

# UNIVERSIDAD DE SONORA

División de Ciencias Exactas y Naturales

Departamento de Geología

ESTUDIO GEOQUÍMICO Y MORFOLÓGICO  
DEL POLVO URBANO EN LA CIUDAD DE  
HERMOSILLO, SONORA, MÉXICO PARA  
IDENTIFICAR FUENTES GEOGÉNICAS Y/O  
ANTROPOGÉNICAS

## TESIS

Que para obtener el Grado de:  
**Maestro en Ciencias-Geología.**



**PRESENTA:**

**IBAÑEZ DEL RIVERO CARLOS**

**Hermosillo, Sonora, Agosto del 2017**

# Universidad de Sonora

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos  
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess

## **Agradecimientos**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo otorgado a través de la beca nacional durante el periodo 2015 – 2 a 2017 – 1, ya que su apoyo fue un incentivo hacia lograr la conclusión del presente y en el cual forme parte con las credenciales de número de registro de becario 585824.

A mis padres por haberme inculcado que la educación es una clave importante para el futuro la cual abre muchas puertas, así como que el trabajo con esfuerzo rinde sus frutos.

A mis hermanas Diana y Julia por ser parte importante en mi vida.

Le agradezco mi novia Lilián que es la mejor persona que he conocido en mi vida y a su familia por darme la oportunidad de formar parte de ella como si siempre lo hubiera sido.

A la Dra. Diana Meza Figueroa por su ayuda indispensable, la oportunidad de trabajar en el proyecto CONACYT 167676 y formar parte de este equipo de trabajo que es como una familia, sus sugerencias, correcciones y consejos como los de una madre.

A mi compañera Belem González Grijalva y Roberto Ochoa Contreras ya que, en este trabajo conjunto, nos acompañamos a los muestreos que servirían para nuestros respectivos trabajos, además de la ayuda de Belem en el trabajo en SEM y de la información proporcionada por Roberto ya que sin ella no hubiera sido posible la interpretación de los datos de SEM.

A los doctores Francisco Romero y Lucas Ochoa por revisar, corregir y ser parte de este trabajo a pesar de sus múltiples ocupaciones.

A la Universidad de Sonora y el departamento de geología por haberme brindado un espacio como estudiante el cual empezó como alumno de licenciatura y culmina con el posgrado de maestría.

Y por supuesto al Dr. Vidal y al comité del posgrado de Maestría en Ciencias Geología por brindarme un espacio muy valioso que no fácilmente se otorga.

Sin dejar a un lado a cada persona que no menciono detalladamente, pero sin importar nada me dio motivación, así como apoyo para seguir adelante y culminar este trabajo.

# Índice

Lista de figuras .....	1
Lista de tablas .....	3
Lista de anexos .....	3
Resumen.....	5
Abstract .....	6
Capítulo I. Generalidades .....	7
<b>1.1. Introducción.....</b>	<b>7</b>
<b>1.2. Objetivo .....</b>	<b>10</b>
1.2.1. General .....	10
1.2.2. Particular .....	10
<b>1.3. Descripción del sitio de estudio .....</b>	<b>11</b>
1.3.1. Localización .....	11
1.3.2. Clima.....	13
<b>1.4. Geología del área .....</b>	<b>14</b>
<b>1.5. Edafología.....</b>	<b>16</b>
Capítulo II. Materiales y métodos .....	19
<b>2.1. Marco Teórico.....</b>	<b>19</b>
<b>2.2. Antecedentes .....</b>	<b>20</b>
<b>2.3. Metodología.....</b>	<b>24</b>
2.3.1. Búsqueda bibliográfica.....	24
2.3.2. Utilización de software .....	24
2.3.3. Muestreo y preparación de muestras.....	24
2.3.4. Caracterización química en PXRF .....	29
2.3.5. Control de calidad del método de Fluorescencia de Rayos X con tubos miniaturizados (PXRF) Thermo Scientific Niton FXL.....	31
2.3.6. Caracterización morfológica y composicional con SEM-EDS.....	33

2.3.7. Selección de muestras para análisis en SEM .....	34
2.3.8. Tratamiento de muestras seleccionadas para análisis en SEM .....	37
Capítulo III. Resultados.....	39
<b>3.1. Geoquímica .....</b>	<b>39</b>
<b>3.2. Análisis geoquímico post- tratamiento y comparación con datos previos.....</b>	<b>47</b>
<b>3.3. Análisis SEM-EDS y comparación con mineralogía obtenida por DRX de muestras seleccionadas por cuenca .....</b>	<b>55</b>
Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones.....	81
Anexos I. Figuras .....	85
Anexos II. Técnicas.....	89
Anexos III. Tablas.....	96
Anexos IV. Difractogramas.....	105
Anexos V. Ejemplo de identificación mineralógica con datos de EDS-SEM, DRX .....	111
Bibliografía .....	113

## Lista de figuras

- Figura 1.** Localización del área de estudio, con topografía mediante curvas de nivel, y ubicación de las calles principales de la mancha urbana **Página 12.**
- Figura 2.** Geología del área de estudio con información litológica a escala 1:50,000 (Servicio Geológico Mexicano, Rodríguez-Castañeda, 1981, González Sandoval, 2005) **Página 15.**
- Figura 3.** Mapa Edafológico de la zona de interés. Realizado a partir de datos vectoriales Edafológico de cartas H12-8 y H12-8, INEGI (2007), elaborado en el grupo de trabajo (inédito) **Página 18.**
- Figura 4.** Área que muestra las escuelas primarias visitadas en la ciudad de Hermosillo, en base a su ubicación geográfica basada en cuencas urbanas (inédito). **Página 25.**
- Figura 5 (a-d).** Muestreo en patio de escuela en el cual se muestra cómo se colectaba una muestra barriendo con escobetillas. **Página 26.**
- Figura 6.** Muestras de suelo natural tomadas fuera de la mancha urbana de Hermosillo mediante la técnica de muestreo superficial de tresbolillo para la formación de una muestra compuesta (NMX-AA-132-SCFI-2006) que representan el fondo geoquímico del área. El termino suelos se refiere a suelos aparentemente no impactados por la actividad antropogénica. **Página 27.**
- Figura 7.** Instrumentos utilizados para la preparación de muestras a). Horno de secado VWR 1600 HAFO Series, b). Ro-Tap 8 inch Tyler modelo RX-86 y tamices c). Baño ultrasónico d). Tamices de acero inoxidable con tamaños de mallas de 18 a 635. **Página 29.**
- Figura 8.** Mostrando a). Equipo PXRf Niton FXL empleado en el análisis geoquímico de las muestras las luces rojas indican que estaban operando los tubos miniaturizados de rayos X, b). Muestras a analizadas en el equipo. **Página 30.**
- Figura 9.** Equipo de microscopio electrónico de barrido HITACHI modelo TM3030. **Página 33.**
- Figura 10.** Muestra la masa de suelo que se adhiere a las manos en función del tamaño de partícula y el contenido de la humedad del suelo según Choate *et al.*, 2016 (modificada de Ruby y Lowney, 2012). **Página 34.**
- Figura 11.** Ubicación de las muestras seleccionadas por cuenca (puntos azules), dentro de las nueve cuencas (numeradas). **Página 36.**
- Figura 12.** Tratamiento químico de lixiviación con etanol a las muestras seleccionadas. **Página 37.**
- Figura 13.** IEC Centra-4B Centrifuge utilizado para centrifugar las muestras. **Página 38.**

**Figura 14.** Explicación del proceso de lixiviación solvente-muestra. **Página 39.**

**Figura 15 (a-g).** Resultados de diferentes metales por cuenca en mg/kg correspondientes a los dos muestreos efectuados (n=35). Contemplando los valores máximo, mínimo y medio (diagramas de caja) y situándolos en contexto con el valor de fondo de los suelos naturales (líneas punteadas) además de la muestra seleccionada para su análisis en SEM, con el fin de evaluar las concentraciones totales para cada sito, todos los resultados son para un tamaño de partícula de 20  $\mu\text{m}$ . **Página 42-45.**

**Figura 16 (a-n).** Comparación de concentraciones de metales previo y posterior al tratamiento de las muestras con etanol. **Página 49-52.**

**Figura 17 (a).** Correlación de Zr vs Y con datos previos al tratamiento con etanol a las muestras los puntos rojos corresponden a las muestras de escuela (n=18) y las azules a suelos naturales (n=5). **Página 53.**

**Figura 17 (b).** Correlación de Zr vs Y con datos posteriores al tratamiento con etanol a las muestras los puntos rojos corresponden a las muestras de escuela (n=18) y las azules a suelos naturales (n=5). **Página 54.**

**Figura 18 (A-D).** Partículas mostrando las imágenes obtenidas en SEM tales como SE [a)], BSE [c)], EDS [b), d)], y espectros elementales[e] representando la obtención de información e interpretación del SEM utilizado para este trabajo. **Página 56-59.**

**Figura 19(A, B).** Mineralogía para la cuenca 1 (muestra seleccionada ES-09 y 2ES-09 correspondiente a 20  $\mu\text{m}$  del muestro premonzón y postmonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017). **Página 61.**

**Figura 19(C, D).** Mineralogía para la cuenca 2 (muestra seleccionada ES-12 y 2ES-12 correspondiente a 20  $\mu\text{m}$  del muestro premonzón y postmonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017). **Página 62.**

**Figura 19(E, F).** Mineralogía para la cuenca 7 (muestra seleccionada ES-28 y 2ES-28 correspondiente a 20  $\mu\text{m}$  del muestro premonzón y postmonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017). **Página 63.**

**Figura 19 (G).** Mineralogía para la cuenca 9 (muestra seleccionada ES-28 correspondiente a 20  $\mu\text{m}$  del muestro premonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017). **Página 64.**

**Figura 20 [(A-1)- (A-10)].** Grupo de diferentes partículas geogénicas los cuales se describen más a detalle en el texto. Las imágenes mostradas son aquellas obtenidas en electrones retrodispersos (BSE). **Página 71.**

**Figura 21 [(B-1)- (F-4)].** Grupo de diferentes partículas de origen antrópico (antropogénicas), las imágenes mostradas son aquellas obtenidas en electrones retrodispersos (BSE). **Página 72-80.**

## Lista de tablas

- Tabla 1.** Tamaño de partícula de las diferentes mallas o fracciones obtenidas en el tamizado de las muestras estudiadas. **Página 28.**
- Tabla 2.** Numero de malla y tamaños de partícula de las muestras analizadas en PXRF. **Página 30.**
- Tabla 3.** Muestras seleccionadas por cuenca. **Página 37.**
- Tabla 4.** Concentración total en la fracción 20  $\mu\text{m}$  de muestras representativas por cuenca (criterios de selección en Metodología y Anexos). Todas las concentraciones se expresan en  $\text{mg.kg}^{-1}$ . **Página 40.**
- Tabla 5.** Análisis después del tratamiento con etanol para un tamaño de partícula de 20  $\mu\text{m}$  de las muestras representativas por cuenca (las concentraciones se encuentran contenidas en unidades  $\text{mg.kg}^{-1}$ ). **Página 48.**

## Lista de anexos

### Anexos I. Figuras

- Anexo 1.** Formato de cadena de custodia en la cual las muestras fueron registradas para llevar un control de las muestras en campo y un mejor manejo de la información en cada sitio. **Página 85.**
- Anexo 2.** Esquema de distribución en tresbolillo de los incrementos a tomar para la formación de una muestra compuesta. Especificado por la NMX-AA-132-SCFI-2006. **Página 86.**
- Anexo 3.** Contenidos totales por malla o tamaño de fracción de los elementos en las muestras seleccionadas para su análisis en SEM, se puede observar que por lo general hay una mayor concentración de los elementos a menor tamaño de partícula. **Página 86-89.**

### Anexos II. Técnicas

- Anexo 4.** Explicación de la técnica de fluorescencia de rayos X. **Página 89-92.**
- Anexo 4.1.** Esquema de la emisión de la radiación de fluorescencia de rayos X (elaboración propia, tomado como fuente a Gutiérrez-Ginés *et al.*, 2010). **Página 90.**
- Anexo 4.2.** Representación de las partes internas de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X. **Página 91.**
- Anexo 5.** Explicación del funcionamiento del Microscopio electrónico de barrido. **Página 92-95.**
- Anexo 5.1.** Esquema de los componentes principales de un SEM. **Página 95.**



### **Anexos III. Tablas**

**Anexo 6.** Estándares analizados para establecer un Control de calidad de los análisis para el equipo Niton FXL (todas las concentraciones se expresan en mg.kg<sup>-1</sup>). **Página 96-97.**

**Anexo 7.** Ubicación de las muestras y comentarios según las cadenas de custodia de las muestras seleccionadas para su estudio. **Página 98-99.**

**Anexo 8.** Datos brutos de contenidos totales por elemento en las mallas analizadas por PXRF (Todas las concentraciones se expresan en mg.kg<sup>-1</sup>). **Página 100-102.**

**Anexo 9.** Valores máximos, mínimos y promedios de diferentes metales para las 9 cuencas (utilizados en la Figura 13 a-f). **Página 103-104.**

**Anexo 10.** Concentraciones de diferentes metales de los suelos recolectados para un tamaño de partícula de 20 µm (los valores se expresan en mg.kg<sup>-1</sup>). **Página 104.**

### **Anexos IV. Difractogramas**

**Anexo 11.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-09. **Página 105.**

**Anexo 12.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-12. **Página 105.**

**Anexo 13.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-28. **Página 106.**

**Anexo 14.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-33. **Página 106.**

**Anexo 15.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 2ES-09. **Página 107.**

**Anexo 16.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 2ES-12. **Página 107.**

**Anexo 17.** Análisis semi-cuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave 2ES-33. **Página 108.**

**Anexo 18.** Análisis semi-cuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave ES-19. **Página 108.**

**Anexo 19.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 4CM. **Página 109.**

**Anexo 20.** Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 5RG. **Página 109.**

**Anexo 21.** Análisis semicuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave 5RG (suelo de fondo). **Pág.110.**

**Anexo 22.** Análisis semicuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave 5RG (suelo de fondo). **Pág.110.**

### **Anexos V. Ejemplo de identificación mineralógica con datos de EDS-SEM, DRX**

**Anexo 23.** Tabla de comparación de resultados SEM EDS contra datos obtenido en DRX de Ochoa-Contreras, 2017. **Página 111-112.**

## Resumen

La ciudad de Hermosillo localizada al noroeste de México es un área urbana, semiárida con un clima seco y un periodo de lluvia restringido al verano el cual lleva a una erosión hídrica intensa y posterior resuspensión de suelos y polvo.

Se recolectaron muestras en la ciudad de Hermosillo antes y después del fenómeno denominado Monzón de Norte América el cual provoca la mitad de lluvia del NW de México. Los lugares de muestreo fueron canchas de escuelas primarias distribuidas en cuencas urbanas ya que la población de niños es más propensa a ingerir cantidades significantes de polvo comparados a adultos.

Muestras de polvo seleccionadas por cuenca de tamaño de 20 micras ( $\mu\text{m}$ ) fueron estudiadas más a fondo con fluorescencia portátil de rayos-X (PXRF), microscopio electrónico de barrido (SEM), y difracción de rayos-X (DRX). Tras el análisis geoquímico de las muestras urbanas estas fueron comparadas contra muestras de suelos de fondo recolectados fuera del área urbana. Las muestras fueron tratadas con etanol para remover aceites y grasas que pueden afectar el desempeño del SEM.

Las concentraciones de Fe, Zn y Zr, mostraron una evidente fuente antropogénica teniendo el Zr una fuente de emisión continua y el Zn una concentración que aumenta tras el periodo de lluvias. Los datos geoquímicos y forma de las partículas fueron importantes indicadores de su origen ya que a la escala del trabajo un cristal bien definido se interpreta como de origen antrópico. Las partículas antropogénicas denominadas esférulas de Fe que corresponden a una mineralogía de hematita ( $\text{FeO}_2$ ), morfologías elongadas/fibrosas de hematita y morfologías prismáticas de ulvoespinela ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ) se encontraron en el polvo urbano. Además, también se encontraron partículas de Zr y Cordierita (natural/sintética) las cuales se podrían denominar contaminantes emergentes.

Es importante recalcar la importancia de este estudio debido a que principalmente se han efectuado estudios previos para estudiar concentraciones totales de metales. Así mismo se recomienda dar mayor énfasis en el futuro a entender los problemas adversos a la salud por exposición a los materiales descritos.

## Abstract

The city of Hermosillo located at northern Mexico is a semi-arid urban area, with dry climate and a summer-season restricted period of rain which leads to a notorious hydric erosion and resuspension of soils and dust.

Samples were collected at Hermosillo city before and after the phenomenon known as American Monsoon that accounts with half of rain in NW Mexico (Serra *et al.*, 2016). Sample locations were school yards distributed in urban basins because of children population is more propense to ingest significant amounts of dust compared to adults.

Selected 20 microns size dust samples were further investigated with X-ray fluorescence (PXRF), scanning electron microscope (SEM), and X-ray diffraction. After the geochemical analysis of the urban samples these were compared against “apparently not impacted” background soil samples. Urban samples were treated with ethanol to remove oil and greases that could affect the SEM performance.

Concentrations of Fe, Zn and Zr, showed an evident anthropogenic source with Zr as a continuous emission and Zn concentration increasing after the rain period. The geochemical data and the morphology of the particles were important indicators of their origin because a well-defined shape of minerals at this work scale is described as anthropogenic. Anthropogenic hematite ( $\text{FeO}_2$ ) spherules and elongated/fibrous morphologies of hematite and prismatic ulvospinel ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ) were found. Zr and cordierite particles minerals were identified (natural/synthetized) and could be denominated as emergent pollutants.

It is important to mention the importance of this study because of its contribution, mainly, as previous works have only focused on total concentrations of metals. Likewise, it is recommended to give more emphasis on understanding the adverse problems related to human health for the exposition of the described materials.

## Capítulo I. Generalidades

### 1.1. Introducción

Diversos estudios a nivel internacional sobre evaluación de riesgo a la salud humana por exposición a metales se centran en el contenido total de estos y de sus fuentes de emisión, sin embargo, existen muy poca documentación de las formas químicas de estos metales y en particular casi no hay trabajos publicados que establezcan la asociación de los metales con sus minerales, ya sean de fuente geogénica o antropogénica (Faiz *et al.*, 2009; Ferreira *et al.*, 2005; Al-Khashman, 2004).

La definición de polvo se relaciona con el diámetro aerodinámico de las partículas que corresponde con el diámetro de una esfera uniforme que a su vez está determinada por la forma y densidad de la partícula y con un amplio intervalo de tamaño (0.005 a 100 $\mu$ m), suspendido en el aire (García, 2008; Bell *et al.*, 2004).

El material particulado puede provenir de dos fuentes, geogénica o antropogénica. La primera se deriva de suelos o rocas, mientras la segunda mencionada se deriva de partículas generadas por el hombre tales como emisiones de tráfico vehicular, sistemas de calefacción, deterioro y renovación de construcciones, corrosión de estructuras metálicas galvanizadas, partículas de esmalte y pinturas en el aire, etc. (Faiz *et al.*, 2009; Ferreira *et al.*, 2005; Al-Khashman, 2004).

Diversos autores han denominado el polvo urbano, como la materia sólida, que está compuesta de suelo, constituyentes metálicos antropogénicos, y materiales biogénicos naturales, que se depositan y se acumulan a lo largo de las calles (Ferreira *et al.*, 2005; Sezgin *et al.*, 2003; Al-Khashman, 2004; Hjortenkrans *et al.*, 2006). El polvo puede llevar a problemas relacionados a la salud humana debido a la combinación de materiales que este conlleva en un ambiente urbano. Hablando sobre material depositado en calles o construcciones, esta es una importante vía de contaminación en ambientes urbanos pues en este ocurre una acumulación tanto de material proveniente de suelos aledaños como aporte de desgaste de tráfico, deterioro de construcciones y desgaste de pinturas utilizadas en edificios y en vialidades lo que hace al polvo urbano un material integrado por constituyentes diversos que lo vuelven una matriz muy compleja (Crosby *et al.*, 2014). La evidencia

toxicológica con respecto a los efectos adversos a la salud por material grueso suspendido total ha mostrado un aumento en la citotoxicidad y efectos inflamatorios a través del aumento del estrés oxidativo resultante de la exposición a partículas relacionadas con el tráfico (Jalava *et al.*, 2008). Todo esto expone a nivel peatonal a las personas que interactúan y realizan actividades en áreas urbanas lo que promueve la exposición humana a estos contaminantes.

Como se mencionó con anterioridad, son pocos los trabajos que se enfocan en el estudio de la mineralogía en el material particulado y/o polvo dentro de un área urbana (Gunawardana *et al.*, 2014; Räisänen *et al.*, 2005) estos principalmente se enfocan a componentes mineralógicos mayores y son especialmente escasos aquellos que se interesan en el origen de las partículas a partir del análisis del Espectrómetro de Energía Dispersiva (EDS) acoplado a SEM (Ram *et al.*, 2014; Song *et al.*, 2014).

La mayoría de trabajos que integran diversos criterios de investigación tales como la identificación, correlación de la geoquímica e interpretación de formas y propiedades con tamaño de partícula mineral, se enfocan en su mayoría al estudio de la fase ferromagnética en el polvo urbano, haciendo hincapié en el estudio de fases magnéticas. (Crosby *et al.*, 2014; Guo *et al.*, 2014; Bourliva *et al.*, 2015; Magiera *et al.*, 2011). En grandes ciudades del mundo se han relacionado análisis simples y rápidos como primer paso a la investigación de estos temas de mineralogías en polvo urbano (Sur de Polonia, Londres, Tokio, Hong Kong, Shangai, Newark Nueva Jersey), pero más que nada claramente enfocados a contaminantes específicos. Estos estudios remarcan la presencia de materia antropogénica significativamente arriba de las concentraciones promedio de niveles de fondo y principalmente constituida de esférulas de hierro mayormente de óxidos de hierro, plomo, cobre y zinc que son mayormente indicativas de procesos de combustión vehicular, asimismo hacen énfasis de las formas esféricas de estas partículas y mencionan posibles repercusiones a la salud debida a estos materiales específicamente en fracciones solubles de Fe y Zn las cuales juegan un rol importante en la producción de radicales de hidroxilo en el fluido de pulmón vía la reacción Fenton, y puede ser una causa de inflamación celular (Guo *et al.*, 2014).

