



**Universidad**  
Zaragoza

## TRABAJO FIN DE GRADO

*DISPERSIÓN DE METALES PESADOS  
EN LOS SUELOS DEL TÉRMINO  
MUNICIPAL DE ZARAGOZA*  
*Dispersion of heavy metals in soils of  
municipal area of Zaragoza*

Autora

**Tamara Angoy Lasierra**

Director

Juan Mandado Collado

Facultad de ciencias

2018/2019

# ÍNDICE

|  |    |
|--|----|
| <b>Abstract</b> .....                                  | 2  |
| <b>Resumen</b> .....                                   | 3  |
| <b>1. PLANTEAMIENTO</b> .....                          | 4  |
| <b>2. OBJETIVOS</b> .....                              | 5  |
| <b>3. METODOLOGÍA</b> .....                            | 6  |
| <b>3.1. FASE BIBLIOGRÁFICA</b> .....                   | 6  |
| <b>3.2. RECOGIDA Y PROCESADO DE LAS MUESTRAS</b> ..... | 6  |
| <b>3.3. ANÁLISIS DE MUESTRAS</b> .....                 | 8  |
| <b>3.4. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....     | 8  |
| <b>4. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO</b> .....        | 8  |
| <b>5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....         | 11 |
| <b>5.1. MAPAS DE ISOCONTENIDO</b> .....                | 12 |
| <b>6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b> .....            | 21 |
| <b>7. CONCLUSIONES</b> .....                           | 23 |
| <b>8. AGRADECIMIENTOS</b> .....                        | 24 |
| <b>9. BIBLIOGRAFÍA</b> .....                           | 24 |

## ANEXOS

|   |      |
|---|------|
| <b>Anexo 1: Resultados analíticos</b> .....                 | xxvi |
| <b>Anexo 2: Descriptiva detallada de las muestras</b> ..... | xxx  |
| <b>Anexo 3: Comprobación duplicados</b> .....               | xxxv |

## Abstract

Since the 1980s there have been environmental regulations in place that ensure good industrial practice. However, in previous years factories have poured the waste products (such as heavy metals) from their activities into their surroundings, which was the case in the city of Zaragoza.

The growth of the city meant that the industries located above the city centre moved towards the periphery leaving a substrate potentially contaminated with heavy metals, such as arsenic, cadmium, cobalt, chromium, copper, mercury, molybdenum, lead and zinc, whose risk to health and the environment is widely known.

This paper provides information on relevant aspects such as; the concentration of heavy metals in the soils of the city, the factors that may have influenced their dispersion and also the causes of their origin.

To this end, a sampling plan has been designed to guarantee the representativeness, homogeneity and reliability of the samples. Samples are taken with an auger, once taken they are placed in plastic bags and a detailed description of their characteristics is made.

The 76 samples have been analyzed by the method of atomic emission spectrometry in plasma ICP, for it, previously they have been sieved with the objective of selecting the fraction smaller than 100  $\mu\text{m}$ . The analytical results are collected in tables, with these results isocontentide maps are made of those elements that were in concentrations higher than the minimum detectable concentration.

Zaragoza has the following concentration in heavy metals: lead between 100 ppm and 1084 ppm, a minimum zinc concentration of 32 ppm and a maximum of 886 ppm, a minimum of 7 ppm and a maximum of 16 ppm in cobalt, a concentration in chrome that varies from 50 ppm to 84 ppm and a concentration in copper between 26 ppm and 135 ppm.

The points of maximum concentration are in areas that historically housed important industrial activity, in the same way, points also appear in high concentrations in areas currently industrialized and near or on the main roads of the city. Therefore, it is evident that the contamination in the municipal area of Zaragoza is due to anthropogenic causes and there is no evidence that the contamination is natural.

The information collected in this report could be complemented in future investigations by carrying out analytical determinations with an analytical methodology that allows the concentration of metals to be detected with greater precision, by carrying out more intensive sampling in potentially contaminated areas. It would be of interest to know the temporal variability of the samples or by specifying the contamination processes using, for example, isotopes as process tracers and analysis speciation.

## Resumen

Desde la década de los 80 existe una normativa medioambiental que asegura una buena práctica industrial, pero, las fábricas en los años anteriores vertían en su entorno los productos residuales fruto de su actividad, tal y como ocurría en la ciudad de Zaragoza.

El crecimiento de Zaragoza supuso que las industrias situadas en las inmediaciones del centro de la ciudad se desplazasen hacia zonas más periféricas dejando un sustrato potencialmente contaminado en metales pesados, por ejemplo, arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, mercurio, molibdeno, plomo y zinc, cuyo riesgo para la salud y el medioambiente es ampliamente conocido.

Este informe aporta información sobre aspectos relevantes como la concentración de metales pesados en los suelos de la ciudad, los factores que han podido influir en su dispersión o las causas de su origen.

Para ello, se ha diseñado un plan de muestreo que garantice la representatividad, homogeneidad y fiabilidad de las muestras. La toma de muestras se realiza con un auger, una vez tomadas se depositan en bolsas de plástico previamente sigladas y se realiza una descripción detallada de sus características.

Las 76 muestras se han analizado por el método de espectrometría de emisión atómica en plasma ICP, para ello, previamente han sido tamizadas con el objetivo de seleccionar la fracción menor a 100  $\mu\text{m}$  (que es la fracción más enriquecida en metales pesados). A partir de los análisis efectuados se realizan tablas, con dichos resultados se realizan mapas de isocontenido de aquellos elementos que se encontraban en concentraciones superiores al mínimo de concentración detectable.

Zaragoza alberga la siguiente concentración en metales pesados: en plomo entre 100 ppm y 1084 ppm, una concentración en zinc mínima de 32 ppm y máxima de 886 ppm, un mínimo de 7 ppm y máximo de 16 ppm en cobalto, una concentración en cromo que varía de 50 ppm a 84 ppm y una concentración en cobre entre 26 ppm y 135 ppm.

La localización de los puntos de máxima concentración se encuentra en aquellas áreas que históricamente albergaban actividad industrial importante, de la misma manera, también aparecen concentraciones elevadas en áreas actualmente industrializadas y cerca o sobre las vías principales de la ciudad, esto ha puesto en evidencia que la contaminación en el término municipal de Zaragoza es debido a causas antropogénicas, no existe ninguna evidencia de que la contaminación sea natural.

La información recogida en este informe podría complementarse en investigaciones futuras realizando determinaciones analíticas con una metodología analítica que permita detectar la concentración de los metales con mayor precisión, realizando un muestreo más intensivo en aquellas zonas potencialmente contaminadas, además, sería de interés conocer la variabilidad temporal de las muestras o concretando los procesos de contaminación utilizando, por ejemplo, isótopos como trazadores de dichos procesos y análisis de especiación.

## 1. PLANTEAMIENTO

A principios del siglo pasado la actividad industrial (con importantes fábricas en la industria del metal) en la ciudad de Zaragoza estaba en auge. Esas actividades industriales han dejado una impronta negativa en su suelo, vegetación, atmósfera, hidrosfera y biosfera.



Figura 1. Ortoimagen de Zaragoza. Se delimita en rojo la extensión aproximada de la ciudad en 1957. Imagen tomada de Lamelas (2009).

Hace más de un siglo Zaragoza tenía una extensión más restringida, se situaba en la margen derecha del Ebro (figura 1). El desarrollo industrial implicó un crecimiento exponencial de la población y, por consiguiente, de la ocupación del terreno. La ciudad creció en todas las direcciones quedando la margen izquierda del Ebro como lugar preferente para la instalación de la actividad industrial y la margen derecha fue transformada en área residencial. Esto se traduce en que las industrias situadas sobre el antiguo casco urbano se han ido desplazando hacia zonas más periféricas dejando un suelo

potencialmente contaminado (al no haber normativa medioambiental hasta la década de los 80) sobre el que se construyeron edificaciones habitables.

Algunas industrias emblemáticas de Zaragoza fueron la Fundición Averly, Laguna de Rins. S.A., Carde y Escoriaza, Industrial Química de Zaragoza. S.A. y la Tudor.

Los metales pesados, producto residual de la práctica industrial, son una fuente de contaminación muy importante. Algunos de estos metales son plomo (Pb), zinc (Zn), cobre (Cu), cobalto (Co), cromo (Cr), molibdeno (Mo), arsénico (As), mercurio (Hg) o cadmio (Cd). El intento de ver de qué forma ha podido influir en el suelo urbano las antiguas actividades industriales ubicadas previamente en terrenos ahora urbanos y la incidencia del plomo tetraetilo de las gasolinas en las inmediaciones de las principales vías de circulación es el punto de partida de este trabajo, especialmente focalizado en localizar la huella geoquímica que pudieron dejar fábricas como la Tudor e Industrial Química de Zaragoza en los terrenos hoy día urbanos y la importancia de la contaminación producida por el tráfico en las arterias de la ciudad.

Factores químicos como pH juegan un papel importante en la disponibilidad, solubilidad y dispersión de los metales pesados: cuanto mayor es la acidez del entorno mayor será su movilidad. Puesto que el pH del suelo de la ciudad de Zaragoza, en rasgos generales, es básico se considera que los metales fruto de la contaminación presentan baja movilidad y por consiguiente, han quedado acumulados en

su totalidad en el horizonte A del suelo (Castro, 2005). Algunos de los factores que condicionan la concentración de metales pesados, según Smith (1976), son el volumen de tráfico, la dirección del viento (la distribución de los metales será a favor de la dirección del viento), la estación del año y la hora del día (produciéndose una mayor concentración al final de la madrugada y al final de la tarde).

