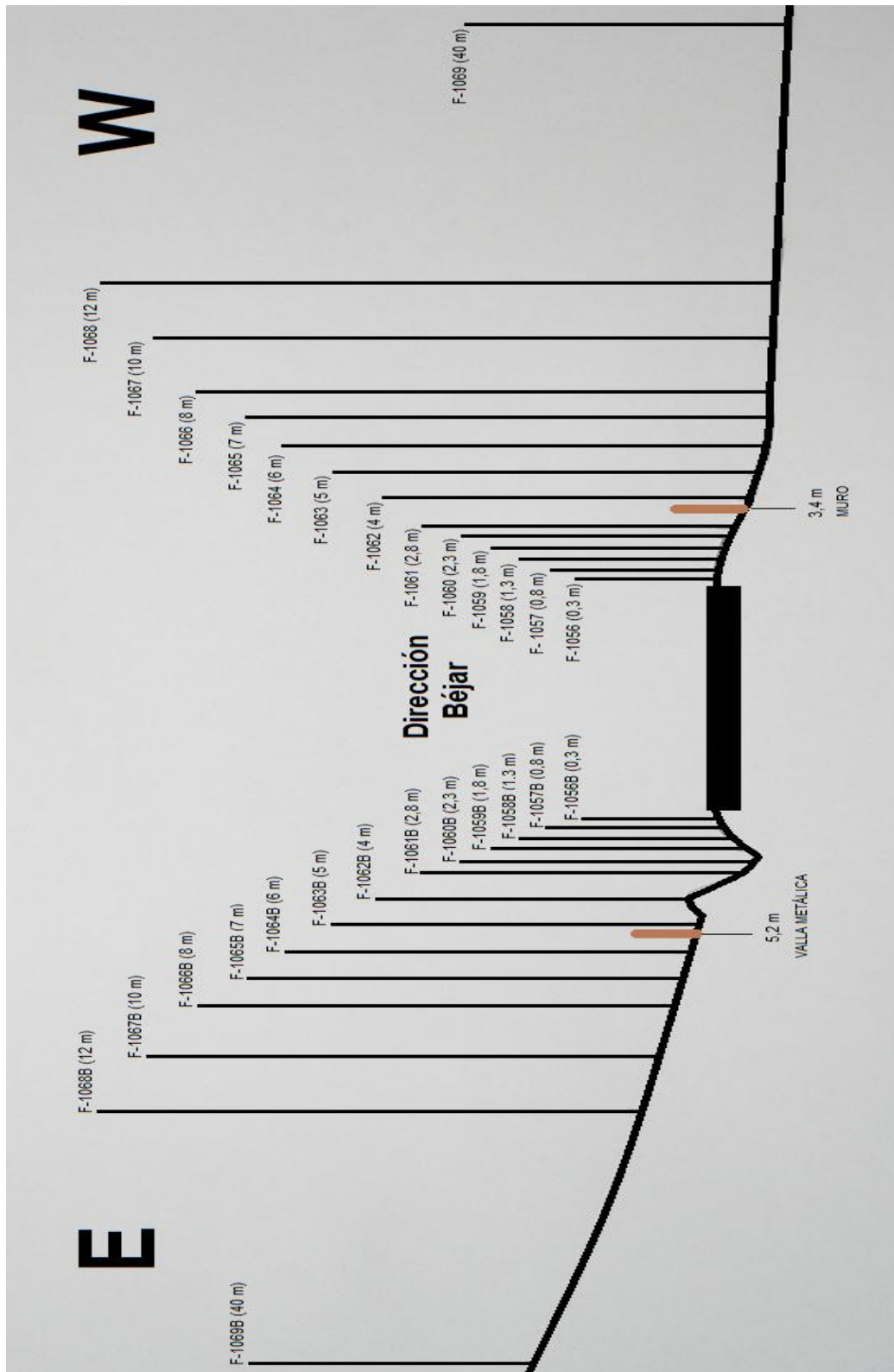


Figura 11: Perfil de la zona de muestreo y situación de muestras.

6.2.- Trabajo de laboratorio:

Las muestras fueron colocadas sobre papel absorbente para que se acabaran de secar y algunos terrones fueron disgregados con una pequeña maza de madera.

Las muestras se tamizaron por la malla de 2 mm y posteriormente fueron sometidas a un proceso de reducción de tamaño mediante la utilización de un molino de aros excéntricos, para después ser llevadas en bolsas al laboratorio de la USAL, donde se analizaron su composición mediante ICP-OES y mediante ICP-MS.

Para la determinación de elementos mayores y trazas se ha realizado un ataque en medio ácido (NO_3H y FH) , bajo presión en un digestor de microondas modelo Ethos Sel de Milestone . La disolución obtenida fue tamponada con ácido bórico.

Los elementos mayores han sido determinados con un espectrómetro de emisión en Plasma ICP-OES modelo Ultima 2 de JOBIN YVON. (Figura 12)
Es una técnica de análisis multi-elemental que utiliza una fuente de plasma de acoplamiento inductivo para disociar los átomos o iones que constituyen la muestra, excitándolos a un nivel donde emiten luz de una longitud de onda característica. Un detector mide la intensidad de la luz emitida y calcula la concentración de ese elemento.



Figura 12: ICP-OES del Servicio General de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca

Para la determinación de elementos traza se ha utilizado un ICP MS modelo ELAN 6000 de la casa PERKIN-ELMER. (Figura 13)

Es una técnica de análisis inorgánico que es capaz de determinar y cuantificar la mayoría de los elementos de la tabla periódica en un rango dinámico lineal de 8 órdenes de magnitud. La muestra líquida es vaporizada e ionizada gracias a un plasma de Ar. Los iones una vez formados pasa al espectrómetro de masas donde son separados mediante un analizador y detectados.



Figura 13: ICP-MS del Servicio General de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca

6.3.- Trabajo de gabinete:

Consiste en una búsqueda bibliográfica, a partir de la cual se elabora una síntesis geográfica, geológica y sobre los antecedentes relacionados con las formaciones superficiales y la contaminación de éstas por metales pesados.

Una vez se reciben los resultados de los análisis de laboratorio (Tablas 5, 6, 7, 8; Anexo), se realizan representaciones gráficas para comparar las concentraciones de los metales pesados en los suelos con las concentraciones en la roca madre, con la distancia al foco de contaminación y con los niveles de referencia para considerar un suelo contaminado, en este caso usaremos la normativa holandesa (Tabla 4; Anexo), al ser la pionera y la más utilizada por

otros trabajos relacionados con la posible contaminación de formaciones superficiales.

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 2007.

- Para la obtención de gráficos y tablas se ha utilizado el programa EXCEL 2007.

-Para el tratamiento de imágenes se ha utilizado el programa PHOTOSTICHT.

7.- DESCRIPCIÓN DE LOS RESULTADOS

En el Servicio de Análisis Químico de la Universidad de Salamanca se ha analizado la presencia de los siguientes elementos en las muestras situadas en la zona de influencia de la antigua carretera N630, junto a Béjar::

- Elementos mayores: Si, Al, Fe, Mn, Mg, Ca, Na, K, Ti y P, analizados mediante ICP-OES. El grado de humedad se ha medido como pérdidas al fuego, y se expresa como material volátil (M.V.).
- Elementos traza: Ba, Sc, Sr, Y, Co, Cr, Cu, Nb, S, V, (analizados mediante ICP-OES), y Ni, Pb, Zn, Li, Be, As, Se, Zr, Cd, (analizados mediante ICP-MS).

Los resultados de dichos análisis utilizados para la descripción e interpretación se adjuntan en las tablas 5, 6, 7, 8. (Ver anexo).

En primer lugar, se realizará una descripción de los diferentes elementos encontrados, tanto mayores como traza, en la que estudiaremos su evolución con la distancia, diferencias de concentración con las muestras de roca madre (A y B) y se compararán los perfiles derecho e izquierdo así como con las concentraciones mínimas y máximas de diferentes elementos traza dictados por la normativa holandesa. (Tabla 4; Anexo).

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

Esta descripción de resultados nos llevará a unas conclusiones finales donde se interpretarán los datos obtenidos.

7.1-Variaciones con la distancia de los elementos mayores

Existen algunas diferencias en las concentraciones de los elementos mayores a un lado y otro de la carretera. Aunque estas no son notables, se intentará agrupar los elementos que sigan unas pautas comunes, así como las posibles anomalías, intentando buscar una causa que justifique estos resultados.

Perfil derecho de la carretera:

Si:

La evolución de este elemento con la distancia presenta una tendencia descendente, con un máximo en el punto F-1059 (1,8 m) con un 75,30 %, y un mínimo en F-1068 (12 m) con un 63,46 %. (Figura 14).

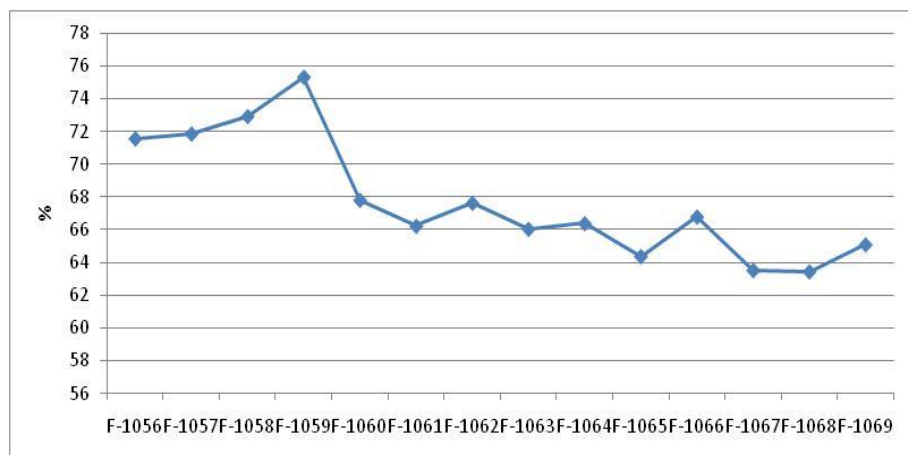


Figura 14: Gráfico de la evolución con la distancia del SiO₂.

Al:

Presenta una tendencia ligeramente ascendente, siendo poco notable la variación con la distancia. El máximo se encuentra en el punto F-1065 (7 m) con un 14,35 %, y el valor mínimo se encuentra en el punto F-1059 (1,8 m) con un de 11,40 %. (Figura 15).

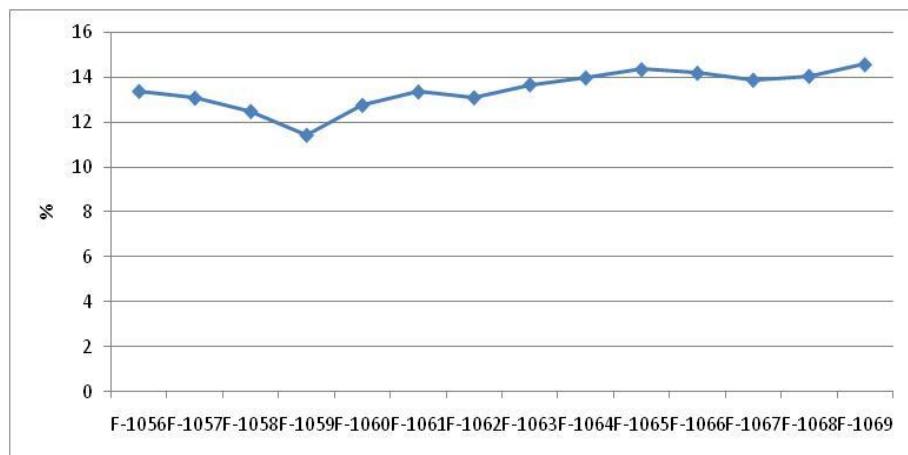


Figura 15: Gráfico de la evolución con la distancia del Al_2O_3 .

Fe:

La evolución es ascendente. Presenta un máximo en el punto F-1061 (2,8 m) con un 3,44 %, y un valor mínimo en el punto F-1059 (1,8 m) con un 2,13 %. (Figura 16).

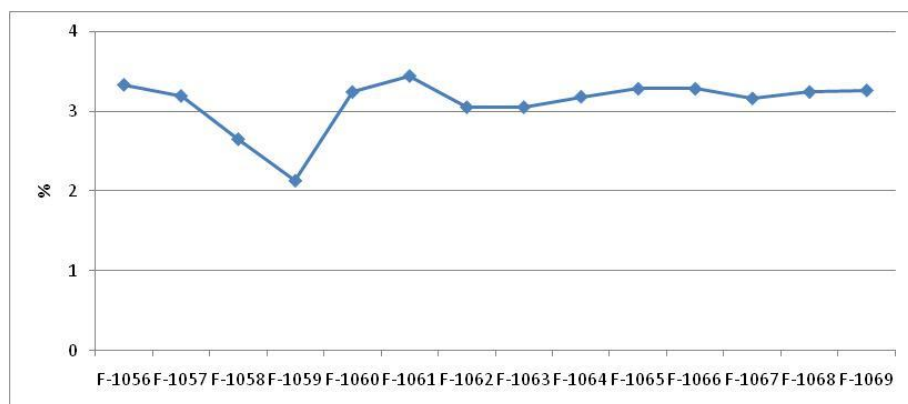


Figura 16: Gráfico de la evolución con la distancia del Fe_2O_3 .

Mn:

Los valores son muy parecidos, siendo en la mayoría de 0,04 %. Cabe destacar su valor máximo en el punto F- 1068 (12 m) con un 0,10 %. Su mínimo se encuentra en el punto F-1059 (1,8 m) con un valor de 0,03 %. (Figura 17).

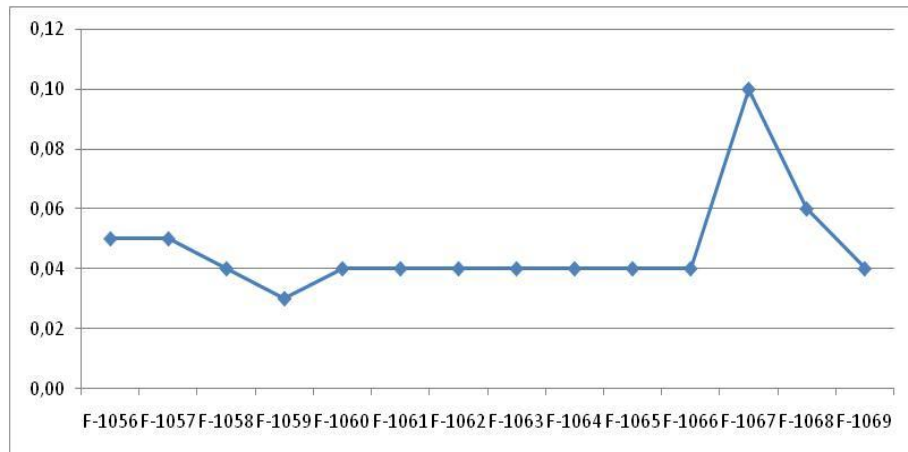


Figura 17: Gráfico de la evolución con la distancia del MnO.

Mg:

Presenta una tendencia ascendente con un máximo en el punto F-1066 (8 m) con un valor de 1,09 %, y un mínimo en el punto F-1059 (1,8 m) con un 0,63 %. (Figura 18).

Ca:

Su tendencia es ascendente. Presenta un máximo en el punto F-1066 (8 m) con un valor de 1,79 %, y un mínimo en el punto F- 1058 (1,3 m) con un valor de 1,10 %.

Podemos observar que tanto el Mg como el Ca tienen un comportamiento prácticamente idéntico respecto a la distancia. (Figura 18).