En años recientes la tecnología de micro y nanopartículas se ha expandido al uso de materiales geológicos o sintéticos en forma mineral con las mismas propiedades físicas y

químicas que los geológicos, tales como, nano-arcillas, zeolitas, óxidos metálicos, y minerales de elementos de tierras raras y platinoides entre otros con aplicaciones hacia productos comerciales como bloqueadores solares, pigmentos, capas selladoras/cubiertas, cerámicos y pinturas (NIOSH, 2009; Solanki, 2015). Ejemplo de esto es el mineral denominado crocoita el cual es un cromato de plomo ( $PbCr_4$ ) que es utilizado en pigmentos y cuya presencia ha sido detectada como pigmento en pintura amarilla de tráfico en estudios previos en Hermosillo (Del Río-Salas *et al.*, 2012). Este mineral es de principal interés debido a que en su estructura el mineral contiene cromo hexavalente el cual es en sí mismo un metal cancerígeno. Se ha sugerido que partículas de cromo hexavalente pueden ocurrir como nanopartículas adheridas a partículas ferromagnéticas (Lee *et al.*, 2016).

Otros micro minerales utilizados como cerámicos son, la cordierita ( $SiAlMg$ ) y el zircón ( $ZrO_2$ ). La cordierita es un mineral refractario (con alto punto de fusión  $>1400^\circ C$ ), utilizado junto con el zircón en el monolito cerámico dentro de los catalizadores, lo cual da como resultado una reacción de síntesis ideal para elaborar este aditamento en los catalizadores, ya que dentro de este artefacto ocurren procesos físico-químicos a altas temperaturas y estos minerales mencionados poseen propiedades que los hacen resistentes a la exposición de choques térmicos (Kristiani *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2016).

El desgaste de los materiales previamente descritos y posterior integración al polvo urbano no ha sido interpretado y aún son desconocidos los efectos a la salud por exposición a estos.

La importancia de estudiar la mineralogía en polvos urbanos es debido a que es una manera de estudiar y/o diferenciar el material particulado según su origen y forma e ir un paso más lejos a la interpretación de concentraciones geoquímicas la cual se ha realizado en trabajos previos en el área de estudio. Si bien se ha estudiado partículas en Microscopio Electrónico de Barrido (SEM por sus siglas en inglés) en trabajos previos en polvo urbano de Hermosillo (Ramírez-Leal *et al.*, 2007), estas solo han sido interpretaciones de material particulado suspendido (PM10 y PM2.5) implicando solamente la composición de las partículas muestreadas sin hacer hincapié en su forma, origen y mineralogía.

El presente trabajo pretende efectuar una interpretación mineralogía de polvos urbanos en escuelas primarias de la ciudad de Hermosillo. El muestreo fue efectuado en escuelas

primarias tomando en cuenta que los niños son más propensos a ingerir cantidades significantes de polvo que los adultos por el comportamiento de llevarse a la boca objetos y repetidamente chuparse los dedos y las manos. Además, los niños tienen mucha mayor absorción de metales del sistema digestivo y más alta sensibilidad a la hemoglobina (Meza-Figueroa *et al.*, 2007; Li R. *et al.*, 2014). Lo que da particular interés de estudiar estos sitios, es que los niños pasan gran parte del tiempo del día interactuando en sus escuelas y puede ser la vía de mayor exposición.

La caracterización y distribución espacio-temporal del material particulado de origen geogénico y su distinción de aquel de origen antropogénico permite entender mejor el comportamiento de las fuentes del área y realizar una estimación del riesgo a la salud más adecuada.

## 1.2. Objetivo

### 1.2.1. General

- Estudiar la morfología y tamaño de partículas de *polvos sedimentados en escuelas en base a SEM*, así como evaluar su *composición geoquímica*.

### 1.2.2. Particulares

- Analizar la *composición geoquímica total de los polvos sedimentados en patios de escuela*.
- Utilizar trazadores geoquímicos para el diagnóstico de contaminantes asociados al tráfico.
- Identificar el *origen natural o antrópico* de elementos químicos en relación a los muestreos: pre-monzón y post-monzón.
- Analizar la *morfología y tamaño de partícula* por medio de SEM.
- Utilizar la técnica de Difracción de Rayos X (DRX) como una herramienta de apoyo al SEM en la identificación mineralógica.

### 1.3. Descripción del sitio de estudio

#### 1.3.1. Localización

La ciudad de Hermosillo, localizada al NW de México y en la parte centro-occidental del Estado de Sonora, es representada como un área urbana semiárida rodeada por actividades industriales y agricultura. El clima del área y la escasa cubierta vegetal son algunos de los detonantes por los cuales la erosión hídrica es intensa y esto a su vez facilita que posteriormente el viento resuspenda las fracciones granulométricas más finas del suelo y la emisión del material particulado (Meza-Figueroa *et al.*, 2007; Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015).

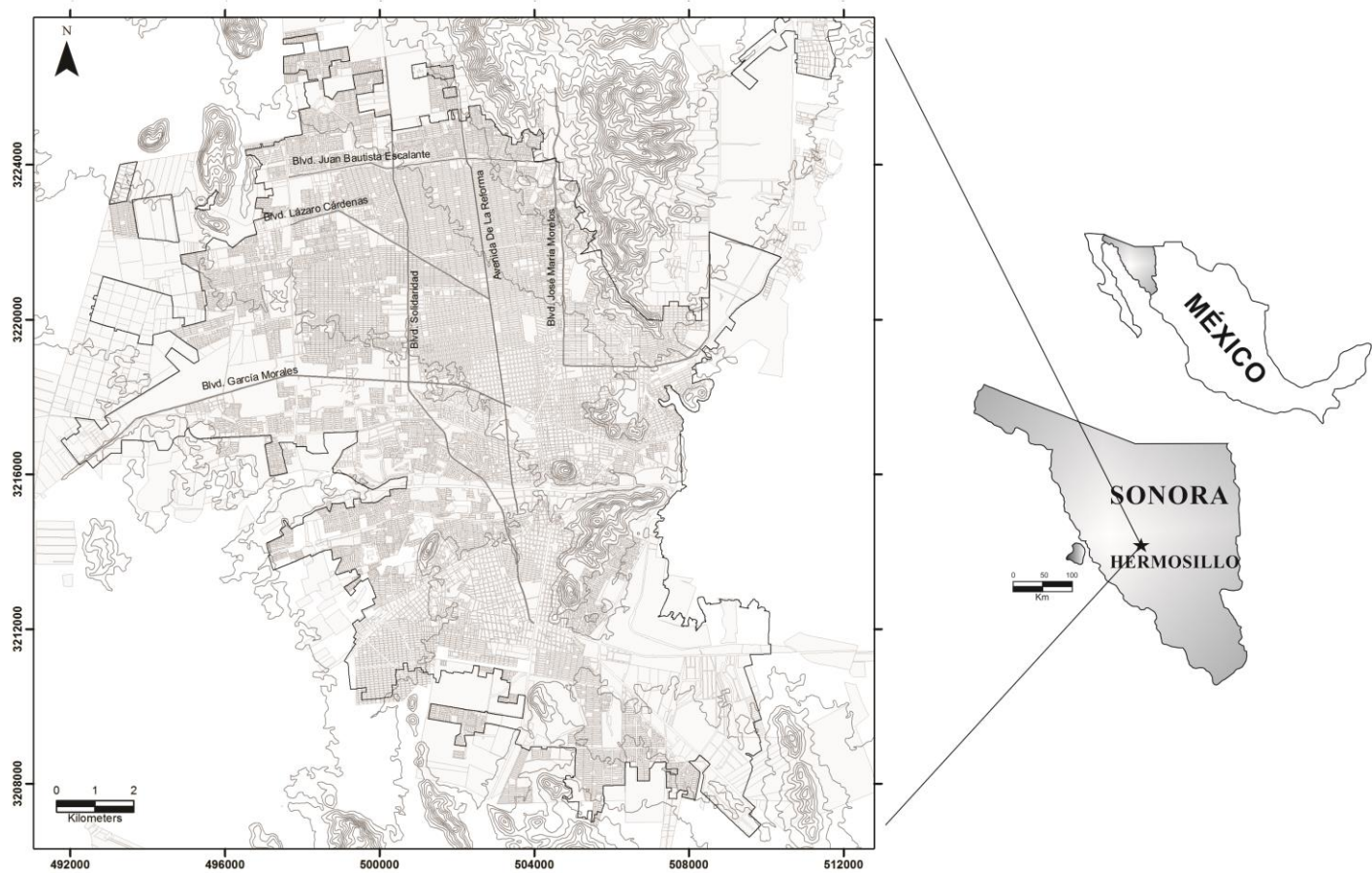
Hermosillo se encuentra a una altitud de 210 metros sobre el nivel del mar (msnm) (Figura 1). Es una ciudad con una población de aproximadamente 784,342 personas (INEGI, 2012).

La ciudad cuenta con dos plantas cementeras, una planta ensambladora de autos, procesadora de metales, electrónicos, comunicaciones y una de las más importantes minas de wollastonita (Del Río-Salas *et al.*; Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015). La mayoría de la actividad industrial se concentra en un parque industrial localizado al sureste de la ciudad.

Esta además se encuentra dentro del desierto de Sonora uno de los desiertos más importantes del mundo (García-Rico *et al.*, 2016).

Situando al área a nivel global en cuanto a la fuerza relativa de las emisiones de polvo de diferentes partes del mundo, la mayor importancia, primeramente, la tiene el Sahara (con alrededor de la mitad del total global), segundo China y Asia Central con cerca de del 20% del aporte global, y tercer y cuarto lugar con Arabia y Australia respectivamente. Sudáfrica y América (en donde se incluye esta área) son fuentes relativamente menores, juntas contando con cerca del 5% del total global (Goudie, 2014).





**Figura 1.** Localización del área de estudio.

### 1.3.2. Clima

A nivel global las tierras áridas cubren aproximadamente un 41% de la superficie de la tierra las cuales se describen como sensibles a alteraciones en el clima, uso de su tierra y con escasa cubierta vegetal para cubrir la superficie del suelo ofreciendo menor protección lo que deja más propensos a sus suelos a la erosión por viento y emisión de sus partículas (Goudie, 2014; Flagg *et al.*, 2014).

La mayor emisión a escala global de partículas minerales por acción de los vientos sobre la superficie terrestre, se produce en estas regiones (Prospero *et al.*, 2002; Ginoux *et al.*, 2012) siendo el Sahara (con cerca de la mitad a nivel global) la que proporciona mayor aporte, seguido de China y Asia Central (con alrededor del 20% del total global), en tercer lugar, Arabia y cuarto Australia. Sur África y América son relativamente menores que suman un aporte con cerca del 5 % del total (Ginoux *et al.*, 2012).

El clima de Hermosillo es dominante seco y desértico con largos periodos sin precipitaciones y una dirección de viento que prevalece de suroeste al noreste Con variaciones S-N y SW-NE en pre-monzón (julio a septiembre), y post-monzón (octubre a marzo) (Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015).

La temperatura media de la ciudad es de 25.10°C (35 a 49 °C durante el verano, y 8 a 5°C durante el invierno) y una precipitación media anual de 400.70 mm (INEGI, 2012).

Las principales precipitaciones del área se dan durante lo que se conoce como el Monzón de Norte América (American Monsoon), el cual es un fenómeno meteorológico/climatológico importante en el SW de los Estados Unidos de América y que además está caracterizado por contar con más de la mitad de la precipitación total anual del NW de México (Serra *et al.*, 2016).

La precipitación durante el Monzón de Norte América en el NW de México se da durante los meses de julio a septiembre y a nivel local se caracteriza por lluvias que originan inundaciones, vientos, rayos, y tormentas de arena (pequeños remolinos a nivel muy local) (Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015).

#### 1.4. Geología del área

En Hermosillo afloran rocas de diversas edades y orígenes (Figura 2).

En los cerros la Campana, de La Cementera, Tecoripa, y Agualurca, y Lomas el Rayo afloran rocas carbonatadas paleozoicas (Rodríguez-Castañeda, 1981). En algunos lugares fueron afectadas por metamorfismo de contacto formando afloramientos de hornfels y mármoles los cuales presentan fenocristales de vesuvianita y ocasionalmente cristales de wollastonita.

Limolitas, calizas, calizas arcillosas, calcarenitas y microconglomerados de edad mesozoica (Triásico-medio), afloran en la Sierra La Flojera.

En la Sierra Bachoco principalmente, aflora un intrusivo (Cretácico) que varía de composición de granito a granodiorita, además también aflora en otras áreas como en los cerros El Mariachi, El Coloso, El Ranchito, cerro Piedra Bola y al Sur del cerro La Cementera (González-Sandoval, 2005).

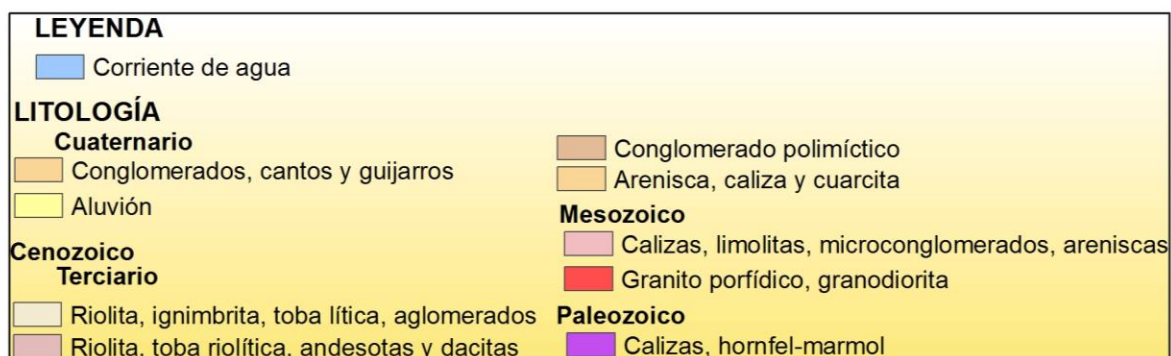
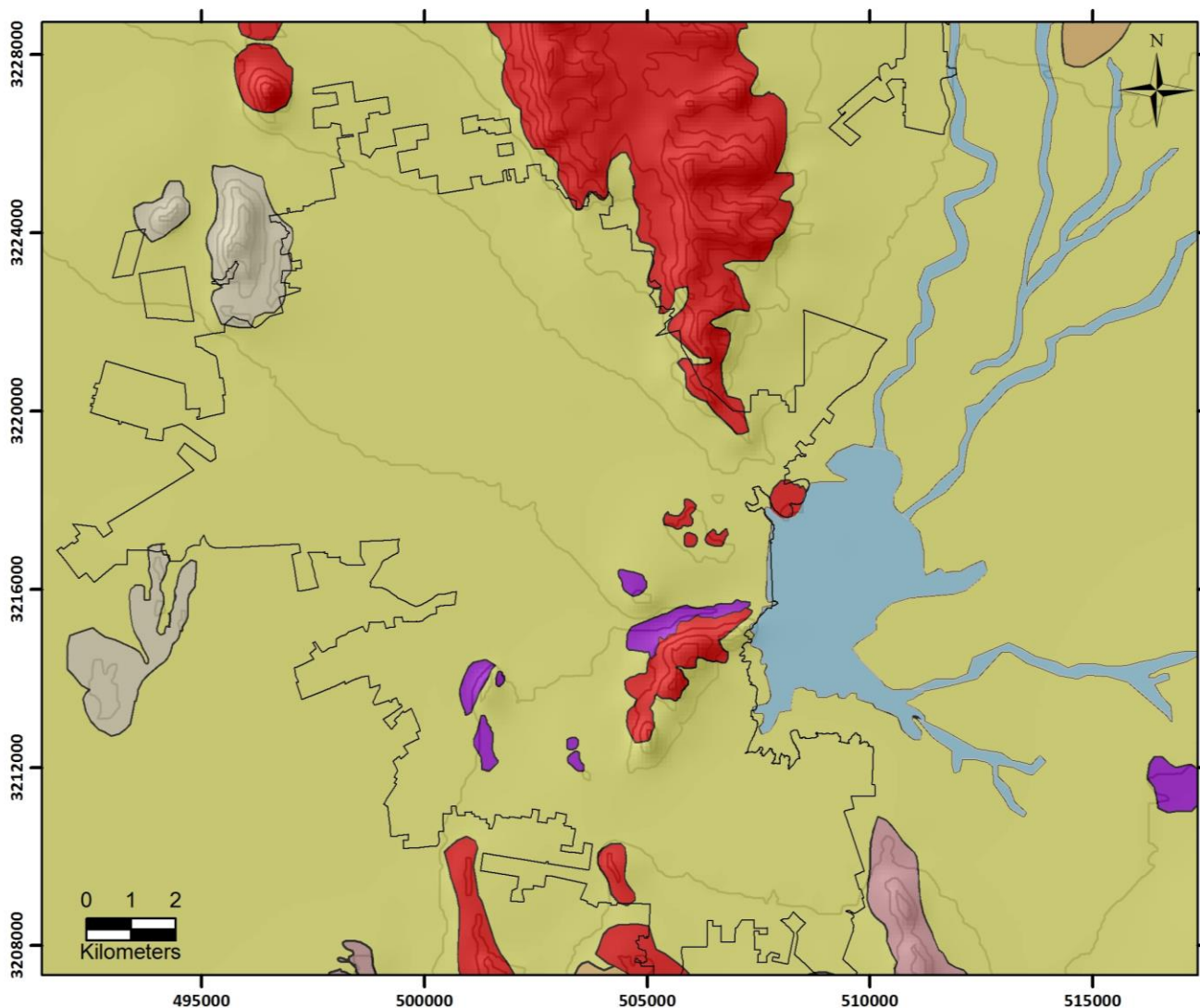
Diques de diversas composiciones (riolíticas, de andesita-diorita y pegmatita-aplita) afloran asociados al intrusivo de la Sierra El Bachoco, y en todas las áreas que aflora el granito-granodiorita, son observables los cerros La Cementera, El Ranchito. Por relaciones cortantes estos diques son más jóvenes que el intrusivo (Terciario o más joven).

En los cerros Las Cuevitas y Cerro Colorado afloran riolitas, ignimbritas, y una variedad de rocas félsicas de edad cenozoica.

Al NE de Hermosillo aflora una unidad conglomerática constituida por fragmentos de rocas de varias composiciones (polimíctico) del Cuaternario.

Una variedad de rocas volcánicas cenozoicas (Terciario) representada por derrames piroclásticos riolíticos, tobas, brechas volcánicas y andesitas y dacitas aflora al sur de Hermosillo.

Conglomerado Cuaternario aflora en el Cerro Las Víboras además de gravas, arenas y limos producto de la erosión. La edad más joven la constituye el aluvi3n (arcillas, arenas y otros sedimentos no consolidados).



**Figura 2.** Geología del 3rea de estudio (Figura modificada a partir de compilaci3n de mapas del Servicio Geol3gico Mexicano Rodr3guez-Castañeda, 1981, Gonz3lez Sandoval, 2005).

## 1.5. Edafología

La edafología del área está constituida por una variedad de los principales Grupos de Suelos de Referencia (GSR, primer nivel de clasificación) del WRB (World Reference Base of Soil Resources). Los suelos presentes en el área de interés son: Calcisol, Regosol, Leptosol, Cambisol, Phaeozem y Vertisol, en importancia por orden de aparición, con presencia puntual de arenosol, luvisol y fluvisol (Figura 3).

Los suelos más abundantes en el área son los **Calcisoles**, los cuales son comunes en zonas áridas y semiáridas y se caracterizan por una alta acumulación de material calcáreo secundario. Se dan por acumulación de carbonato secundario (WRB, 2014).

Los **Regosoles** se definen por tener poco o ningún desarrollo de perfil, pueden ser de edad joven y/o bien como consecuencia de una lenta formación debido a por ejemplo condiciones áridas. Se pueden dar en todo tipo de clima, aunque son más comunes en zonas áridas-semiáridas (WRB 2014). Son pobres en materia orgánica y se parecen bastante a las rocas que les da origen (INEGI, guía para la interpretación de cartografía edafológica).

Los **Phaeozem** (o Feozem) son suelos bien desarrollados con horizonte superficial oscuro, rico en humus y suficientemente húmedos. Están más intensamente lixiviados a comparación de otros suelos de desarrollo similar (Chernozems y Kastanozems) (SERMANAT, 2012).

Los **Vertisoles**, son influenciados por presencia de agua y se dan en zonas de planicies de inundación (ambientes fluviales, lacustres y marinos). Presentan un alto contenido en arcillas que se expanden y contraen. Ocurren en climas templados y cálidos, especialmente de zonas con una marcada estación seca y otra lluviosa.

Los **Cambisoles**, se caracterizan por presentar una capa con terrones que presentan vestigios del tipo de roca subyacente y que además puede contener pequeñas acumulaciones de arcilla, carbonato de calcio, hierro o manganeso (INEGI, guía para la interpretación de cartografía edafológica).

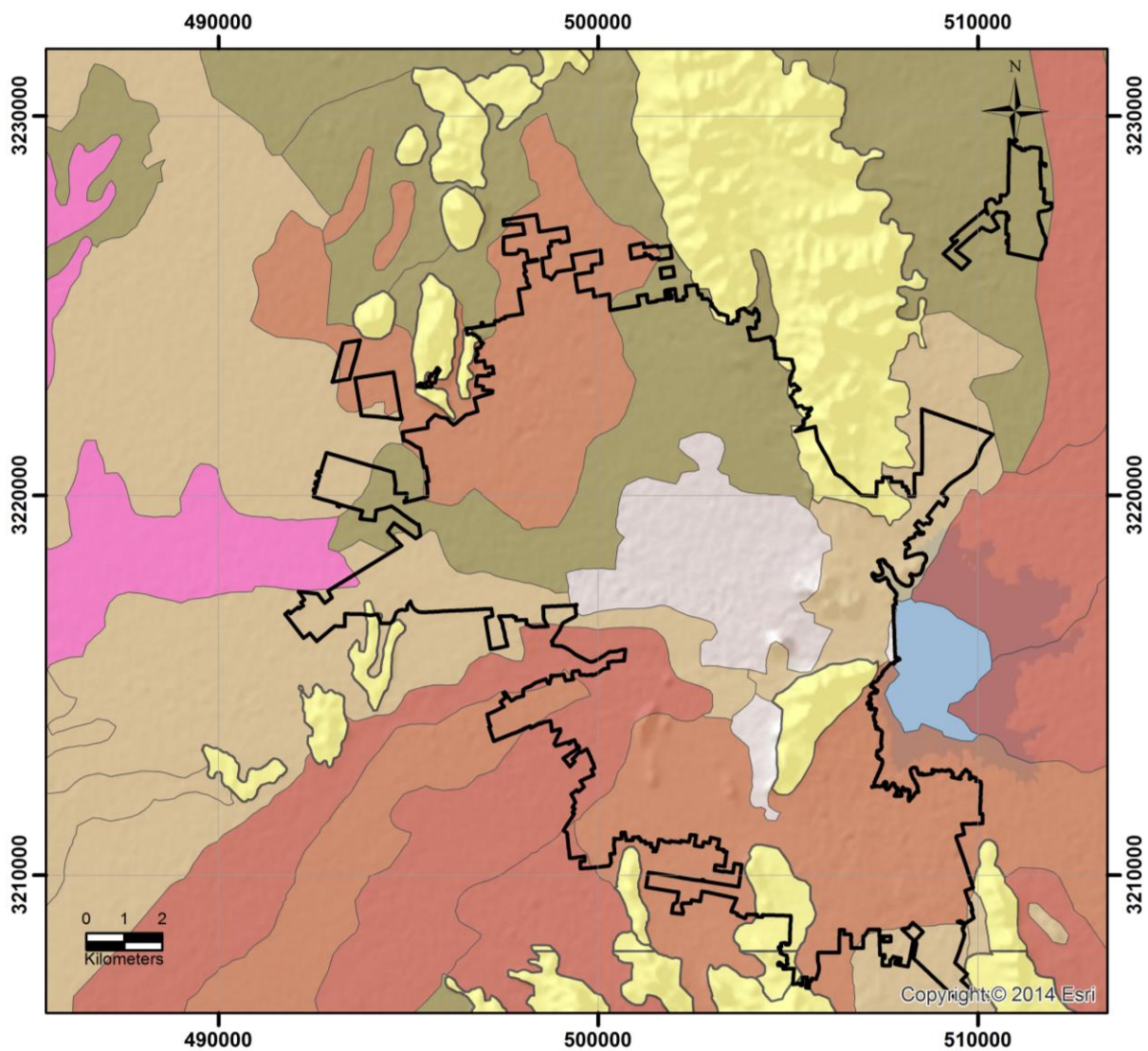
**Luvisol** solo se observa en una zona acotada dentro del área de interés, a unos 40 km SW del área urbana. Se caracterizan por tener un alto contenido de arcillas en horizontes inferiores,

se dan en zonas de llanuras o pendiente suaves y requieren climas con marchada estación seca y húmeda (WRB, 2014).