La importancia de un estudio de estas características se fundamenta en el hecho de que la toxicidad de los metales pesados es indudable, a pesar de que muchos de estos elementos son esenciales para la vida, ya que al sobrepasar un umbral pueden presentar efectos nocivos para la salud, pudiendo causar, si la ingesta es elevada la muerte, (Tong *et al.*, 2000). Según Riera *et al.* (2012) el plomo es una sustancia tóxica que se acumula en los organismos (sobre todo en aquellas personas de corta edad) dañando a diversos órganos tales como el cerebro, el hígado, los riñones, huesos y dientes, en estos dos últimos se va acumulando con el paso del tiempo; así mismo, una exposición elevada de cadmio puede suponer problemas como anemia, osteoporosis o trastornos nerviosos; el arsénico es

*Tabla 1. Tabla resumen de los umbrales de contaminación para suelos agrícolas en la comunidad autónoma de Andalucía. Se representan en ppm los valores máximos permitidos según Galán y Romero (2008).*

| ELEMENTO | VALORES MÁXIMOS PERMITIDOS |        |
|----------|----------------------------|--------|
|          | pH < 7                     | pH > 7 |
| As       | >20                        |        |
| Cd       | >2                         | >3     |
| Co       | >20                        | >50    |
| Cr       | >100                       |        |
| Cu       | >50                        | >100   |
| Hg       | >1                         |        |
| Mo       | >10                        |        |
| Pb       | >100                       | >200   |
| Zn       | >200                       | >300   |

susceptible de causar lesiones en la piel y lesiones vasculares en sistema nervioso e hígado; el cobre en exceso produce entre otras enfermedades necrosis hepática; el mercurio es dañino para el organismo pues su inhalación supone enfermedades como bronquitis y neumonía aguda (Londoño-Franco *et al.*, 2016).

El umbral de tolerancia de dichos metales pesados en suelos agrícolas (Galán y Romero, 2008) se ilustra en la tabla 1.

Con base en lo anteriormente descrito resulta necesario un estudio detallado de la concentración de metales pesados, así como su origen y dispersión en los suelos (horizonte A) del término municipal de Zaragoza.

## 2. OBJETIVOS

Los objetivos de este informe son los siguientes:

- Determinar la concentración de metales pesados en los suelos del T.M. de Zaragoza.
- Evaluar cómo ha sido su dispersión y qué factores han podido influir en ella.
- Determinar el foco o área fuente de las posibles contaminaciones detectadas.
- Evaluar si la concentración de metales pesados es natural, antropogénica o de origen mixto.
- Evaluar medioambientalmente los resultados.

### 3. METODOLOGÍA

#### 3.1. FASE BIBLIOGRÁFICA

Con el objetivo de conocer el área de estudio se ha realizado un estudio bibliográfico de sus características, tanto geológicas como geográficas.

En segundo lugar, la búsqueda bibliográfica se ha centrado en la metodología de muestreo en trabajos de caracterización geoquímica medioambiental de suelos, con especial énfasis en suelos urbanos, realizando una recopilación de las características que se deben cumplir para garantizar la representatividad, homogeneidad y fiabilidad de las muestras que se prevé tomar.

Después de realizar un análisis de la información se ha optado por seguir las recomendaciones de Johnson (2005) modificadas para ajustarlas a las particularidades de la zona de estudio. Según este autor, en suelos urbanos el muestreo debe realizarse según una malla de muestreo de 500 m. de lado, ubicando las muestras en el centro de la celdilla, recolectando dos muestras en cada una y debiéndose recoger los 20 cm. superficiales del suelo.

Las características de la zona objeto de estudio han condicionado una adaptación a los requisitos de muestreo propuestos por Johnson (2005):

- En primer lugar, debido a las elevadas dimensiones de la zona de estudio (7500 m. de extensión lateral x 6000 m. de extensión vertical) se ha optado por aumentar el tamaño de las celdillas a 600 m. x 600 m. con el fin de que el número de muestras no fuese desmesurado.
- El número de muestras por celdilla ha sido función de la presencia o ausencia de importante actividad industrial histórica en la zona, de esta manera en el extremo superior oeste del área de estudio (lugar donde se localiza La Almozara) se realizó un muestreo más intensivo.
- Las muestras se han tomado en la medida de lo posible en el centro de las celdillas. En el caso de la inexistencia de suelo vegetal en la zona central se tomaron en el punto más próximo posible (alcorques de árboles, parterres...).
- En las ubicaciones donde exista suelo vegetal extenso se tomaron dos submuestras; sin embargo, en aquellas celdillas que no albergaron suelo vegetal y se tuvo que recurrir a muestrear parterres y alcorques se tomaron de tres a cuatro submuestras en un radio de 10 a 20 metros.
- En todos los casos las muestras se recogen en los 20 cm. superficiales del suelo.

#### 3.2. RECOGIDA Y PROCESADO DE LAS MUESTRAS

La toma de muestras se realiza con un auger (figura 2), una vez tomada la muestra se deposita en una bolsa de plástico previamente siglada y se realiza una descripción detallada de sus características. La descripción se efectúa en fichas de trabajo (tabla 2), en ellas se recolecta el nombre de la muestra, la localización GPS, la localización de datos de superficie (calle, plaza...), el número de referencia de fotografías (en el caso de que se hayan realizado), una descripción de las características de la muestra



y otras observaciones de interés (presencia de vegetación, tipo de muestra...). Los utensilios utilizados para la extracción de la muestra de suelo se limpian para evitar contaminaciones de muestras futuras.



Figura 2. Materiales utilizados en la toma de muestras. Se observa el auger y la bolsa que alberga la muestra.

Con la mayor brevedad posible las muestras son desecadas. Para desecarlas se introducen en recipientes de vidrio Pyrex, previamente lavados, desionizados y secados y se mantienen en la estufa desecadora Selecta del laboratorio de Geoquímica “Juan Tena” durante dos días a una temperatura de 50°C.

Posteriormente, se realiza un tamizado con el objetivo de seleccionar la fracción menor a 100 µm., ya que los metales pesados, en su mayoría, se acumulan en la superficie activa de partículas coloidales. Se utilizó una pila de tamices de malla decreciente hasta el tamaño final de 100 micras. Al final de cada tamizado se limpian las herramientas utilizadas para evitar mezcla de materiales y contaminaciones cruzadas.

Tabla 2. Ficha de trabajo utilizada para describir las muestras. Se representan el nombre de la muestra, la localización en coordenadas UTM según el datum ETRS89 (huso 30), la localización con información de superficie, una descripción de las características de la muestra y otras observaciones de interés de la muestra C1.

| <b>FICHA DESCRIPTIVA MUESTRAS</b>                                    |   | nº cuadrícula:<br><b>C1</b> |
|--|---|-----------------------------|
| Número/Nombre: <b>C1</b>   | Referencia foto: 922 y 923  |                             |
| Localización GPS   | Longitud: 674480.27   | Latitud: 4614456.7          |
| Localización datos superficie (calle, plaza...):                     | Jardín en plazateta enfrente de casa. calle Amsterdam, 4.<br>Muestra tomada a 30m del portal. |                             |
| Descripción características muestra:                                 | Otras observaciones:  |                             |
| Suelo azuleso, de color ocre, con cantos dispersos y subredondeados. | Muestra tomada en zona ajardinada con chopos y pinos.<br><br>Posible relleno superficial.     |                             |



### 3.3. ANÁLISIS DE MUESTRAS

El análisis de las muestras lo ha realizado el Servicio de análisis químico (Servicio General de Apoyo a la Investigación – SAI) de la universidad de Zaragoza por el método de espectrometría de emisión atómica en plasma ICP, realizando previamente una digestión ácida asistida por microondas, en HNO<sub>3</sub> 1N (ya que es un ataque lo suficientemente intenso como para solubilizar los metales objeto de estudio que se encuentren en fases accesibles a la interacción con el medio ambiente), con una proporción muestra-ácido de 0.3 g/100 ml.

Se ha realizado la determinación de la concentración de mercurio, arsénico, cadmio, cobalto, cromo, cobre, molibdeno, plomo y zinc.

Para garantizar la calidad y fiabilidad de los resultados se han introducido varias muestras duplicadas con referencias distintas. Se ha realizado un duplicado por cada 12 muestras analizadas. Igualmente, desde el Servicio General de Apoyo a la Investigación se han realizado duplicados analíticos durante las determinaciones. Para comprobar su fiabilidad se han realizado diagramas XY en los que se comparan las muestras con sus duplicados.

Los resultados analíticos se recogen en el anexo 1.

### 3.4. REPRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Una vez conocida la fiabilidad de los datos se realizan mapas de isocontenido. Los mapas de isocontenido se han confeccionado mediante el método de las medias móviles, realizando un krigeage de los datos para establecer una malla regular de datos a partir de la nube de puntos de muestreo, con ello se consigue una interpolación de los puntos a través de la aplicación de un algoritmo que evalúa la influencia de los puntos reales en función del cuadrado de la distancia a la que se encuentren.

## 4. CONTEXTO GEOGRÁFICO Y GEOLÓGICO

Geográficamente el área objeto de estudio se encuentra en la parte central de la Depresión del Ebro, representa el Término Municipal de Zaragoza.

Como se ha enunciado anteriormente, el Término Municipal presenta demasiada extensión para un trabajo de este tipo y un estudio detallado en su totalidad supondría un número de muestras desmedido, por este motivo se ha optado por acotar el área de estudio.

La reducción de la zona se ha determinado de la forma más lógica posible teniendo en cuenta que el casco histórico debe estar incluido en ella. Para ello se buscan aquellas zonas que actúen como barreras para la dispersión de los metales.

De esta forma el límite norte de la zona de estudio es coincidente con el curso del río Ebro (barrera natural para la dispersión de los metales pesados), los límites occidental, oriental y sur están marcados

por la Z-30, por sus características de red viaria fundamental de Zaragoza con tráfico intenso además de una barrera artificial es una posible fuente potencial de metales pesados.

La situación geográfica se ilustra en la figura 3.