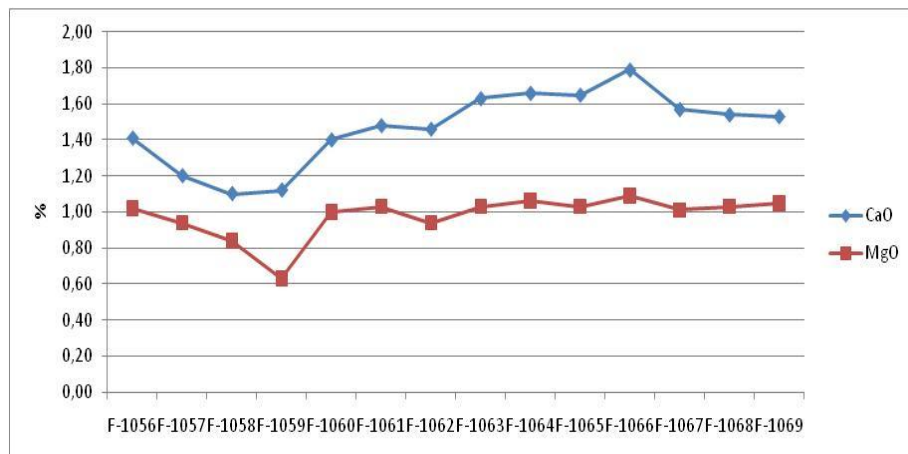


Figura 18: Gráfico de la evolución con la distancia CaO y MgO.

Na:

Evoluciona de forma ascendente con la distancia. El máximo lo encontramos en el punto F-1066 (8 m) con un valor de 2,63 %, y el mínimo se sitúa en F-1057 (0,8m) con 2,04 %. (Figura 19).

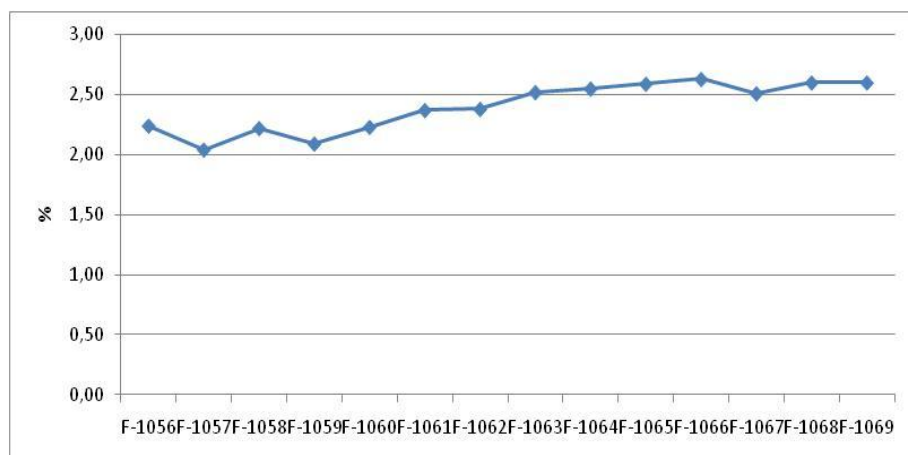


Figura 19: Gráfico de la evolución con la distancia del NaO.

K:

Su evolución en general es ascendente con un máximo en el punto F-1069 (40 m) con un valor de 4,12 %, y un mínimo en el punto F-1060 (2,3 m) con un 3,42 %. (Figura 20).

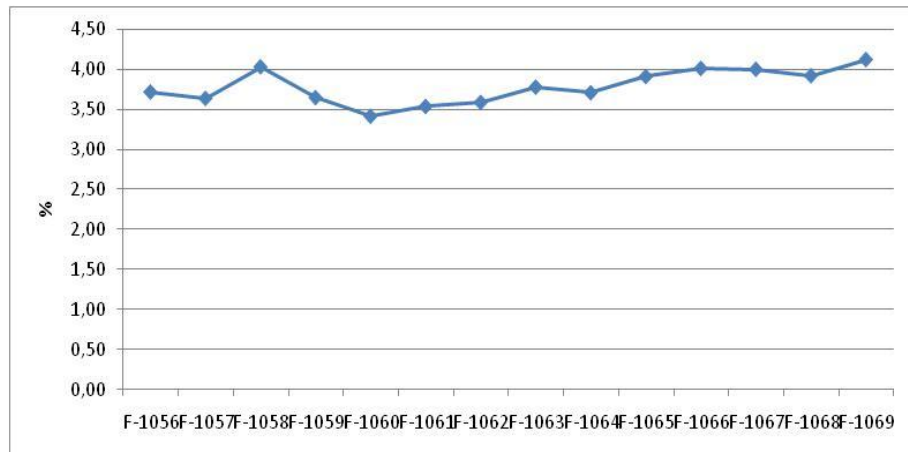


Figura 20: Gráfico de la evolución con la distancia del K_2O .

Ti:

Sigue una evolución ascendente en general, aunque presenta valores altos en los dos primeros puntos, y luego sufre un descenso. Su máximo lo encontramos en el punto F-1056 (0,3 m) con valor de 0,67 %, y un mínimo en los puntos F-1058 (1,3 m) y F-1059 (1,8 m) con un 0,38 %. (Figura 21).

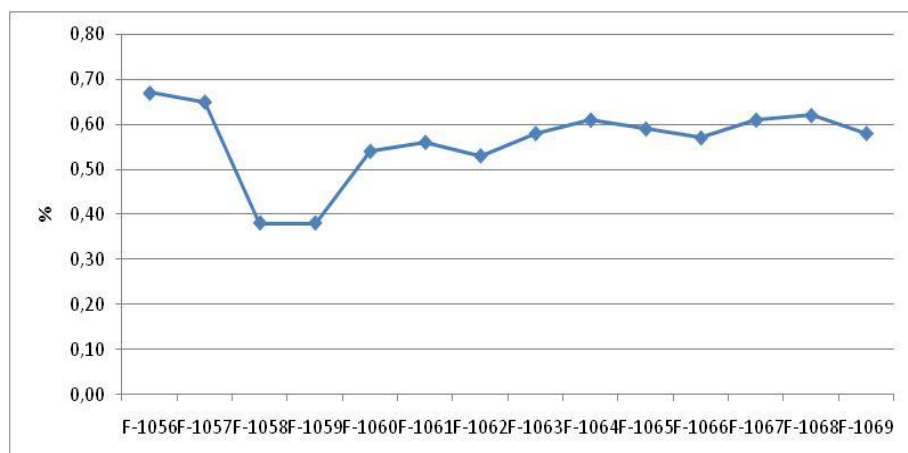


Figura 21: Gráfico de la evolución con la distancia del TiO_2 .

P:

Su evolución es ascendente, presentando un máximo en los puntos F-1056 (0,3 m), F-1062 (4 m), F-1066 (8 m) y F-1068 (12 m) con un valor en todos los casos de 0,22 %. Su mínimo se encuentra en F-1059 (1,8 m) con un 0,16 %. (Figura 22).

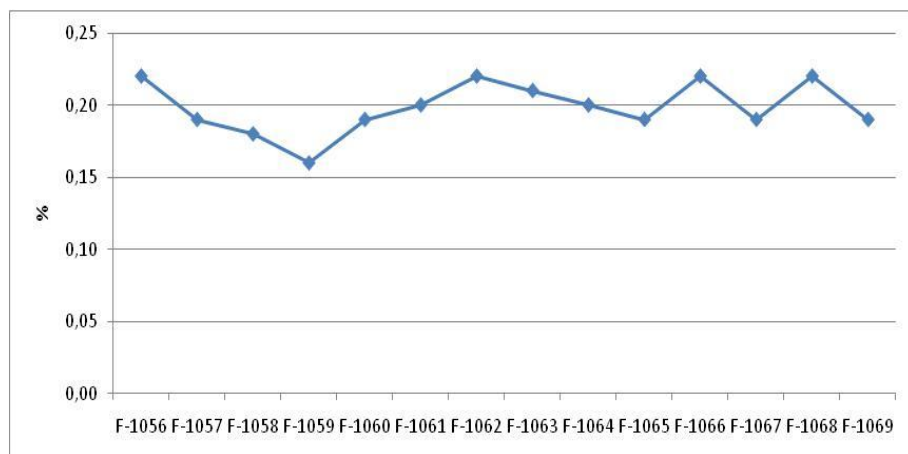


Figura 22: Gráfico de la evolución con la distancia del P_2O_5 .

M.V.:

Las muestras más cercanas a la carretera presentan una menor cantidad de agua en su composición hasta la muestra F-1059 (1,8 m). (Figura 23), donde sufre un aumento considerable.

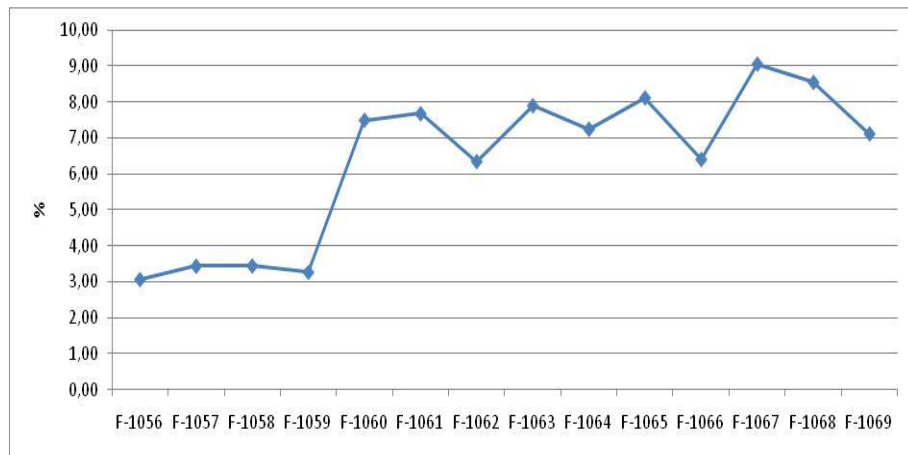


Figura 23: Gráfico de la evolución con la distancia del M.V..

Puntos a tener en cuenta:

-Todos los elementos mayores presentan una evolución ascendente en mayor o menor medida menos el SiO_2 , que presenta un comportamiento totalmente diferente. Su evolución es descendente y presenta un máximo en el punto F-1059 (1,8 m).

-Podemos diferenciar varios grupos de elementos con tendencias evolutivas muy parecidas. Así tenemos un grupo formado por CaO y MgO , que presentan un comportamiento prácticamente paralelo. Otro grupo sería el formado por Na_2O y K_2O que presentan una tendencia suavemente ascendente.

-Una pauta común es que la mayoría de los valores mínimos en los diferentes elementos Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MnO , MgO , CaO , TiO_2 y P_2O_5 , se encuentran en el punto F-1059 (1,8 m).

-Los puntos máximos también coinciden en un punto de muestreo común que es el F-1066 (8 m) para el grupo de elementos: MgO , CaO , Na_2O P_2O_5 .

Perfil izquierdo de la carretera:

Si:

Presenta una tendencia ascendente. El máximo se encuentra en el punto más alejado del muestreo F-1069B (40 m) con un valor de 68,58 %, y un mínimo en la muestra F-1061B (2,8 m) con un 55,45 %.

Otro punto que tendremos en cuenta es el F-1057B (0,8m) ya que sufre un descenso significativo. (Figura 24).

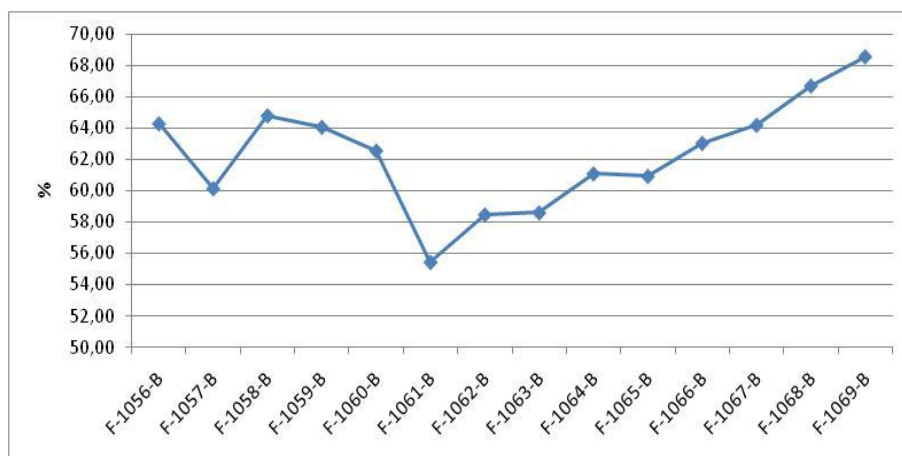


Figura 24: Gráfico de la evolución con la distancia del SiO₂.

Al:

Se mantiene bastante constante a lo largo del muestreo. Tiene tendencia ascendente en la primera mitad y luego descendente hasta el final del muestreo. Los valores del primer y último punto estudiado difieren poco entre sí. El máximo lo encontramos en el punto F-1061B (2,8 m) con un valor de 16,62 %, y el mínimo en F-1066B (8 m) con un 13,58 %. (Figura 25).

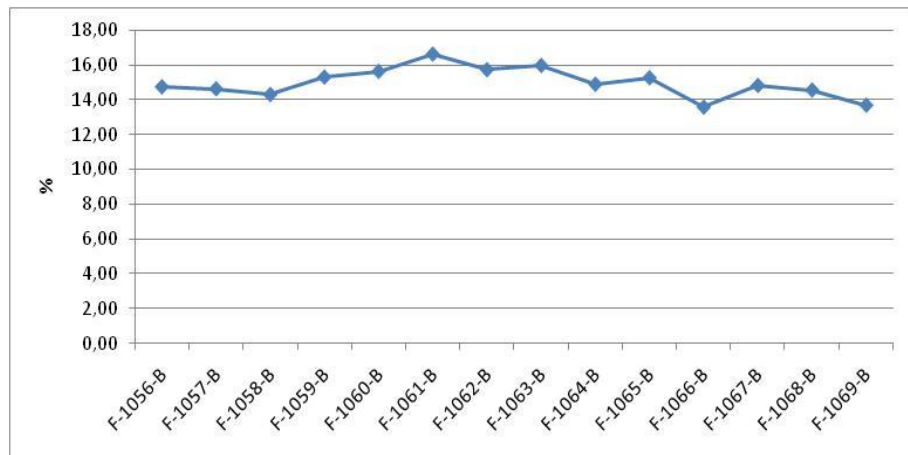


Figura 25: Gráfico de la evolución con la distancia del Al₂O₃.

Fe:

Sigue una tendencia descendente. Presenta un máximo en el punto F-1061B (2,8 m), cuyo valor es de 5,65 %. Su mínimo se encuentra en punto de muestreo F-1068B (12 m) con un 3,41 %. (Figura 26).

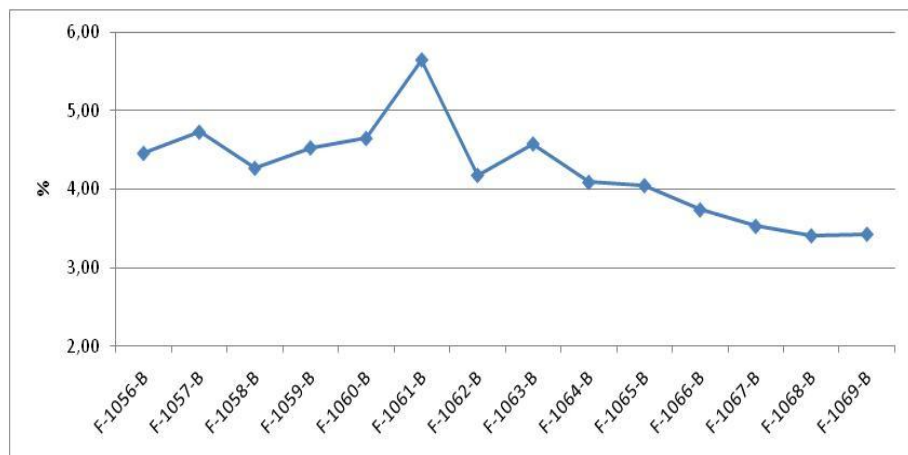


Figura 26: Gráfico evolución con la distancia del Fe₂O₃.