Los **Fluvisoles**, que se da en pequeños parches a lo largo de la zona de estudio. Están fuertemente influenciados por la presencia del agua, dándose en zonas de planicies de inundación (ambientes fluviales, lacustres y marinos). Aunque presente evidencia de estratificación en perfil, difícilmente se diferencian horizontes (WRB, 2014).

Los **Arenosoles** son suelos relativamente jóvenes y con poco o ningún desarrollo de perfil, solo aparece en un horizonte al NW del área de estudio. Pueden darse como arenas residuales resultado de la meteorización in situ de sedimentos o rocas ricos en cuarzo o arenas recientes como procedentes de dunas y de playa (WRB, 2014).

Los **Leptosoles**, son suelos muy someros, debido a que el material parental (roca continua) se encuentra muy superficial., Además se definen por ser suelos bastante graviliosos y/o pedregosos, y en zonas de pendientes pueden ser suelos muy susceptibles a la erosión (WRB, 2014). En el área de estudio se encuentran en todas las áreas con afloramientos en los cerros.



**Simbología**

	Límite Urbano		Cambisol		Fluvisol
	Arenosol		Phaeozem		Vertisol
	Calcisol		Leptosol		Luvisol
	Regosol				

**Figura 3.** Mapa Edafológico de la zona de interés. Realizado a partir de datos vectoriales Edafológico de cartas H12-8 y H12-8, INEGI (2007), elaborado en el grupo de trabajo (inédito).

## Capítulo II. Materiales y métodos

### 2.1. Marco Teórico

Un mineral es un sólido homogéneo, con una composición química definida y una disposición atómica ordenada. Normalmente se forma mediante un proceso inorgánico (Klein y Hurlbut, 1993).

La razón más importante por la cual un gran número de investigaciones se refieren al polvo urbano en las últimas tres décadas, es debido a los efectos potenciales por exposición a estos materiales a través de inhalación, ingestión y/o contacto dérmico. Probablemente, la pregunta más difícil acerca del potencial adverso del polvo urbano a los efectos a la salud es la evaluación cuantitativa de las tasas de exposición (Ferreira *et al.*, 2005). Sin embargo, una pregunta muy importante es si la mineralogía juega un papel en la captación de metales y cuáles son los mecanismos dominantes de dicha captura.

El polvo urbano es operacionalmente definido como las partículas de material al aire libre con diámetros debajo de 100  $\mu\text{m}$  ya que estas son fácilmente resuspendidas, opuesto a grandes partículas que se mueven principalmente por saltación y arrastre (Ferreira *et al.*, 2005). Con esta definición se puede explicar el propósito del presente trabajo y como se explica en el apartado de metodología la separación de la muestra total en diferentes tamaños de partícula.

Los tamaños de partícula separados por medio del tamizado nos dan como resultado la recuperación del “material más fino de la muestra” o polvo, pero este a su vez es material grueso comparadas con partículas a otros niveles (diámetros aerodinámicos). Las partículas más finas con diámetros aerodinámicos han sido de mayor énfasis en estudios ya que se ha documentado que debido a su tamaño tienen alto potencial de depositarse en los conductos respiratorios del tórax (PM10) mientras que esos con diámetros debajo de 2.5 $\mu\text{m}$  (PM2.5) pueden llegar hasta el alveolo. (Lippmann y Chen, 2009).

Sin embargo, las partículas más gruesas en climas áridos pueden funcionar como acarreadoras de contaminantes relacionadas a tráfico o partículas de cualquier origen y tamaño (partículas de hasta 100  $\mu\text{m}$ ) (Meza *et al.*, 2016).



La resuspensión y transporte de suelos, escorrentía superficial, y erosión eólica son los promotores dominantes de la emisión de polvo en climas áridos. A su vez la integración de metales antropogénicos especialmente aquellos provenientes de fuentes de tráfico a nivel peatonal en un área urbana, se deben al constante flujo vehicular el cual conlleva el desgaste y emisión de escape de autos, frenos, llantas, catalizadores, vestiduras de frenos etc., que pueden ser considerados contaminantes emergentes (Fujiwara *et al.*, 2011), además podemos encontrar partículas que se integran a partir de pinturas o esmaltes, desgaste de pavimentos entre otras.

El impacto de tráfico y su emisión en áreas urbanas está ligado fuertemente a la demanda de transporte, densidad de tráfico, clima, características topográficas y condiciones físicas de las calles. (Barrios *et al.*, 2012).

Estos procesos son aumentados en países como México, donde el servicio de transporte público es pobremente manejado, forzando a los ciudadanos a un uso excesivo de vehículos para el transporte diario (Meza *et al.*, 2016).

En un esfuerzo por reducir las emisiones de polvo, el porcentaje de superficie pavimentado con asfalto se ha incrementado en ciudades localizadas en zonas desérticas a lo largo de México (Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015). Pero esta solución no tiene gran efectividad (Zheng *et al.*, 2010; Pasha y Alharbi, 2015).

Los patios de escuela en los cuales los niños pasan su tiempo de esparcimiento, conviven y pasan gran parte de su día se ve afectado por los fenómenos antes descritos de depósito de material proveniente de diferentes fuentes geogénicas y antropogénicas.

Trabajos previos en la ciudad de Hermosillo han probado que las emisiones de polvo aumentan con el Monzón de Norteamérica (Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015) lo que da pauta y paso al presente trabajo.

## **2.2. Antecedentes**

A nivel internacional, múltiples trabajos se han realizado con el fin de estudiar las concentraciones de metales en polvo urbano, entre otras técnicas de identificación para el

material potencialmente suspendible. A continuación, se mencionan algunas las cuales tienen mayor relación con el presente trabajo.

Tong y Lam (1998) reportaron contaminación por metales en 53 escuelas y jardines de niños en Hong Kong e indicaron que los Vehículos automotores son una de las principales fuentes de metales en polvo.

Li R., *et al.* (2014) realizaron un estudio en Beijing en el que tenían como objetivo estudiar los contenidos y formas químicas en polvo de calles, suelos aledaños a las calles y sedimento en escuelas, de metales tóxicos como Cd, Cr, Cu, Ni, Pb y Zn. En este trabajo encontraron que los valores de estos metales eran mayores en el polvo de escuela que en los suelos, además, de que los metales Cr y Ni se originaron de fuentes naturales mientras que Cd, Cu, Pb y Zn se originaron parcialmente de fuentes antropogénicas.

Chen H., *et al.* (2014) analizaron las concentraciones de As, Ba, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, V, y Zn en jardines de niños y escuelas primarias en Xi'an, provincia Shaanxi China, los resultados mostraron que, en comparación con los suelos de Shaanxi, las muestras de polvo tienen concentraciones elevadas de metales.

La información publicada en el área de Hermosillo acerca de la contaminación en el aire por metales en polvo se ha dado por muestreos a partículas con diámetros aerodinámicos como PM<sub>10</sub> (diámetro aerodinámico de 10 µm) y PM<sub>2.5</sub> (diámetro aerodinámico de 2.5 µm) (Ramírez-Leal *et al.*, 2007), muestras de polvo sedimentado en techos de escuelas y polvo suspendido en el aire a alturas de 1 a 2 m (Meza-Figueroa *et al.*, 2007, Del Río-Salas *et al.*, 2012 y Moreno Rodríguez *et al.*, 2015).

Meza-Figueroa *et al.*, (2007), realizaron un trabajo con el fin de proveer un panorama en la distribución de metales como Cd, Cr, Co, Cu, Ni, Pb, V y Zn en Hermosillo y así evaluar la calidad del polvo con respecto a su contenido en metales. Las conclusiones a las que llegaron se mencionan a continuación.

En la parte norte de la ciudad los niveles de partículas suspendidas totales (TSP) son más altos, pero los niveles de metales son más altos en el área sur (mostrando valores altos de

Cd), esto comprueba que al norte de la ciudad las TSP tienen mayor influencia geogénica que en el sur.

Los autores resaltan la idea de que un análisis mineralógico debe de ser efectuado para comprobar esto.

Ramírez-Leal *et al.*, (2007), realizaron un estudio de partículas suspendidas totales (PST) y partículas menores a 10 micras ( $PM_{10}$ ), en tres zonas de la ciudad de Hermosillo; empleando técnicas de Microscopía Electrónica de Barrido de Transmisión, equipados con EDS (Energy Dispersive Spectrometer), y de Sincrotrón. Los autores reportaron la presencia de U por primera vez en una investigación de monitoreo de calidad del aire en un área en la que no se encuentran plantas nucleares localizadas cerca de la población humana. Aunque el origen del U presente en las partículas suspendidas en el aire de la ciudad se considera natural, estas partículas que contienen uranio se encontraron en todas las zonas estudiadas en el área.

Del Río-Salas *et al.*, (2012), realizaron un estudio para determinar la distribución espacial de la concentración de plomo en la ciudad de Hermosillo. Para ello muestrearon polvo suspendido y polvo sedimentado en techos de escuela, y utilizaron end-members de las composiciones isotópicas de plomo en rocas, suelos y polvos urbanos. Los autores concluyeron lo siguiente.

Las zonas noroeste, centro y sur de la ciudad mostraron mayor afinidad a un origen antropogénico, mientras el resto del área urbana muestra una gran influencia de componente geogénico. Destacaron un posible “end-member” antropogénico para el polvo suspendido en Hermosillo correlacionable con yacimientos de Australia y Canadá que podrían corresponder a plomo en pinturas, plomo de neumáticos de vehículos o una posible contribución de Pb transportado de otras fuentes como el polvo asiático. Los resultados sugieren una asociación del polvo sedimentado en techos y gasolina con plomo que dejó de ser usada hace 20 años. Esto demuestra resuspensión/sedimentación por procesos de erosión, tráfico y topografía del área urbana.

Moreno-Rodríguez *et al.*, (2015), analizaron tendencias históricas de partículas suspendidas totales (TSP) en la ciudad de Hermosillo. Para ello se basaron en parámetros meteorológicos en un periodo de 12 años (2000-2012) y muestreos de TSP y  $PM_{10}$  en cuatro sitios de

monitoreo de aire, además de muestras en dos plantas cementeras, muestras de caliza, y wollastonita utilizada en la elaboración de estos productos y seis muestras de suelo natural fuera del área urbanizada, para establecer el fondo geoquímico natural. Los autores concluyeron que:

El comportamiento del monzón aumenta la emisión de polvo del área urbana. La falta de un sistema de drenaje pluvial, la escorrentía superficial, el depósito de sedimentos y un mal uso de suelos promueve la resuspensión de polvo.

El material particulado analizado está dominado por fases de plagioclasa, cuarzo, calcita, y montmorillonita con sulfato de bario, y partículas con concentración de Cu, Fe, La, y Ce, estos últimos son indicativos de una fuerte contribución de tráfico a la contaminación atmosférica.

García-Rico *et al.*, (2016), realizaron un trabajo que estima el riesgo a la salud por exposición a múltiples metales como As, Cr, Mn, y Pb de tres diferentes fuentes de polvo (patios de escuela, techos y calles) en Hermosillo. A palabras de los autores, este trabajo representa el primero de esta naturaleza en México. Para este trabajo los autores llegaron a las siguientes conclusiones:

El riesgo de efectos adversos por exceso de ingesta de metal parece ser alto y los niveles de metales encontrados clasifican a las muestras estudiadas como no contaminadas a moderadamente contaminadas. Análisis de componentes principales muestran que el polvo en calles se correlaciona con As y Pb, mientras los patios de escuela se correlacionaron más con Cr y Mn.

Diana Meza *et al.*, (2016), efectuaron un análisis de Material Particulado Suspendido Total (TSPM) a nivel de techo y peatonal con datos correspondientes a un año. Las observaciones que se reportaron en este trabajo fueron que los valores mínimos se encontraron en temporada del Monzón e invierno mientras los valores máximos mostraron una distribución bimodal, durante las temporadas post Monzón y pre-Monzón, resultando en un enriquecimiento en polvo durando al menos dos periodos de dos meses (octubre-diciembre y abril-junio) con el incremento y decremento de temperatura, así como un decremento en humedad además las

concentraciones de As, Pb, Cu, Sb, Be, Mg, Ni, y Co se encontraron en mayor concentración a nivel de peatonal que los de nivel de techo.

En la mayoría de trabajos previos tanto locales como internacionales, no se han relacionado las concentraciones de metales a sus formas y mineralogía a la que pertenecen, en material potencialmente suspendible depositado en ambientes susceptibles como lo son los patios de escuela, sino más bien se enfocan en las concentraciones totales o estudian formas y/o composición de material particulado suspendido (PM<sub>10</sub>).

## **2.3. Metodología**

### **2.3.1. Búsqueda bibliográfica**

A través del portal Web of Science se obtuvieron artículos y documentos que sirvieron como acervo bibliográfico, además en portales oficiales como lo son los de INEGI, Servicio Geológico Mexicano (SGM), se obtuvo información acerca del área de estudio tales como litología, clima. Los artículos consultados fueron importantes para ver la panorámica con temas relacionados a este trabajo en el resto del mundo, para después llegar a los trabajos particulares realizados en el área de Hermosillo.

### **2.3.2. Utilización de software**

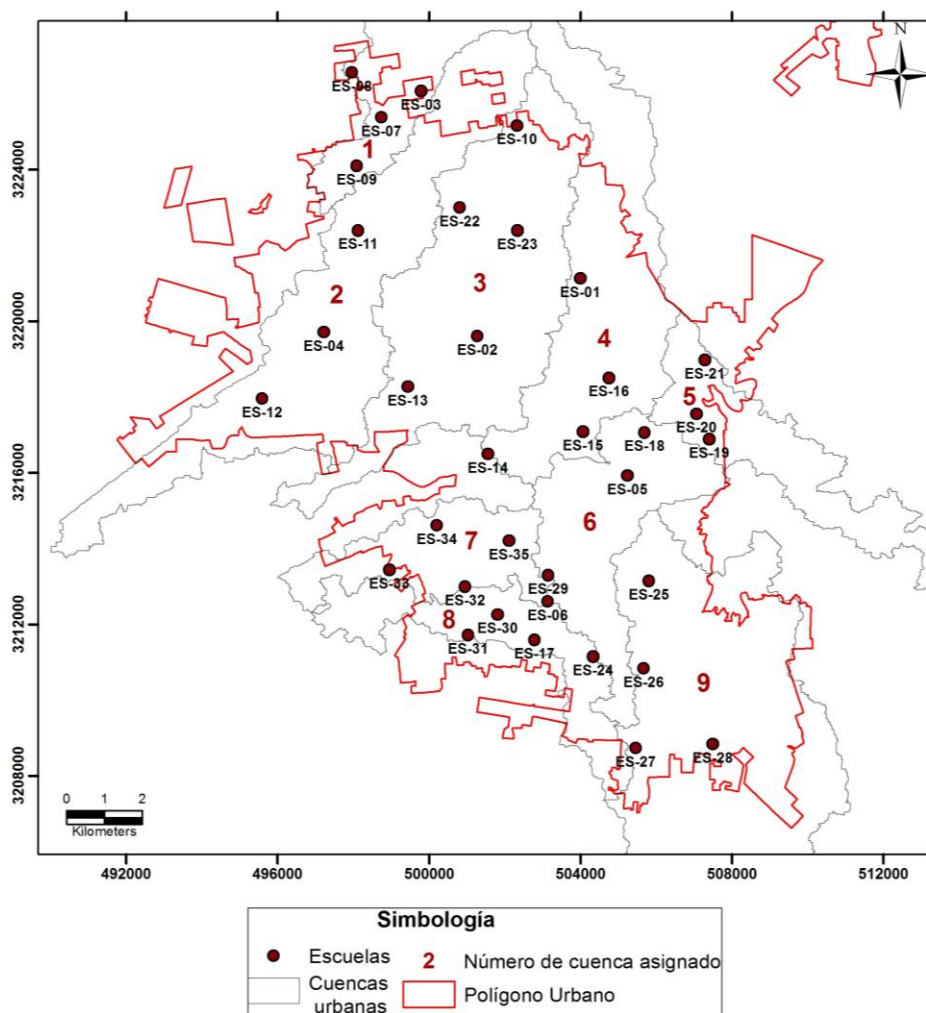
Se utilizó el programa Origin pro 8, para elaborar las gráficas que se muestran en el presente trabajo. Algunas de las imágenes que se muestran se editaron en el programa Adobe Illustrator versión 2015.

La elaboración de todos los mapas se hizo a partir del programa ArcGIS 10.3.

### **2.3.3. Muestreo y preparación de muestras**

El muestreo fue realizado en dos temporadas, pre y post Monzón de Norte América en los meses de julio y octubre respectivamente, esperando que las áreas analizadas estuvieran secas y sin influencias de lluvia (Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015; García-Rico *et al.*, 2016). Además, tomando en cuenta que después de lluvias se concentra un mayor aporte de material transportado por la escorrentía, se puede estudiar una variación de material en dos diferentes épocas del año.

Durante los dos muestreos realizados fueron visitadas 35 escuelas primarias en la ciudad de Hermosillo, seleccionadas en base a su ubicación geográfica basada en cuencas urbanas generadas por el grupo de trabajo mediante software de Sistema de Información Geográfica (SIG o GIS) delimitadas según elevación digital de altos topográficos naturales y barreras de construcciones o edificaciones que sirven como parteaguas (inédito). Un total de 9 cuencas urbanas se pueden diferenciar en la mancha urbana trazadas según edificios y construcciones que sirven como parte aguas y calles que sirven como drenaje (Figura 4).



**Figura 4.** Área que muestra las escuelas primarias visitadas en la ciudad de Hermosillo, en base a su ubicación geográfica basada en cuencas urbanas (inédito).

Para el muestreo se utilizaron escobetillas y contenedores para barrer la superficie de las áreas recreativas y tomar una muestra representativa de polvo sedimentado utilizando escobas de polietileno, recogedor y bolsas de plástico para almacenar las muestras (Figura 5 a-d).

Las muestras fueron registradas en formatos de cadena de custodia para llevar un control de las muestras y un mejor manejo y control de la información en cada sitio (Anexo 1).

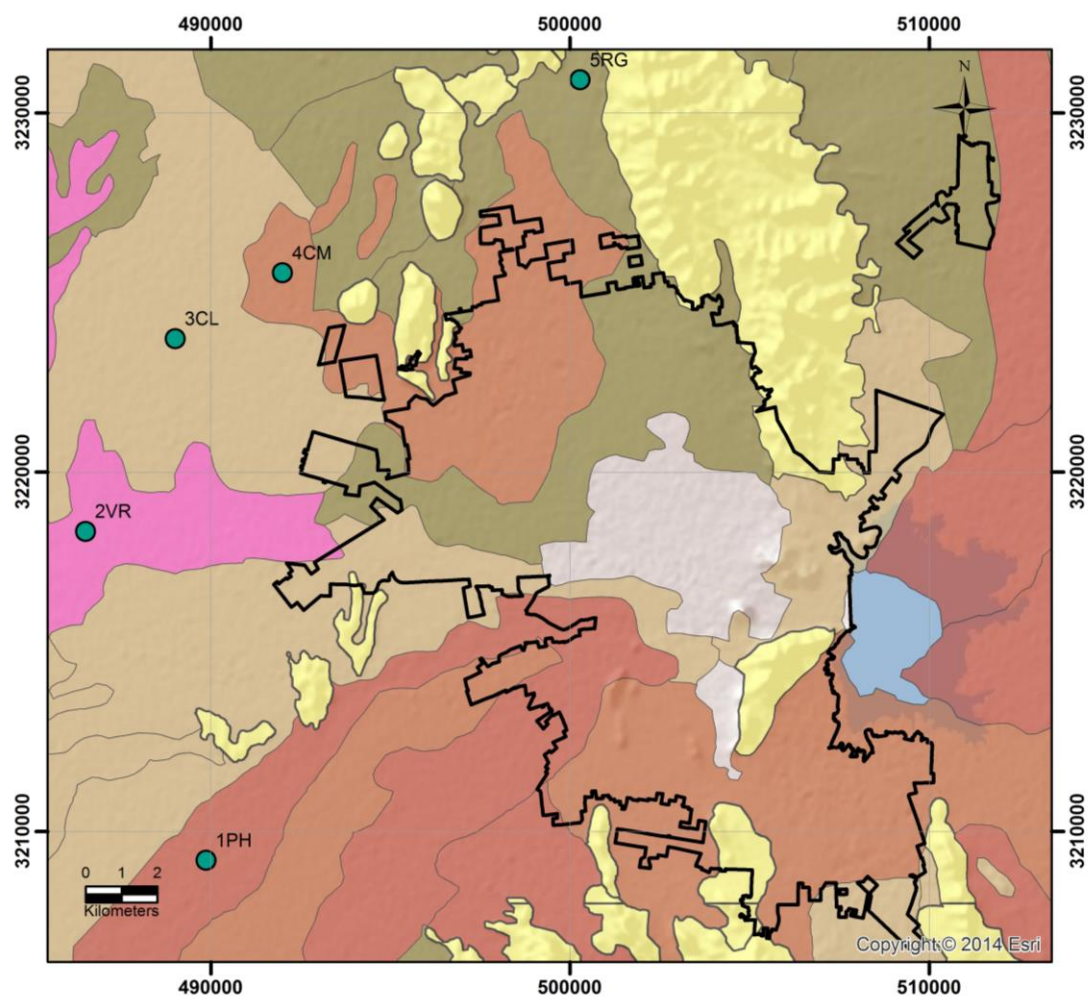


**Figura 5(a-d).** Muestreo en patios de escuela.

Durante los muestreos realizados se recolectaron 35 muestras en escuelas primarias en 2 muestreos (haciendo un total de 70 muestras de escuelas), además de 3 muestras de calle en el primer muestreo y 10 en el segundo muestreo.