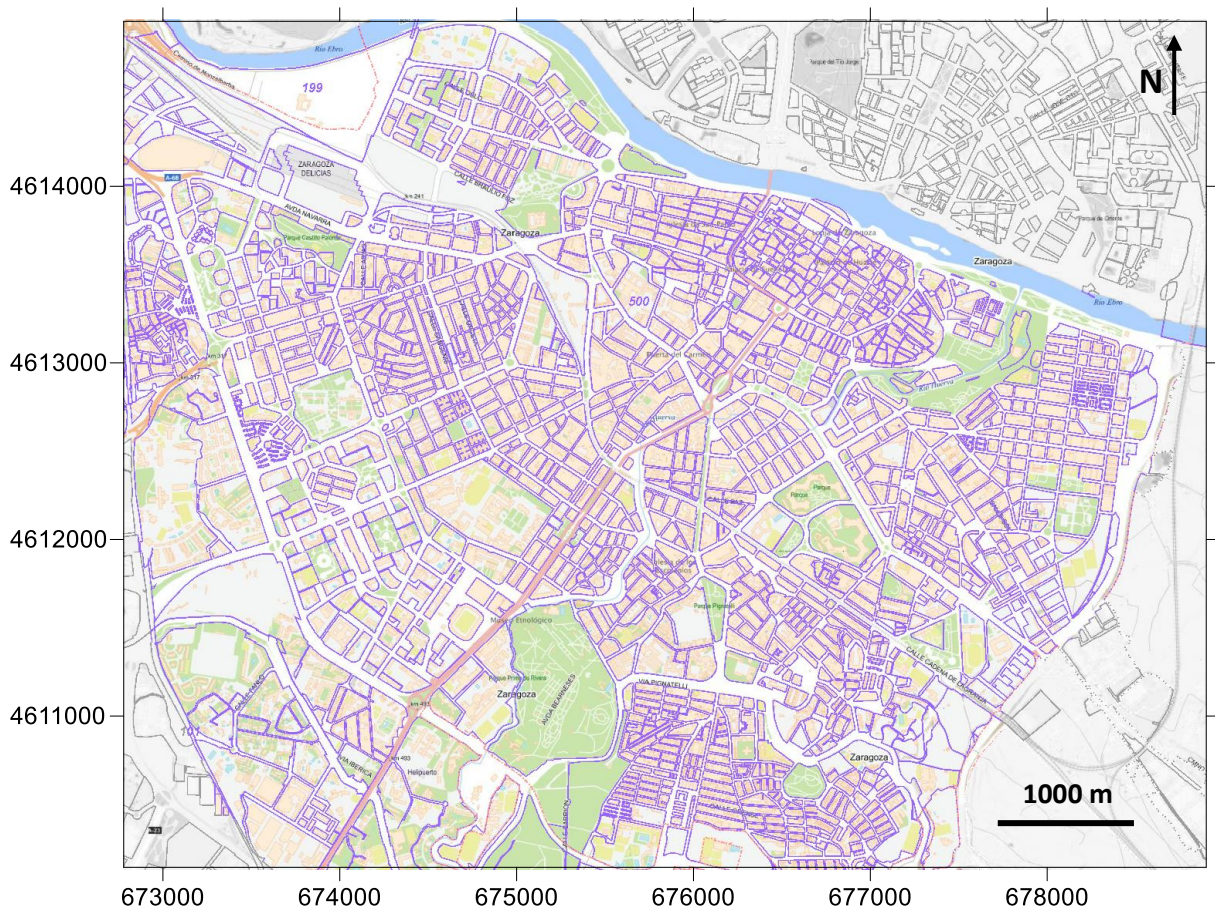


Figura 3. Situación geográfica de la zona de estudiada. Aparece coloreada la zona que interesa. Las coordenadas geográficas referencian al datum ETRS89 (huso 30). Imagen tomada de la sede virtual del catastro.

Geológicamente el entorno de la ciudad está ampliamente estudiado (p.e. Van Zuidam (1976), Mensua e Ibañez (1977), Soriano (1990), entre otros muchos).

En términos generales la geología presente en la ciudad de Zaragoza es simple (figura 4): Zaragoza se encuentra en el centro de la depresión del Ebro, la depresión esta compuesta por un basamento yesífero (que representa depósitos de playa-lake, según sintetizan Arderiu y Jurado en su trabajo de 1992), posteriormente la depresión fue rellenada por materiales de edad neógena (sedimentos detríticos y carbonatos) y cuaternaria con disposición horizontal (Soriano, 1990).

Atendiendo a la hidrología, la zona de interés está atravesada por dos cauces importantes. El río principal (Ebro) con dirección NW-SE y el río Huerva que discurre con una dirección S-N. Ambos ríos han depositado materiales a lo largo de su cauce en forma de terrazas desde principios del Cuaternario (Soriano, 1990). Dichas terrazas son las formas geológicas de acumulación más importantes que se

encuentran en la zona estudiada. El tránsito de una terraza a la siguiente en algunos casos es en forma de escarpe, mientras que en otros casos el escarpe se ha regularizado formando glacis acumulativos; en algunos casos la extensión de los glacis es considerable y son susceptibles de tapizar niveles de terraza inferiores (Soriano, 1990).

Además de las formas nombradas anteriormente (terrazas y glacis) Moreno *et al.* (2008) describe la presencia de depósitos asociados a conos de deyección en la margen izquierda del canal imperial, es decir, al suroeste de Zaragoza.

También merece mención el modelado kárstico, principalmente se manifiesta en forma de dolinas, que atañen a la ciudad y que afectan tanto al sustrato (yesos y calizas) como a la cobertera (tanto en glacis como en terrazas). Según Gutiérrez Elorza y Gutiérrez Santolalla (1998) el origen del karst se sitúa al final del Mioceno, cuando el Ebro comienza un periodo erosivo causante de la karstificación de las unidades evaporíticas.

Ninguna de estas unidades geológicas puede ser generadora ni acumuladora de concentraciones diferenciales de metales pesados.

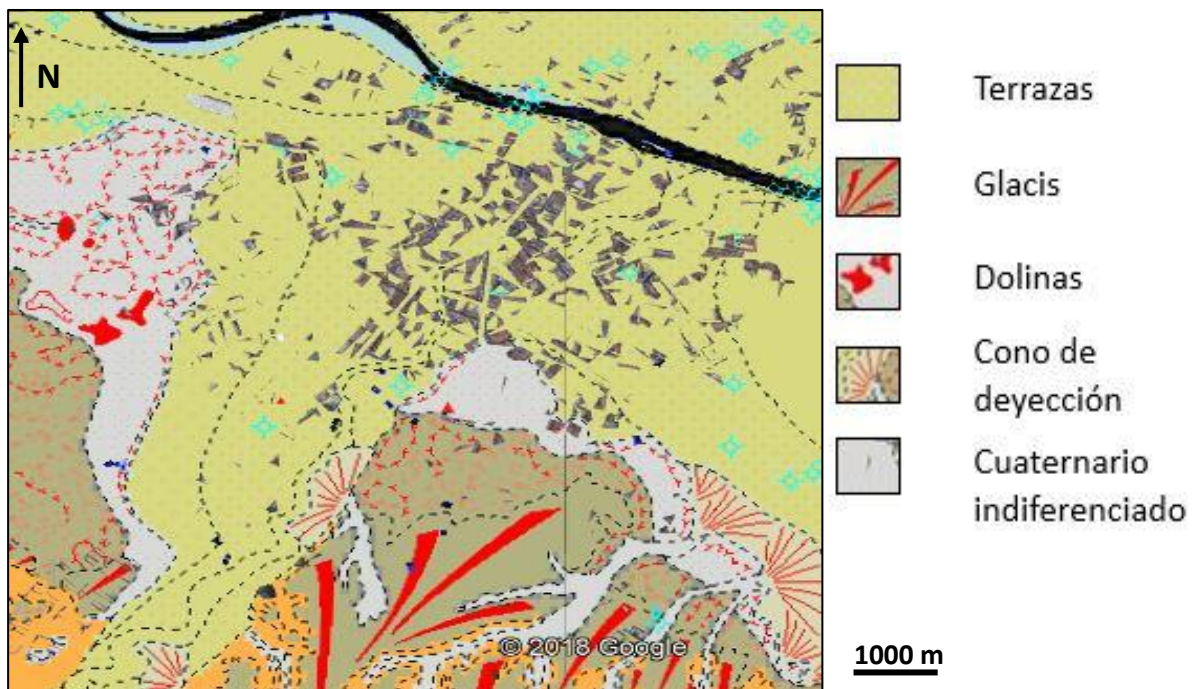


Figura 4. Mapa geomorfológico del entorno de Zaragoza. Imagen tomada de Esnaola y Gil (1998).



## 5. PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Para comenzar este apartado es imprescindible hacer una recopilación y descripción de los diferentes tipos de suelos encontrados en la zona estudiada. Se pueden diferenciar 6 grupos de suelos: zonas ajardinadas, alcorques de árboles, parterres, suelo con cobertera vegetal, suelo aluvial y suelo coluvial. La descriptiva detallada de cada una de las muestras que componen cada grupo se encuentra en el anexo 2.

- a. **Zonas ajardinadas:** se describe como suelo ajardinado a aquellos terrenos caracterizados por estar constituidos por extensiones considerables de suelo vegetal cuidado sistemáticamente por el personal de Parques y Jardines de Zaragoza. En estos casos, para garantizar la representatividad de las muestras, se ha considerado que es suficiente la recogida de dos submuestras separadas entre sí por una distancia de 15 a 20 metros. Los rasgos comunes a este tipo de suelo son: se trata de muestras pardas mayoritariamente limosas con una fracción arenosa importante, con cantos dispersos subsuperficiales de angulosidad variable y abundantes raíces (comúnmente de vegetación herbácea). No presentan por lo general evidencias de removilización (aunque no debe descartarse por la acción del personal de Parques y Jardines).
- b. **Alcorques de árboles:** se entiende por alcorque a las porciones de terreno que se habilitan alrededor de troncos de árboles en zonas urbanas para favorecer su regado. En este tipo de suelo, para garantizar la representatividad de las muestras, se requiere tomar al menos cuatro submuestras (cuando ello sea posible), en algunas ocasiones los alcorques están recubiertos por diferentes tipos de materiales por lo que las muestras son difíciles de obtener. Los rasgos comunes a este tipo de suelo son: se trata de muestras ocre-arenosas con cantos superficiales de gran diámetro y abundantes raíces (del propio árbol que albergan).
- c. **Parterres:** un parterre es una “zona ajardinada” de poca extensión. En este tipo de suelo, para garantizar la representatividad de las muestras, se requiere tomar al menos tres submuestras en un área de radio entre 10 y 15 metros. Las características de este tipo de suelo son intermedias entre las características de los <<alcorques>> y las características de los <<suelos ajardinados>>.
- d. **Suelo con cobertera orgánica importante:** es el tipo de suelo menos representado. Se trata de muestras de color oscuro, se caracterizan por presentar una cobertera vegetal arcillo-arenosa, en la que la presencia de cantos y raíces es común.
- e. **Suelo aluvial:** se trata de suelos originados a partir de sedimentos aluviales escasamente modificados, principalmente se trata de terrazas. En este tipo de suelo, para garantizar la representatividad de las muestras, solamente se requiere tomar dos submuestras. Las características comunes de este tipo de suelo son: se trata de suelos areno-limosos de tonos ocre-amarillentos con una proporción elevada de cantos de gran diámetro. Es frecuente encontrar algún nivel encalichado más o menos superficial.
- f. **Suelo coluvial:** se trata de suelos originados sobre acumulaciones coluviales, principalmente se trata de glaciares. En este tipo de suelo, para garantizar la representatividad de las muestras,

solamente se requiere tomar dos submuestras. Se trata de muestras arenosas y pedregosas de color variable.