Mn:

Mantiene una línea ascendente hasta el punto máximo F-1061B (2,8 m) con un valor de 0,09 %, para después coger tendencia descendente hasta llegar al mínimo dato del muestreo, encontrado en los puntos F-1067B (10 m), F-1068B (12m) y F-1069B (40m) con un 0,05 %. (Figura 27).

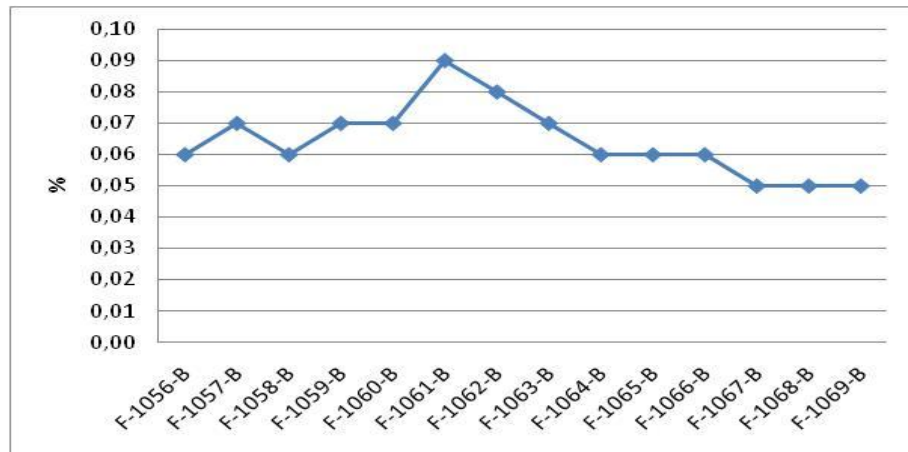


Figura 27: Gráfico de la evolución con la distancia del MnO.

Mg:

Este elemento sigue el mismo patrón que los dos elementos anteriores. Lleva una línea ascendente hasta el punto de muestreo F-1061B (2,8), donde presenta un máximo con valor 1,80 %, para después coger una tendencia descendente hasta llegar a los valores mínimos del muestreo que se encuentran en el punto F-1068B (12 m) con un 1,07 %. (Figura 28).

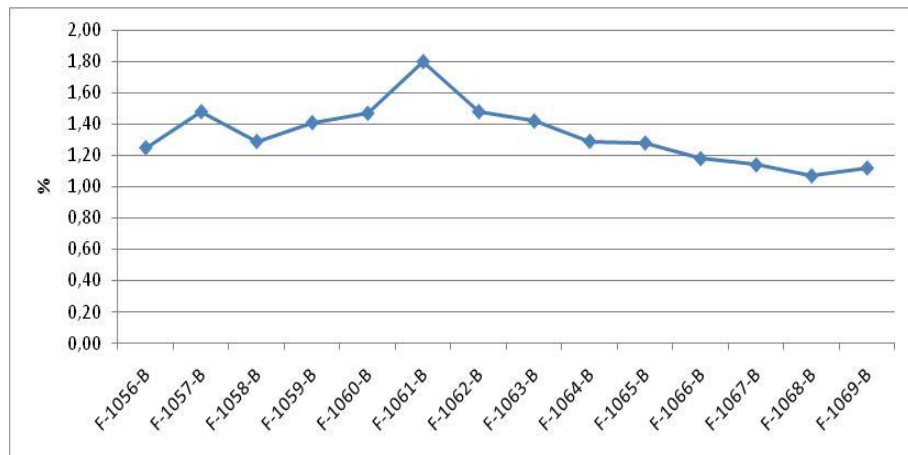


Figura 28: Gráfico de la evolución con la distancia del MgO.

Ca:

La directriz es ligeramente descendente y constante, si no fuera por los dos primeros puntos del muestreo. Llama la atención que el máximo se encuentre en el punto F-1057B (0,8 m) con un valor de 2,21 % y el mínimo se encuentre en un punto anterior con la mitad de concentración, en el F-1056B (0,3 m) con 1,09 %. (Figura 29).

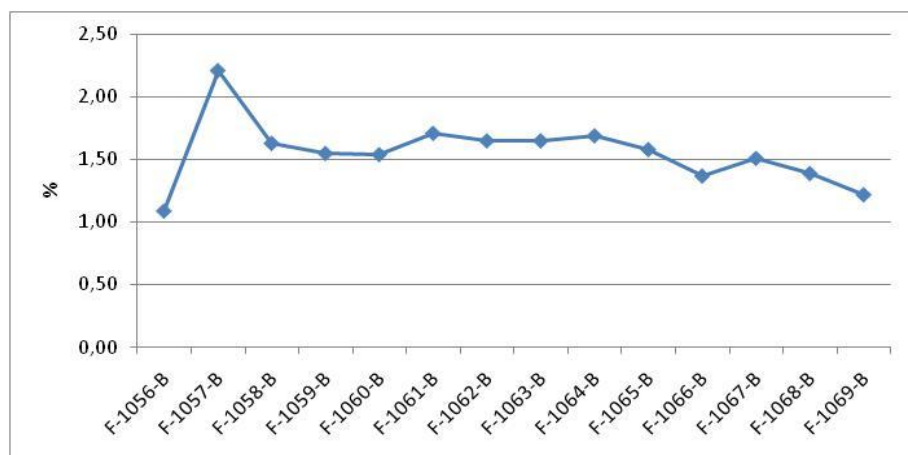


Figura 29: Gráfico de la evolución con la distancia del CaO.

Na:

Evolucionana de forma ascendente sin cambios bruscos. Su máximo se encuentra en el punto de muestreo F-1067B (10 m) con un valor de 2,56 % y su mínimo se sitúa en el punto más cercano a la carretera, F-1056B (0,3 m) con 1,66 %. (Figura 30).

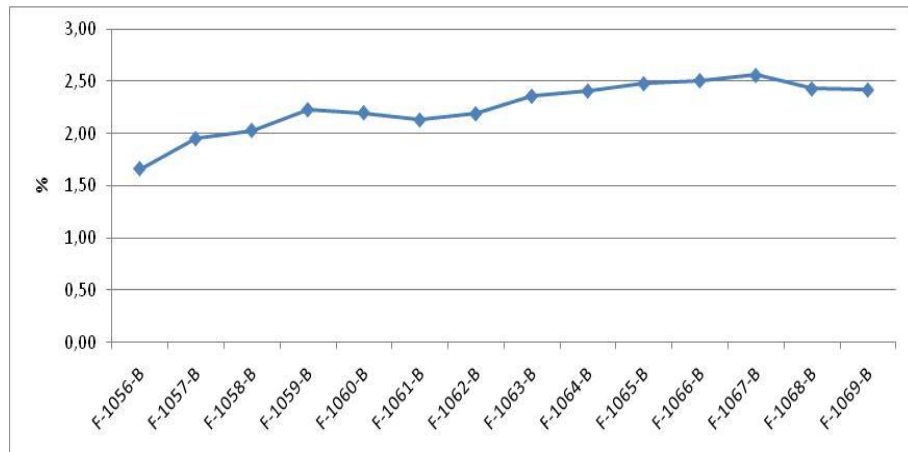


Figura 30: Gráfico de la evolución con la distancia del Na₂O.

K:

Sigue una tendencia ascendente de forma suave, excepto en el punto de muestreo F-1062B (4 m) donde se produce una disminución significativa, dando un mínimo en el muestreo total de valor 3,19 %. El valor máximo se encuentra en el punto de muestreo F-1069B con un valor de 4,39 %. (Figura 31).

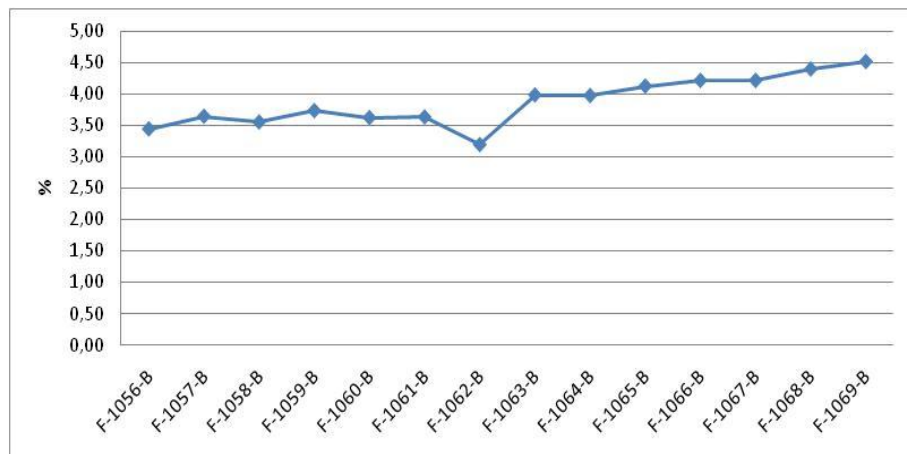


Figura 31: Gráfico de la evolución con la distancia del K_2O .

Ti:

Su tendencia es descendente en los dos primeros puntos de muestreo, y ascendente hasta la muestra F-1061B(4m) con un máximo de 1,04%. A partir de dicho punto empieza a descender hasta llegar a su mínimo situado en los puntos F-1067(10m) y F-1068(12m) cuyo valor es de 0,55%. (Figura 32).

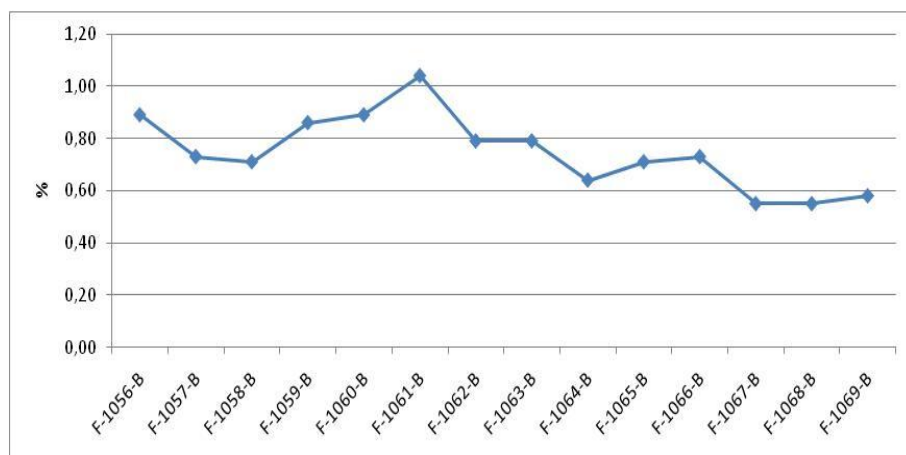


Figura 32: Gráfico de la evolución con la distancia del TiO_2 .

P:

Tiende a ascender hasta la muestra F-1061B (4 m) con valor de 0,31 %, donde se encuentra el máximo, para luego descender hasta llegar al mínimo situado en la muestra F-1068B (12 m) con un valor de 0,18 %. (Figura 33).

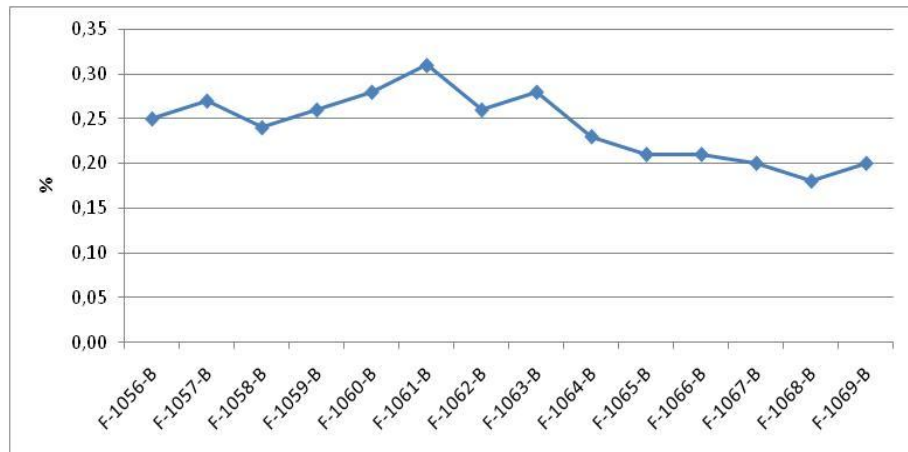


Figura 33: Gráfico de la evolución con la distancia del P_2O_5 .

M.V.:

Observamos una cantidad mayor de agua en las muestras centrales del recorrido. (Figura 34).

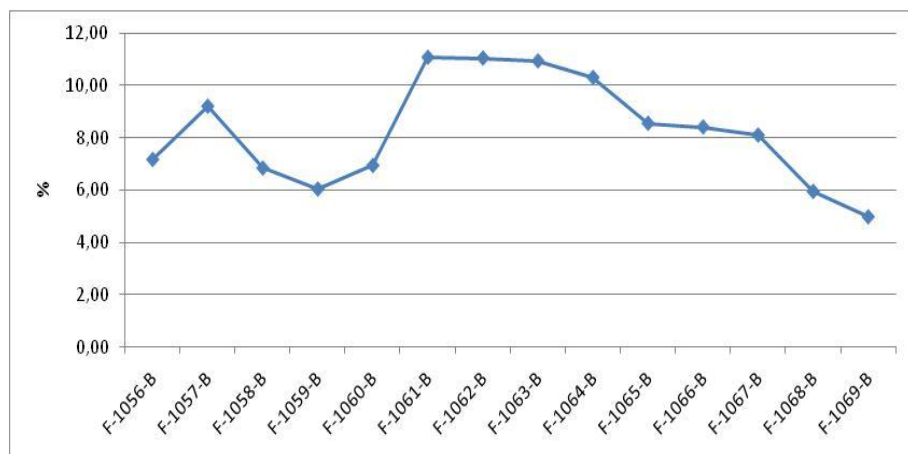


Figura 34: Gráfico de la evolución con la distancia del M.V..

Puntos a tener en cuenta:

-En este perfil izquierdo podemos diferenciar dos grupos principales: los elementos mayores que mantienen una tendencia ascendente, donde se encontrarían Na_2O , K_2O y SiO_2 , y el grupo donde disminuyen su concentración con la distancia, donde se encontrarían el resto.

Cabe destacar que en la mayoría de los casos, los elementos evolucionan de forma ascendente hasta el punto F-1061B, donde se produce el máximo (en SiO_2 se produce el mínimo), y luego descienden progresivamente hasta el último punto del muestreo.

-Mención especial también al punto F-1057B (0,8 m), donde se produce un aumento de concentración (en el Si y Ti una disminución), y a continuación una bajada. Es en el CaO donde se produce un increíble aumento en dicho punto hasta el doble de concentración inicial. También ocurre este cambio, pero de forma más suave en el caso de Fe_2O_3 , MnO, MgO, K_2O , P_2O_5 y M.V..

Comparación de los perfiles:

Si:

Comparando este elemento en ambos perfiles comprobamos que presenta un comportamiento contrario en cada una de las muestras. En el perfil derecho sigue una tendencia descendente, mientras que en el izquierdo es ascendente

Al:

Siguen evoluciones contrarias, siguiendo una tendencia ascendente en el perfil derecho, y descendente en el izquierdo.

Fe:

Siguen tendencias contrarias. Ascendente en el perfil derecho y descendente en el perfil izquierdo

Mn:

Se comporta de forma más constante en el perfil derecho, teniendo igual concentración en muchos de los puntos del recorrido de muestreo, pero la anomalía encontrada en el punto F-1067, hace que ese comportamiento se vea alterado. En el perfil izquierdo presenta una tendencia descendente con la distancia.

Mg:

Presenta tendencias opuestas en cada uno de los perfiles. Ascendente en el perfil derecho y descendente en el izquierdo. Su concentración es mayor en el perfil derecho.

Ca:

Se comporta de forma contraria, siendo ascendente a lo largo del recorrido en el perfil derecho, y descendente en el izquierdo

Na:

En ambos perfiles presenta bastante homogeneidad en las concentraciones de los diferentes puntos del muestreo, con poca pendiente y sin cambios bruscos de concentración. Tiene tendencia ascendente en los dos perfiles.