En adelante se mencionarán solo las muestras recolectadas en escuelas primarias para darle un mejor enfoque al trabajo.

Además de las muestras en escuelas, se recolectaron 5 muestras de diferentes tipos de suelo naturales representativos de Hermosillo utilizando la técnica de muestreo superficial de tresbolillo para la formación de una muestra compuesta según lo especificado por la NMX-AA-132-SCFI-2006 (Anexo 2). El termino suelos naturales se refiere a suelos “aparentemente no impactados por la actividad antropica”. Las muestras de suelo representan el fondo geoquímico del área ya que fueron tomados fuera del área urbanizada, para representar una referencia geoquímica lo menormente impactada posible por actividad humana. Sin embargo, se sabe que actualmente los suelos aledaños a un área urbana se ven afectados debido a la urbanización y por materiales que han sido transportados por la actividad urbana que crean un suelo con agregados antrópicos que difiere en cierto punto al suelo natural (Rodríguez-Seijo *et al.*, 2015). (Figura 6).



**Figura 6.** Muestras de suelo tomadas sin influencia antropogénica a partir (inérito).



La preparación de muestras se llevó a cabo en el laboratorio de Geoquímica y Mineralogía del Departamento de Geología de la Universidad de Sonora.

Las muestras de polvo sedimentado en patios de escuela fueron registradas y pesadas para posteriormente secarse en un horno VWR 1600 HAFO Series a menos de 40°C durante 24 horas. Tras esto se registró de nuevo el peso de las muestras secas.

Una vez secas y pesadas las muestras fueron tamizadas para homogeneizar el tamaño de partícula, en tamices de acero inoxidable con mallas de 18 a <635 (Tabla 1), utilizando un Ro-Tap 8 inch Tyler Ro-Tap Model RX-86. Posteriormente fueron pesadas las fracciones por separado para cada tamiz (Figura 7).

Los tamices se limpiaron mediante baño ultrasónico, enjuagadas con agua, rociadas con alcohol, y posteriormente secadas al sol.

**Tabla 1.** Tamaño de las diferentes fracciones analizadas.

<b>Tamiz N°</b>	<b>Tamaño de partícula (µm)</b>
18	1000
35	500
60	250
120/140	125/106
230	63
325	45
635	20
<635	<20



**Figura 7.** Instrumentos utilizados para la preparación de muestras, a) horno VWR 1600 HAFO Series, b) Ro-Tap 8 inch Tyler Ro-Tap Model RX-86, c) baño ultrasónico, d) tamices de acero inoxidable con mallas de 18 a  $< 635$ .

#### 2.3.4. Caracterización química en PXRF

La caracterización química de las muestras se realizó midiendo las concentraciones de metales utilizando un equipo Portátil de Fluorescencia de Rayos X (PXRF), Thermo Scientific NITON FXL del Laboratorio Nacional de Geoquímica y Mineralogía (LANGEM), previa homogenización del tamaño de partícula (Figura 8). En este equipo se recurrió al método de lectura Test All Geo el cual puede leer hasta 42 elementos en una muestra simultáneamente (USEPA, 6200) y el cual sigue el principio de detección de espectrometría por medio de tubos miniaturizados de rayos X (Anexo 4).



**Figura 8.** Equipo de PXRf Niton FXL empleado en el análisis geoquímico de las muestras.

Lo elementos a ser contemplados en el presente estudio son Fe, Ti, Zr, Th, Nb, Y, Cr, Zn, Cu, y Pb por mostrar concentraciones significantes y servir como trazadores de tráfico, ya que componen gran parte del desgaste y degradación de materiales integrados al ambiente por acción humana en polvo recolectado al ras del suelo.

El total de muestras recolectadas de los dos muestreos (70) fueron analizadas en 5 de las 8 fracciones tamizadas (Tabla 2).

**Tabla 2.** Numero de malla y tamaños de partícula de las muestras analizadas en PXRf.

Tamiz N°	Tamaño de partícula (µm)
120	106
230	63
325	45
635	20
<635	<20

Estos tamaños de partícula fueron analizados por PXRf ya que corresponden a las fracciones de interés por estar debajo de las 100 µm y esto corresponde con el tamaño de partícula definido como TSP (Total Suspended Particulate) es decir material total suspendible o polvo grueso (García, 2008; Bell *et al.*, 2004).

Tomando en cuenta las 5 fracciones analizadas y las 70 muestras en total correspondientes a los dos muestreos se cuenta en total con 350 análisis. Debido a la gran cantidad de análisis, en el presente trabajo solo se mostrarán los resultados y criterios de las muestras seleccionadas por cuenca.

### **2.3.5. Control de calidad del método de Fluorescencia de Rayos X con tubos miniaturizados (PXRF) Thermo Scientific Niton FXL**

Para efectuar un control de calidad con el equipo de PXRF Niton FXL fue necesario analizar cuatro muestras estandarizadas certificadas por NIST (National Institute of Standards and Technology), las cuales fueron SRM 2709a San Joaquin Soil (A), SRM 2710a Montana I Soil (B), SRM 2711a Montana II Soil (C) y SIEM 01 Granite (D), de acuerdo al Método 6200 field portable x-ray fluorescence spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment de la USEPA, la cual establece que cada muestra de precisión debe de ser analizada 7 veces en replicado por un tiempo de 60 segundos por lectura (Anexo 6).

Como lo establece el método 6200 de la USEPA, un parámetro a ser cuantificado para evaluar la *precisión* del método es la desviación estándar relativa (RSD) la cual se basa en la media de las siete replicas leídas de la muestra de interés, además de la desviación estándar de estas.

Teniendo en cuenta la desviación estándar y la media de las 7 réplicas de lectura de la muestra de interés mediante el instrumento de fluorescencia de rayos X, se utiliza la **Ecuación 1**, para calcular la desviación estándar relativa o RSD para cada uno de los elementos de lectura del instrumento.

$$\mathbf{RSD} = (\text{SD/Concentración media}) * 100 \qquad \mathbf{Ecuación (1)}$$

donde:

**RSD** = se refiere a la desviación estándar para la medida de precisión del análisis por elemento

**SD** = desviación estándar de la concentración del análisis

**Concentración media** = concentración media de las repeticiones o lecturas efectuadas por el equipo

Para que los datos de PXRF se consideren adecuadamente precisos, el RSD no debe ser mayor que 20% para cada elemento, con la excepción de los valores para el cromo los cuales no pueden y no deben ser mayores a 30%.

Otro parámetro estadístico para determinar la *exactitud* de lectura del equipo de PXRF con respecto a un estándar certificado NIST es el %D el cual depende de la media de las lecturas obtenidas en el equipo de PXRF y el valor establecido por el estándar de NIST, la **Ecuación 2** explica la manera de obtener este parámetro.

$$\%D = ((C_s - C_k) / C_k) \times 100 \quad \text{Ecuación (2)}$$

**Donde:**

**%D** = Diferencia de porcentaje

**C<sub>k</sub>** = Concentración de la muestra estandarizada certificada

**C<sub>s</sub>** = Concentración medida de la muestra estandarizada

Para que el %D sea aceptable en cuanto exactitud, el valor medido para el estándar no debe ser mayor a  $\pm 20$  por ciento (%D) de los valores certificados de cada elemento excepto el valor del Cr el cual puede fluctuar entre  $\pm 30$ .

En el caso de las lecturas de las muestras para el presente, se recurrió al método Test All por presentar una mejor precisión y exactitud en los parámetros de precisión y exactitud.

Debido a que la detección del equipo es diferente de elemento a elemento, en cada matriz de muestra y que en ciertas cantidades no tiene buena recuperación de lectura por lo que es necesario justificar la lectura de los metales de interés en este trabajo como se mencionó en el apartado anterior los cuales son Fe, Ti, Zr, Th, Nb, Y, Cr, Zn, Cu, y Pb.

Con esto se puede decir que la recuperación de lectura para Fe, Ti, Nb, Y, Cu, Pb es buena en cualquier cantidad presente tanto en precisión como exactitud. Mientras que para el Cr, Zr, Th y Zn los valores por debajo de 50, 200, 20 y 100 mg/Kg respectivamente no son bien recuperados por el instrumento en cuanto a su exactitud de lectura.

Lo anterior mencionado no representa un inconveniente pues todas las cantidades aquí presentes exceden estos límites de detección.

### **2.3.6. Caracterización morfológica y composicional con SEM-EDS**

La morfología y composición química de partículas fue analizada por medio de un equipo de microscopio electrónico de barrido o SEM (Scanning Electron Microscope Hitachi TM3030plus que opera a 15 kV, acoplado con un espectroscopio de energía dispersiva de Rayos-X (EDS o EDX) Bruker Quantax 70. Este equipo se encuentra físicamente en el Instituto de Geología de la UNAM cuya institución forma parte de la red de laboratorios del Grupo Regional Emergente Geología, Ambiente y Salud, así como del Laboratorio Nacional de Geoquímica (LANGEM) (Figura 9).



**Figura 9.** Equipo de microscopio electrónico de barrido HITACHI modelo TM3030.

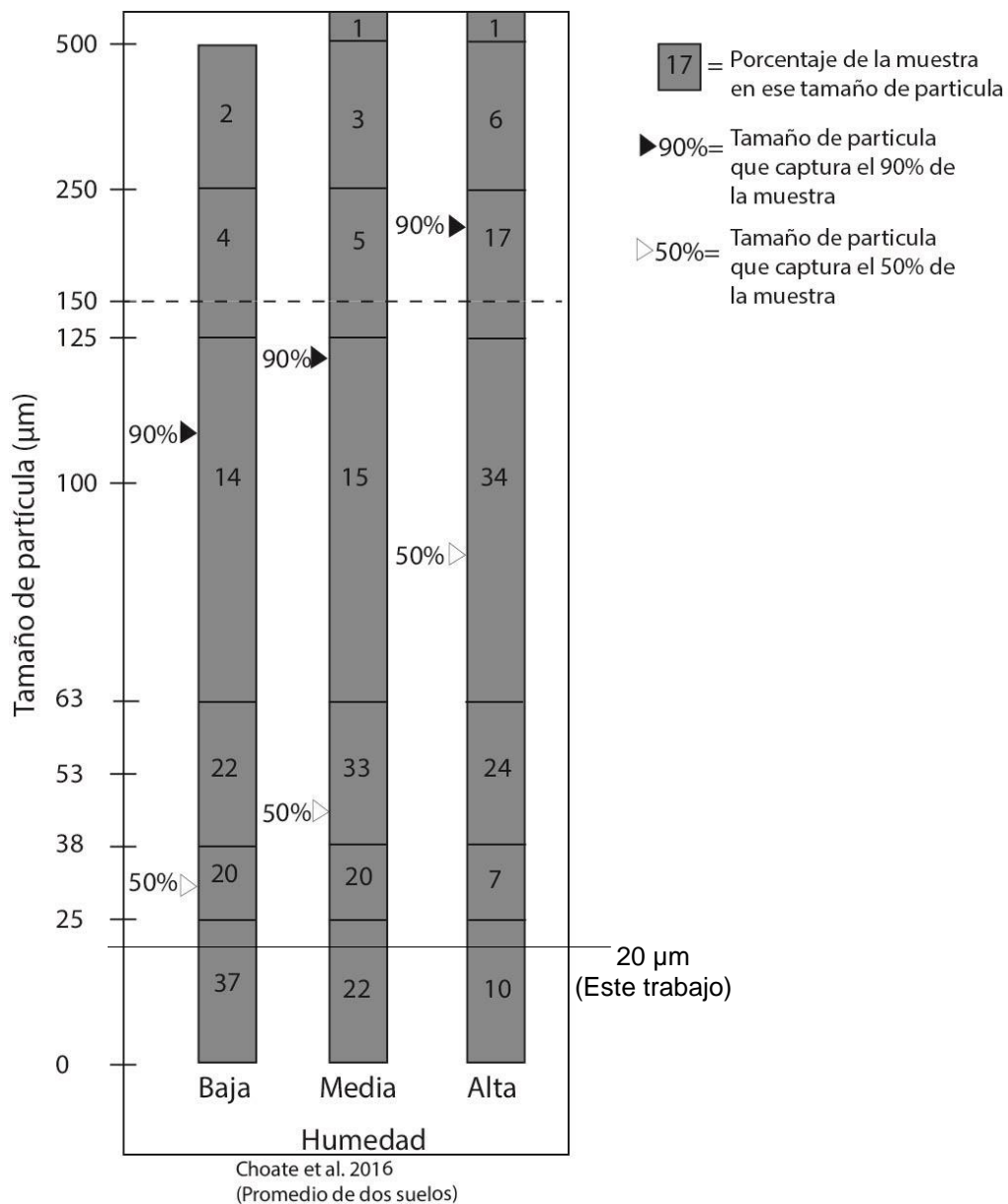
La explicación del funcionamiento del Microscopio electrónico de barrido se encuentra en Anexo 5.

### 2.3.7. Selección de muestras para análisis en SEM

Fue necesario seleccionar una muestra de escuela por cuenca para su posterior estudio en SEM, las cuales se seleccionaron según varios criterios.

Los criterios fueron, la ubicación de las escuelas, su elevación topográfica con respecto a las demás escuelas en su cuenca y las observaciones y comentarios hechos según las cadenas de custodia (Anexo 7).

En cuanto al tamaño de partícula al que se recurrió para su análisis en SEM este fue de 20  $\mu\text{m}$  (Tabla 3). Esto debido a que ha sido documentado extensamente que se tiene una mayor concentración de metales a menor tamaño de partícula (Gunawardana C. *et al.*, 2014). De lo anteriormente mencionado se puede hacer constancia en el presente trabajo y se retomará más adelante (Capítulo III. Análisis y resultados). Además de esto, estudios previos han reportado la cantidad de suelo adherido a las manos en función del tamaño de partícula. Entre los que destaca Choate *et al.*, (2006) (tomado de Ruby y Lowney, 2012) quienes estudiaron el efecto de tres suelos con contenido de humedad (bajo 1-2%, medio 3-4% y alto 9-10%), en cuanto a su adherencia en dos suelos que estaban en contacto con palmas de personas voluntarias. Estos autores reportaron que, en los suelos con humedad baja el 90% de la muestra que se adhiere a las manos se da en el tamaño de 110  $\mu\text{m}$  (cumulativo, o <110  $\mu\text{m}$ ) un tamaño menor que en los suelos con humedad media y alta (Figura 10).

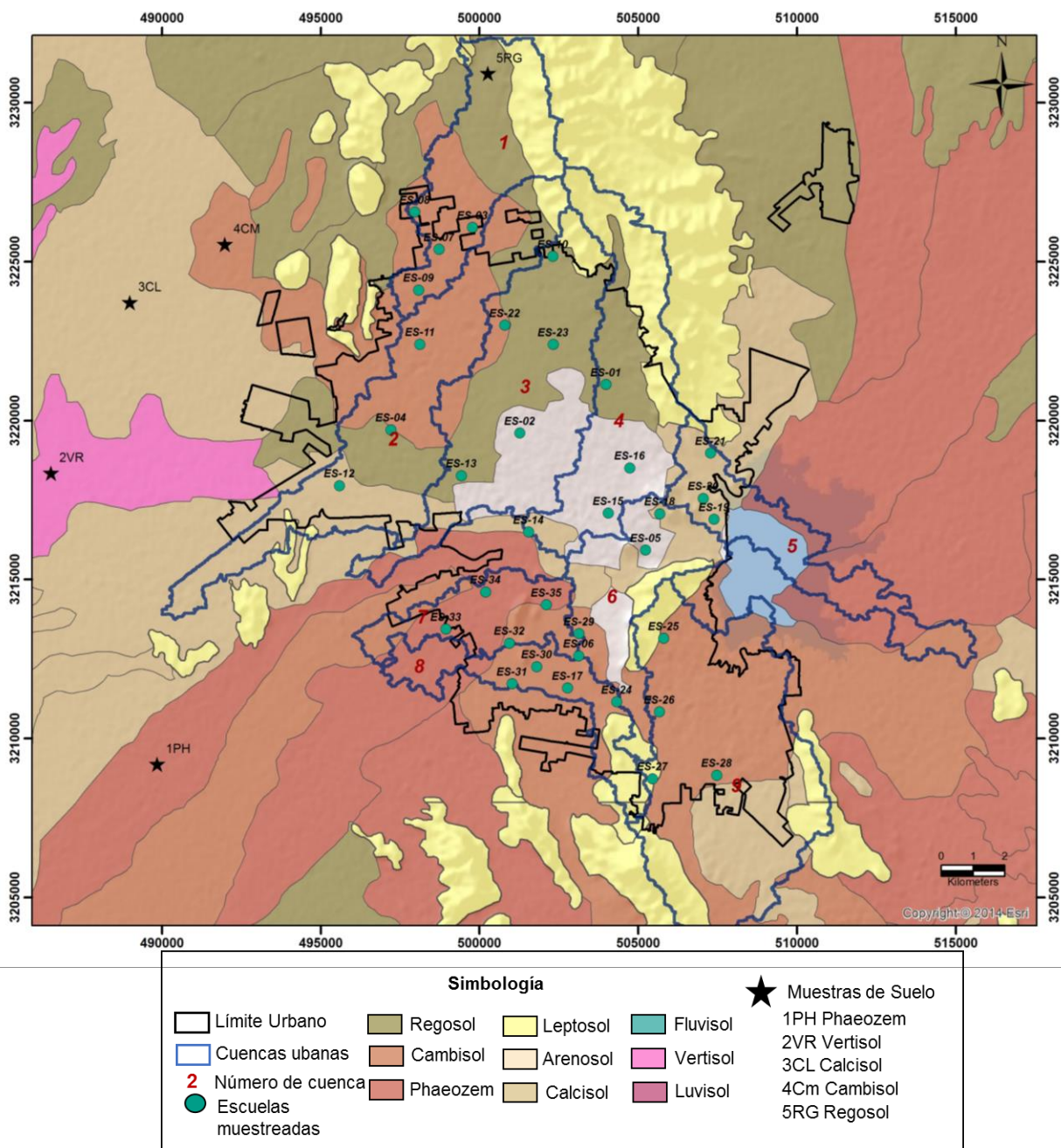


**Figura 10.** Muestra la masa de suelo que se adhiere a las manos en función del tamaño de partícula y el contenido de la humedad del suelo según Choate *et al.*, 2016 (modificada de Ruby y Lowney, 2012).

Tomando esto anterior como referencia es un motivo suficiente para analizar por SEM la fracción menor a 20 μm, ya que lo detectado en esta fracción representa una vía de exposición oral de acuerdo a la Figura 10 que como referencia muestra que en un suelo con baja humedad y por debajo de las 25 μm (<25 μm) de tamaño al menos 37% de ese suelo será adherido a manos.



La ubicación de las muestras seleccionadas por cuenca se muestra en la siguiente figura (Figura 11).



**Figura 11.** Ubicación de las muestras seleccionadas por cuenca (puntos azules), dentro de las nueve cuencas (numeradas).

**Tabla 3.** Muestras seleccionadas por cuenca.

Cuenca número	Primer muestreo (Pre monzón)	Segundo muestreo (Post monzón)
Cuenca 1	ES-09	2ES-09
Cuenca 2	ES-12	2ES-12
Cuenca 3	ES-22	2ES-22
Cuenca 4	ES-15	2ES-15
Cuenca 5	ES-21	2ES-21
Cuenca 6	ES-18	2ES-18
Cuenca 7	ES-33	2ES-33
Cuenca 8	ES-17	2ES-17
Cuenca 9	ES-28	2ES-28

### 2.3.8. Tratamiento de muestras seleccionadas para análisis en SEM

El conjunto de muestras que fue seleccionado para su análisis en SEM (como se explicó previamente) fueron sometidas a un proceso de lixiviado con etanol, con el fin de eliminar grasas e hidrocarburos que puedan encontrarse en las muestras ya que estos son utilizados en las escuelas. Esto debido a que entre otras cosas estos materiales pueden enmascarar las partículas de interés, el ingreso de la muestra al SEM sin la remoción de este material puede tener repercusión para este, además de que este material no representa interés al análisis mineralógico (Figura 12).



**Figura 12.** Tratamiento químico de lixiviación con etanol a las muestras seleccionadas

Procesos como éste no son desconocidos pues han sido utilizados para otro tipo de estudios enfocados en la remediación de suelos contaminados con el fin de eliminar residuos de productos derivados del petróleo, aceites entre otros (Khodadoust *et al.*, 1999, Silva A. *et al.*, 2005).

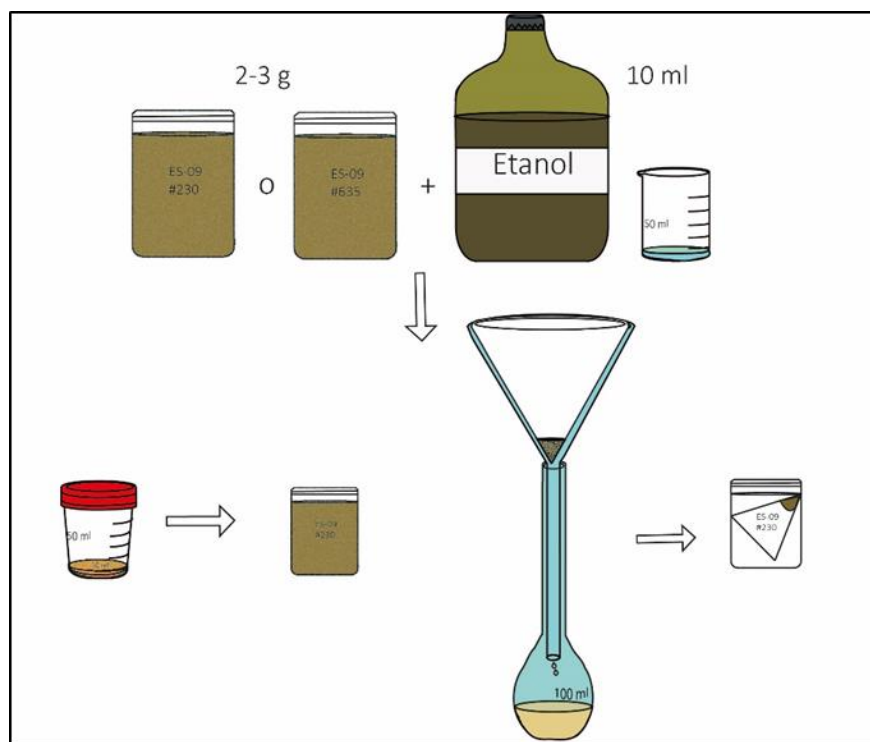
Las muestras seleccionadas fueron 9 por cuenca para cada muestreo (18 en total) en el tamaño de partícula de 20 µm (malla 635).