Como se ha expuesto anteriormente, los resultados analíticos se recogen en tablas (Anexo 1). En la tabla se recoge información del contenido determinado en Hg, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Pb y Zn expresada en mg/g (posteriormente, para realizar los mapas de isocontenido, se transforman a mg/kg) de las muestras analizadas, así como de la desviación típica en cada determinación.

El método analítico empleado en la determinación no permite conocer la concentración de los metales si esta no alcanza una concentración mínima, a esto se le denomina mínima concentración detectable (MCD). Algunos de los elementos que se pretendía estudiar (Hg, As, Cd y Mo) no superan en ninguna de las muestras el MCD con la metodología analítica empleada, por lo tanto, no se ha podido evaluar su dispersión. Los valores de MCD para cada elemento en análisis realizados por Espectrometría de Emisión Atómica en plasma ICP en las condiciones de preparación de las muestras empleadas en este trabajo se indican en la tabla 3.

*Tabla 3. Mínima concentración detectable de los elementos analizados. Aparecen en gris los elementos que no superan en ningún caso el MCD. Valores expresados en ppm, en suelo.*

|           | Hg | As | Cd | Co | Cr | Cu | Mo | Pb  | Zn |
|-----------|----|----|----|----|----|----|----|-----|----|
| MCD (ppm) | 37 | 75 | 9  | 7  | 42 | 27 | 47 | 103 | 30 |

De esta manera, los elementos que si aparecen en concentraciones superiores al MCD son **Co, Cr, Cu, Pb** y **Zn**. Remarcar que en todas muestras aparecen elementos que no alcanzan la mínima concentración detectable, en estos casos, para poder operar con el elemento, se ha tratado como si en ese punto no existiese concentración de este y en el procesado informático de los datos para la confección de los mapas de isocontenido se ha introducido un 0 en la casilla correspondiente.

También es importante cuantificar, aunque sea de manera cualitativa, la validez de los datos, para ello se han realizado diagramas XY (figura 5) en los que se comparan las muestras con sus duplicados, lo que permite determinar visualmente la correlación entre ambos. Se tiene como resultado que la totalidad de las muestras concuerdan aceptablemente con su muestra duplicada. La comprobación de la calidad de los 6 duplicados se encuentra en el anexo 3.

Con estos datos se realizan mapas de isocontenido de los elementos que han sobrepasado el MCD.

## 5.1. MAPAS DE ISOCONTENIDO

A continuación, se describen los máximos de concentración observados, elemento a elemento, tras la realización de mapas de isocontenido. Partiendo del supuesto de que las características geológicas del suelo no tienen efecto en la distribución de los elementos en el mismo, también se ha tenido en cuenta el posible error realizado tras las posibles removilizaciones generadas por la actividad urbana en Zaragoza.

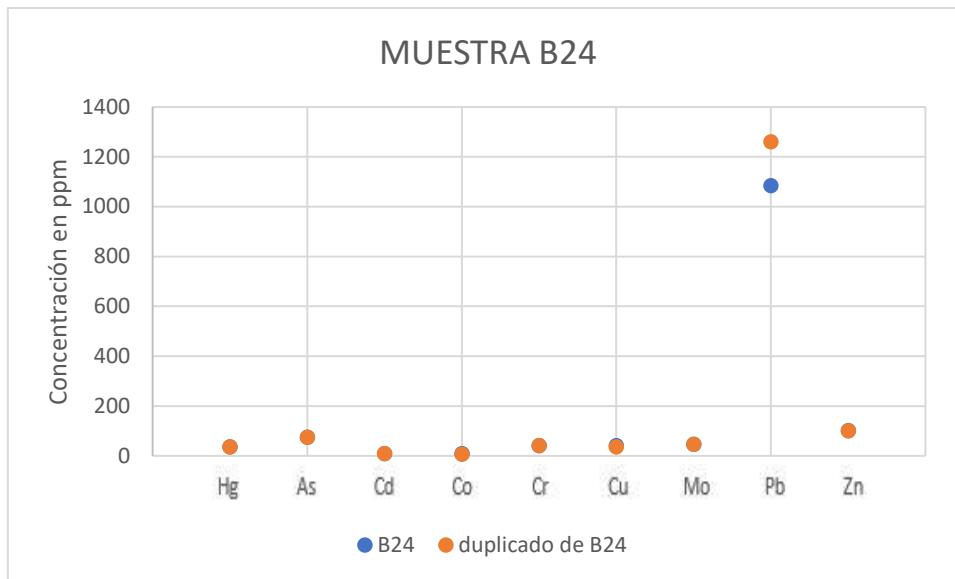


Figura 5. Diagrama XY realizado para evaluar la fiabilidad de la muestra duplicada B24. Se observa en el eje de abscisas los diferentes elementos determinados y en el eje de ordenadas la concentración en ppm de cada uno de ellos en dicha muestra. Salvo en el caso del plomo la concentración de los elementos analizados es idéntica. La calidad de los análisis es aceptable.

En el caso del **plomo** (figura 6), la concentración presenta valores mínimos de 103 ppm y valores máximos de 1084 ppm. El plomo es un elemento ampliamente utilizado a nivel industrial y con importantes efectos medioambientales y sobre la salud, comúnmente se utiliza en la fabricación de baterías, en metalurgia o en la industria armamentística. Su fuente urbana más frecuente es la procedente de vehículos de combustión interna, ya que se utiliza como antidetonante en gasolinas (Moreno *et al.*, 2008). Los máximos observados se pueden agrupar en 5 zonas diferentes. Las zonas en las que destacan picos de concentración, numeradas de norte a sur, son:

1. El primer punto de concentración elevada se encuentra próximo al río Ebro, geográficamente se ubica en las inmediaciones del Parque de La Química (coordenadas UTM con referencia al datum ETRS89 (huso 30) son longitud: 675257.26 y latitud: 4614602.54). La zona presenta una concentración máxima de 300 ppm de plomo. Históricamente, en ese punto se encontraba el apeadero de La Química.
2. La segunda área con concentración elevada en plomo se encuentra al noroeste de la zona de estudio, geográficamente se localiza en el barrio de La Almozara. La zona está representada por un valor mínimo de 100 ppm que aumenta en poco espacio (500 metros) hasta alcanzar concentraciones de hasta 530 ppm (punto situado más al norte) y 1000 ppm (punto situado al sur). El último máximo nombrado representa la máxima concentración en plomo observada en la zona estudiada. Históricamente, dicha área estaba ampliamente industrializada (por industrias emblemáticas como la Tudor).
3. La tercera área destacable por presentar altas concentraciones del metal pesado se ubica paralelamente a ambos lados del Paseo María Agustín y del Paseo Navarra (vías de tráfico preferente en Zaragoza). En la zona aparecen dos máximos (400 y 430 ppm) que disminuyen hacia ambos lados de la vía de forma asimétrica alcanzando los valores mínimos (100 ppm) en el margen sur en 300 m y en el margen norte en 1000 m.



4. El cuarto punto de concentración elevada en plomo se encuentra sobre el Hospital Militar<sup>1</sup>, sus coordenadas UTM con referencia al datum ETRS89 (huso 30) son longitud: 674425.54 y latitud 4610866.47. La zona presenta una concentración en plomo de 912 ppm (segundo valor más alto observado). La disminución de la concentración es de una forma homogénea en todas las direcciones hasta llegar al mínimo de 100 ppm. Esta anomalía solamente se puede explicar por la presencia del Hospital Militar (en sus inmediaciones se ubican tres chimeneas que, históricamente, eran las calderas de carbón de este) y el helipuerto.
5. La quinta zona destacable se encuentra al noroeste de la Z-30 (extremo oeste de la zona de estudio). La isolínea que la caracteriza dibuja una forma alargada en dirección norte-sur y no presenta valores elevados de plomo [no sobrepasa el umbral de contaminación (>200 ppm)].