K:

Como en el caso del Na, su concentración es bastante homogénea en ambos perfiles y presenta tendencia ascendente

Ti:

Tenemos comportamientos contrarios en cada uno de los perfiles. Ascendente en el perfil derecho, aunque sufre una fuerte disminución en los primeros metros del muestreo, y descendente en el perfil izquierdo.

P:

Presenta una tendencia ascendente en el perfil derecho y contraria en el izquierdo.

M.V.:

Comportamientos contrarios en uno y otro perfil. Ascendente en el perfil derecho y descendente en el izquierdo.

Puntos a tener en cuenta:

-Observamos como norma general que en el perfil derecho los elementos mayores tienden a aumentar en concentración con el aumento de la distancia, menos en el caso del Si, que sufre una disminución cuanto más nos alejamos de la carretera.

-En el caso del perfil izquierdo, observamos una tendencia contraria, es decir, una disminución de concentración media en los elementos mayores cuando aumentamos la distancia a la carretera. Esta pauta no se cumple para el Si, Na y K, que tienen una tendencia ascendente.

7.2- Comparación de las concentraciones de los elementos mayores en el suelo y en la roca madre del área de estudio.

En la zona de estudio se han analizado dos muestras de roca madre (A y B). En este apartado se describirán los análisis de estas muestras con las de los suelos que se desarrollan a partir de ellas y se compararán ambos perfiles.

Perfil derecho de la carretera (Figura 35 y 36):

Si:

En los primeros metros de muestreo, hasta los 2,3 m, la concentración es mayor en el suelo que en la roca madre. A partir de esa distancia, los valores son más bajos que la concentración de este elemento en la roca madre.

Al:

Se observa que los valores obtenidos en el análisis de las muestras de suelo están por debajo de las concentraciones de Al en roca. Además, durante todo el muestreo, los valores en las diferentes muestras se mantienen muy constantes, siendo algo menores en los primeros metros.

Fe:

Los valores de este elemento en todas las muestras analizadas del suelo se mantienen por debajo de los obtenidos en la roca madre.

Mn:

Las medias obtenidas en las muestras del suelo y de la roca madre coinciden. Durante todo el muestreo existen pocas variaciones excepto en el punto F-1067, citado anteriormente, donde la concentración aumenta hasta el doble de la total.

Mg:

Los valores de las muestras del suelo se mantienen por debajo de los de la roca madre en todas las muestras.

Ca:

La media obtenida en el suelo es bastante menor que la obtenida en la roca.

Na:

Este elemento se encuentra en menor medida en el suelo que en la roca madre, siendo bastante la variación entre ambas medias.

K:

Los resultados obtenidos a partir del suelo son muy inferiores a la media de este elemento en la roca madre.

Ti:

La concentración es menor en todas las muestras de suelo analizadas comparándolas con las obtenidas en roca.

P:

Los datos de todas las muestras se ajustan casi perfectamente a los obtenidos en la roca madre.

Puntos a tener en cuenta:

-Todos los elementos mayores analizados en las muestras de suelo, se encuentran por debajo de las concentraciones de las muestras de roca madre.

-Los elementos Ca, Na y K, se encuentran muy por debajo de la concentración obtenida en la roca madre, así como también el Al.

-El P es el elemento que más se ajusta en todos sus puntos del muestreo de suelo a la media de las muestras de roca madre.

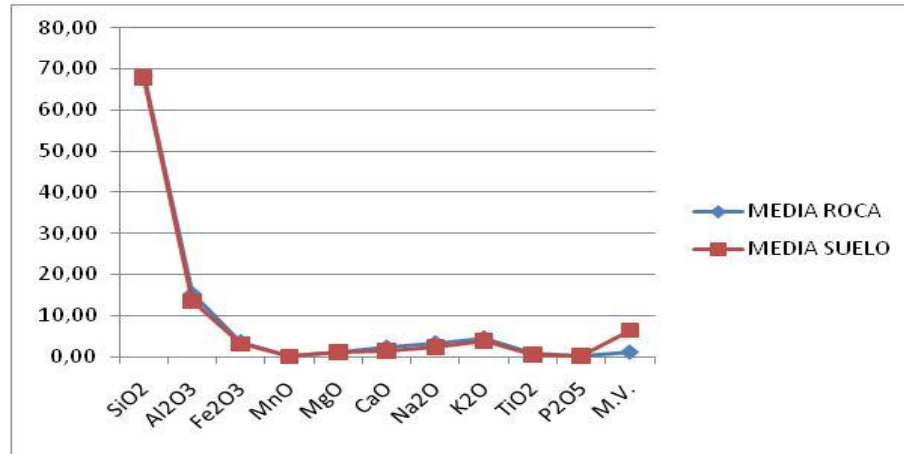


Figura 35: Gráfico de comparación de concentraciones entre los diferentes puntos del perfil derecho, para los elementos mayores.

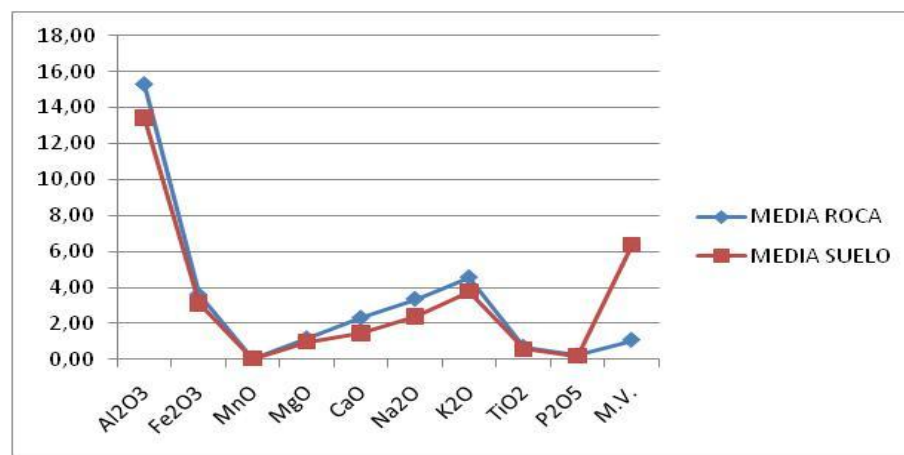


Figura 36: Gráfico de comparación de concentraciones entre los diferentes puntos del perfil derecho, para los elementos mayores, eliminando SiO₂.

Perfil izquierdo de la carretera (Figuras 37, 38)

Si:

La media en el suelo se mantiene muy por debajo de la media de la roca en todas las muestras analizadas.

Al:

La media en el suelo es menor que en la roca madre. La diferencia entre suelo y roca no es amplia.

Fe:

En este caso, este elemento se encuentra en mayor concentración en casi todas las muestras analizadas de suelo que en las obtenidas en la roca madre.

Mn:

La media obtenida en las muestras de suelo es ligeramente superior que en las muestras de roca, aunque dichos valores son muy cercanos.

Mg:

Este elemento se encuentra en mayor proporción en las muestras de suelo que en la roca de forma más significativa que en el elemento anterior. En

la mayoría de las muestras de suelo este valor es muy superior a la roca, siendo más evidente en los puntos centrales del muestreo.

Ca:

Se observa que la media del suelo es bastante inferior a la de la roca en todos los puntos. El punto F-1057B, donde se produce el máximo de este elemento en el muestreo, con un notable incremento de concentración, no llega a la media de este elemento en la roca.

Na:

Este elemento también se encuentra en el suelo muy por debajo de la media de la roca. Sólo los últimos puntos del muestreo se acercan algo a dicha media.

K:

Como en los dos elementos anteriores, su concentración media en las muestras de suelo está muy por debajo de la media en las muestras de roca.

Ti:

Este elemento se encuentra en mayor concentración en la mayoría de muestras de suelo que en las de roca. Sólo en las muestras del final la concentración disminuye.

P:

La concentración en el suelo es mayor en este elemento, pero está muy próxima a la concentración en la roca.

M.V.:

La concentración en las muestras de suelo nada tienen que ver con las obtenidas en la roca madre, siendo estas últimas muy inferiores.

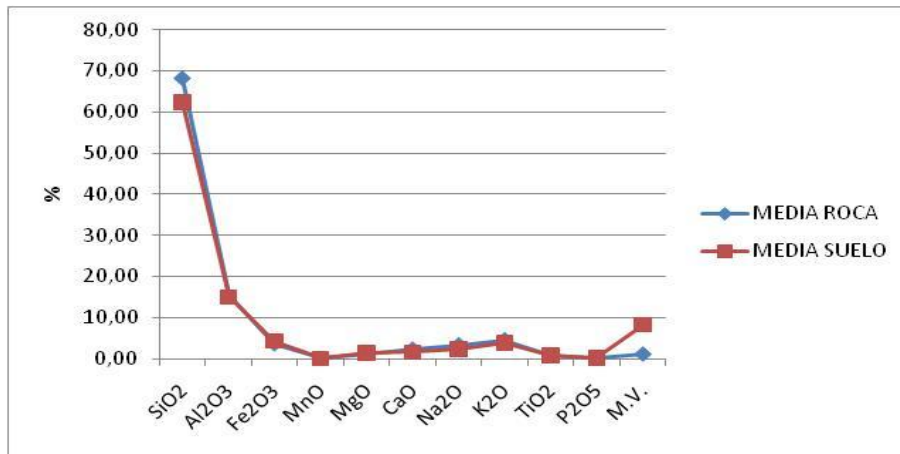


Figura 37: Gráficos de comparación entre los diferentes puntos del perfil izquierdo, para los elementos mayores.

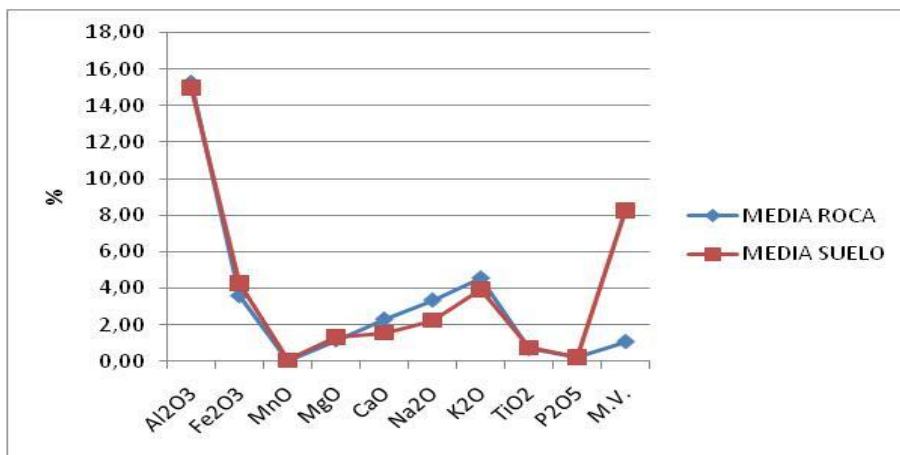


Figura 38: Gráficos de comparación entre los diferentes puntos del perfil izquierdo, para los elementos mayores, eliminando SiO₂.

Puntos a tener en cuenta:

-En este perfil izquierdo existen elementos que se encuentran en concentraciones superiores a las analizadas en la roca madre como es el caso de Fe, Mn, Mg, Ti, y P, y M.V..

-Hay elementos mayores que se encuentran muy por debajo de la media encontrada en la roca madre como es el caso de Si, Ca, Na y K.

Comparación de perfiles: (Figuras 39 y 40)

En general, las concentraciones medias de todo el muestreo en los diferentes elementos es mayor en el perfil izquierdo de la carretera, menos para el Si y el Na. Cabe destacar la notable diferencia de este primero respecto a la concentración de Si en la roca en el perfil izquierdo.

Los elementos Ca, Na y K tienen en ambos perfiles una concentración en el suelo muy inferior a la roca.

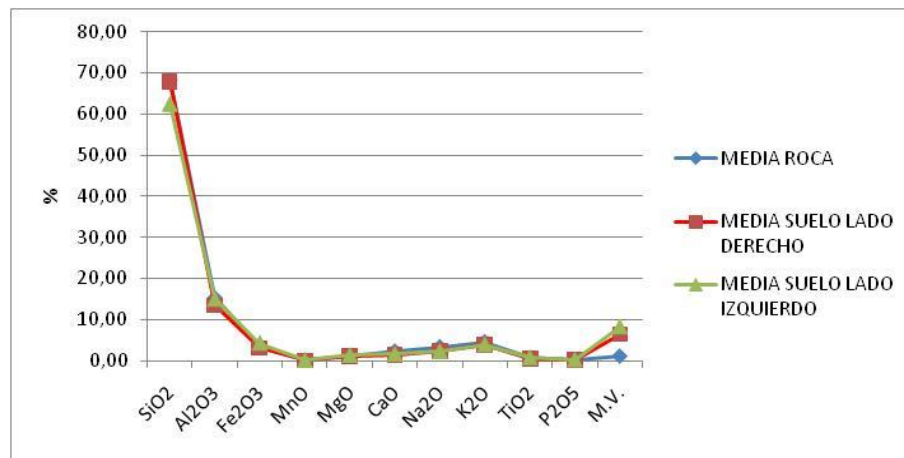


Figura 39: Comparación de la media total en roca con las medias totales de suelos en ambos perfiles.

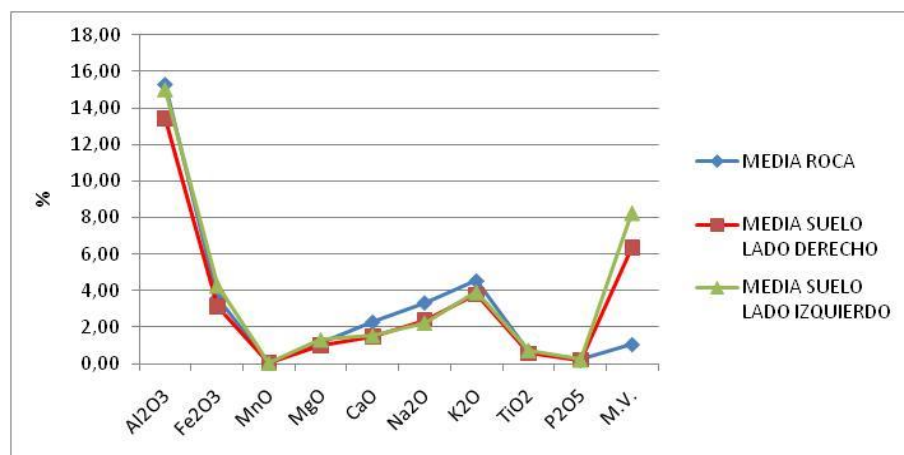


Figura 40: Comparación de la media total en roca con las medias totales de suelos en ambos perfiles, sin el SiO₂.

7.3.- Descripción de los valores de los elementos traza en la zona de estudio.

Se han encontrado grandes dificultades a la hora de hacer el análisis descriptivo de los elementos traza, ya que, si bien para los elementos mayores se podía definir un patrón de comportamiento para conjuntos de elementos en un mismo perfil, y determinar posibles zonas de acumulación o lavado, la variación de concentraciones tan grandes que sufren estos elementos en las diferentes muestras analizadas hacen muy difícil esta labor, como por ejemplo en el caso del Li, donde el elemento aparece y desaparece en algunas de las muestras, y en el caso del S en donde la concentración del suelo es muy superior en la roca. También, en este último caso, se ha decidido prescindir de la muestra B de la roca, ya que puede haber un error de laboratorio.

También se han encontrado algunas anomalías como en el Cu, donde podemos tener una influencia antropogénica.

Perfil derecho de la carretera:

Ba:

Muestra ciertas irregularidades en los primeros metros del muestreo, pero a partir del punto F-1062 (4 m), toma una tendencia ascendente hasta el último punto F-1069 (40 m), donde se produce el máximo con 604 ppm. El mínimo se encuentra en el punto F-1062 (4 m) con 484 ppm. (Figura 41).