Para el proceso se tomaron de 2 a 3 gramos de la fracción de 20 µm de la muestra y se pusieron en contacto con 10 ml de etanol en un matraz volumétrico, para después meter la muestra a centrifugado en un aparato IEC Centra-4B Centrifuge, a 3000 rpm por 20 minutos en tubos de fondo cónico (Figura 13).

Por último, se destilaba el sobrenadante (liquido residual) al verterlo con un filtro en un embudo (Figura 14) y se dejarían secar en un horno VWR 1600 HAFO Series a menos de 40°C durante 24 horas para evaporar el etanol restante sobre la muestra.



**Figura 13.** IEC Centra-4B Centrifuge utilizado para centrifugar las muestras.



**Figura 14.** Explicación del proceso de lixiviación solvente-muestra.

## Capítulo III. Resultados

### 3.1. Geoquímica

Se obtuvo la geoquímica de 70 muestras en 5 tamaños de partícula; de las fracciones que representan el tamaño de polvo; debido a la gran cantidad de resultados, solo los datos referentes a la geoquímica de las muestras seleccionadas se incluyeron en el presente trabajo (Anexo 8) y con cuyos resultados se puede constatar que se tiene un incremento en la concentración de metales conforme decrecimiento el tamaño de partícula (Anexo 3).

En base a lo anterior, la presentación de resultados y su discusión en esta sección se centrarán en las correspondientes a la malla 635 (diámetro aerodinámico de 20  $\mu\text{m}$ ) de los resultados de la geoquímica general para las muestras representativas por cuenta de los dos muestreos, como se muestra en la siguiente tabla (Tabla 4).

**Tabla 4.** Concentración total en la fracción 20 µm de muestras representativas por cuenca (criterios de selección en Metodología y Anexos, todas las concentraciones se expresan en mg.kg<sup>-1</sup>).

<b>Premonzón</b>									
	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>	<b>C4</b>	<b>C5</b>	<b>C6</b>	<b>C7</b>	<b>C8</b>	<b>C9</b>
<b>Elementos</b>	<b>ES-09</b>	<b>ES-12</b>	<b>ES-22</b>	<b>ES-15</b>	<b>ES-21</b>	<b>ES-18</b>	<b>ES-33</b>	<b>ES-17</b>	<b>ES-28</b>
	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>
Fe	34783.28	30153.56	33148.62	34400.91	36546.42	31609.68	34808.48	36013.01	24692.63
Ti	4725.77	3869.13	4392.59	4429.50	4399.43	4626.39	4220.95	4580.33	3428.25
Zr	872.61	746.20	781.92	814.12	853.10	654.09	496.63	983.33	665.05
Th	39.14	23.88	39.73	20.79	23.89	25.08	20.98	33.12	22.51
Nb	22.81	21.19	19.53	20.04	21.50	18.91	19.23	23.31	19.80
Y	35.16	29.23	27.60	29.30	30.06	29.34	26.00	32.19	28.82
Cr	87.88	78.91	75.61	102.62	92.82	201.80	78.85	97.58	75.63
Zn	196.04	167.15	213.48	245.91	360.75	374.34	223.68	235.55	117.45
Cu	51.18	47.21	78.09	95.24	357.37	174.89	54.44	107.5	41.16
Pb	35.68	41.10	79.57	59.61	62.76	66.71	40.50	47.05	24.51
<b>Postmonzón</b>									
	<b>2ES-09</b>	<b>2ES-12</b>	<b>2ES-22</b>	<b>2ES-15</b>	<b>2ES-21</b>	<b>2ES-18</b>	<b>2ES-33</b>	<b>2ES-17</b>	<b>2ES-28</b>
	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>
<b>Elementos</b>									
Fe	38987.94	35688.99	30368.78	38985.39	34004.53	75155.97	33492.93	45028.88	26957.75
Ti	4916.07	4036.13	4154.76	4701.52	4372.73	4226.16	4210.78	4460.02	3866.47
Zr	1238.39	684.71	782.26	1005.77	698.51	763.53	525.56	1199.28	758.02
Th	52.12	18.46	29.62	28.92	17.88	8.09	18.69	29.13	25.42
Nb	24.03	18.29	18.73	22.37	18.21	28.18	17.27	27.02	21.00
Y	47.09	29.80	26.14	33.66	28.27	29.88	26.37	33.02	29.65
Cr	87.88	78.91	75.61	102.62	90.64	281.16	72.16	107.11	84.83
Zn	369.95	275.41	224.44	248.78	619.83	1279.45	343.05	548.07	331.94
Cu	52.38	51.09	61.34	129.77	340.11	382.82	54.57	140.13	41.91
Pb	33.13	39.58	72.43	56.15	55.33	95.77	44.91	62.08	29.65

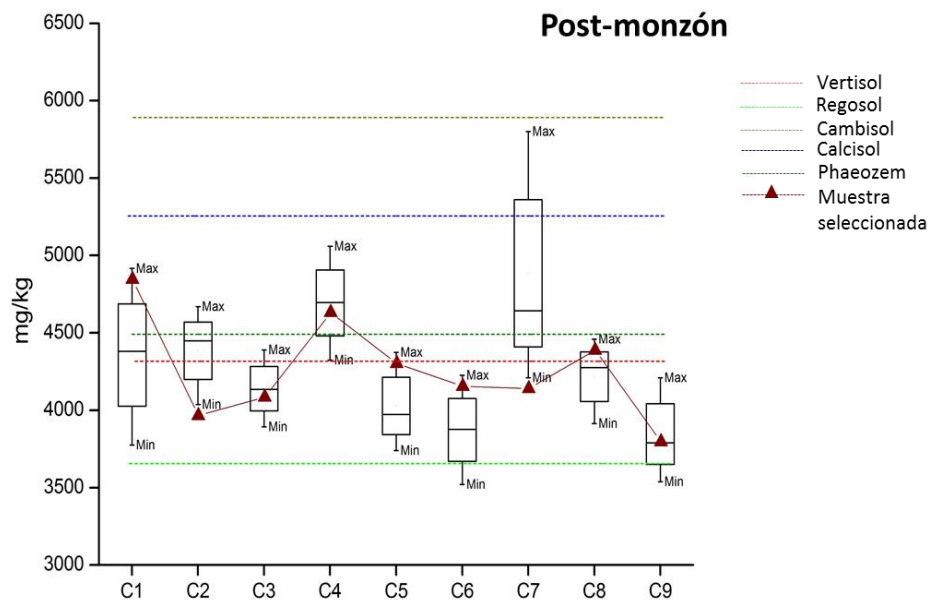
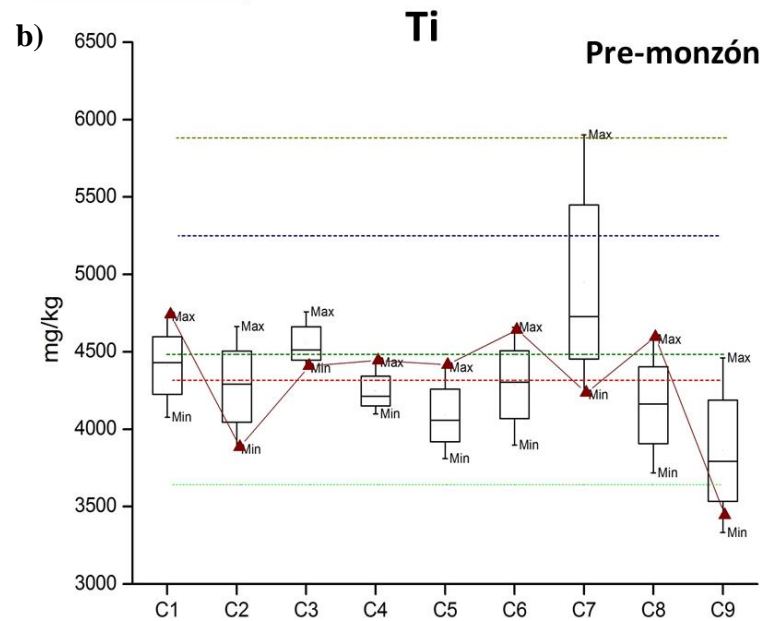
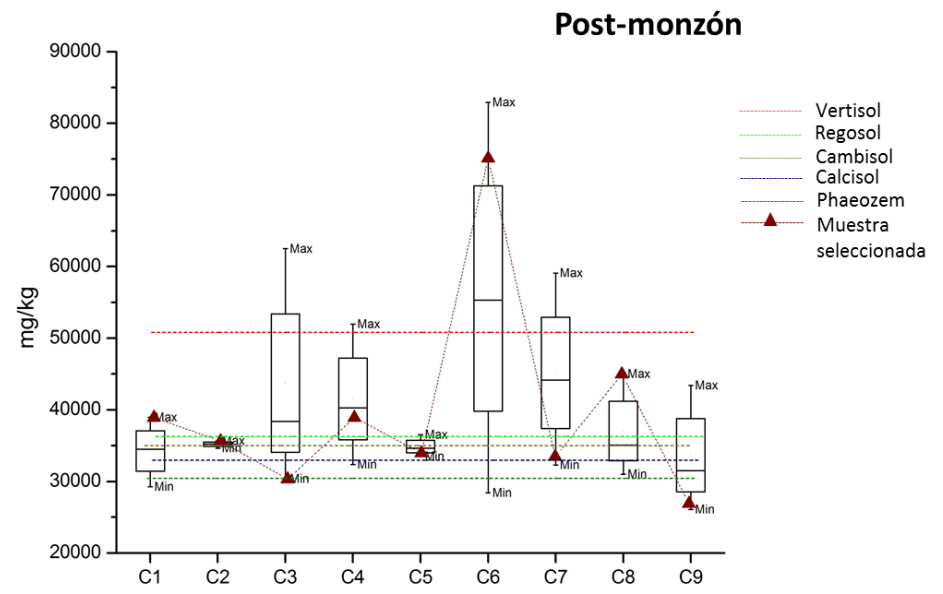
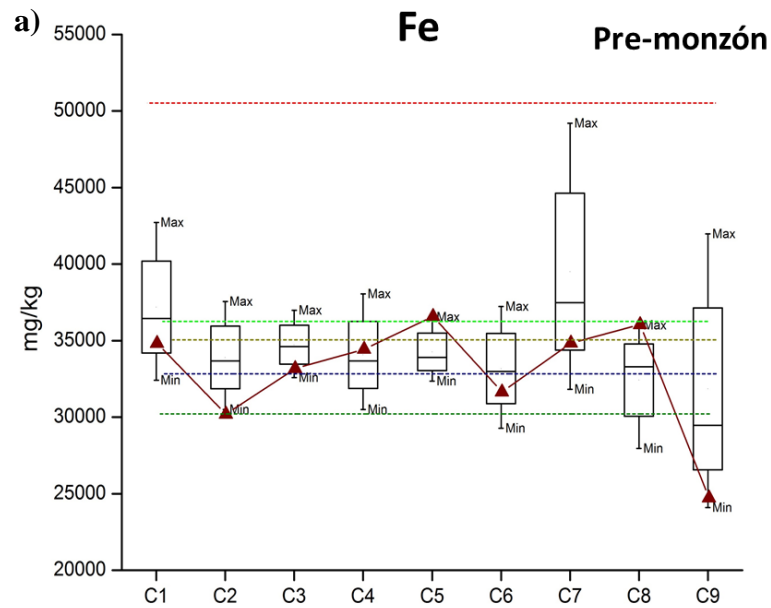
Los datos de geoquímica se utilizaron como una primera guía general para revisar el posible aporte antrópico con respecto al fondo geoquímico de suelos.

Los resultados obtenidos para las muestras seleccionadas correspondientes a los dos muestreos (Tabla 4) se encuentran graficados junto con el resto de las muestras de sus cuencas correspondientes (n=35), contemplando los valores máximo, mínimo, medio en diagramas de caja y situándolos en contexto con el valor de fondo de los suelos naturales que se observan como líneas punteadas (Anexo 9 y Anexo 10) con el fin de evaluar las concentraciones totales para cada sitio, (Figura 15 a-f) la línea roja con patrones de figura en cada gráfica representa la muestra seleccionada representativa por cuenca.

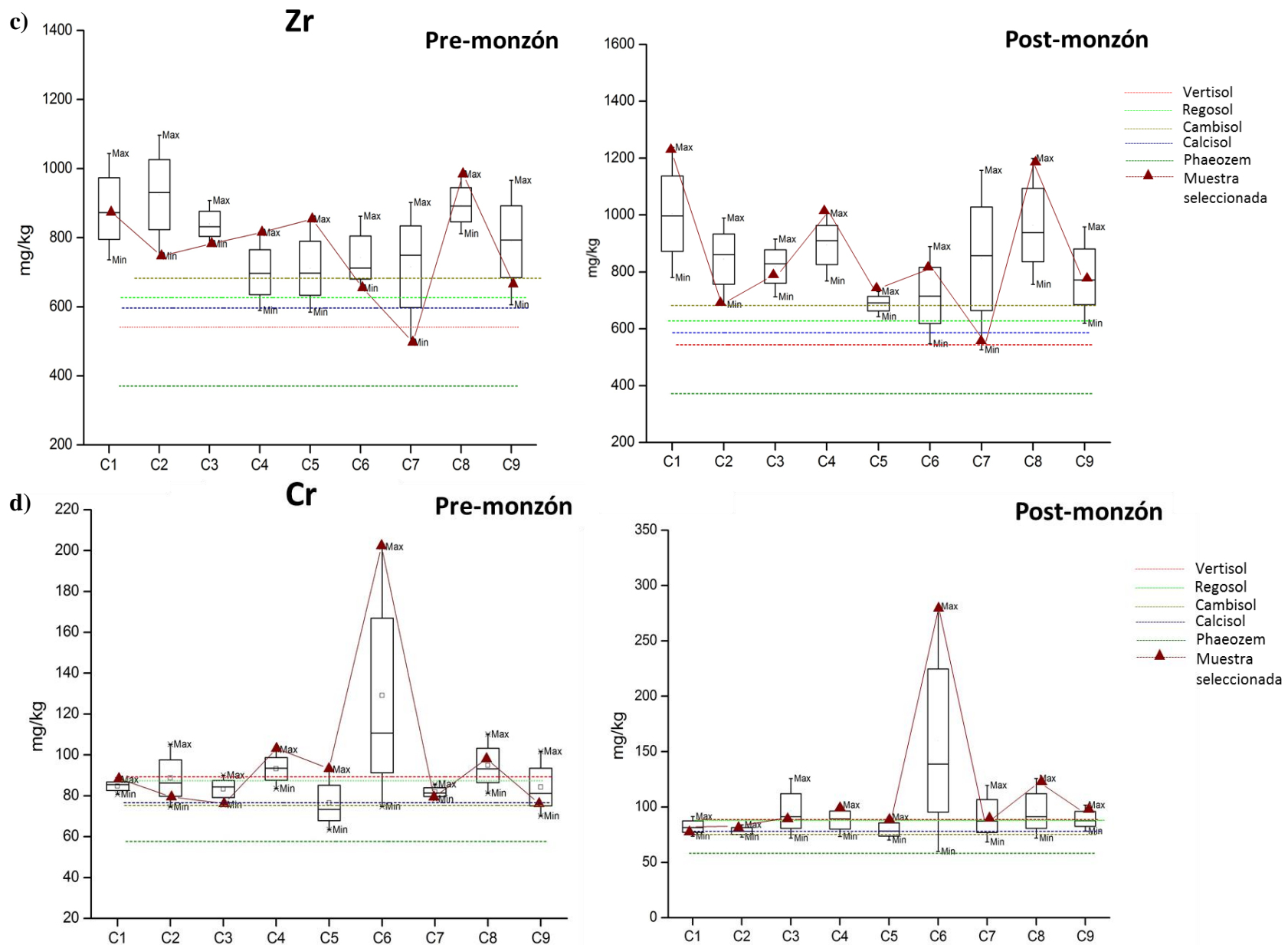
Los resultados de geoquímica se utilizaron como una guía general para revisar el origen natural o antrópico de los elementos principales.

Los valores que exceden a aquellos de los suelos naturales se consideran valores antrópicos y pueden ser asociados a partículas sintéticas (antrópicas) como se detalla más adelante.

Los valores que exceden a los suelos por cuenca, se consideran de origen antrópico y pueden asociarse o vincularse con mineralogías sintéticas (antrópicas) relacionados a minerales generados por el hombre y que han sido descritos por Ochoa-Contreras (2017).

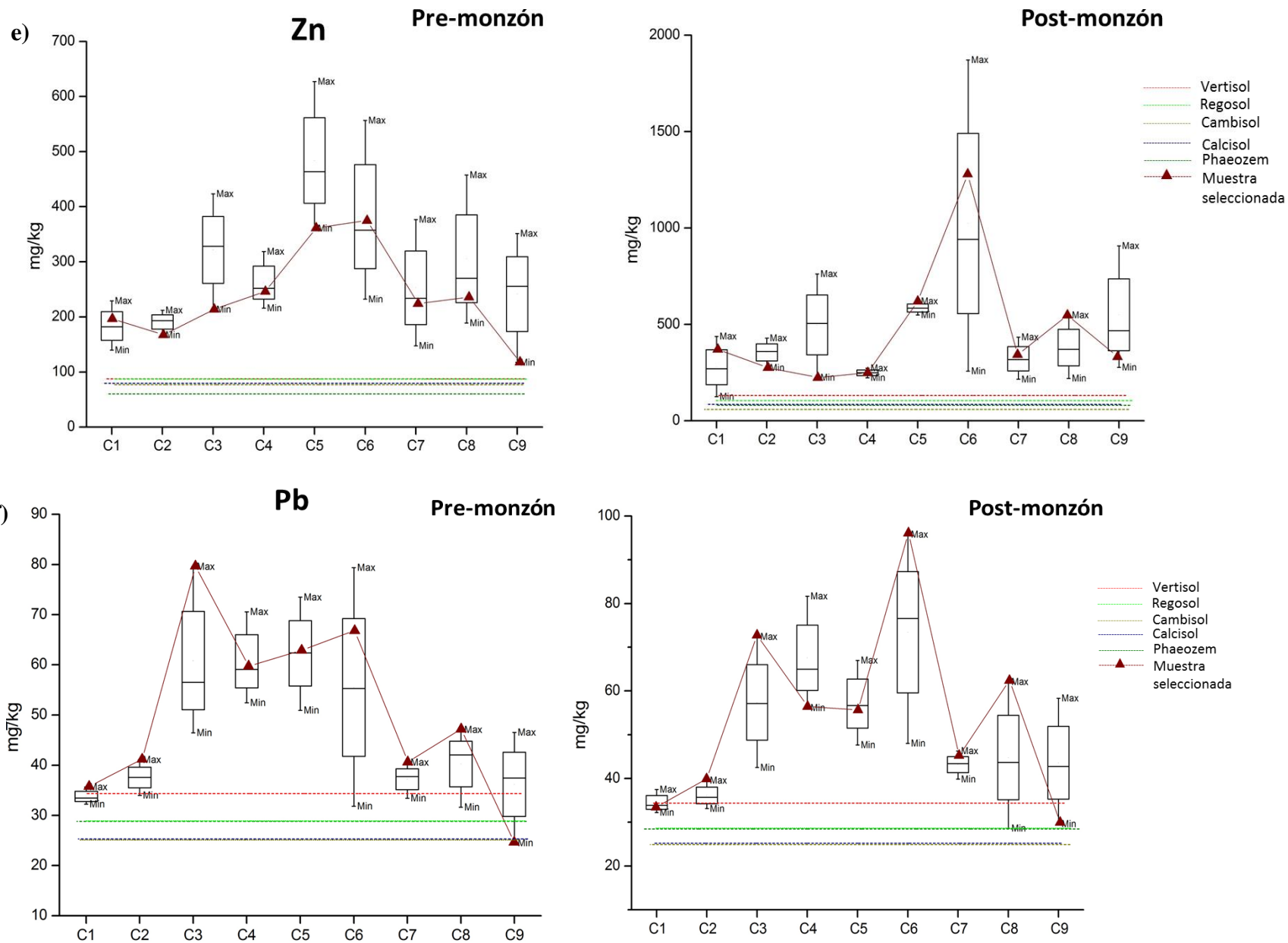


**Figura 15 (a, b).** Resultados de diferentes metales por cuenca en mg/kg correspondientes a los dos muestreos (n=35).

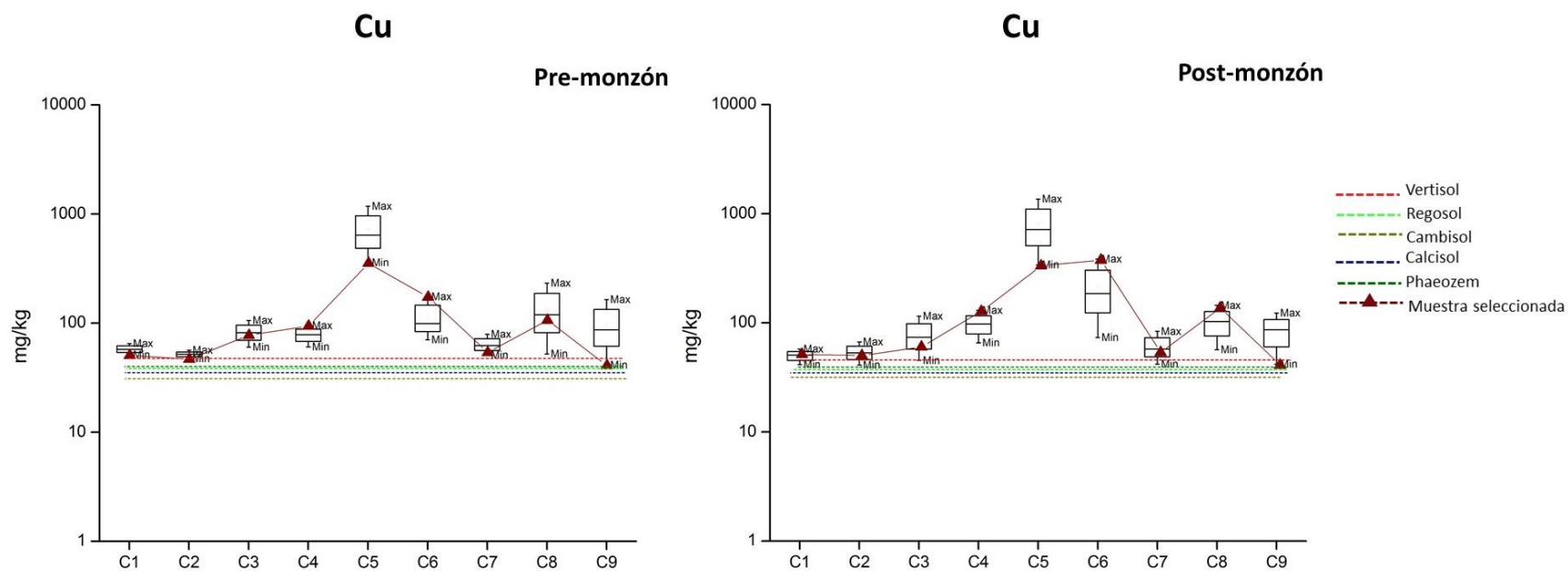


**Figura 15 (c, d).** Resultados de diferentes metales por cuenca en mg/kg correspondientes a los dos muestreos (n=35).





**Figura 15 (e,f).** Resultados de diferentes metales por cuenca en mg/kg correspondientes a los dos muestreos (n=35).



**Figura 15 (g).** Resultados de diferentes metales por cuenca en mg/kg correspondientes a los dos muestreos (n=35). Cabe destacar la escala logarítmica que se da en esta figura pues la concentración de una de las cuencas es muy alta (~1000 mg/kg) con respecto al resto (~100 mg/kg).