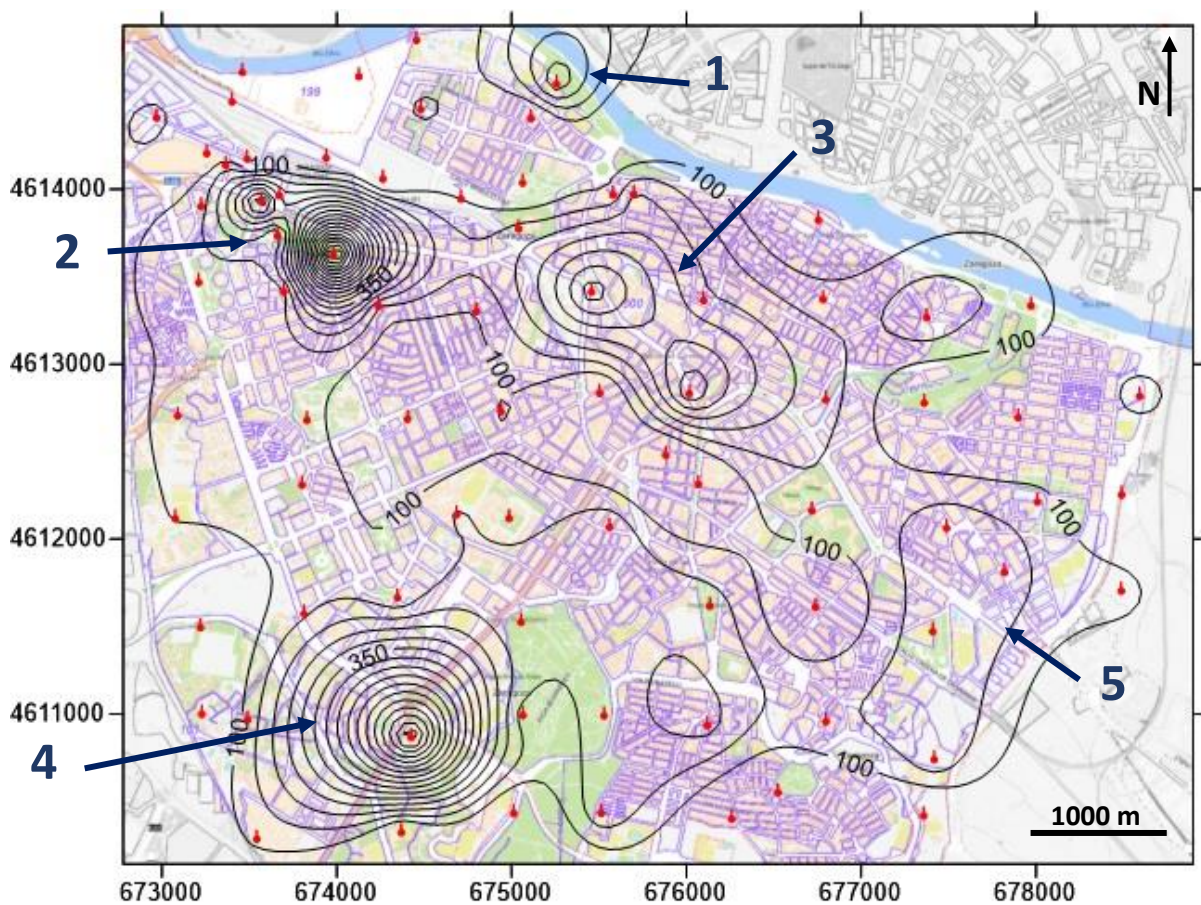


Figura 6. Mapa de isocontorno para plomo. Las isolíneas equidistan 50 ppm. La localización exacta de los puntos de muestreo se representa con un punto rojo. Se observan cinco zonas destacables, los números que se les ha asignado coinciden con la numeración en la que han sido descritas. Las coordenadas geográficas referencian al datum ETRS89 (huso 30).

<sup>1</sup> Tener presente que los picos de máxima concentración se encuentran sobre los puntos en los que se tomaron las muestras, pero al realizarse mapas de isocontorno se han tenido que interpolar los valores presentes entre puntos de muestreo por lo que, el máximo de concentración “real” puede encontrarse en un radio de 20 metros del punto muestreado. En este informe se tratan los datos tal y como aparecen en los mapas de isocontorno (aun sabiendo que presentan un margen de error).

En el caso del **zinc** (figura 7), la concentración presenta valores mínimos de 32 ppm y valores máximos de 886 ppm. El zinc es un elemento típicamente de origen industrial que suele ser residuo en la producción de latón y bronce (además de ser utilizado como anticorrosivo, en baterías, insecticidas etc.) (Moreno *et al.*, 2008), por ello la búsqueda de su posible origen se ha centrado en localizar las industrias (tanto históricas como vigentes en la actualidad) especializadas en la fundición. Los picos de concentración se pueden agrupar en 4 zonas diferentes. Las zonas en las que destacan los máximos de concentración, numeradas de norte a sur, son:

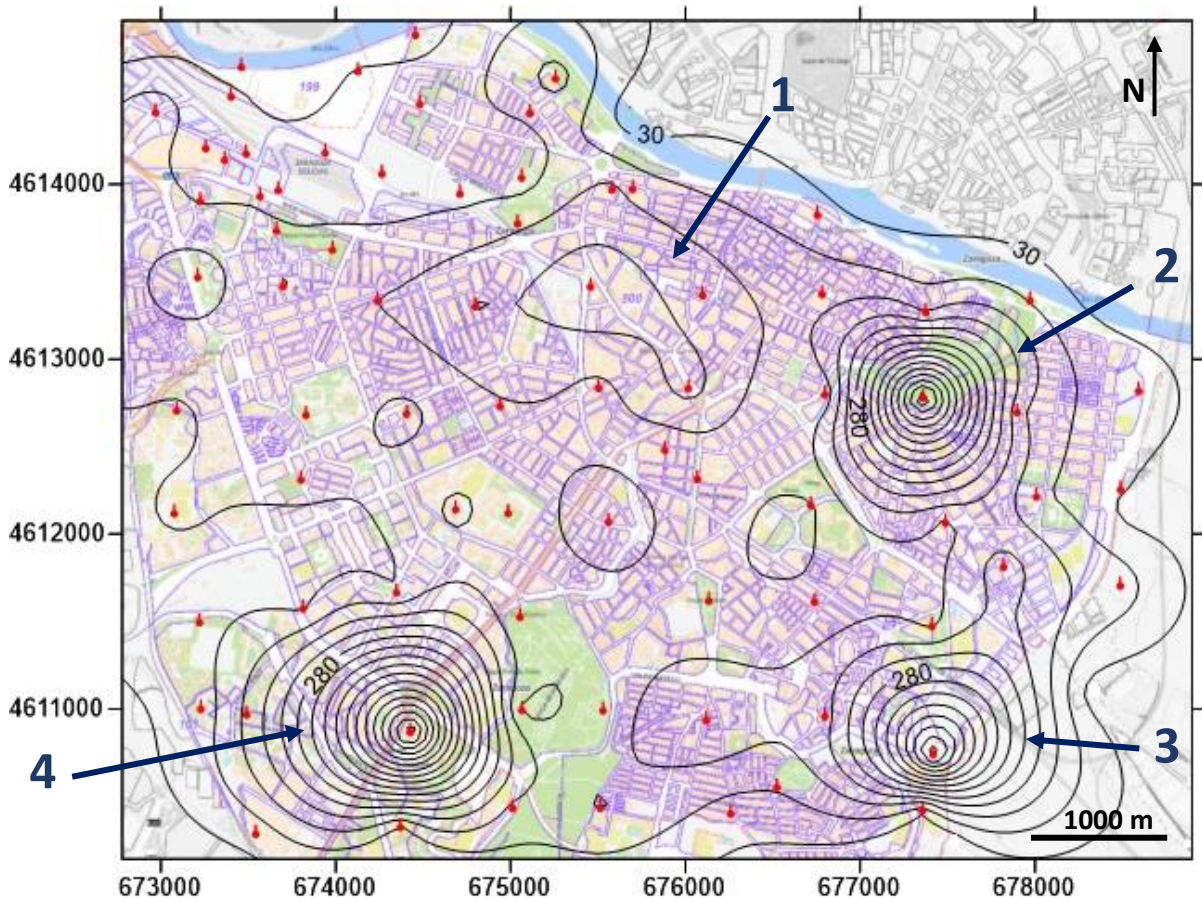


Figura 7. Mapa de isocontenido para Zinc. Las isolíneas equidistan 50 ppm. La localización exacta de los puntos de muestreo se representa con un punto rojo. Se observan cuatro zonas destacables, los números que se les ha asignado coinciden con la numeración en la que han sido descritas. Las coordenadas geográficas referencian al datum ETRS89 (huso 30).

1. La primera zona a describir recorre longitudinalmente el Paseo María Agustín y el Paseo Navarra (vías de tráfico preferente en Zaragoza), presenta una morfología alargada en la dirección de las vías, la contaminación en zinc en esta zona no sobrepasa el umbral de contaminación (>300 ppm). Al norte de esta zona, en el punto donde se ubicaba el apeadero de La Química (punto anteriormente descrito), vuelve a existir un máximo de concentración del metal pesado (100 ppm) pero, en este caso, tampoco se supera el umbral de contaminación de este.



2. La segunda área con concentración elevada en zinc se encuentra al noreste de la zona de estudio, geográficamente se localiza en las inmediaciones del parque Bruil, en torno al cauce del río Huerva. La zona presenta una concentración máxima en zinc de 793 ppm, la disminución de la concentración es de forma homogénea en todas las direcciones hasta llegar al mínimo de 30 ppm. En esta área existen diversas industrias (tanto actuales como históricas), alguna de ellas son Repuestos y Fundiciones SL (industria en la que se practica fundición de bronce) e Instalaza S.A. (industria armamentística).
3. La tercera área destacable por presentar altas concentraciones del metal pesado se ubica en la parte sureste de la zona de estudio, concretamente se localiza en el barrio de La Paz. La anomalía alcanza un valor de 673 ppm en su zona central y se atenúa de manera parcialmente asimétrica (más rápido hacia el sur). La zona alberga industrias como Aluminio y Aleaciones S.A.
4. La cuarta anomalía presenta concentraciones en zinc de hasta 886 ppm. Se ubica en el Hospital Militar. Esta anomalía comparte características con la anteriormente descrita en la misma localización.

En el caso del **cobalto** (figura 8), la concentración presenta valores mínimos de 7 ppm y valores máximos de 16 ppm. El cobalto es un elemento que es usado en la fabricación de maquinaria, para realizar aleaciones o en industrias como la del vidrio o la cerámica; además, el isótopo  $^{60}\text{Co}$  se utiliza en hospitales como fuente de rayos  $\gamma$ , también es utilizado para la esterilización de equipos médicos y artículos de radioterapia (Moreno *et al.*, 2008), por ello la búsqueda de su posible origen se ha centrado en localizar las industrias (tanto históricas como vigentes en la actualidad) especializadas en la aleación y en la localización de los hospitales. Los máximos de concentración en ninguno de los casos superan el valor máximo permitido de cobalto ( $> 50$  ppm) y se pueden agrupar en 3 zonas diferentes. Las zonas en las que destacan los máximos de concentración numeradas de norte a sur son:

1. La primera zona a describir se localiza al norte de la zona de estudio. La zona esta compuesta por tres máximos que presentan una concentración entre 8 y 14 ppm. El primer máximo (1.1) se localiza en el apeadero de La Química (anteriormente descrito), el segundo pico de cobalto (1.2) tiene una concentración de 14 ppm, en dicho lugar se ubicaba el Hospital Militar (en 1908) y el tercer punto destacable (1.3) presenta una concentración de 8 ppm y se localiza en las proximidades del Hospital Provincial Nuestra Señora de Gracia.
2. La segunda área con concentración elevada en cobalto se encuentra al noreste de la zona de estudio y presenta una morfología pseudocircular. En el centro de esta zona se encuentra la mayor concentración observada en la zona de estudio (2.1) con una concentración de 16 ppm que se atenúa en todas las direcciones de forma homogénea, en esta localización se ubica en la actualidad Cam-fertil SL e históricamente se ubicaba la industria Carde y Escoriaza. En esta área también destaca una zona en la que la concentración aumenta rápidamente (2.2) hasta alcanzar un máximo de 13 ppm. En esta ubicación se ubica el Hospital San Juan de Dios y, próxima a este (en la dirección en la que la concentración aumenta) se localiza la Clínica Privada Nuestra Señora del Pilar.