A partir de F-1065 (7 m), la concentración en el suelo está bastante por encima de la media de la roca.

Cabe destacar, que los resultados analíticos de la roca madre, según la norma holandesa, ya supera el nivel objetivo en más del doble, y se acerca al de intervención en los últimos puntos del muestreo.

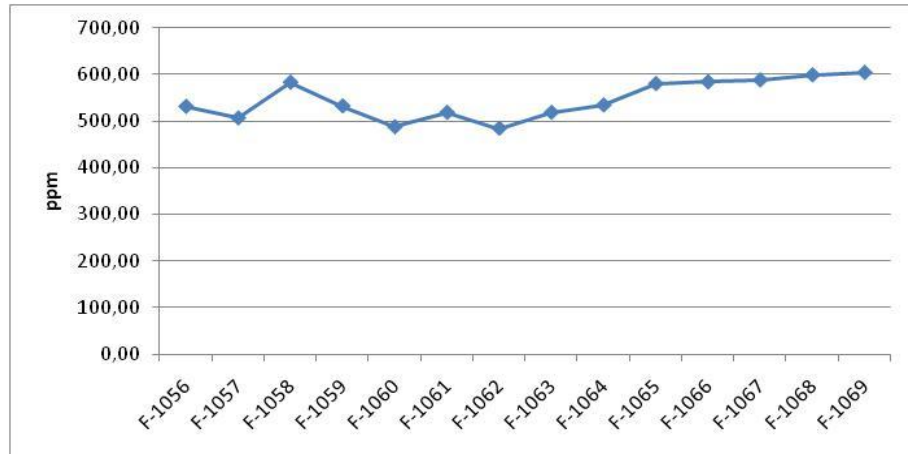


Figura 41: Gráfica de la evolución con la distancia del Ba.

Sr:

Como ocurre en el Ba, se comporta de forma irregular hasta el punto F-1062 (4 m), para luego tomar una tendencia prácticamente ascendente, sin cambios importantes. Llama la atención que tenga dos máximos iguales, en el primer punto de muestreo F-1056 (0,3 m) y también en el punto F-1065 (7 m), ambos de 149ppm. Su mínimo se encuentra en el punto F-1062 (4 m). (Figura 42).

Con relación a la concentración de la roca madre, el suelo se mantiene en concentración menor en todos sus puntos y sin cambios importantes.

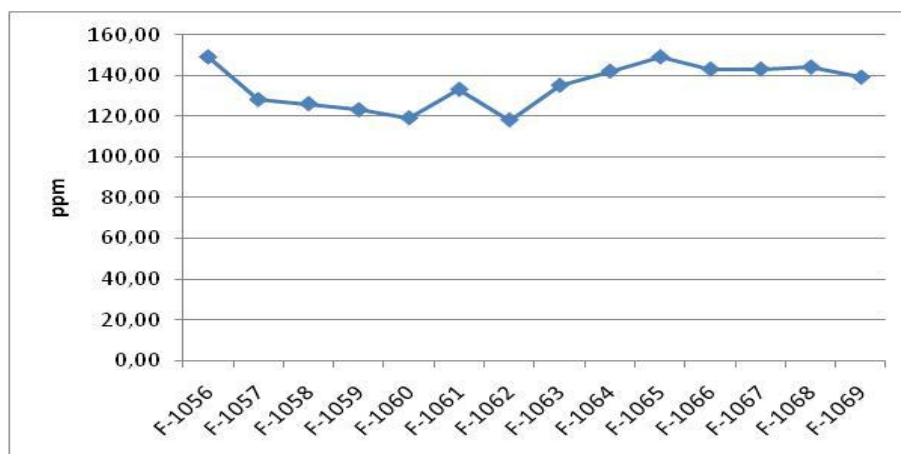


Figura 42: Gráfica de la evolución con la distancia del Sr.

S:

Este elemento se comporta de forma muy irregular. En los primeros metros sigue una tendencia ascendente con un gran aumento de concentración hasta el punto F-1061 (2,8 m) donde se encuentra la concentración máxima con 520 ppm, para luego ir descendiendo de forma muy escalonada e irregular, con otra brusca disminución de concentración en el punto F-1066 (8 m) hasta los 195 ppm. Su mínimo se encuentra en la zona más cercana de la carretera F-1056 (0,3 m) con una concentración de 110 ppm. (Figura 43).

En comparación con la concentración de la roca madre tenemos un problema, ya que en una de las muestras no se aprecia este elemento, debido posiblemente a un error de laboratorio. Así, se ha prescindido de la muestra B.

Se observa que la concentración en el suelo es en ocasiones de tres o cuatro veces más que en roca, y no solo en puntos aislados, sino durante la mayor parte del muestreo. Es evidente que ha habido un aporte al suelo de este elemento.

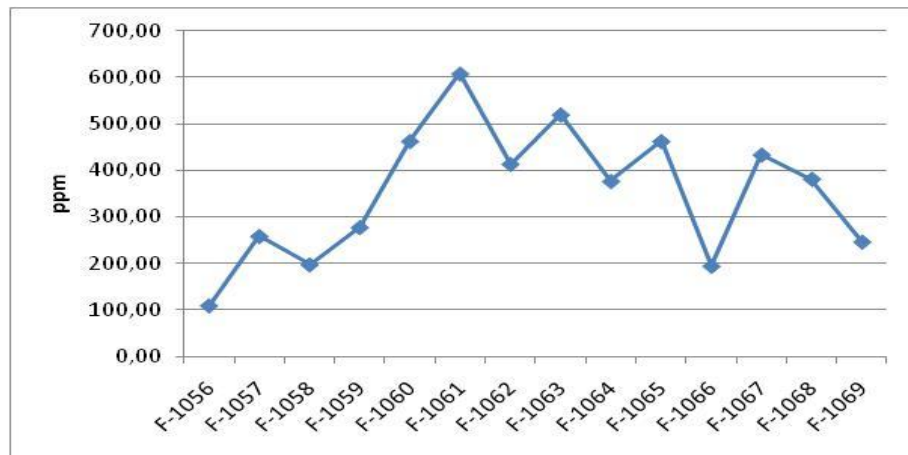


Figura 43: Gráfica de la evolución con la distancia del S.

Zn:

Presenta un comportamiento muy irregular con una notable disminución en su concentración en el punto F-1062 (4 m), para sufrir un repentino aumento en el siguiente punto F-1063 (5 m) donde se produce su máximo con 118 ppm. Su mínimo lo alcanza en el punto F-1066 (8 m) con 63 ppm. (Figura 44).

La concentración del suelo está por encima de la concentración de la roca en muchos de los puntos.

Según la norma holandesa, en ningún caso se sobrepasaría el valor objetivo en este elemento.

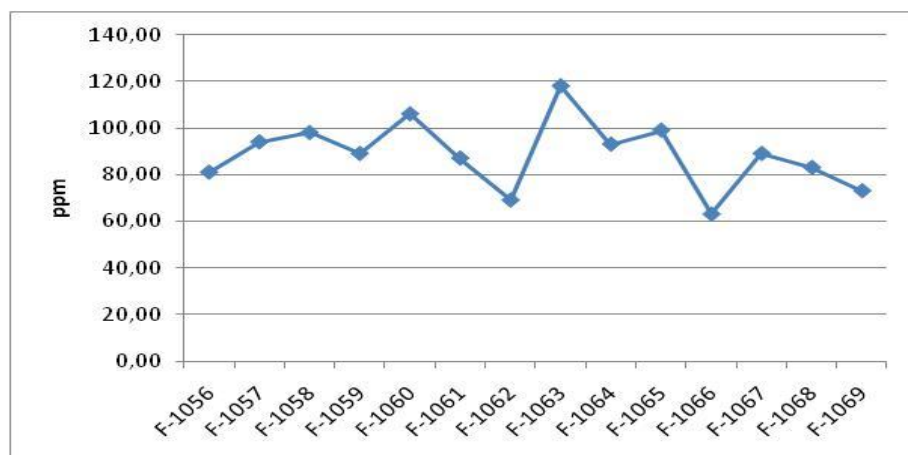


Figura 44: Gráfica de la evolución con la distancia del Zn.

Li:

Este elemento presenta 3 zonas en el muestreo donde se detecta y otras 3 donde su concentración es nula. Su máximo se encuentra en el punto F-1061 (2,8 m) con 30 ppm y su mínimo se localiza en varios de los puntos del muestreo, pero con más relevancia en las últimas muestras. (Figura 45).

Los puntos en los que el elemento aparece se mantienen por debajo de la media en la roca.

Destacar la concentración tan baja en Li del suelo en comparación con la roca.

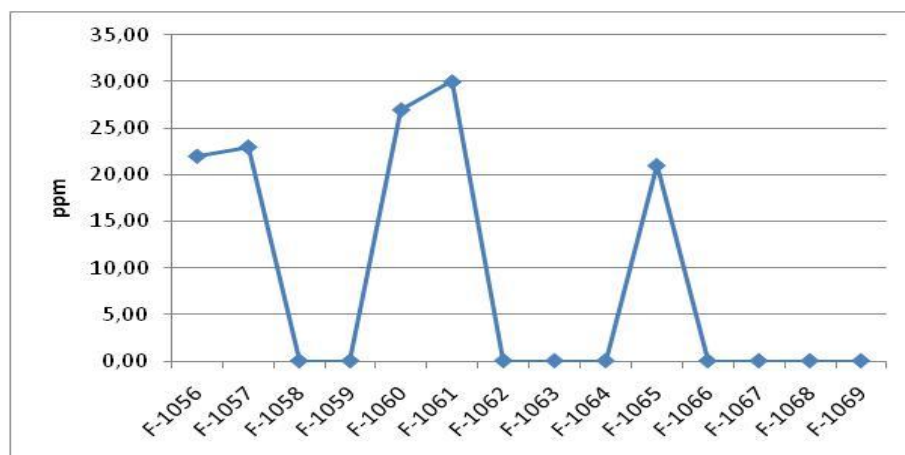


Figura 45: Gráfica de la evolución con la distancia del Li.

Cu:

El máximo se encuentra en el punto más cercano de la carretera F-1056 con una concentración de 177 ppm. Existen concentraciones nulas en los demás puntos del muestreo menos en los puntos F-1057 (0,8 m), F-1061 (2,8 m) y F-1069 (40 m). (Figura 46).

La concentración media en la roca es nula, por lo que la concentración en dichos puntos es anómala, siendo en el punto más cercano de la carretera la más evidente. Este punto estaría por encima del valor objetivo según la norma holandesa, y se quedaría muy cercano al valor de intervención.

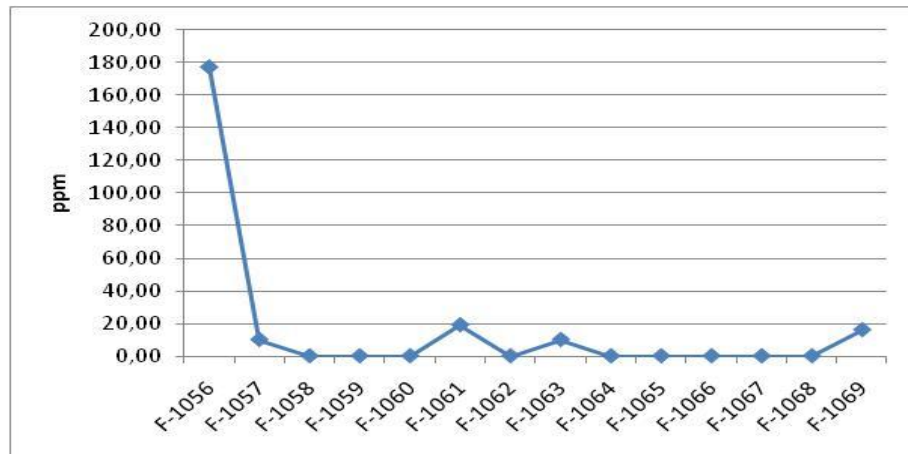


Figura 46: Gráfica de la evolución con la distancia del Cu.

Cr:

Presenta un comportamiento muy irregular sin una tendencia definida. Presenta un máximo en el punto F-1059 (1,8 m) con 174 ppm y un mínimo en el punto F-1066 (8 m) con 93 ppm. (Figura 47)

La media de concentración del suelo es menor que la media en roca. En algunos puntos esta concentración es mayor que la de la roca, pero en ningún caso existen anomalías notables.

Todas las muestras están por encima del valor objetivo de la norma holandesa.

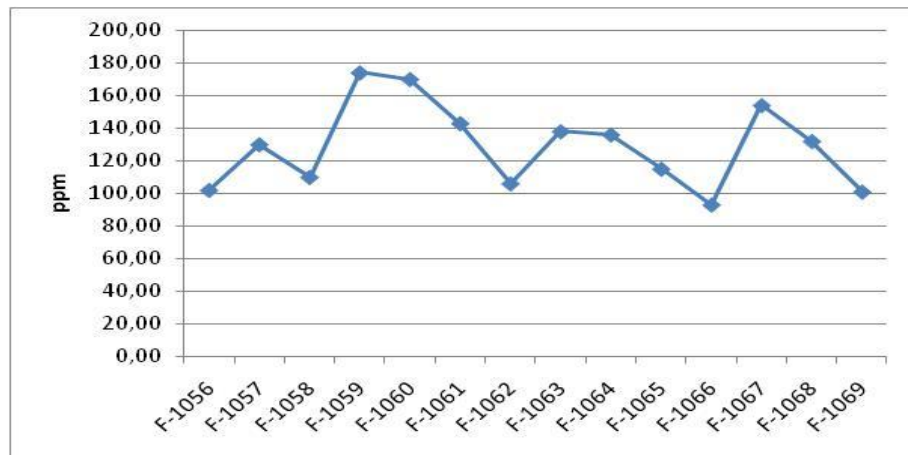


Figura 47: Gráfica de la evolución con la distancia del Cr.

V:

Es el elemento que más regularmente se comporta a lo largo del muestreo. Los valores son prácticamente constantes salvo dos puntos: en el punto F-1059 (1,8 m) donde se produce el mínimo con 23 ppm, y en el punto F-1067 (10 m) donde se produce el máximo con 48 ppm. (Figura 48).

La media del suelo se mantiene por debajo de la media la roca y ambos datos están muy parejos.

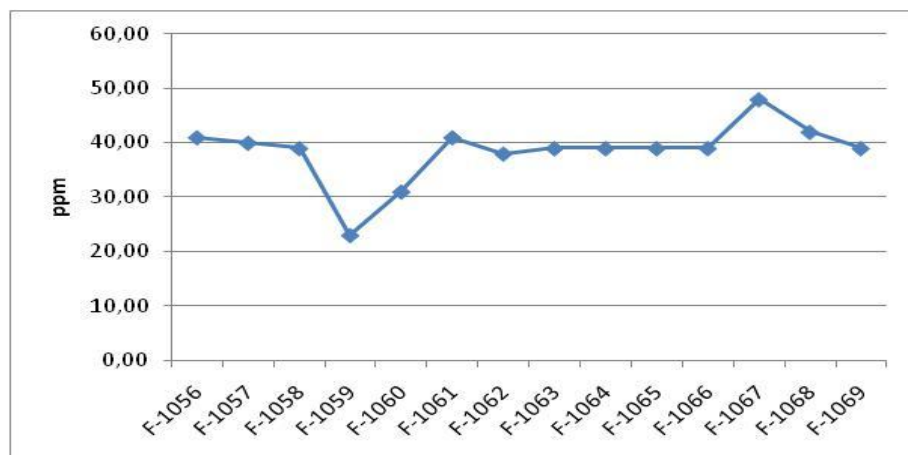


Figura 48: Gráfica de la evolución con la distancia del V.

Mo:

Comportamiento muy irregular. Existe un máximo en composición en el punto F-1063 (5m) con 49 ppm y dos muestras posteriores, F-1065 (7 m), el elemento desaparece, para a continuación incrementar su concentración hasta los 41 ppm. (Figura 49)

Su media en suelo es menor que la media en roca.