Por lo general el contenido de hierro (Fe) en las muestras es muy variable; su origen, aunque tiene una ocurrencia natural como elemento abundante de la corteza (suelos y rocas), puede provenir de muchas otras fuentes antropogénicas de las que se puede desprender, algo en lo que se entrará a detalle más adelante. En el primer muestreo la mayor concentración de Fe en la fracción estudiada de 20  $\mu\text{m}$  se tiene en la cuenca 7, con un máximo de 50,000 mg/kg, mientras la menor concentración se tiene en la cuenca 9 con 25,000 mg/kg. Se puede observar que la línea roja punteada que se encuentra por encima de este valor ( $>50,000$  mg/kg), como fue antes descrito representa el valor de fondo de un suelo natural el cual es el suelo Vertisol, que es el suelo con mayor concentración de Fe que los otros suelos e incluso que las muestras. Con esta línea de referencia del suelo Vertisol en el segundo muestreo postmonzón se puede observar que las concentraciones de Fe de las muestras son mucho mayores siendo la mayor la de la cuenca 6 con una concentración  $>80,000$  mg/kg. Con toda esta variación en el contenido de Fe es fácil concluir que este es un elemento muy móvil y con fuentes variables en cuanto su origen.

El Titanio (Ti) como se puede observar en las gráficas (cajas de máximos y mínimos) se encuentra dentro de un dominio geogénico pues está situado por debajo y dentro de las líneas del fondo geoquímico en las muestras de suelos. Los máximos en concentración se tienen en la cuenca 7 con concentraciones que rondan en 6,000 mg/kg y la concentración mínima de 3,500 mg/kg en la cuenca 9 tanto en el muestreo premonzón como en el postmonzón. En ambos muestreos se comporta de manera similar mostrando al titanio como un elemento de proveniencia geogénica y muy poco móvil.

En el caso del zirconio (Zr), se encuentra muy por encima del fondo geoquímico lo que muestra un evidente aporte antropogénico. El contenido mínimo de 550 mg/kg se tiene en la cuenca 7 y una concentración máxima de 1,100 mg/kg en la cuenca 2 en el primer muestreo. En el segundo al igual que el muestreo premonzón el contenido mínimo de 550 mg/kg se tiene en la cuenca 7, y el contenido máximo en la cuenca 1 de 1,250 mg/kg. Por lo general el Zr tiene un comportamiento muy similar en los muestreos premonzón y postmonzón, lo que posiblemente refleja una fuente de área importante con emisión continua todo el año.

El cromo (Cr), no parece tener un aporte antropogénico en gran medida, pues se ve que este se encuentra dentro del dominio que tienen el fondo geoquímico de los suelos; salvo el

notorio máximo de la cuenca 6 con una concentración de 200 mg/kg, esto se mantiene en el postmonzón con una concentración de 250 mg/kg.

La concentración de zinc (Zn) está muy por encima de los valores de fondo, dando una clara muestra de que el aporte de este no viene dado de una fuente natural.

El contenido de plomo (Pb), en suelos se restringe a una franja de fondo geoquímico que va de 25 a 35 mg/kg, la cuenca 1 parece estar más cerca de estos límites mientras el resto fluctúa por encima de esto. La cuenca 3 y 6 tienen un máximo de 80 mg/kg en el primer muestreo mientras en el segundo muestreo el máximo se tiene en la cuenca 6 con concentración de 90 mg/kg.

El contenido de cobre (Cu), en cuanto al valor de fondo excede ligeramente en la mayoría de cuencas, pero una concentración muy elevada ocurre en la cuenca 5 en donde las concentraciones para este metal van desde 300 hasta 1,000 mg/kg lo que inclusive obliga a tener que graficar en escala logarítmica al resto de las concentraciones de cuencas, un dato muy destacable.

### **3.2. Análisis geoquímico post- tratamiento y comparación con datos previos**

Como se explicó en la parte de metodología una muestra representativa por cuenca fue seleccionada para un tamaño de partícula de 20  $\mu\text{m}$  para ser sometida a un proceso de separación de grasas con etanol. Primeramente, estas muestras fueron analizadas por PXRF junto con el resto de muestras dando como resultado los datos de la Tabla 5 y con los cuales se elaboró la Figura 15 (a-f). Tras este tratamiento las muestras se analizaron de nuevo para observar las concentraciones en estas lecturas con respecto a las lecturas previas y ver si estas habían sufrido algún cambio.

El análisis de las muestras por el equipo PXRF tras el tratamiento y su comparación con los análisis previos se muestran a continuación (Tabla 5).

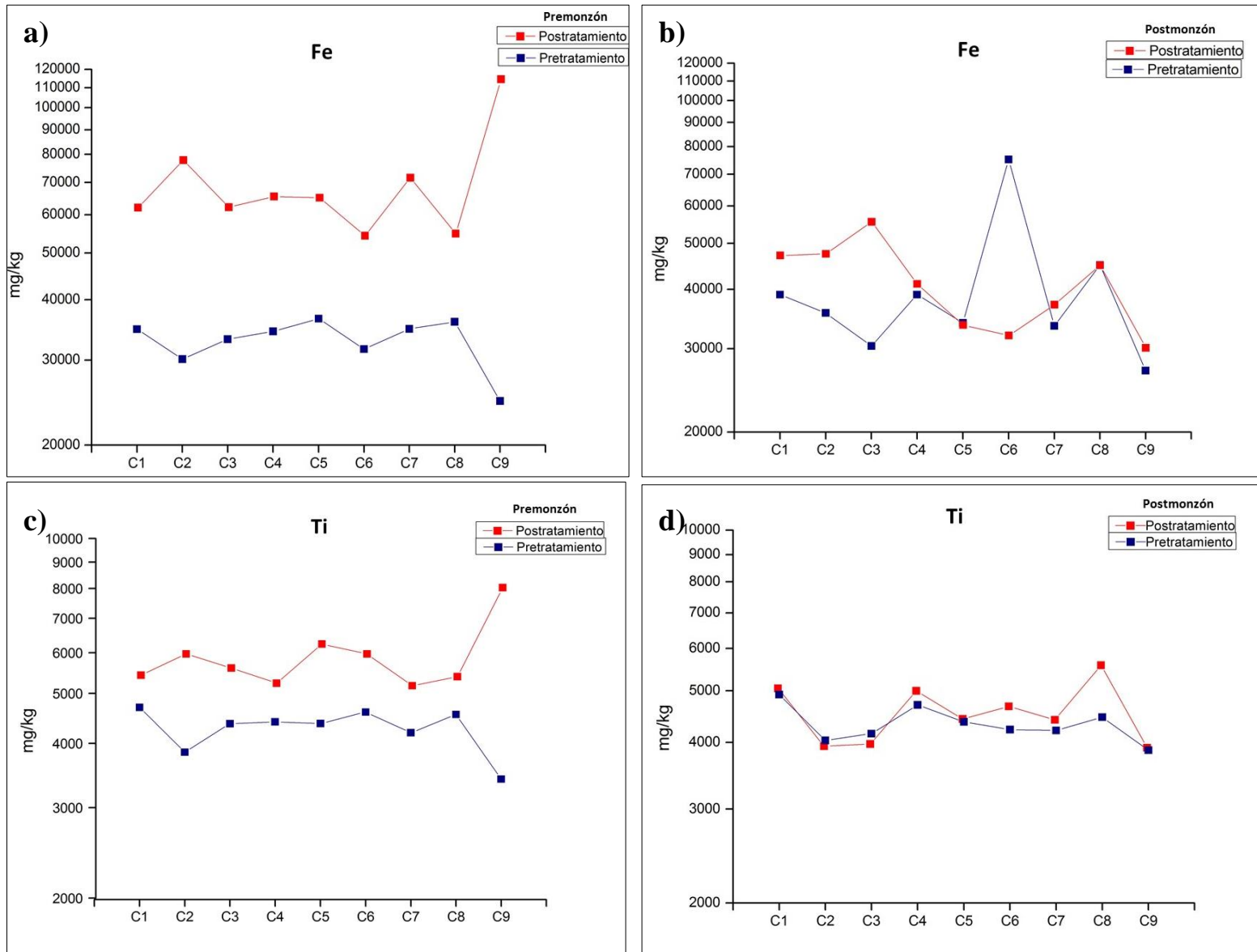
**Tabla 5.** Análisis de las muestras después del tratamiento con etanol para un tamaño de partícula de 20 µm (las concentraciones se encuentran contenidas en unidades mg.kg<sup>-1</sup>).

<b>Premonzón</b>									
<b>Elementos</b>	<b>ES-09 c1</b>	<b>ES-12 c2</b>	<b>ES-22 c3</b>	<b>ES-15 c4</b>	<b>ES-21 c5</b>	<b>ES-18 c6</b>	<b>ES-33 c7</b>	<b>ES-17 c8</b>	<b>ES-28 c9</b>
	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>
Fe	62584.70	78846.12	62719.02	66031.96	65675.30	54532.98	72362.97	55082.44	117063.25
Ti	5428.73	5968.73	5602.19	5235.98	6236.01	5965.80	5176.13	5387.85	8027.03
Zr	1430.59	1579.86	1447.26	1325.72	1523.22	1353.67	916.71	1477.28	2789.37
Th	12.03	11.00	7.72	8.23	38.83	30.23	11.96	36.97	8.65
Nb	35.32	41.39	34.10	35.41	34.03	29.03	33.45	33.72	48.52
Y	54.74	59.57	43.37	43.94	52.29	43.48	42.43	45.22	69.55
Cr	103.28	133.98	104.85	107.32	120.81	135.82	114.81	92.91	198.80
Zn	266.56	274.44	273.87	279.16	423.66	321.10	320.12	282.14	244.37
Cu	44.34	57.89	50.95	159.85	764.00	241.49	80.61	141.43	118.48
Pb	43.70	50.22	104.67	68.23	55.93	68.35	51.27	47.24	51.34

<b>Postmonzón</b>									
<b>Elementos</b>	<b>2ES-09 c1</b>	<b>2ES-12 c2</b>	<b>2ES-22 c3</b>	<b>2ES-15 c4</b>	<b>2ES-21 c5</b>	<b>2ES-18 c6</b>	<b>2ES-33 c7</b>	<b>2ES-17 c8</b>	<b>2ES-28 c9</b>
	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>	<b>#635</b>
Fe	47426.90	47816.81	55878.62	41309.16	33835.33	32142.15	37334.68	45243.60	30282.60
Ti	5050.95	3939.84	3974.13	4996.79	4427.49	4676.86	4412.84	5585.67	3910.25
Zr	1363.91	796.31	910.77	1029.40	748.08	767.06	592.71	1212.33	867.86
Th	38.37	24.38	7.84	31.55	19.26	20.51	20.06	33.32	30.44
Nb	30.11	29.41	29.42	26.85	21.79	20.97	20.06	26.25	24.85
Y	46.26	34.46	31.84	33.99	27.97	31.73	29.92	36.18	30.98
Cr	94.15	76.68	121.79	109.34	94.08	245.95	64.37	85.40	89.58
Zn	420.16	369.74	445.69	261.21	595.67	552.04	354.30	472.59	314.97
Cu	70.53	78.37	80.85	141.46	273.28	164.79	48.46	128.24	49.52
Pb	44.24	53.95	94.16	63.50	55.80	78.40	45.94	51.56	36.16

Si se comparan estos datos con sus respectivos antes del tratamiento se puede notar que estos elementos (Fe, Ti, Zr, Nb, Y, Cr, Zn, Cu, y Pb) se encuentran por encima de su cantidad registrada en el análisis previo al tratamiento (Figura 16 a-n).



**Figura 16 (a-d).** Comparación de concentraciones de metales previo y posterior al tratamiento de las muestras con etanol.

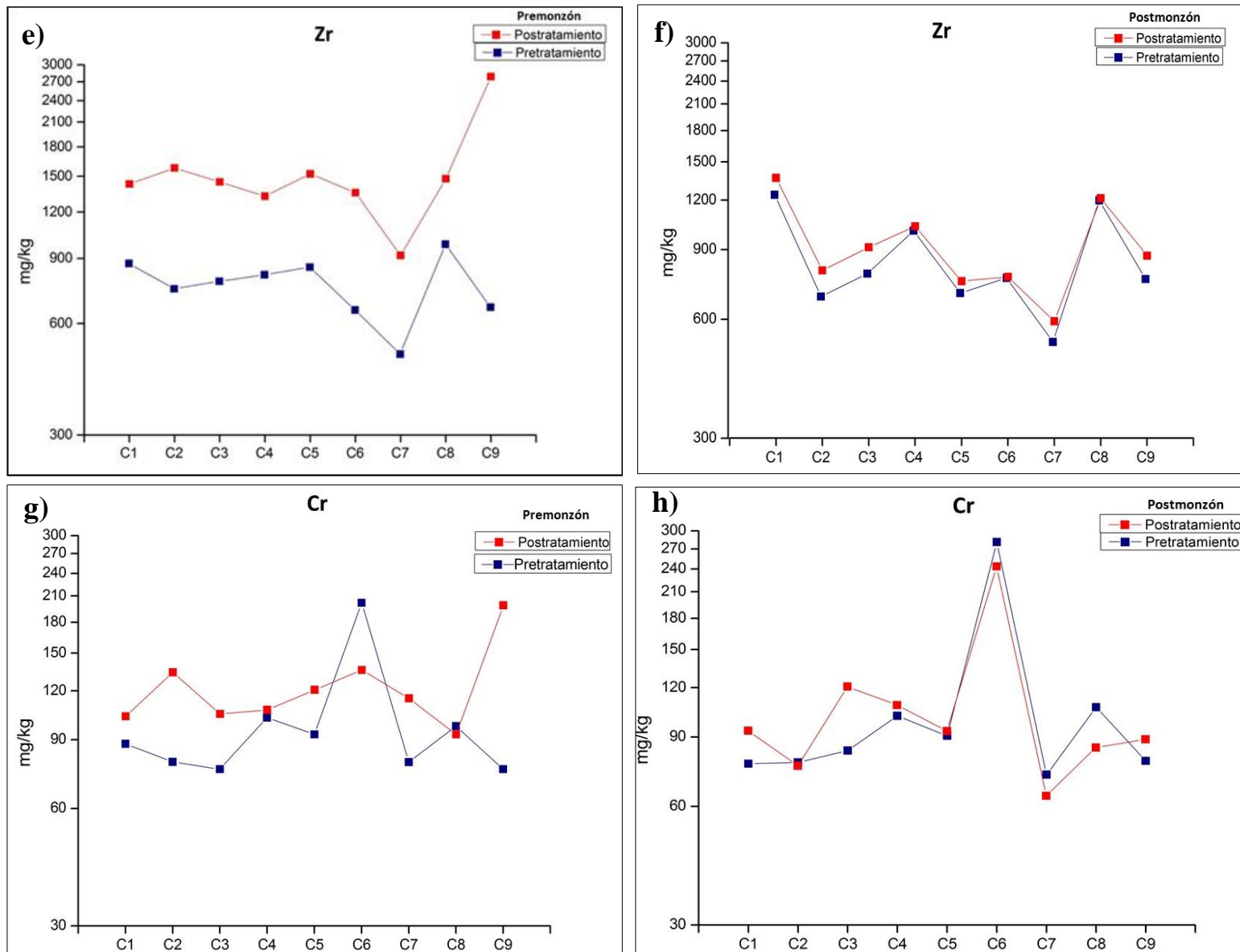
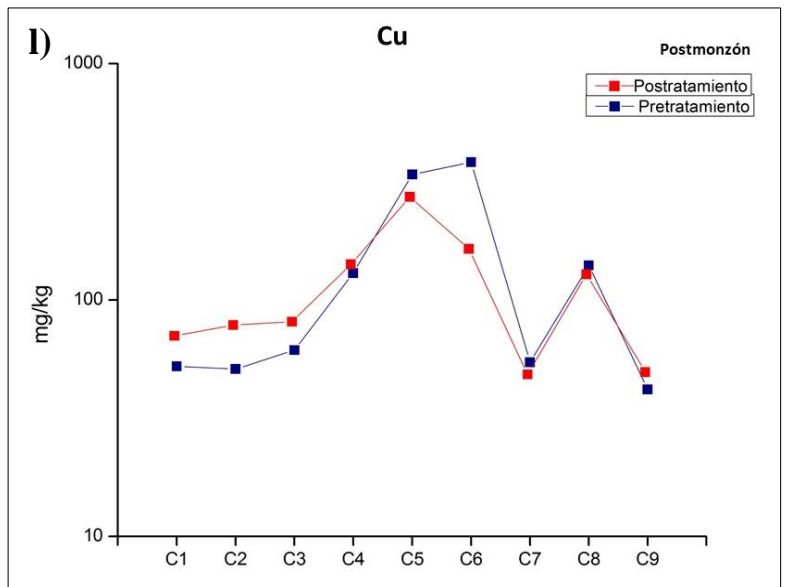
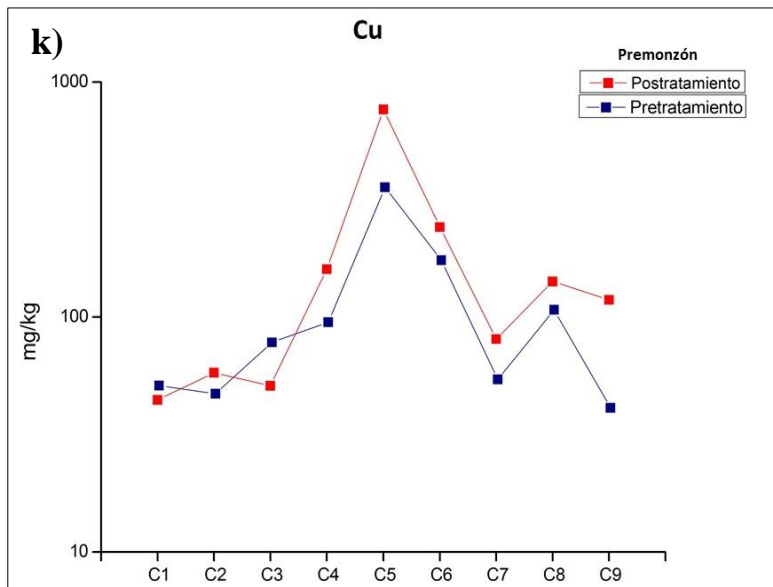
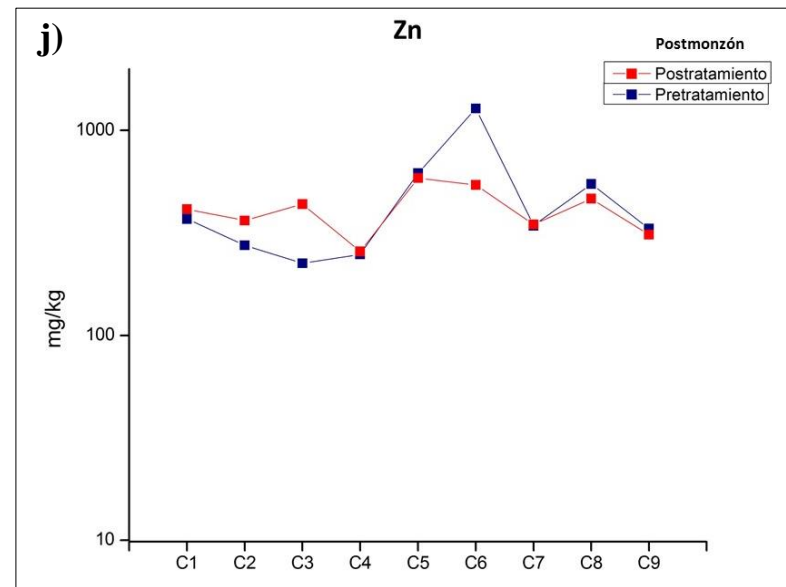
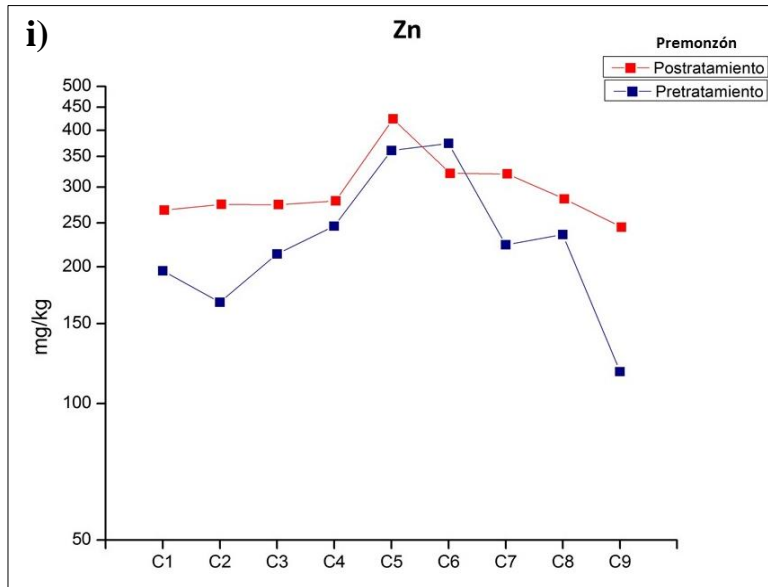
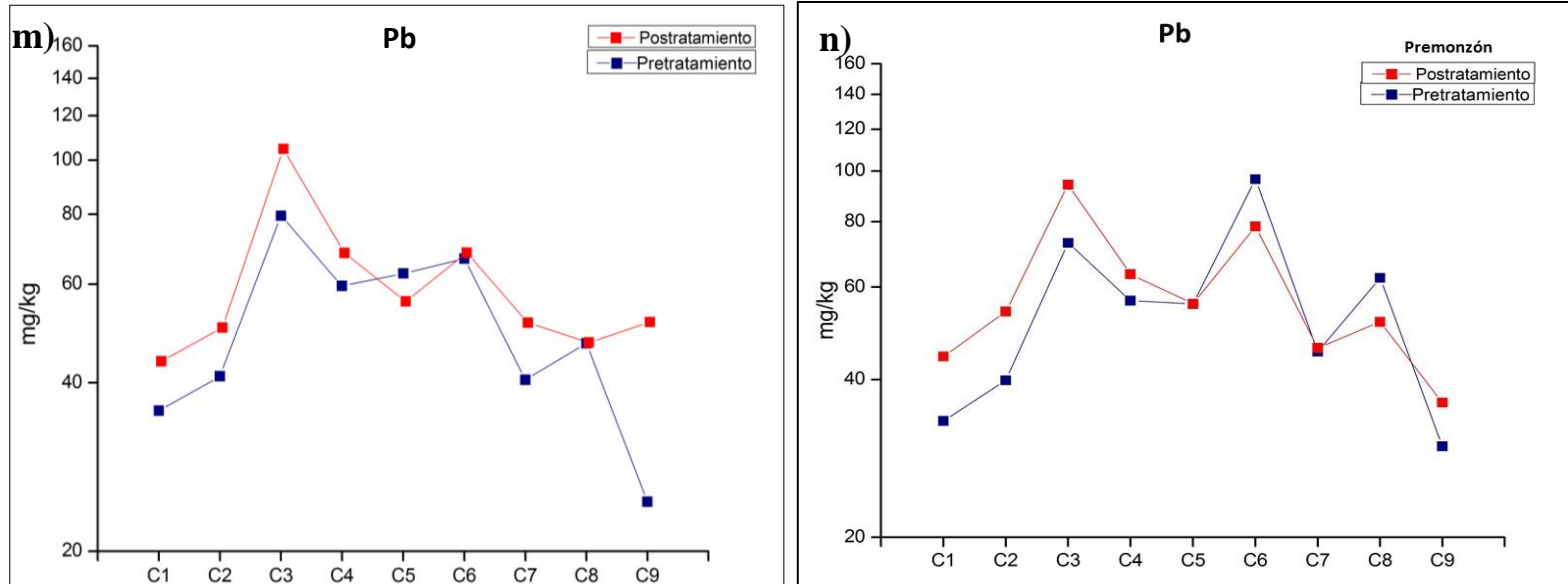


Figura 16 (e-h). Comparación de concentraciones de metales previo y posterior al tratamiento de las muestras con etanol.