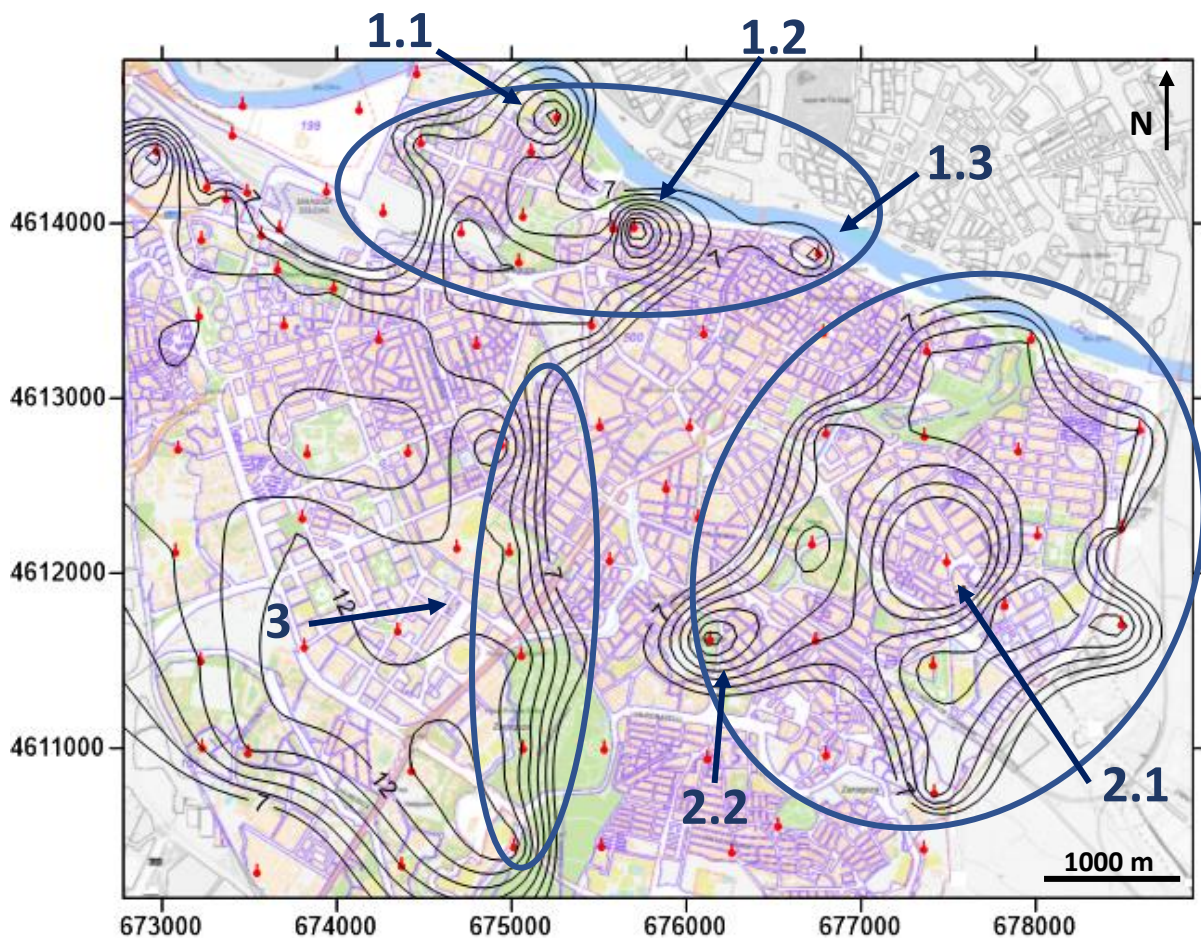


Figura 8. Mapa de isocontenido para cobalto. Las isolíneas equidistan 1 ppm. La localización exacta de los puntos de muestreo se representa con un punto rojo. Se observan tres zonas destacables, los números que se les ha asignado coinciden con la numeración en la que han sido descritas. Las coordenadas geográficas referencian al datum ETRS89 (huso 30).

3. La tercera área para describir se distribuye linealmente aproximadamente siguiendo la dirección de la N30, la concentración en cobalto no es elevada (no supera los 11 ppm) pero es notable que aumenta rápidamente. El aumento de la concentración se ajusta a la localización de cuatro hospitales fundamentales en Zaragoza: La Quirón, el Hospital Clínico Universitario “Lozano Blesa”, el Hospital Universitario Miguel Servet y el Hospital Militar de Zaragoza.

En el mapa de isocontenido es notable que el centro histórico de Zaragoza no existe concentración en cobalto. Remarcar que esta localización no ha albergado industrias (ni actuales ni históricas) relevantes.



En el caso del **chromo** (figura 9), la concentración presenta valores entre 50 y 84 ppm. El cromo es un elemento típicamente de origen industrial, es utilizado sobre todo como agente anticorrosivo en la industria de acabados metálicos, en pigmentos, en industrias textiles o para la preservación de madera (Moreno *et al.*, 2008), por ello la búsqueda de su posible origen se ha realizado con especial énfasis en las industrias con dichas especializaciones. La concentración en el metal en ninguno de los casos supera el valor máximo permitido de cromo ( $> 100$  ppm). Se pueden diferenciar 5 zonas diferentes. Las zonas en las que la concentración en cromo destaca, numeradas de norte a sur son:

1. La primera zona a describir se localiza en las proximidades de la calle Vicente Berdusán, en el barrio Delicias. La mayor concentración encontrada presenta un valor de 75 ppm. La anomalía tiene una morfología alargada en dirección N-S y disminuye hacia el oeste de una forma más brusca que hacia el este. Esta área actualmente está parcialmente industrializada, algunas industrias actuales son Curtidos Manciles SL y diversas industrias del sector de la madera; además cercano a la zona se encontraba la histórica Fundición Averly.

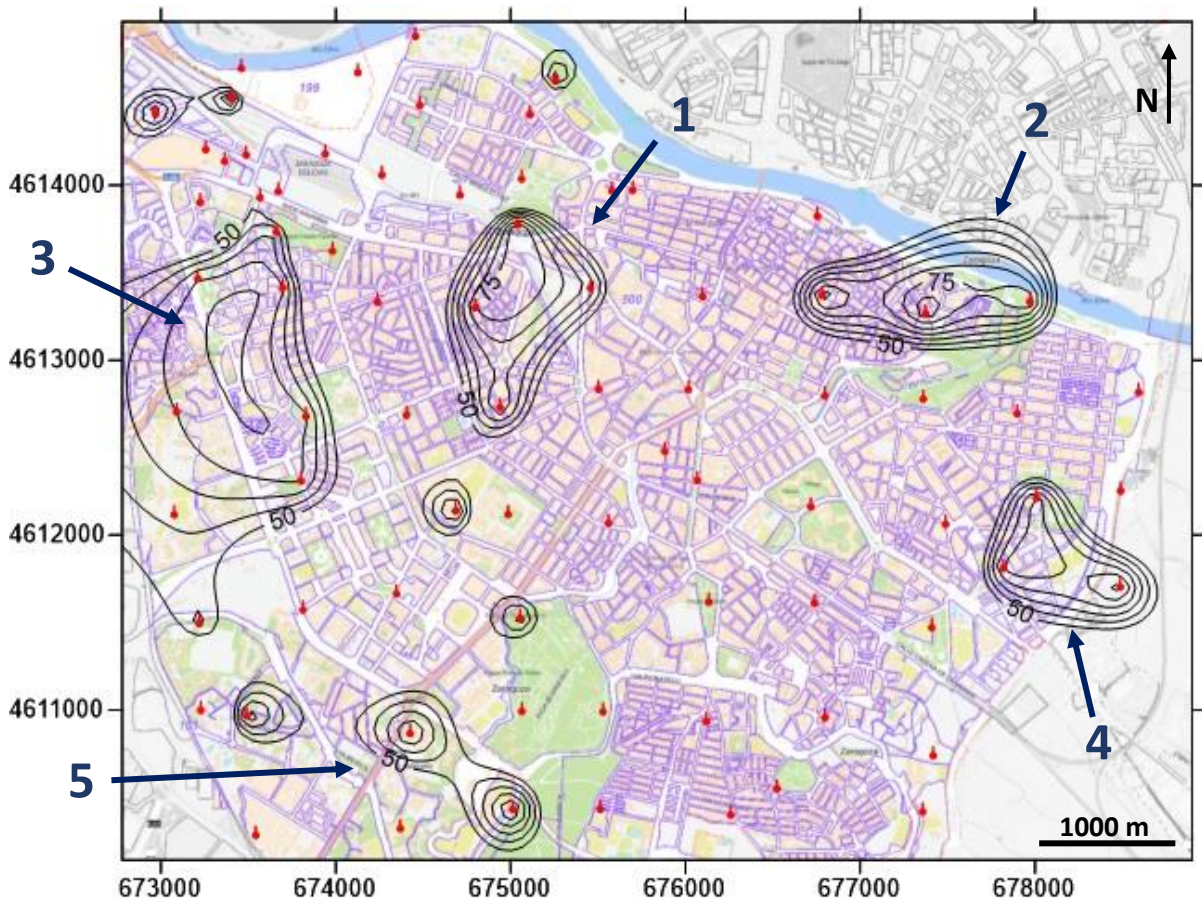


Figura 9. Mapa de isocontenido para cromo. Las isocóncitos equidistan 5 ppm. La localización exacta de los puntos de muestreo se representa con un punto rojo. Se observan cinco zonas destacables, los números que se les ha asignado coinciden con la numeración en la que han sido descritas. Las coordenadas geográficas referencian al datum ETRS89 (huso 30).

2. La segunda zona a describir se localiza al noreste de la zona de estudio, esta área presenta la mayor concentración en cromo encontrada con un valor de 84 ppm. La zona tiene una morfología alargada en dirección oeste-este y aumenta en dirección coincidente con la vía Camino las Torres. En la zona existen industrias como Curtidos Pertusa SI o Instalaza S.A.
3. La tercera área destacable se ubica sobre el barrio de La Almozara-Delicias. La concentración en cromo no supera el valor de los 70 ppm. Históricamente, dicha área estaba ampliamente industrializada.
4. La cuarta área de mayor concentración en cromo se ubica al este de la zona de estudio, presenta una morfología triangular y, en ella se localizan dos máximos de concentración, ambos máximos presentan una concentración aproximada de 70 ppm. En esta zona no destacan las industrias, alguna industria presente en esta área es Servicios Técnicos Hidráulicos Benito Muñoz (industria metálica).
5. El quinto punto de concentración destacable en cromo (70 ppm) se localiza sobre el Hospital Militar de Zaragoza, el máximo en cromo comparte características con las anteriormente descritas en esta ubicación, pero, en este caso alcanza menor extensión. Al sureste de esta localización se observa otro pico de concentración en cromo con la misma concentración.