Según la norma holandesa, este suelo tendría una contaminación natural. Sería conveniente realizar estudios más detallados según el uso al que vaya a ser utilizado dicho suelo.

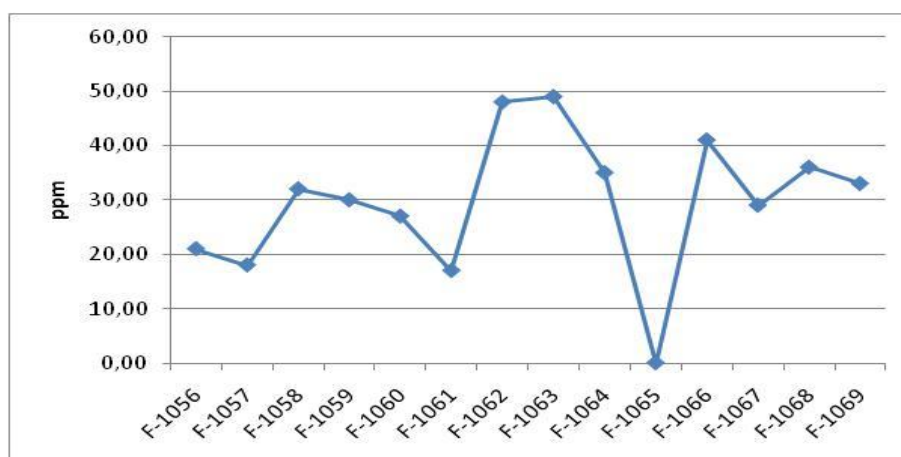


Figura 49: Gráfica de la evolución con la distancia del Mo.

Pb:

Comportamiento muy irregular. Su máximo se encuentra en el punto F-1058 (1,3 m) con 173 ppm, y su mínimo en el F-1063 (5 m) donde es nulo.

La media en el suelo se mantiene por debajo de la media en roca, y sólo en dos puntos se supera, los cuales se encuentran a 0,3 m y 1,3 m de la carretera respectivamente, por lo la concentración en dichos puntos puede haber sido modificada por una contaminación externa.

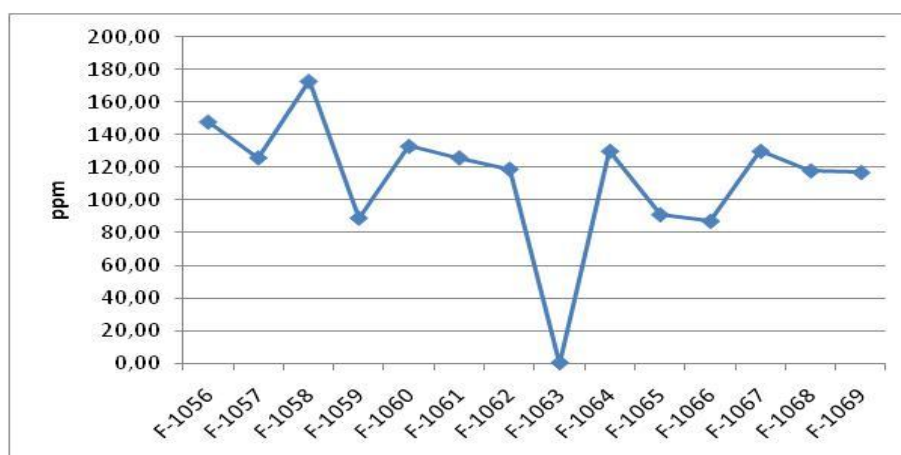


Figura 50: Gráfica de la evolución con la distancia del Pb.

Puntos a tener en cuenta:

-El comportamiento tan irregular de estos elementos a lo largo del muestreo con tantos cambios de concentraciones y localizaciones de máximos y mínimos en diferentes puntos, hace muy difícil marcar un patrón común.

-Se puede apreciar que para la mayoría de elementos, en el punto F-1062 (4 m) se produce una bajada en la concentración menos para el Mo.

-Existen elementos que aparecen en una concentración mayor en el suelo que en la roca (S, Zn, Cu). El caso más llamativo se produce en el S donde la concentración en el suelo es hasta cuatro veces la de la roca. Otro caso es el Cu donde tenemos un punto crítico con una clara contaminación que supera el valor objetivo en la norma holandesa y es muy cercano al valor de intervención. En el caso del Zn se supera la media de la roca, pero de forma muy moderada.

-Destacar la disminución de Li en el suelo en comparación con la roca.

-En ningún caso se sobrepasaría el valor de intervención según la norma holandesa, pero sí el valor objetivo en las muestras de roca como es el caso del Ba, Cr y Mo, o también lo superan en muestras cercanas a la carretera como es en el caso del Cu y Pb (Figura 51).

-La norma holandesa no hace referencia al S, pero la gran diferencia de concentraciones en las muestras de suelo en comparación con la roca hacen suponer que estamos ante un aporte externo de este elemento.

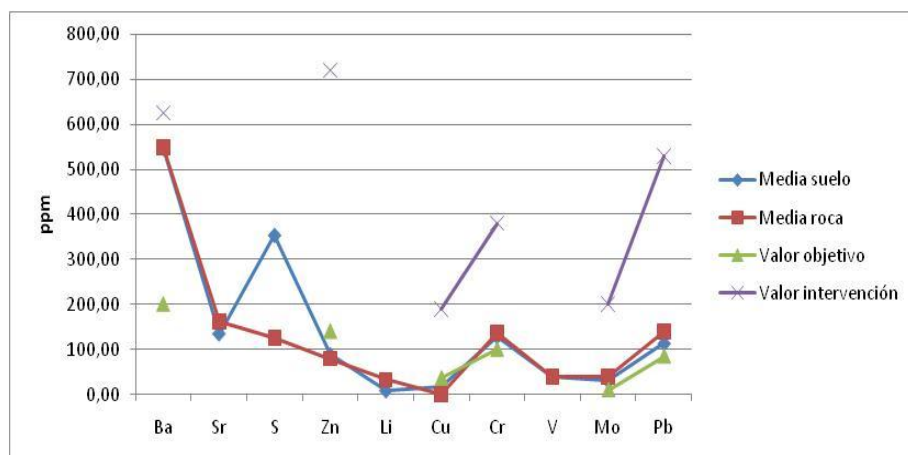


Figura 51: Comparación de medias elementos traza en el perfil derecho. Se añaden valores objetivo e intervención en la norma holandesa.

Perfil izquierdo de la carretera:

Ba:

Tiene un comportamiento muy constante durante todo el muestreo. Se puede decir que su tendencia es ascendente en los últimos metros. Su máximo se encuentra en el punto F-1068B (12 m) con una concentración de 595 ppm y su mínimo en el punto F-1061B (2,8 m) con 465 ppm. (Figura 52).

La media del suelo está muy pareja con la de la roca, y existen varios puntos en el muestreo que sobrepasan esta última media.

La media total de la roca ya sobrepasa el valor objetivo en la norma holandesa.

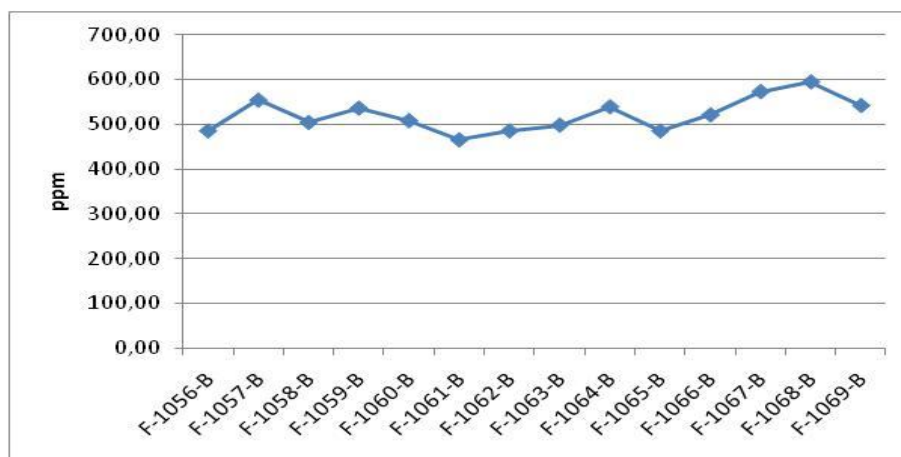


Figura 52: Gráfica de la evolución con la distancia del Ba.

Sr:

Los valores no varían mucho, y sólo existe una muestra donde la concentración es mucho mayor que la media de la roca y la media total del suelo que es el punto F-1057B (0,8 m) con 239 ppm. (Figura 53).

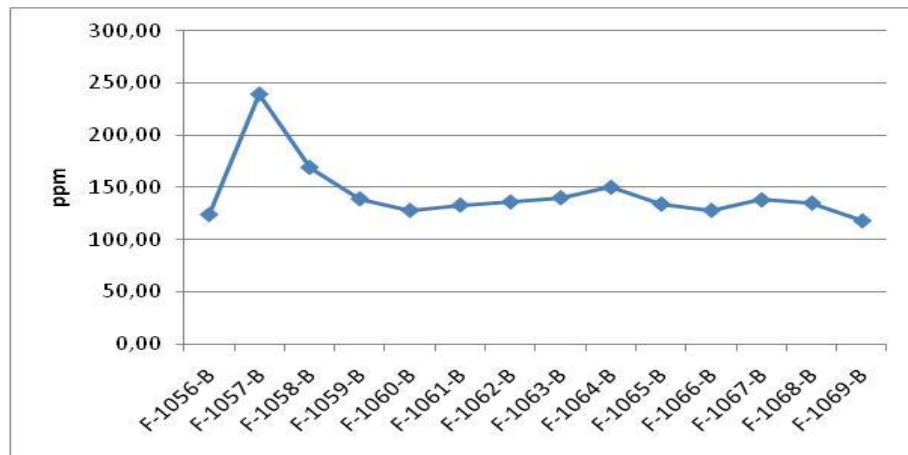


Figura 53: Gráfica de la evolución con la distancia del Sr.

S:

Comportamiento muy irregular en los primeros metros, existiendo un máximo en el punto F-1057B (0,8 m) con una concentración de 491 ppm y tres muestras después, en el punto F-1060B (2,3 m) este elemento alcanza su mínimo nulo y un punto posterior sufre un incremento de concentración a partir del cual tomará una tendencia descendente hasta el final del muestreo. (Figura 54).

Como vimos en el perfil derecho, en este elemento prescindiremos de la muestra B de la roca madre, y comparando la media total del suelo con la de la roca de la muestra A, se observa que en los primeros metros hay una concentración bastante alta en las muestras analizadas, siendo de hasta cuatro veces más en su punto máximo. Los valores en los puntos más alejados de la carretera, se ajustan más a la media total de la roca.

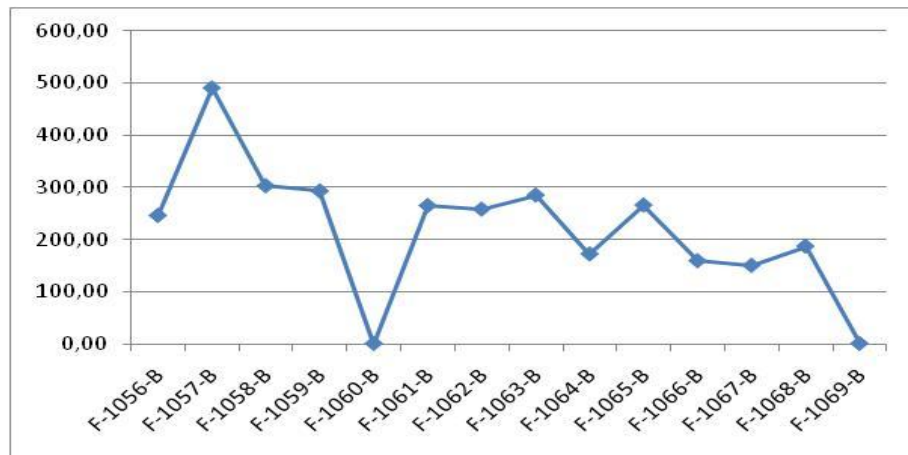


Figura 54: Gráfica de la evolución con la distancia del S.

Zn:

Su máximo lo encontramos en el punto F-1057B (0,8 m) con un valor de 188 ppm y su mínimo en F-1068B (12 m) con 77 ppm. En líneas generales el elemento se comporta con tendencia descendente con la distancia. (Figura 55).

La media total del suelo es mayor que la media de la roca en prácticamente todos los puntos, por lo que podría existir un aporte de este elemento de origen antropogénico, y más cuando en las tres muestras más cercanas a la carretera, se supera el valor objetivo de la norma holandesa.

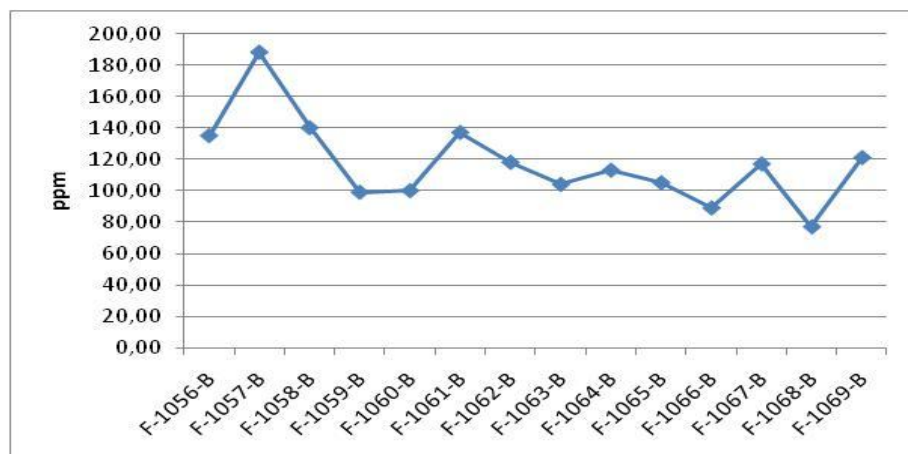


Figura 55: Gráfica de la evolución con la distancia del Zn.

Li:

Presenta un comportamiento muy irregular con un máximo en el punto F-1061B con 58 ppm y un mínimo en F-1064B y en los tres últimos puntos más alejados de la carretera siendo en todos los caso de 0 ppm. (Figura 56).

La concentración media del suelo es menor que la de la roca.

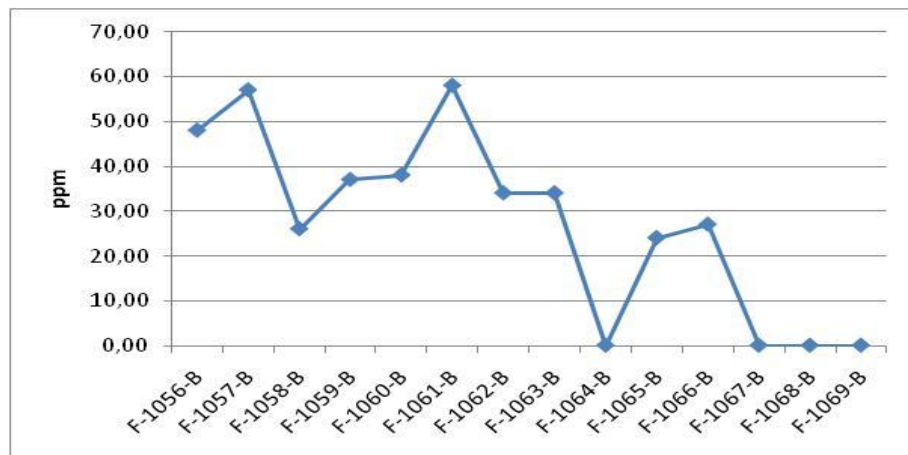


Figura 56: Gráfica de la evolución con la distancia del Li.