**Figura 16 (i-l).** Comparación de concentraciones de metales previo y posterior al tratamiento de las muestras con etanol.





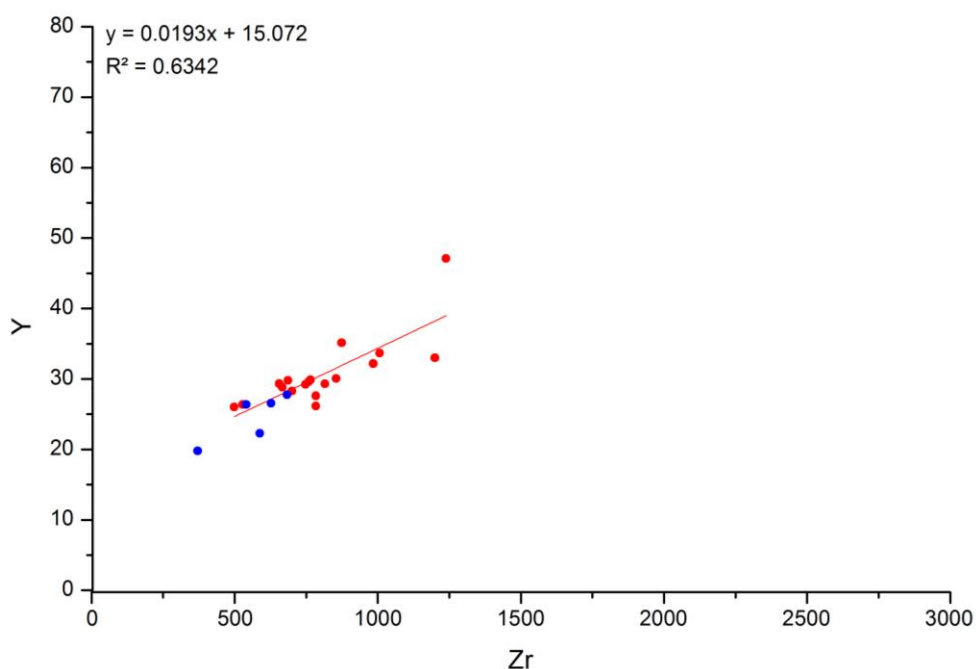
**Figura 16 (m, n).** Comparación de concentraciones de metales previo y posterior al tratamiento de las muestras con etanol.

Como se puede observar ocurren algunos cambios en cuanto a la recuperación de las concentraciones de elementos, esto puede ser debido a la detección y absorción de rayos-X de la muestra al instrumento, la cual es afectada por la profundidad o grosor de las partículas irradiadas, y esto afecta como los rayos-X son detectados. Así que la profundidad por la cual los rayos-X fluorescentes pueden escapar y ser detectados depende de la energía de rayos-X y su absorción por el material lo que se conoce como profundidad de penetración crítica la cual es el grosor del cual 99% de los rayos-X fluorescentes son generados.

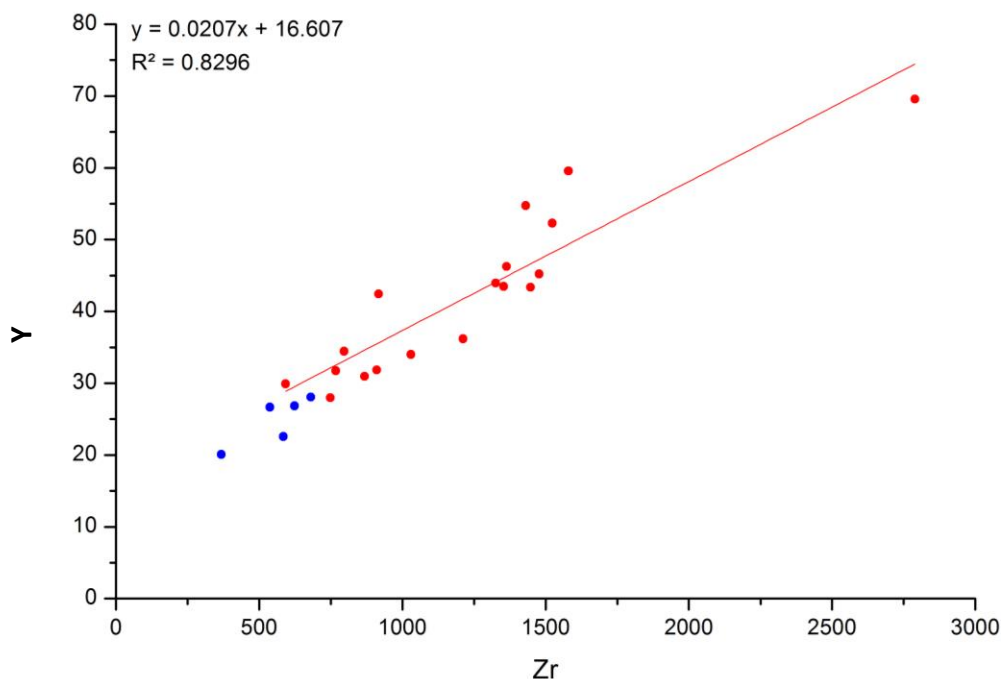
Debido a la atenuación de la fluorescencia en la muestra, la proporción de fluorescencia no es constante a través de la profundidad, y la mayor parte de la señal detectada (90%) viene del grosor equivalente a la mitad de la profundidad de penetración crítica (Potts *et al.*, 1997).

La profundidad de penetración crítica puede variar debido *al cambio en la matriz de la muestra* dado por la disolución grasas que se puedan presentar en las canchas de escuelas primarias como recubrimientos (coatings) en las partículas, y que aparentemente afecta en la incidencia de los rayos X.

Un ejemplo de cambio en la profundidad de penetración crítica se puede explicar en la correlación Zr/Y de antes y después del tratamiento de las muestras (Figura 17 a y b).



**Figura 17 (a).** Correlación de Zr vs Y con datos previos al tratamiento con etanol a las muestras los puntos rojos corresponden a las muestras de escuela (n=18) y las azules a suelos naturales (n=5).



**Figura 17 (b).** Correlación de Zr vs Y con datos posteriores al tratamiento con etanol a las muestras los puntos rojos corresponden a las muestras de escuela (n=18) y las azules a suelos naturales (n=5).

El ejemplo dado según estos dos elementos se debe a que ambos presentan relación como elementos de alto campo de fuerza (HFSE o High Field Strength Elements) que los define de esta forma por la relación de radio iónico y carga catiónica ( $z/r$ ), lo que no se indagara a profundidad salvo explicar que como resultado tienen una unión anionica muy fuerte por lo que van a la par químicamente hablando.

En la Figura (17 a) se observa que la correlación de datos para antes del tratamiento es de 0.6342 la cual no es buena comparada a la correlación de 0.8296 de después del tratamiento (Figura 17, b) y a pesar de que los metales pueden provenir de múltiples fuentes potenciales es más lógico pensar que después del tratamiento y tras la remoción de aceites y grasas se tendrá una mejor lectura o recuperación por parte del equipo de fluorescencia y por lo tanto una necesidad de aplicar este tipo de técnicas en el caso de muestras expuestas a estos materiales, pues podría ser que no se recupere las lecturas correctas de los metales que estén contenidos en dicha muestra

### **3.3. Análisis SEM-EDS y comparación con mineralogía obtenida por DRX de muestras seleccionadas por cuenca**

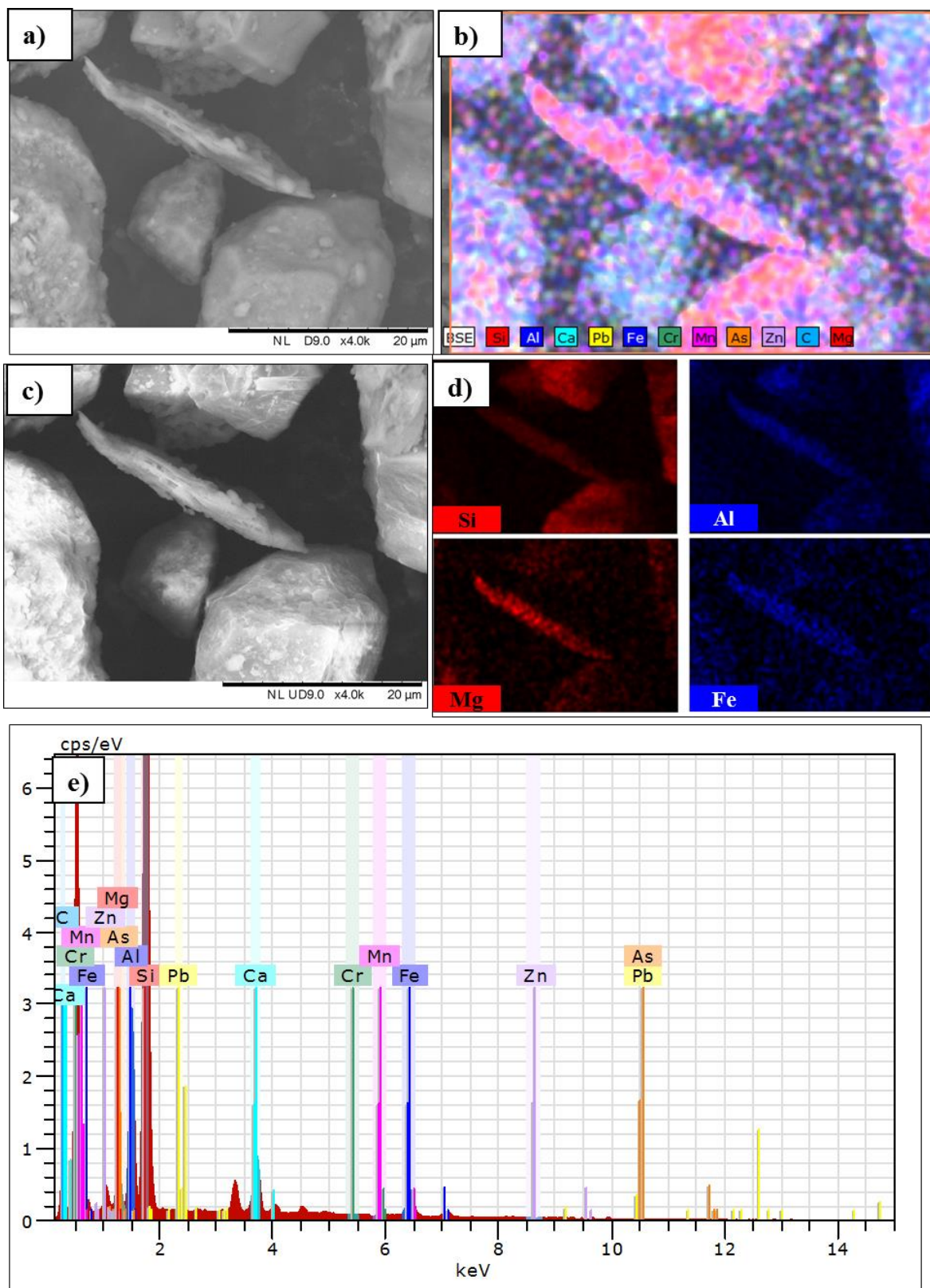
Muestras seleccionadas representativamente de cada cuenca para un tamaño de partícula de 20  $\mu\text{m}$  fueron observadas mediante el equipo de SEM señalado previamente.

Las muestras fueron observadas en campos de vista seleccionados aleatoriamente.

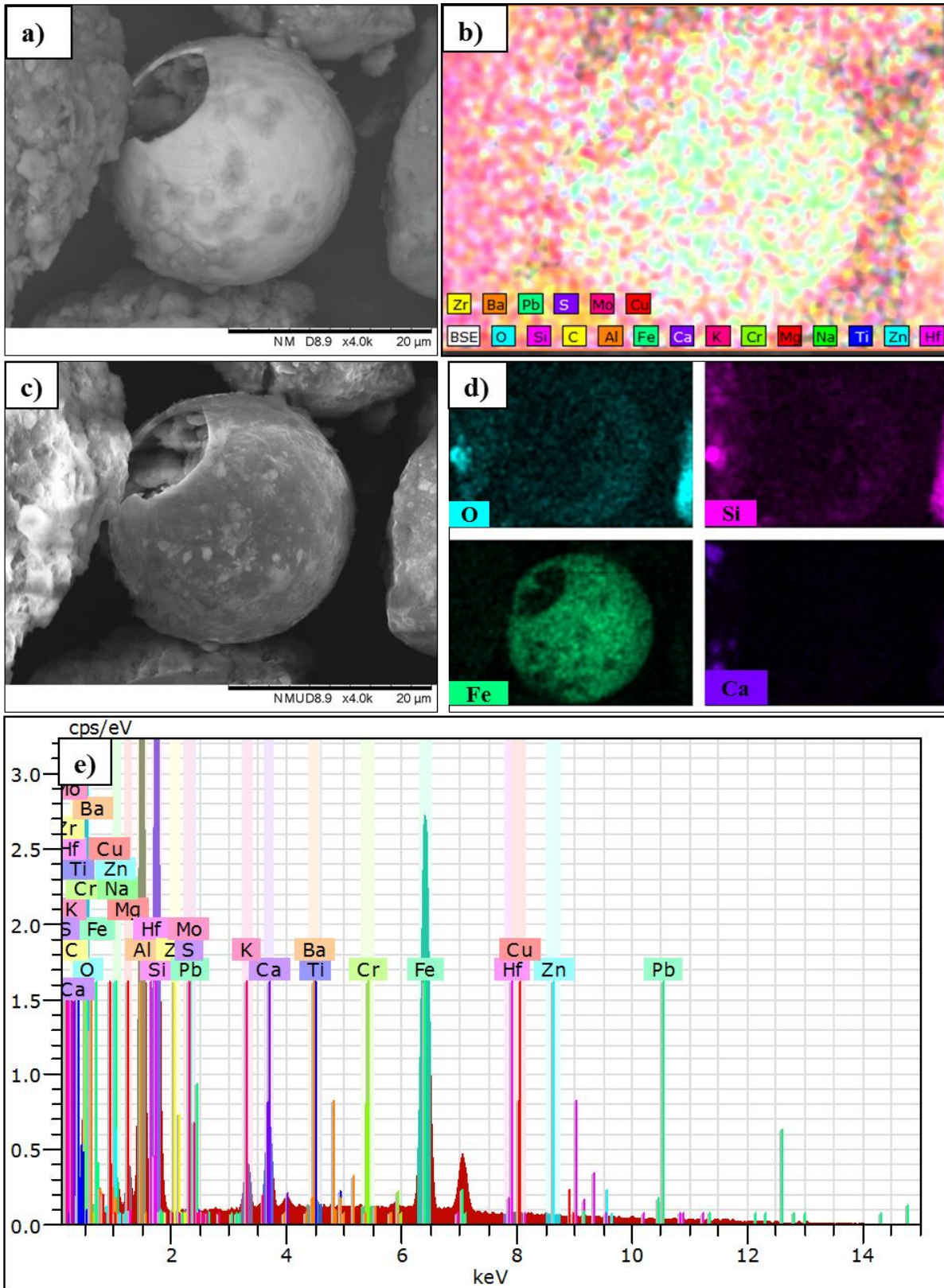
Las imágenes obtenidas para las partículas analizadas son las de electrones secundarios (Secondary Electrons o SE), electrones retrodispersos (Back Scattered Electrons o BSE) e imágenes EDS aunadas a sus espectros correspondientes (Figura 18 A-D).

Las imágenes de composiciones elementales de las partículas son obtenidas y determinadas usando un espectrómetro EDX (Energy Dispersive Spectroscopy o EDS) acoplado al SEM. (los modelos de los equipos y descripción de la técnica son descritos en el Anexo 5.

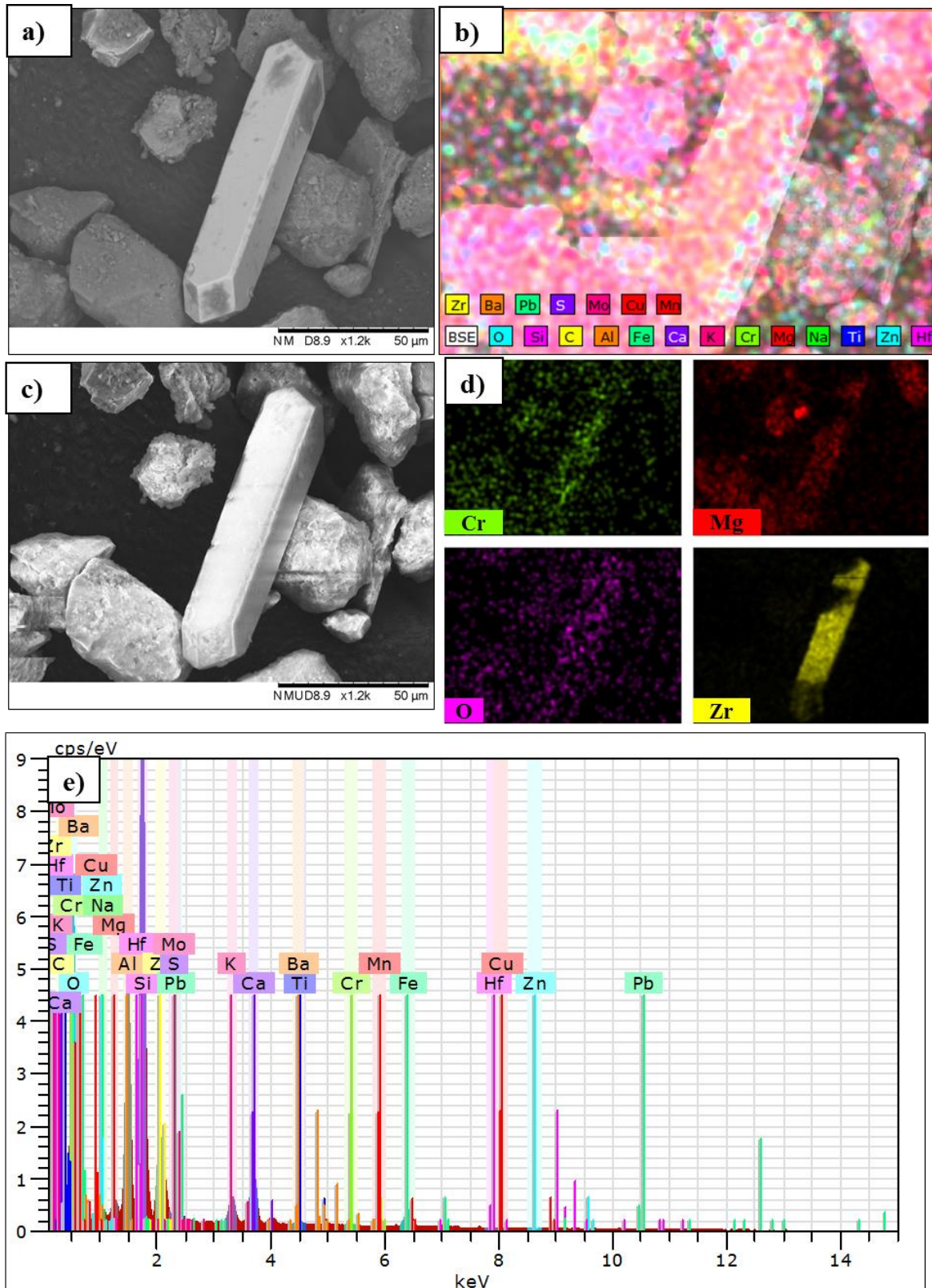
Composición, forma, geoquímica y los datos de DRX de la mineralogía fueron el factor para diferenciar entre las partículas de origen geogénico y antropogénico.