En el caso del **cobre** (figura 10), la concentración presenta valores máximos de 135 ppm y mínimos de 26 ppm. Solamente existe un punto de muestreo (el que representa la concentración máxima observada) que supere el valor máximo permitido para cobre (>100 ppm). El metal tiene multitud de finalidades, destaca su valor en construcción, en medicina y, por su capacidad de conducir electricidad, en la industria.

El mapa de isocontenido pone en manifiesto que el cobre es un elemento distribuido homogéneamente por casi la totalidad de la zona de estudio. Como se ha expuesto anteriormente solamente se excede el valor permitido en una ocasión, solamente se va a desarrollar este único punto. El punto que representa la mayor concentración (135 ppm) en cobre se localiza al norte de la zona de estudio, próximo al cauce del río Ebro (coordenadas UTM con referencia al datum ETRS89 (huso 30) son longitud: 675579.37 y latitud: 4613967.48), la concentración en el elemento disminuye drásticamente hacia el este y el oeste. Próxima a dicha localización se ubicaba la antigua Fundición Averly (industria especializada en fundición artística de esculturas de elementos como bronce -cobre + estaño-).

Tal y como ocurría con el cobalto, en el caso del cobre es más notorio remarcar la zona en la que no aparece el metal, como es el caso del centro histórico de la ciudad, lugar que no ha albergado industrias ni históricamente ni en la actualidad.

Una vez descritas los diferentes máximos de concentración se ha comprobado si existe correlación entre los elementos. Para ello se ha utilizado el coeficiente de correlación de Pearson. El valor del coeficiente de correlación de Pearson oscila entre -1 y 1, teniendo valores negativos cuando existe una correlación negativa, valores positivos implican la existencia de una correlación positiva y un valor igual a cero implica la inexistencia de correlación entre los elementos.



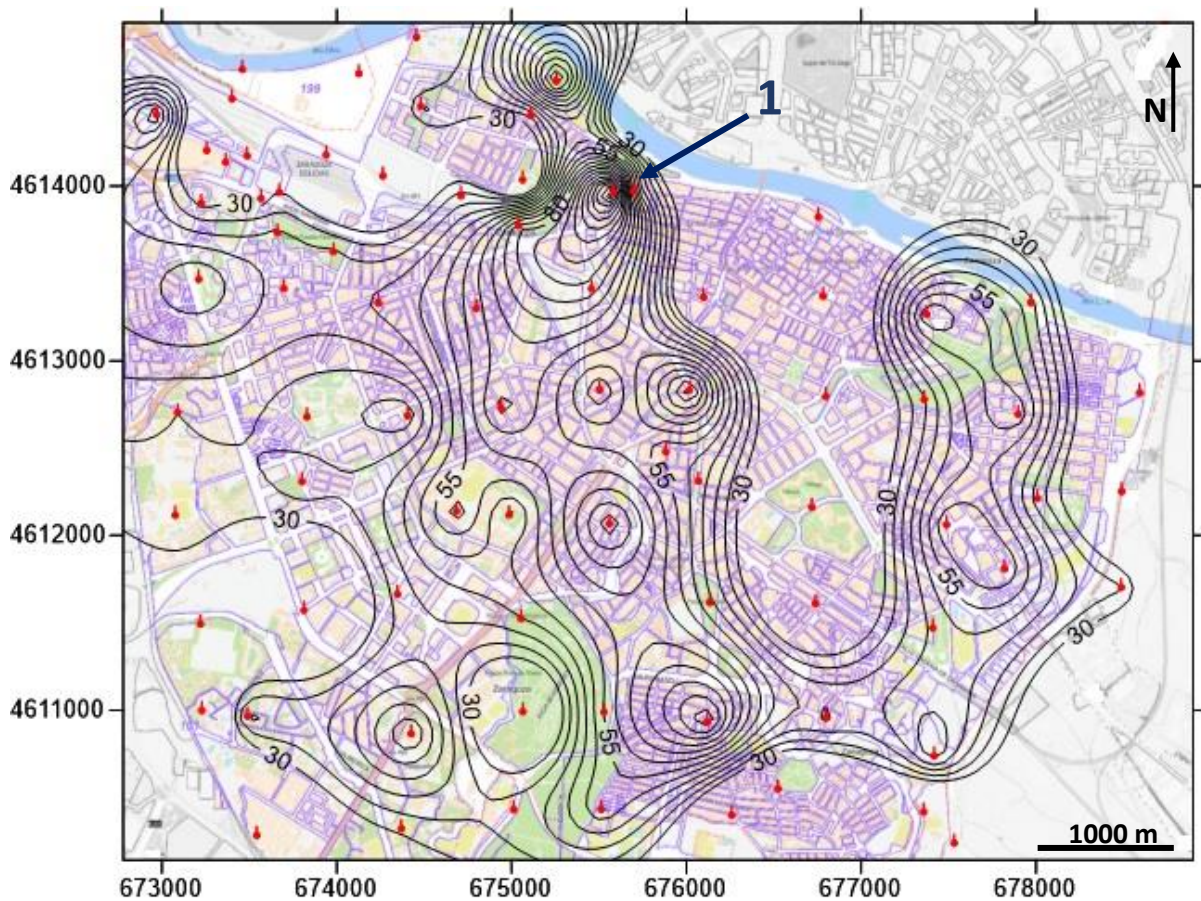


Figura 10. Mapa de isocontenido para cobre. Las isolíneas equidistan 5 ppm. La localización exacta de los puntos de muestreo se representa con un punto rojo. Solamente se ha destacado (con el número 1) el punto que representa la máxima concentración (135 ppm). Las coordenadas geográficas referencian al datum ETRS89 (huso 30).

Los resultados se indican en forma de matriz de correlación (tabla 4), se observa que la mayoría de los coeficientes de correlación presentan valores muy bajos, esto se traduce en que no existe la menor correlación entre los elementos. El coeficiente de correlación más elevado se corresponde con la correlación Pb-Zn que, aun siendo la mejor, no es significativa.

Tabla 4. Matriz de correlación.

|    | Co    | Cr    | Cu   | Pb   | Zn   |
|----|-------|-------|------|------|------|
| Co | 1.00  |       |      |      |      |
| Cr | 0.36  | 1.00  |      |      |      |
| Cu | 0.22  | 0.40  | 1.00 |      |      |
| Pb | -0.03 | -0.15 | 0.06 | 1.00 |      |
| Zn | 0.20  | 0.18  | 0.17 | 0.46 | 1.00 |

## 6. DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

La ciudad de Zaragoza presenta un horizonte A del suelo que, básicamente, se ha desarrollado sobre materiales de origen aluvial (mayoritariamente terrazas) o coluvial (mayoritariamente glacia). En los 20 primeros centímetros de dicho horizonte aparecen metales pesados (plomo, zinc, cobalto, cromo y cobre) en concentraciones variadas.

Tal y como se refleja en la tabla 5, el metal mejor representado en los suelos de la ciudad es el plomo con una concentración media de 138 ppm; de la misma manera, el zinc es un elemento que aparece en Zaragoza en concentraciones elevadas, el valor medio de su concentración es de 125 ppm; el siguiente metal con mayor concentración que se observa es el cobre con una concentración media de 36 ppm y finalmente, aparecen los elementos que no exceden en ningún caso el valor máximo permitido: el cromo y el cobalto, con una concentración media de 26 ppm y 8 ppm respectivamente.

Para afirmar que el suelo está contaminado en determinados metales resulta necesario realizar una comparación con un nivel de referencia, en este caso el nivel de referencia es el umbral de tolerancia para metales pesados (tabla 1). De esta manera, la toxicidad del entorno es equivalente a la relación entre la concentración del metal y el máximo valor permitido de dicho metal.

Con base en lo anteriormente expuesto, en valores promedio el suelo de Zaragoza no está contaminado (el cociente entre la concentración del metal y el máximo valor permitido de dicho metal es inferior a 1); sin embargo, en determinadas zonas el suelo de Zaragoza presenta una concentración en metales que quintuplica (como es el caso del plomo) o triplica (como es el caso del zinc) el umbral de tolerancia establecido. Es decir, el suelo de Zaragoza está contaminado al menos en plomo, zinc y, aunque solamente sea en un punto de muestreo, en cobre. Esta información se sintetiza en la tabla 5.

Tabla 5. Valores medios y máximos de la concentración y la toxicidad en Zaragoza.  $V_{perm}$  = valor máximo permitido.  $V_{med}$  = Valor de la concentración media.  $V_{max}$  = valor de la concentración máxima. Valores expresados en ppm.

|                | CONCENTRACIÓN (ppm) |           |           | TOXICIDAD                    |                              |
|----------------|---------------------|-----------|-----------|------------------------------|------------------------------|
|                | $V_{perm}$          | $V_{med}$ | $V_{max}$ | Toxicidad $V_{med}/V_{perm}$ | Toxicidad $V_{max}/V_{perm}$ |
| <b>Plomo</b>   | 200                 | 138       | 1084      | 0.69                         | 5.42                         |
| <b>Zinc</b>    | 300                 | 125       | 886       | 0.42                         | 2.95                         |
| <b>Cobalto</b> | 50                  | 8         | 16        | 0.16                         | 0.32                         |
| <b>Cromo</b>   | 100                 | 26        | 84        | 0.26                         | 0.84                         |
| <b>Cobre</b>   | 100                 | 36        | 135       | 0.36                         | 1.35                         |

El hecho de que, desde un punto de vista geológico, la distribución de los elementos sea de forma homogénea y aleatoria pone en manifiesto que las diferencias en la dispersión de los metales no puede ser efecto de la variabilidad de tipos de suelo, al contrario, se puede afirmar que es debido al efecto de influencias antropogénicas, es decir, no existen evidencias de que la geología existente sea origen ni de que presente un control importante en la dispersión de los metales pesados.