Cu:

Su máximo se localiza en el punto F-1057B (0,8 m) con 45 ppm. Según nos alejamos de la carretera, el elemento disminuye su concentración hasta desaparecer. (Figura 57)

Teniendo en cuenta que no se encontró Cu en los análisis realizados a la roca madre, y que las mayores concentraciones se sitúan en las muestras más cercanas a la carretera, es muy probable que se haya producido una contaminación de origen antropogénica.

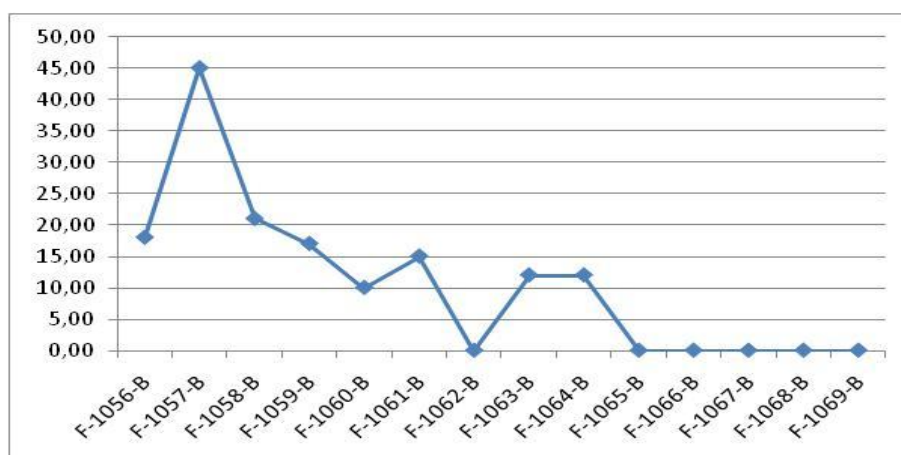


Figura 57: Gráfica de la evolución con la distancia del Cu.

Cr:

Mantiene una tendencia descendente teniendo su máxima concentración en el punto F-1057B con 149 ppm y su mínima en el punto F1067 (10 m). (Figura 58)

La media total del suelo es menor que la de la roca, pero comparando los datos con el valor objetivo de la norma holandesa se observa que en todas las muestras se supera el valor objetivo.

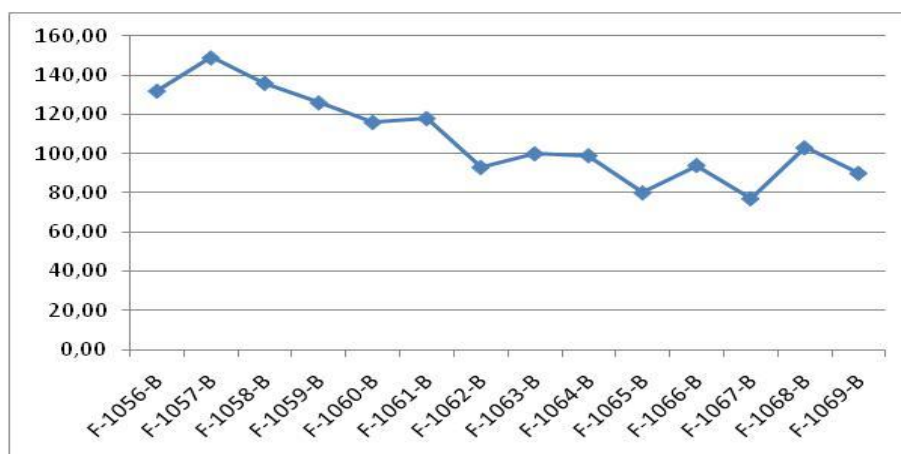


Figura 58: Gráfica de la evolución con la distancia del Cr.

V:

Tiende a disminuir con la distancia y su máximo aparece en el punto F-1061 (2,8 m) con 71 ppm y su mínimo se encuentra en el último punto de muestreo F-1069 (40 m). (Figura 59).

La concentración en todos los puntos es mayor que la media total de la roca, sobre todo en las muestras más cercanas a la carretera.

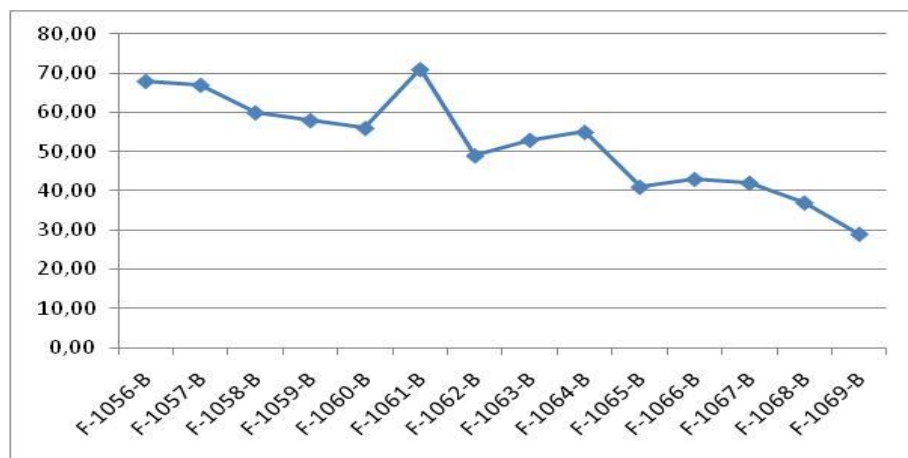


Figura 59: Gráfica de la evolución con la distancia del V.

Mo:

Tiene un comportamiento muy irregular. En el punto F-1061B tiene un mínimo nulo y tres puntos posteriores su concentración aumenta significativamente hasta los 64 ppm en F-1064B y luego vuelve a desaparecer. (Figura 60)

La media total del suelo es menor que la media de la roca.

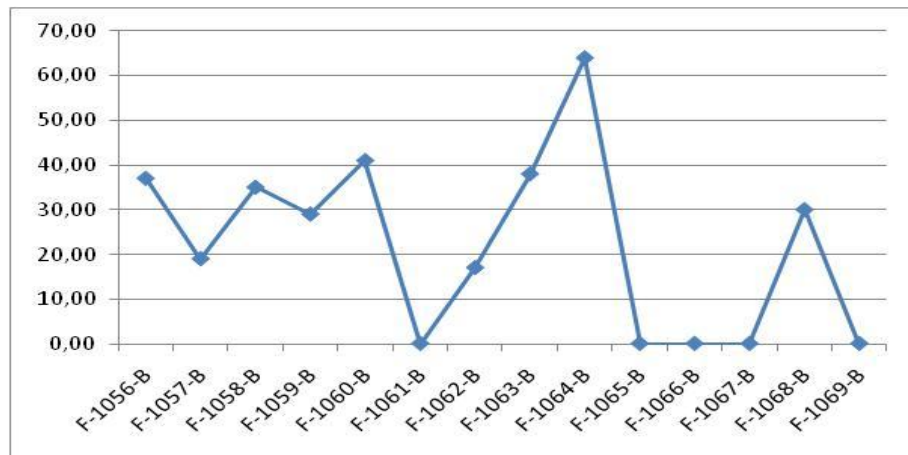


Figura 60: Gráfica de la evolución con la distancia del Mo.

Pb:

Comportamiento descendente en general. El máximo se encuentra en el F-1057B ((0,8 m) con 173 ppm y el mínimo en el último punto F-1069 (40 m) donde es nulo. (Figura 61)

Supera el nivel objetivo de la norma holandesa en la media de la roca.

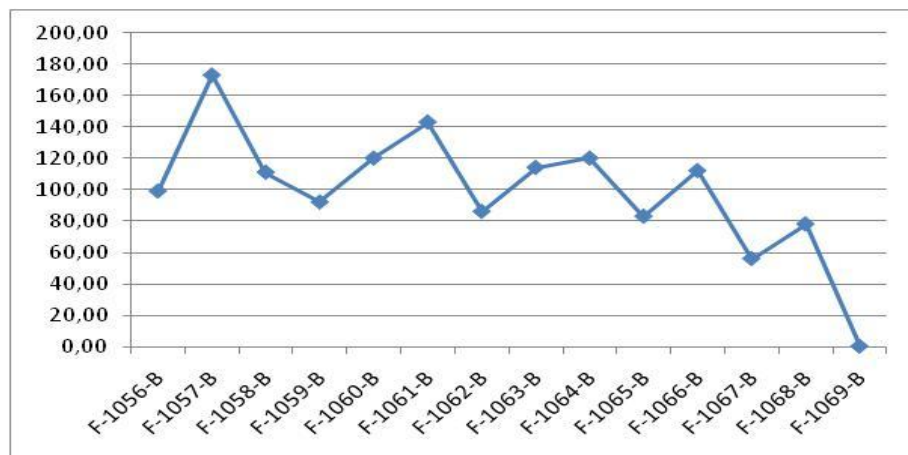


Figura 61: Gráfica de la evolución con la distancia del Pb.

Puntos a tener en cuenta:

- Los elementos traza en este lado de la carretera disminuyen cuanto más nos alejamos de la carretera. Sólo el Ba y Mo no cumplen esta tendencia, siendo la del primero ascendente y muy irregular la del segundo elemento.

-Existe un punto común en todos los elementos, menos en el Mo, donde se produce el máximo de concentración. Este punto es el F-1057B, situado a 0,8 m de la carretera.

-Existen varios elementos que presentan una mayor concentración media en el suelo que en la roca, como es el caso de S, Zn Cu y V. (Figura 62)

-Teniendo en cuenta los valores objetivos de la norma holandesa, nos encontramos una anomalía natural en Ba, Cr, Mo y Pb y una posible contaminación antropogénica en Cu, S y V. (Figura 62).

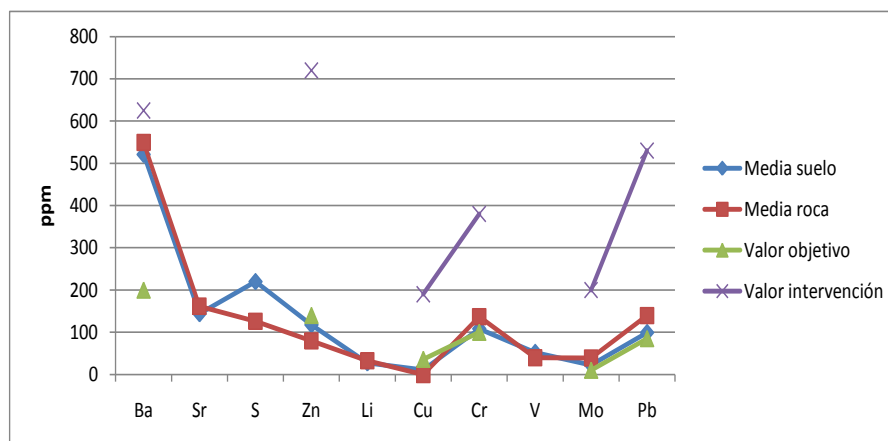


Figura 62: Comparación de medias elementos traza en el perfil izquierdo. Se añaden valores objetivo e intervención en la norma holandesa.

8- DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

De las interpretaciones preliminares de los resultados obtenidos en los análisis (tablas 5, 6, 7, 8 Anexo), podemos hacer una serie de conclusiones finales que a continuación expondremos.

Como se ha citado anteriormente, una de las causas que ha dificultado con mayor grado la interpretación y relación de los datos obtenidos en la secuencia de muestras, ha sido las diferencias topográficas entre los dos perfiles. (Figura 11). Este factor topográfico ha podido influir en las anomalías composicionales puntuales del suelo en los dos perfiles, tanto en los elementos mayores como en los elementos traza, siendo en el lado izquierdo una diferencia más notable.

En cuanto a elementos mayores:

En el perfil del margen derecho de la carretera la concentración de Si es bastante más alta que en el perfil izquierdo, y éste último está más enriquecido en Al, Fe, Mg, Ca, K, Ti y P, así como en el contenido en agua (M.V). Estas diferencias composicionales apuntan a que el suelo del perfil derecho es de carácter más ácido y arenoso, por lo que la movilidad de los elementos será mayor, mientras que el perfil izquierdo es más arcilloso, por lo que los elementos tendrán una menor movilidad y mayor concentración.

También observamos que en el perfil derecho, la cantidad de Si en el suelo disminuye considerablemente con la distancia y elementos como Al, Fe, Ca, Na y K aumentan, lo que indica que el suelo está más desarrollado cuanto más nos alejamos de la carretera. Esta tendencia no es igual en toda la línea

de muestreo derecho, ya que hasta los 1,8 m todos los elementos presentan una disminución de concentración. Esta zona coincide con el mayor cambio de pendiente que se produce en este lado de carretera, por lo que puede ser debido al lavado producido por la escorrentía.

En el lado izquierdo tenemos un comportamiento totalmente contrario, siendo en este caso Si, Na y K los elementos que aumentan con la distancia. El comportamiento común del resto de elementos es un aumento de concentración hasta los 2,8 m y una disminución sistemática hasta el final del muestreo. Parece ser que en los primeros metros hay una mayor cantidad de arcillas en el suelo, posible consecuencia de que sea la zona más baja del perfil izquierdo y la escorrentía producida por las esporádicas pero intensas lluvias producidas en la zona hayan desplazado las partículas arcillosas hasta dicho punto. Esta última zona corresponde a la cuneta, y es donde se ha observado una mayor presencia de vegetación, que podría retener con más facilidad esta fracción de suelo.

El análisis geoquímico de las muestras de roca madre recogidas en la zona de estudio a partir de las cuales se ha desarrollado la formación superficial se puede interpretar de la siguiente manera:

En el perfil derecho, a excepción del Si en los primeros 1,8 m, no existe ningún elemento cuya concentración en las muestras de suelo supere a la media total en roca. Para elementos como el Ca, Na, K y Al tenemos una concentración en las muestras de suelo muy inferior a las detectadas en roca. Esto indica que las fases minerales esenciales del granito que constituye el sustrato no se han incorporado en gran cantidad a la formación del suelo, o al menos en su capa más superficial.

Por otro lado, en el lado izquierdo son varios los elementos que se presentan en una concentración más alta en el suelo que en la roca. De una forma poco notable se encontrarían los elementos Mn, Mg, Ti y P, y en un grado mayor el Fe, que en los 2,8 m iniciales es donde mayor presencia tiene. Esto es debido a la causa citada anteriormente donde predominan más las arcillas en esta zona de muestreo, retenidas por la vegetación, pero también la concentración de Fe ha podido ser alterada por la proximidad de un elemento metálico y su avanzado estado de oxidación. Igual que ocurría en el perfil derecho, se encuentran elementos químicos en una concentración en las muestras de suelo notablemente menor que en la roca. Estos elementos son Ca, Na y K. Esto es debido, de nuevo, a que en el sustrato granítico inicial no se ha producido una disgregación total de los feldespatos en la formación del suelo, quedando retenidos en mayor proporción en dicho sustrato.

En el estudio de los diferentes elementos traza en ambos perfiles se han encontrado diferentes anomalías que a continuación se intentarán explicar.

Existe un indicio de anomalía común para los dos perfiles en los elementos Cu, S y Zn.

- Para el primer elemento citado, el punto más anómalo que se ha encontrado en nuestro perfil derecho ha sido el punto F-1056 (0,3m), posible consecuencia de un contacto prolongado del suelo con algún contaminante de origen antropogénico. Para concretar si esta anomalía se produce de forma puntual, como puede ser por contacto de un componente mecánico o estructural de algún vehículo, o de

forma prolongada ya sea por el propio paso de tráfico con los años o por contacto con la pintura del firme de la carretera, se deberían realizar análisis de muestras a lo largo de la carretera a la misma distancia, y estudiar su evolución.

En el perfil izquierdo es en los 4 m más cercanos a la carretera donde se produce este importante incremento.