En todos los casos el coeficiente de correlación de Pearson entre los elementos (tabla 4) es muy bajo, esto se traduce en que no existe correlación entre la distribución de los elementos a pesar de presentar afinidad geoquímica similar; esto deriva en una conclusión similar a la expuesta en el párrafo anterior, si la geología tuviese una influencia importante en el origen de los metales pesados los elementos con comportamientos similares (zinc y cobre o cobre y cobalto por ejemplo) presentarían coeficientes de correlación más elevados.

El coeficiente de correlación más elevado se corresponde con la correlación entre zinc y plomo, con un valor de 0.46. Esto puede deberse a que ambos elementos comparten origen (aunque sea de forma parcial). Ambos elementos se vinculan con los vehículos: tal y como se ha avanzado anteriormente el plomo fue componente principal en gasolinas como antidetonante y, según Llamas *et al.* (1991), el zinc forma parte de los componentes de la gasolina (como anticorrosivo) además, este elemento se encuentra en ruedas de vehículos motorizados.

Existen diversos indicios (además de los anteriormente expuestos) de que el origen de la contaminación sea puramente antropogénico:

- Existen anomalías positivas elevadas cerca o sobre áreas antiguamente industriales como es el caso del antiguo apeadero de La Química, la antigua Fundición Averly, la histórica Carde y Escoriaza o la Tudor.
- Las mayores concentraciones de elementos pesados se encuentran cerca o sobre áreas actualmente industrializadas como las proximidades del parque Bruil (industrias como Instalaza S.A.) o las inmediaciones del Hospital militar.
- Sobre o cerca de todas las vías principales de Zaragoza como el Paseo María Agustín, el Paseo Navarra, Camino de las Torres o la vía Z-30 existen anomalías positivas que destacan sobre el nivel de fondo. Es evidente que un tráfico intenso es un factor importante en la concentración de los metales pesados analizados, sobre todo para plomo y zinc.
- En las zonas en las que no ha existido actividad industrial o esta ha sido poco intensa, como en el casco histórico de la ciudad, no se observa contaminación en metales pesados. Esto se hace expresamente notorio en el mapa de isocontenido de cobalto (figura 8) y en el mapa de isocontenido de cobre (figura 10); de la misma manera, en el caso del resto de elementos también se observa que en dicha zona la concentración de los elementos disminuye y alcanza valores mínimos.

En estudios recientes realizados por las Asociaciones vecinales de La Almozara (todavía no publicados) se observa una fuerte anomalía en multitud de elementos en el entorno de la guardería del barrio de La Almozara, además, en el estudio de Moreno *et al.* (2008) se expone la presencia de contaminación por metales pesados en el freático de Zaragoza, esto pone en manifiesto la existencia de contaminación en esta zona (punto de partida de este informe). Los valores notablemente más bajos en metales obtenidos en este informe en dicha zona sugieren que la cobertera de sellado (colocada por el Ayuntamiento de Zaragoza) es razonablemente eficiente; sin embargo, a través de los árboles, por sus raíces, la contaminación puede llegar a las zonas más profundas o por medio de la erosión

alcanzar la superficie; según los autores anteriormente nombrados, esas zonas están muy contaminadas y muestran un grave riesgo potencial.

Determinadas anomalías se ubican al noroeste de áreas industrializadas o vías principales (focos potenciales de los metales pesados), esta dirección es coincidente con la dirección aproximada del viento en Zaragoza por ello, se puede afirmar que el viento es el único factor evidente que podría haber influido en la dispersión secundaria de los metales pesados.

Para acabar este apartado no resulta sorprendente la realización de un listado recomendaciones para futuros informes:

- Se recomienda realizar determinaciones analíticas con una metodología analítica que permita detectar la concentración de los metales con mayor precisión (por encima del umbral de tolerancia al menos), de esta manera se podría conocer la concentración en As, Hg, Cd y Mo (metales que podrían presentar concentraciones superiores a la máxima concentración permitida y, por lo tanto, ser potencialmente contaminantes).
- La anomalía que aparece en el Hospital militar es notable prácticamente en todos los elementos estudiados, pero a pesar de ser una zona de concentración elevada en metales, la anomalía es puntual (solamente se ha detectado en un punto de muestreo), sería recomendable un muestreo más intensivo en la zona (por ejemplo, una muestra cada 50 o 100 metros en un patrón de muestreo en espiral).
- Sería de interés conocer la variabilidad temporal de las muestras.
- Sería de interés conocer los procesos de contaminación, para ello se pueden utilizar isótopos y análisis de especiación como trazados de dichos procesos.

## 7. CONCLUSIONS

The study of the geochemistry of the soil of the municipal area of Zaragoza has revealed the concentration of lead, zinc, cobalt, chromium and copper in the 20 cm. surface. Based on the analytical determination by the atomic emission spectrometry method in plasma ICP, it is concluded that Zaragoza has a lead concentration between 100 ppm and 1084 ppm, a minimum zinc concentration of 32 ppm and a maximum of 886 ppm, a minimum of 7 ppm and a maximum of 16 ppm in cobalt, a chromium concentration ranging from 50 ppm to 84 ppm and a copper concentration between 26 ppm and 135 ppm.

The previously described implies that in areas of the city there is a toxicity in lead that multiplies by 5 the maximum value allowed in urban soils (200 ppm), in the case of zinc this value is tripled (200 ppm), in the case of copper is slightly exceeded (100 ppm) and in the rest of the metals is not exceeded on any occasion.

The metals are distributed homogeneously over the area of study, without concentrating preferably on any of the types of soils present in the city. This implies that the origin and factors that may have influenced their dispersion are purely anthropogenic.

The only obvious factor that has been able to influence the dispersion of metals is the wind because the metals concentrate to the NW (wind direction) of the potential source areas.

The production of isocotenido maps has helped to locate the source area of the pollution (coinciding with the areas in which the concentration of heavy metals is the highest). Areas with high concentrations coincide with areas near principal roads, it is evident that heavy traffic is an important factor in the concentration of heavy metals, in the same way, areas with significant industrial activity (both historical and current industrial activity) are areas with high concentrations of metals. In addition, the absence or low concentration of metals in places that have never been industrialized implies that the presence of industrial activity is an important source area of heavy metals.

Based on the foregoing, it can be stated in a reliable manner that the origin of pollution in Zaragoza is due to purely anthropogenic causes.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer en primer lugar al Ayuntamiento de Zaragoza por permitir tomar muestras en los suelos vegetales y alcorques de Zaragoza, de la misma manera agradecer a aquellos particulares que nos permitieron tomar muestras de suelo en sus jardines.

Agradecer también la colaboración del Servicio de análisis químico (Servicio General de Apoyo a la Investigación – SAI) de la universidad de Zaragoza.

Durante las sesiones de laboratorio, útiles para realizar los tamizados de las muestras, la compañía, apoyo, ánimos, bromas etc. de los técnicos de laboratorio del departamento de Ciencias de la Tierra de la Universidad de Zaragoza fue inestimable, por ello, no me gustaría acabar este apartado sin mencionarles.

Y, para acabar, dar las gracias Juan Mandado. Gracias por confiar en mí, por la paciencia y, sobre todo, por hacer que el negro haya sido mucho menos negro.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

**Arderiu, O. R. y Jurado, M. J. (1992):** Reflexiones sobre la geología de la parte occidental de la Depresión del Ebro. *Acta geológica hispánica*, 27: 177-193.

**Castro Cerda, G. (2005):** *Evaluación de los niveles de plomo en suelos de diez talleres de baterías para vehículos y en suelos afectados por la influencia vehicular.* Tesis Doctoral, Univ. Nacional Agraria (UNA), 41 p.

**Esnaola, J.M. y Gil, C. (1998):** *Mapa Geológico de España 1: 50.000, hoja nº 383 (Zaragoza) y memoria.* IGME, Madrid. 47p.

**Galán, E. y Romero, A. (2008):** Contaminación de suelos por metales pesados. *Revista de la sociedad española de mineralogía*, 10: 48-60.

**Gutiérrez Elorza, M. y Gutiérrez Santolalla, F. (1998):** Geomorphology of the Tertiary gypsum formations in Ebro Depression (Spain). *Geoderma*, 87: 1-29.

**Johnson, C. (2005):** 2005 G-BASE field procedures manual. British Geological Survey Internal Report, UK, 130 p.

**Lamelas Gracia, M.T. (2009):** Esquema metodológico para la toma de decisiones sobre el uso sostenible del suelo: Aplicación a la localización de suelo industrial. *GeoFocus*, 9:28-66.

**Llamas, J.F., Chacón, E. y de Miguel, E. (1991):** Metales pesados en la atmósfera de Madrid. *Boletín Geológico y Minero*, 102-1: 135-147.

**Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T. y Muñoz-García, F. G. (2016):** Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14: 145-153.

**Mensua, S. e Ibañez, M.J. (1977):** Sector central de la Depresión del Ebro. Mapa de terrazas fluviales y glaciares. En: *III Reunión Nacional del Grupo de Trabajo Cuaternario*. Dpto. Geografía, 1: 18 p.

**Moreno Merino, L., Garrido Scheneider, E.A., Azcón Gonzalez de Aguilar, A. y Durán Valsero, J.J. (2008):** *Hidrogeología urbana de Zaragoza*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, 200 p.

**Riera, N. M., Feldman, G., Granger, S., Chain, S. y Soria, N. (2012):** Intoxicación con plomo: evaluación clínica y estudios complementarios en niños. *Revista Ciencias de la Salud*, 10: 9-15.

**Smith, W. H. (1976):** Lead contamination of the roadside ecosystem. *Journal of the Air Pollution Control Association*, 26: 753-766.

**Soriano, M. A. (1990):** *Geomorfología del sector centromeridional de la Depresión del Ebro*. Diputación Provincial de Zaragoza, Zaragoza, 269 p.

**Tong, S., Schirnding, Y. E. V. y Prapamontol, T. (2000):** Environmental lead exposure: a public health problem of global dimensions. *Bulletin of the world health organization*, 78: 1068-1077.

**Van Zuidam, R.A. (1976):** *Geomorphological development of the Zaragoza region, Spain. Processes and landforms related to climatic changes in a large Mediterranean river basin*. Enschede, Utrecht, 211 p.

**Viviendo en La Almozara (en línea).** La herencia de contaminación (fecha de consulta: 05/09/2019). Disponible en:

<https://sites.google.com/view/viviendoenlaalmazara/p%C3%A1gina-principal/la-herencia-de-contaminaci%C3%B3n>