- En el caso del S existen concentraciones realmente anómalas en los dos perfiles, llegando a ser de hasta cuatro veces más altas que las concentraciones obtenidas en la roca madre en el perfil derecho. Esta anomalía es bastante notable como para ser causada por el tráfico u otro elemento relacionado con la carretera. Puede deberse al uso de abonos o fertilizantes para el tratamiento de los suelos adyacentes a la carretera, ya que en el trabajo de campo se observó que el lado derecho podría estar siendo utilizado para pastoreo.

No se dispone de datos en la norma holandesa para el S, así como en otras normas, debido a que el S no es un metal como hemos citado anteriormente, pero es un elemento que puede ser tóxico si entra en la cadena trófica en concentraciones elevadas.

A raíz de estos resultados, que consideramos que tienen gran importancia en el tema de contaminación de

formaciones superficiales, proponemos realizar estudios más detallados para determinar en qué grado estaría dicho elemento en el suelo de la zona, así como también realizar un seguimiento sistemático para ver su evolución.

- En el caso del Zn, presenta una concentración mayor que la roca madre en todo el muestreo siendo más evidente en el perfil izquierdo y en los metros más cercanos a la carretera. En este caso, sí podemos decir que puede ser consecuencia por la acumulación de este elemento proveniente de la expulsión de humos de vehículos, y que se ha favorecido dicha acumulación por la acción preferente de los vientos desde el W y la forma de pendiente que tiene el terreno en dicho margen.

Además de estos elementos comunes para los dos perfiles, el V en el lado izquierdo presenta también una concentración anómala, superior a la roca madre en todas las muestras a lo largo del perfil y más predominante en los primeros metros, posible consecuencia de la aportación externa de este elemento proveniente de las partículas expulsadas por los vehículos y su posterior transporte por los vientos predominantes W-E y acumulación en este lado de la carretera.

Teniendo en cuenta la normativa holandesa y comparando nuestros resultados, apreciamos que existe una anomalía en varios elementos como son

el Ba, Cr, Mo y Pb, donde la mayoría de muestras de suelo de dichos elementos superan el nivel objetivo, pero en ningún caso superan el valor de intervención. Esto quiere decir que estos suelos puede que no sean aceptables para algún tipo de actividad, como puede ser la implantación de zona de cultivo, donde estos elementos podrían llegar a la cadena trófica.

Para comprobar si ésta anomalía se debe a un efecto antrópico o si está relacionada con el sustrato granítico, se han comparado las muestras A y B con dos muestras de granito estándar (G1 y G2, Govindaraju K. (1994)) y se ha comprobado que efectivamente el granito de la zona de trabajo posee una elevada concentración en dichos elementos. Por tanto, podemos concluir que las anomalías en la formación superficial no tienen porqué proceder de un aporte externo antropogénico, sino que pueden derivarse de la desintegración del propio sustrato dando origen al suelo.

Se puede concluir que la geoquímica del suelo desarrollado en la zona ha podido ser afectada por la acción antropogénica en determinados elementos como Cu, S, Zn ó V, pero que en ningún caso de forma notable como para llevar a cabo medidas de recuperación de suelo si éste no va a ser usado para un uso concreto. Es evidente que en ningún caso podría utilizarse como zona de cultivo las zonas más próximas a la carretera y esto debe ser considerado en otras áreas, donde se ha visto que esto es una práctica común.

Se propone la realización de un seguimiento periódico de la zona de estudio para estudiar la evolución geoquímica del suelo después de que la carretera ha dejado de ser utilizada de manera preferente, y comprobar si se produce una disminución de manera natural con el paso del tiempo con respecto a los elementos que presentan anomalías.

9- BIBLIOGRAFÍA

Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). (2007). Reseñas Toxicológicas. Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos. Servicio de Salud Pública.

Alarcón- Corredor, O. (2009): Los elementos traza. Universidad de los Andes. Merida, Venezuela.

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

Anderssen, B, Dicksson, W., Eriksson, E., Henriksen, H., Kamari. J., Nilsson, J., (1986): Critical loads for sulphur and nitrogen. 232 páginas. Nordic Council or Ministers.

Baize, D. & Sterckeman, T., 2001: Trace elements in soils and plants. 419 páginas.

Bernal, M. N. (2002): Influencia antropogénica en la existencia de anomalías geoquímicas de formaciones superficiales. Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias.

Bernal, M. N., Pereira, D., & Peinado, M. (2003): Influencia antropogénica en la existencia de anomalías geoquímicas de formaciones superficiales. *Studia Geológica Salmantica*, Vol. 39, pp. 37-54.

Coca Cebollero, P. y Rosique Jiménez, J. (2000): *Ciencia de Materiales. Teoría - ensayos- tratamientos*. Ediciones Pirámide.

Devlin, T. M. (2004): *Bioquímica*, 4ª edición. Reverté, Barcelona. 534 páginas.

Díez Balda, M. A. (1982): *Complejo esquistó- grauváquico. Las series paleozoicas y la estructura hercínica al sur de Salamanca*. Tesis doctoral. Universidad de Salamanca.

ECOGEST (1995): *Valores objetivo y de intervención para suelo y agua subterránea según la actual normativa holandesa*.

Espinosa Gómez, Cristina (2011): *Geoquímica de un suelo desarrollado en los alrededores de una actividad minera: el caso de Barruecopardo*. Proyecto Fin de carrera. Universidad de Salamanca. Facultad de Ciencias.

Finney, Brian (1987): *Soil erosion and conservation*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. pp 228-230.

García Moreno, L. (2003): La agricultura multifuncional: Medioambiente, territorio. Tomo 5. Instituto de cuestiones agrarias y medioambientales, pp 203-205.

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, I., & Dorronsoro, C. (2002): Contaminación del suelo: Degradación del suelo. Tema 10. Universidad de Granada, Edafología. www.ugr.es.

García-Moreno Rodríguez, F. (2003): Problemática Jurídica actual de los suelos contaminados en la Comunidad Autónoma de Castilla y León.

Gish, D., Christensen, R. E. (1973): Cadmium, Nickel, Lead and Zinc in Earthworms from Roadside Soil. Environ. Sci. Technol., Vol 7, nº 11, pp. 1060-1062.

González, F. M., Pereira, M. D., Goy, J. L., 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 Márquez Moreno. Ed. Universidad de Salamanca.

Govindaraju, K. (1994): Geostandard Newsletter Vol. XVIII, Special Issue.

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

Macías Vázquez, F. (2002): Cargas críticas de contaminantes: un criterio de evaluación de la sensibilidad de la naturaleza para la ordenación de las actividades humanas. Resúmenes del congreso: Avances en Calidad Ambiental. Pp. 19-49.

Macías, F. (1993): Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas. Problemática geoambiental y desarrollo, pp 53-74.

Mapa geológico de España (1996): Escala 1: 50.000, nº 553 (Béjar). ITGE. Madrid.

Martínez Cortizas, A. (1997): Archive of Climatic Change and Atmospheric Metal Deposition. pp 172-175.

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.

Nilsson, J., Grennfelt, P. (1988): Critical loads for sulphur and nitrogen. Report from a workshop at Skokloster, Sweden. Pp. 418.

Peris Mendoza, M (2005): Estudio de metales pesados en suelos de la provincia de Castellón. Tesis Doctoral. Centro de investigaciones sobre desertificación. Universitat de València.

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.

Sanchón de la Nava, L., (2008): Geoquímica de un suelo desarrollado sobre areniscas del Terciario: un caso extremo en las proximidades de un vertedero. Tesis de Licenciatura. Universidad de Salamanca, Facultad de Ciencias.

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

Seoánez Calvo, M. (2000): Residuos: Problemática, Descripción, Manejo, Aprovechamiento y destrucción. Manual para políticos, técnicos, enseñantes y estudiosos de la Ingeniería del Medio Ambiente. Ediciones Mundi- Prensa. Madrid.

Ugidos, J.M. (1974): Características petrográficas y químicas de los granito al N y NE de Béjar (Salamanca): aspectos petrogenéticos. Separata de Studio Geológica. VII, pp. 7-12.

Underwood, E.J. (1977): Trace Elements in Human and Animal Nutrition, 3rd ed., Academic Press, New York, N.Y. pp. 1-25.

10.-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

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)

Elemento traza	Valor objetivo	Valor de 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 4: Valores para el suelo (mg/kg. Mat. Seca), según la normativa holandesa. (Ecogest, 1995).

MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	M.V.
A	69,03	14,87	3,52	0,05	1,12	2,13	3,17	4,68	0,67	0,19	1,20
B	67,47	15,67	3,64	0,05	1,17	2,44	3,51	4,39	0,68	0,22	0,92
F-1056	71,55	13,37	3,33	0,05	1,02	1,41	2,24	3,72	0,67	0,22	3,07
F-1057	71,85	13,07	3,19	0,05	0,94	1,20	2,04	3,64	0,65	0,19	3,44
F-1058	72,91	12,47	2,65	0,04	0,84	1,10	2,22	4,03	0,38	0,18	3,45
F-1059	75,30	11,40	2,13	0,03	0,63	1,12	2,09	3,65	0,38	0,16	3,27
F-1060	67,81	12,75	3,24	0,04	1,00	1,40	2,23	3,42	0,54	0,19	7,50
F-1061	66,23	13,35	3,44	0,04	1,03	1,48	2,37	3,54	0,56	0,20	7,68
F-1062	67,63	13,09	3,05	0,04	0,94	1,46	2,38	3,59	0,53	0,22	6,35
F-1063	66,05	13,67	3,05	0,04	1,03	1,63	2,52	3,78	0,58	0,21	7,90
F-1064	66,39	13,98	3,18	0,04	1,06	1,66	2,55	3,71	0,61	0,20	7,25
F-1065	64,39	14,35	3,28	0,04	1,03	1,65	2,59	3,91	0,59	0,19	8,12
F-1066	66,80	14,19	3,28	0,04	1,09	1,79	2,63	4,01	0,57	0,22	6,41
F-1067	63,54	13,88	3,16	0,10	1,01	1,57	2,51	4,00	0,61	0,19	9,06
F-1068	63,46	14,05	3,24	0,06	1,03	1,54	2,60	3,92	0,62	0,22	8,55
F-1069	65,11	14,57	3,26	0,04	1,05	1,53	2,60	4,12	0,58	0,19	7,12
MEDIA ROCA	68,25	15,27	3,58	0,05	1,15	2,29	3,34	4,54	0,68	0,21	1,06
MEDIA SUELO	67,79	13,44	3,11	0,05	0,98	1,47	2,40	3,78	0,56	0,20	6,37

Tabla 5: Elementos mayores: % de óxidos en la roca. Análisis mediante ICP-OES. Muestras formaciones superficiales Béjar, lado derecho de la carretera.

MUESTRA	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	M.V.
A	69,03	14,87	3,52	0,05	1,12	2,13	3,17	4,68	0,67	0,19	1,20
B	67,47	15,67	3,64	0,05	1,17	2,44	3,51	4,39	0,68	0,22	0,92
F-1056-B	64,30	14,74	4,46	0,06	1,25	1,09	1,66	3,44	0,89	0,25	7,17
F-1057-B	60,15	14,63	4,73	0,07	1,48	2,21	1,95	3,64	0,73	0,27	9,20
F-1058-B	64,81	14,30	4,27	0,06	1,29	1,63	2,03	3,55	0,71	0,24	6,84
F-1059-B	64,08	15,30	4,53	0,07	1,41	1,55	2,23	3,73	0,86	0,26	6,04
F-1060-B	62,56	15,63	4,65	0,07	1,47	1,54	2,20	3,62	0,89	0,28	6,94
F-1061-B	55,45	16,62	5,65	0,09	1,80	1,71	2,13	3,63	1,04	0,31	11,07
F-1062-B	58,48	15,73	4,18	0,08	1,48	1,65	2,19	3,19	0,79	0,26	11,04
F-1063-B	58,61	15,97	4,58	0,07	1,42	1,65	2,36	3,98	0,79	0,28	10,93
F-1064-B	61,10	14,89	4,09	0,06	1,29	1,69	2,41	3,97	0,64	0,23	10,30
F-1065-B	60,94	15,26	4,05	0,06	1,28	1,58	2,48	4,12	0,71	0,21	8,55
F-1066-B	63,05	13,58	3,74	0,06	1,18	1,37	2,51	4,21	0,73	0,21	8,41
F-1067-B	64,20	14,82	3,53	0,05	1,14	1,51	2,56	4,21	0,55	0,20	8,10
F-1068-B	66,71	14,56	3,41	0,05	1,07	1,39	2,43	4,39	0,55	0,18	5,95
F-1069-B	68,58	13,69	3,43	0,05	1,12	1,22	2,42	4,51	0,58	0,20	4,98
MEDIA ROCA	68,25	15,27	3,58	0,05	1,15	2,29	3,34	4,54	0,68	0,21	1,06
MEDIA SUELO	62,36	14,98	4,28	0,06	1,33	1,56	2,25	3,92	0,75	0,24	8,24

Tabla 6: Elementos mayores: % de óxidos en la roca. Análisis mediante ICP-OES. Muestras formaciones superficiales Béjar, lado izquierdo de la carretera.

MUESTRA	Ba	Sr	S	Zn	Li	Cu	Cr	V	Mo	Pb
A	553	155	126	81	27	0	128	40	43	132
B	546	168	0	78	38	0	146	39	35	147
	Ba	Sr	S	Zn	Li	Cu	Cr	V	Mo	Pb
F-1056	531	149	110	81	22	177	102	41	21	148
F-1057	506	128	259	94	23	10	130	40	18	126
F-1058	583	126	198	98	0	0	110	39	32	173
F-1059	532	123	278	89	0	0	174	23	30	89
F-1060	487	119	463	106	27	0	170	31	27	133
F-1061	518	133	608	87	30	19	143	41	17	126
F-1062	484	118	414	69	0	0	106	38	48	119
F-1063	518	135	520	118	0	10	138	39	49	0
F-1064	534	142	377	93	0	0	136	39	35	130
F-1065	580	149	463	99	21	0	115	39	0	91
F-1066	584	143	195	63	0	0	93	39	41	87
F-1067	588	143	434	89	0	0	154	48	29	130
F-1068	599	144	382	83	0	0	132	42	36	118
F-1069	604	139	247	73	0	16	101	39	33	117
MEDIA ROCA	549,50	161,50	126,00	79,50	32,50	0,00	137,00	39,50	39,00	139,50
MEDIA SUELO	546,29	135,07	353,43	88,71	8,79	16,57	128,86	38,43	29,71	113,36

Tabla 7: Elementos traza, ppm en roca. Análisis mediante ICP-MS. Muestras formaciones superficiales Béjar lado derecho de la carretera.

MUESTRA	Ba	Sr	S	Zn	Li	Cu	Cr	V	Mo	Pb
A	553	155	126	81	27	0	128	40	43	132
B	546	168	0	78	38	0	146	39	35	147
F-1056-B	485	124	246	135	48	18	132	68	37	99
F-1057-B	554	239	491	188	57	45	149	67	19	173
F-1058-B	504	169	303	140	26	21	136	60	35	111
F-1059-B	536	139	293	99	37	17	126	58	29	92
F-1060-B	508	128	0	100	38	10	116	56	41	120
F-1061-B	465	133	265	137	58	15	118	71	0	143
F-1062-B	485	136	258	118	34	0	93	49	17	86
F-1063-B	498	140	285	104	34	12	100	53	38	114
F-1064-B	539	150	172	113	0	12	99	55	64	120
F-1065-B	485	134	266	105	24	0	80	41	0	83
F-1066-B	521	128	159	89	27	0	94	43	0	112
F-1067-B	573	138	150	117	0	0	77	42	0	56
F-1068-B	595	135	187	77	0	0	103	37	30	78
F-1069-B	542	118	0	121	0	0	90	29	0	0
MEDIA ROCA	549,50	161,50	126,00	79,50	32,50	0,00	137,00	39,50	39,00	139,50
MEDIA SUELO	520,71	143,64	219,64	117,36	27,36	10,71	108,07	52,07	22,14	99,07

Tabla 8: Elementos traza, ppm en roca. Análisis mediante ICP-MS. Muestras formaciones superficiales Béjar lado izquierdo de la carretera.