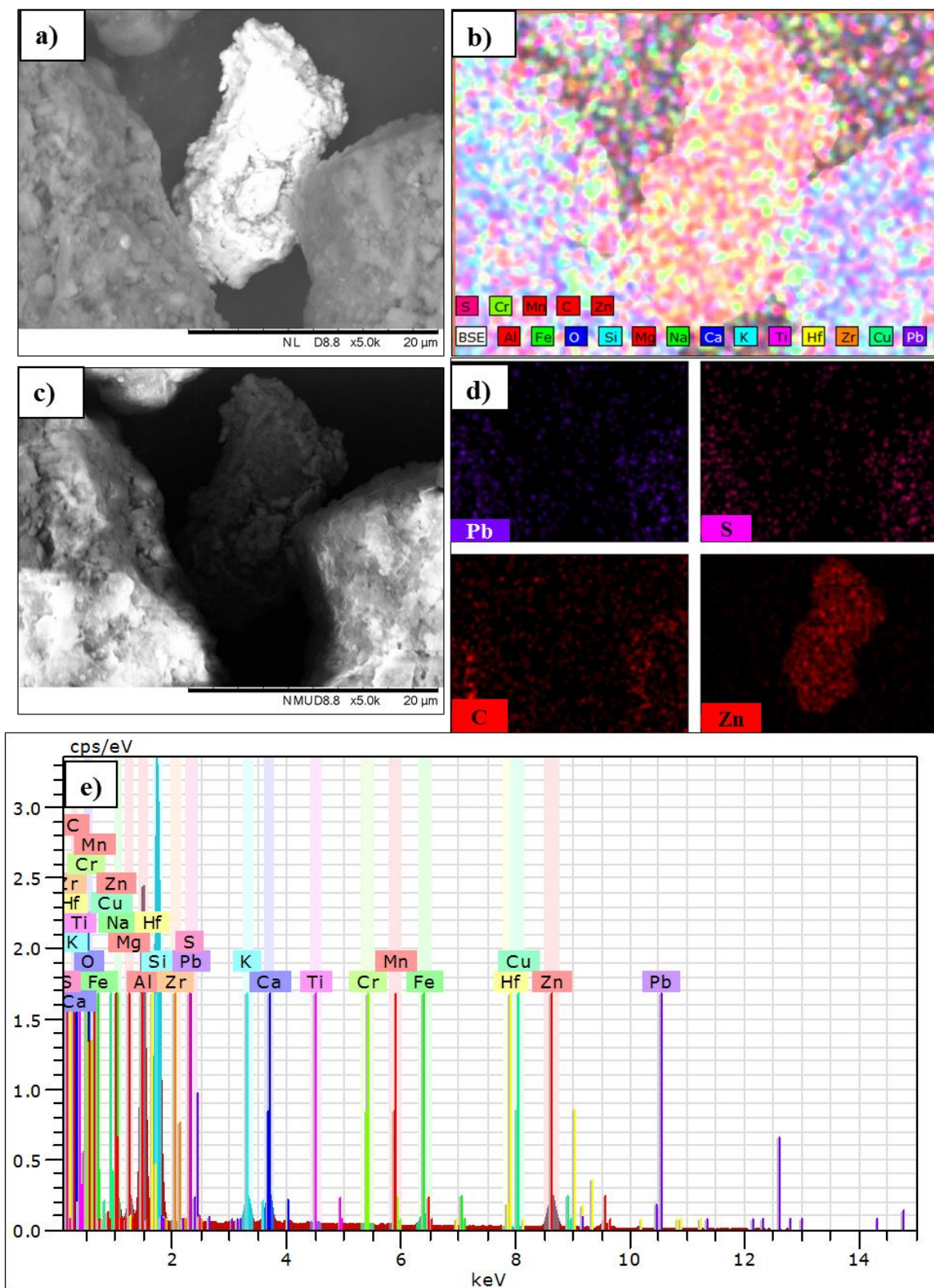
**Figura 18(A).** Partícula de composición Si, Al, Mg, Fe mostrando las imágenes obtenidas en SEM tales como BSE [a)], SE [c)], EDS [b), d)], y espectros elementales[e)], la definición de la partícula se define más adelante y esta figura solo representa la obtención de información e interpretación del SEM utilizado para este trabajo.



**Figura 18(B).** Partícula esférica de Fe o esférica de Fe hueca (cenosfera) mostrada en las imágenes obtenidas en SEM tales como BSE [a)], SE [c)], EDS [b), d)], y espectros elementales[e)].



**Figura 18(C).** Partícula tabular prismática de Zr mostrada en las imágenes obtenidas en SEM tales como SE [a)], BSE [c)], EDS [b), d)], y espectros elementales [e)].



**Figura 18(D).** Partícula de Zn junto a una partícula tabular de Si mostradas en las imágenes obtenidas en SEM tales como SE [a)], BSE [c)], EDS [b), d)], y espectros elementales [e)].



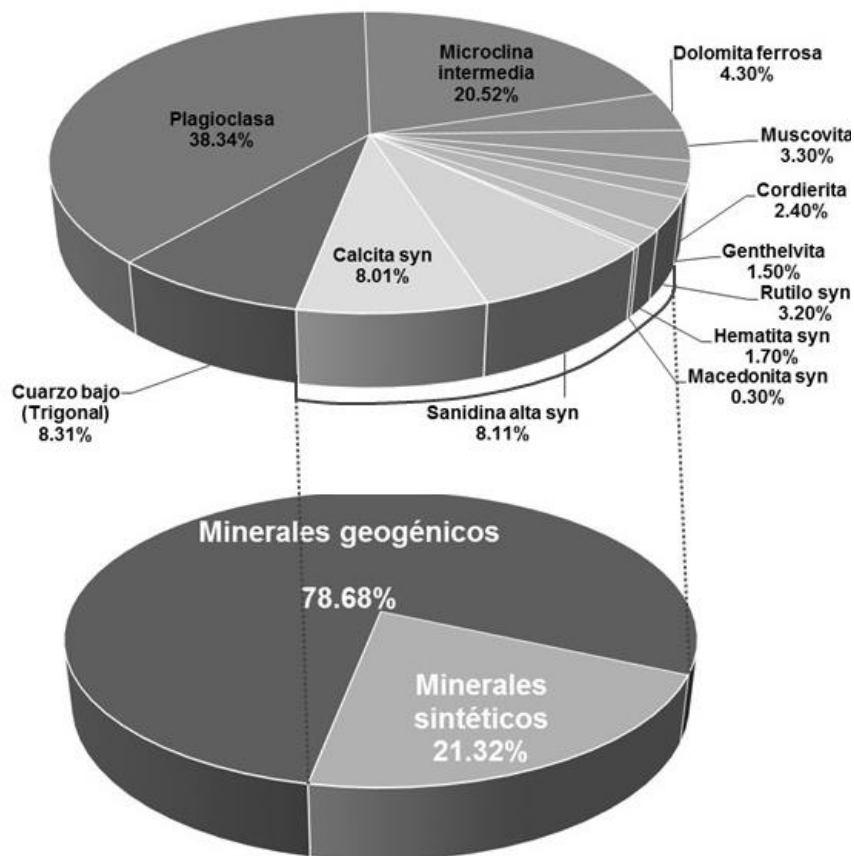
El conjunto de imágenes por grupo que se muestran son aquellas obtenidas por el detector de electrones retrodispersos (backscattered o BSE) operando a 15 kV.

Las partículas observadas presentaron una variedad en sus formas y composiciones elementales. De manera general las partículas se dividieron por origen en geogénicas y antropogénicas basado en forma, composición y mineralogía obtenida mediante Difracción de Rayos-X (DRX) por Ochoa-Contreras (2017) para estas mismas muestras. La clasificación mineralógica de las partículas se interpretó según la composición elemental obtenida por el detector de espectrometría de dispersión de energía de rayos X (EDS o EDX) acoplado al SEM comparando estas composiciones a las formulas mineralógicas obtenidas de las especies minerales reportadas y descritas por Ochoa-Contreras (2017) que se muestran en la Figura 19 (A-G) (ver Anexos IV. Difractogramas). Cabe resaltar que las muestras de suelo de fondo 4CM y 5RG un *considerable impacto* de minerales de origen antrópico (determinados como sintéticos Ochoa-Contreras, 2017) habiendo sido identificadas una gran cantidad de especies minerales de origen no natural (Anexo IV [19, 20,21, 22]).

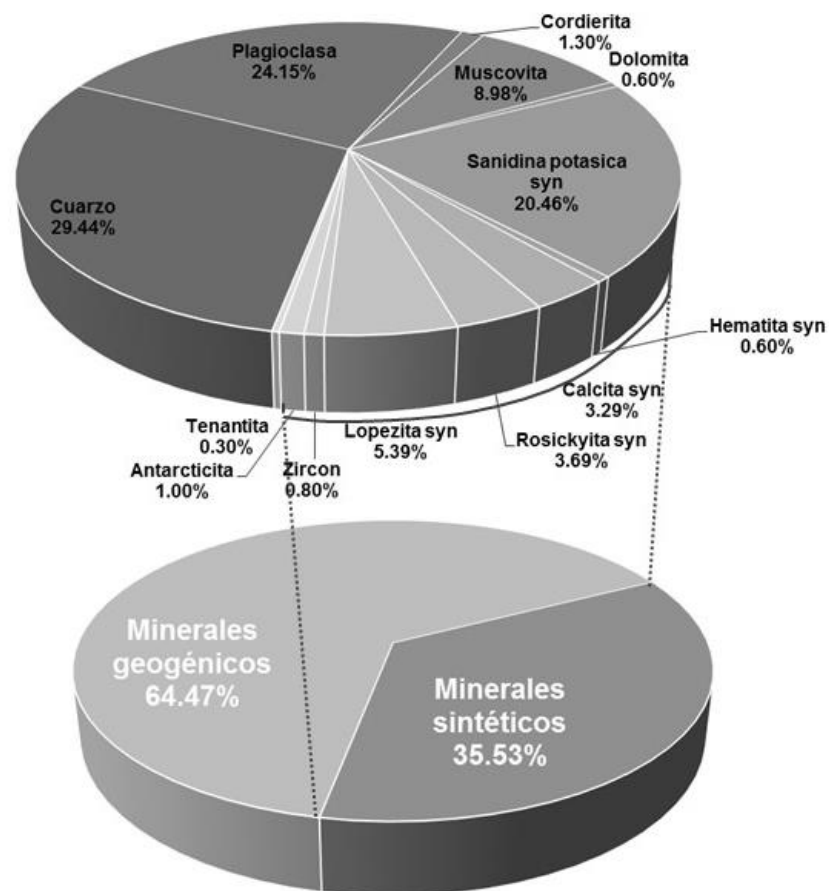
Las composiciones cristalinas (mineralógicas) de las muestras en graficas de pastel (Figura 19 A-G), presentan un porcentaje de minerales de origen geogénico vs minerales sintéticos. Los porcentajes de minerales sintéticos identificados para las muestras estudiadas van desde un 10 hasta un 35% con el resto como minerales geogénicos del entorno. Cabe destacar que la capacidad de detección de los equipos de difracción con una mezcla compleja de materiales se limita al 3% de la muestra y en base se a esto se hace el conteo de porcentajes.

Otro punto importante a resaltar es que los porcentajes de las Figura 19 (A-G) solo representan las cantidades de material cristalino o mineralógico detectado por difracción de rayos-X, despreciando el material amorfo o sin estructura cristalina y por lo tanto no importando el contenido de grasas o aceites en las muestras. Identificar toda clase de composiciones mineralógicas en SEM sería un trabajo exhaustivo por lo que se resalta lo mayor posible los datos más interesantes encontrados y con ambas herramientas conjuntas se complementa lo mayor posible. Por último, se hace mención debido a que la superficie observada en SEM no es plana el detector EDS tiende a identificar composicionalmente las partículas que sobresalen a la vista y podría no dar una identificar algunas, pero provee información c de algunos elementos.

### A) C1 premonzón

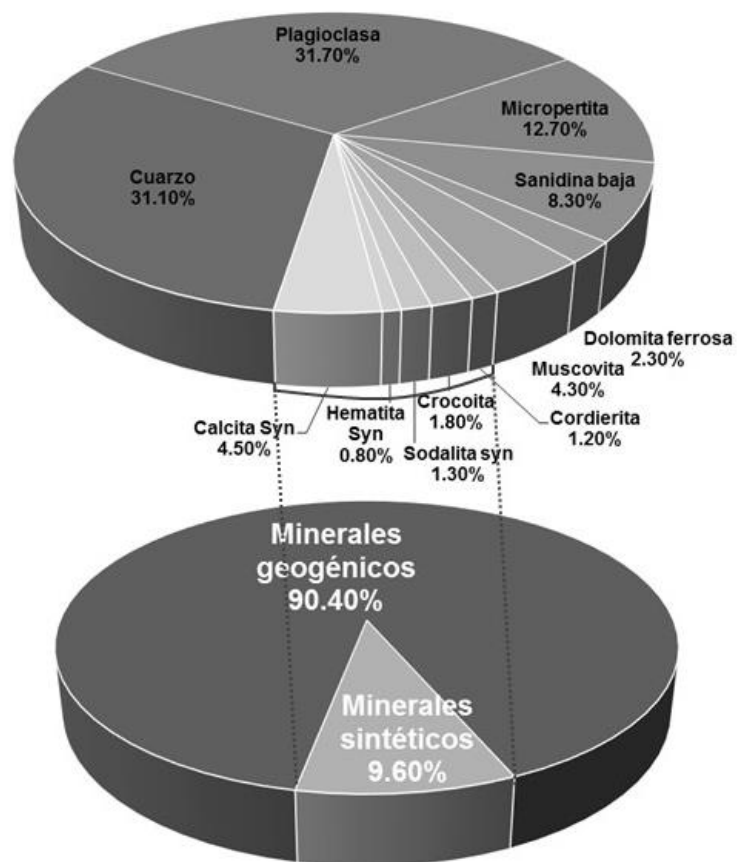


### B) C1 postmonzón

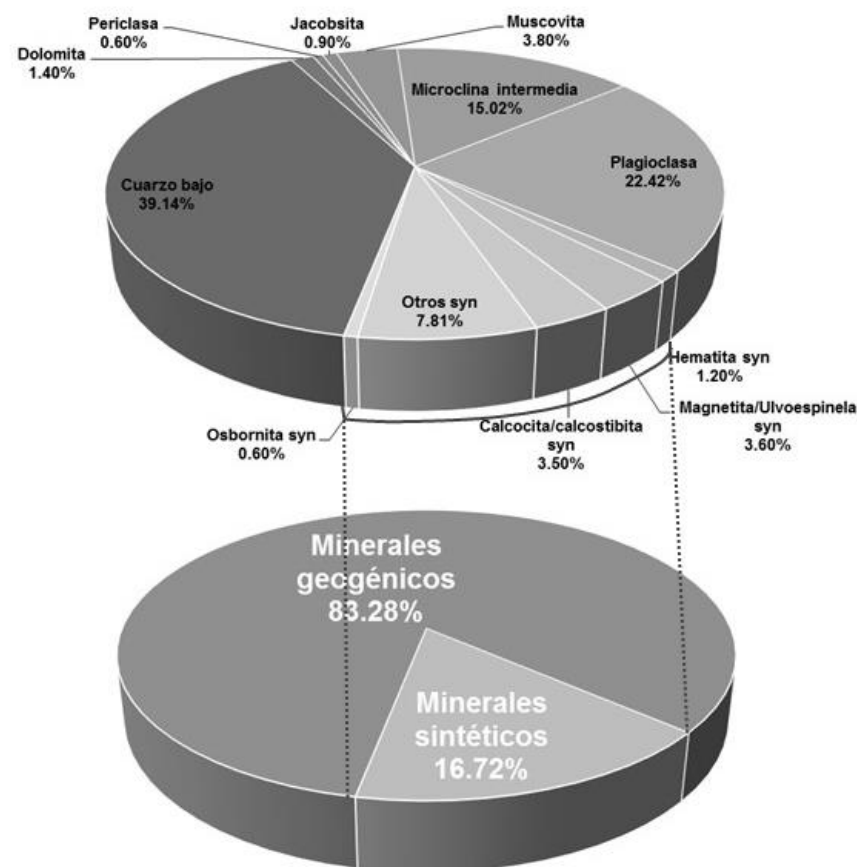


**Figura 19(A, B).** Mineralogía para la cuenca 1 (muestra seleccionada ES-09 y 2ES-09 correspondiente a 20 µm del muestro premonzón y postmonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017).

### C) C2 premonzón

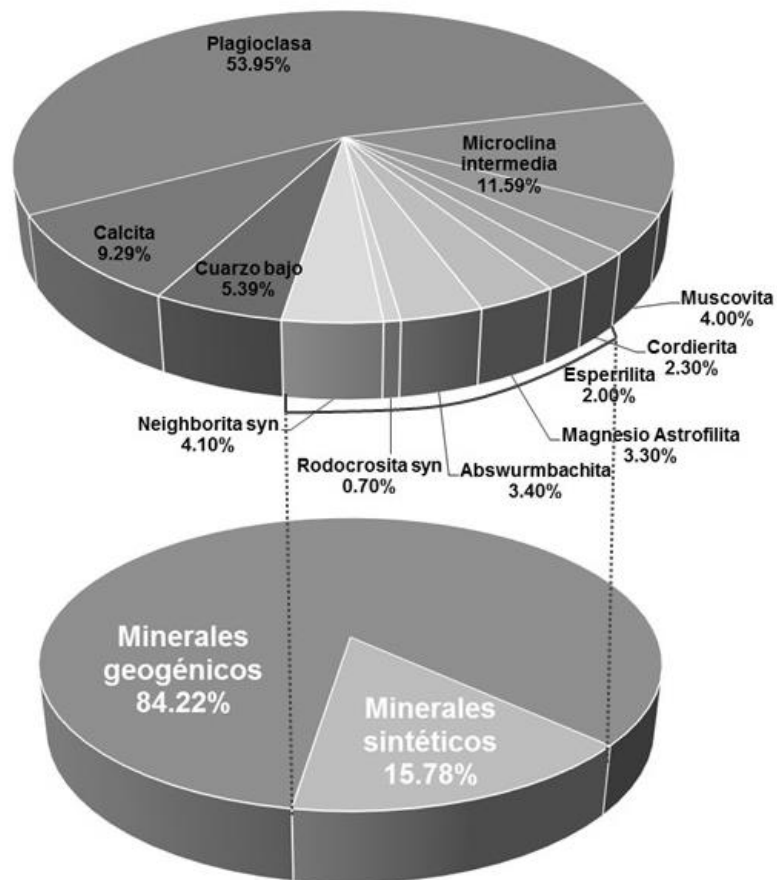


### D) C2 postmonzón



**Figura 19(C, D).** Mineralogía para la cuenca 2 (muestra seleccionada ES-12 y 2ES-12 correspondiente a 20 µm del muestro premonzón y postmonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017).

E) C7 premonzón



F) C7 postmonzón

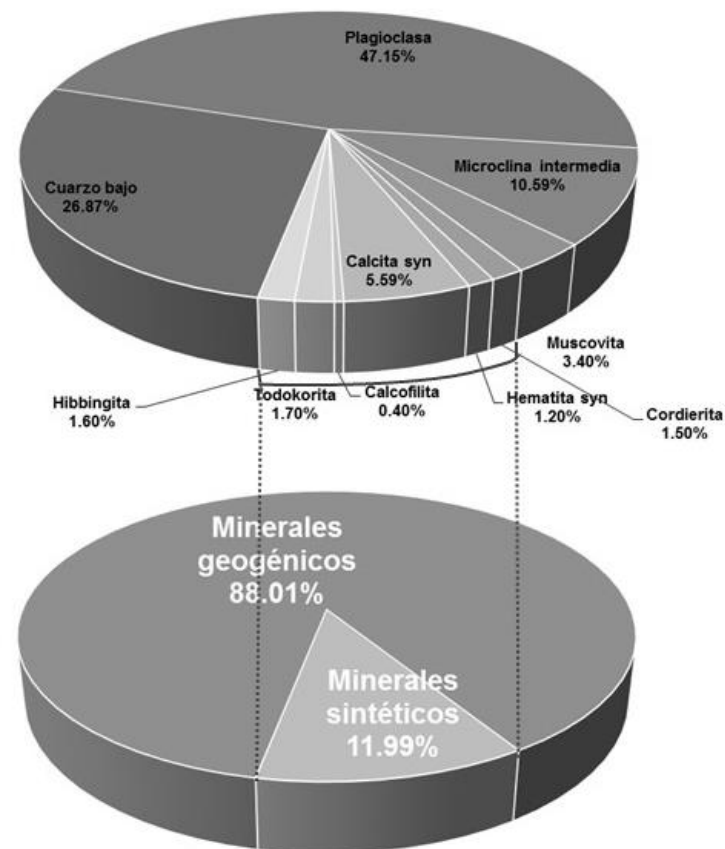
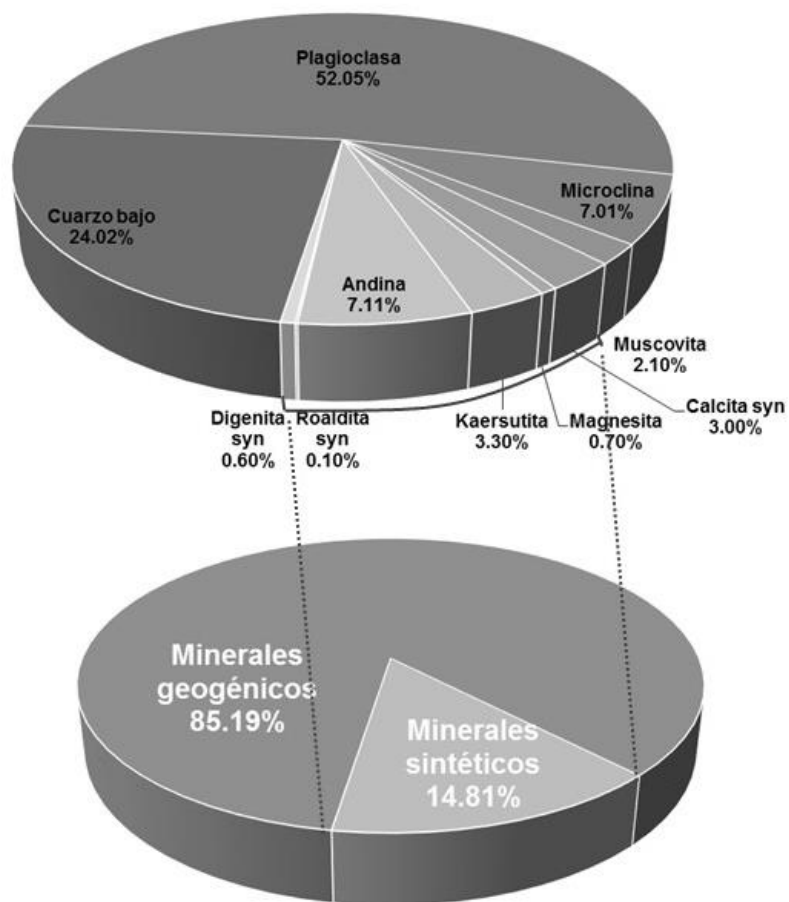


Figura 19(E, F). Mineralogía para la cuenca 7 (muestra seleccionada ES-28 y 2ES-28 correspondiente a 20 µm del muestro premonzón y postmonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017).

### G) C9 premonzón



**Figura 19 (G).** Mineralogía para la cuenca 9 (muestra seleccionada ES-28 correspondiente a 20  $\mu\text{m}$  del muestro premonzón), obtenida con la técnica de difracción de rayos-X (Ochoa-Contreras, 2017).

A continuación, se describen las formas y composiciones determinadas por SEM y comparada con mineralogía obtenida por difracción de rayos-X. La explicación de la determinación de las partículas con EDS vs DRX se explica en el Anexo V.

### **Grupo 1. Partículas geogénicas**

En el presente estudio se consideran como partículas geogénicas a aquellas derivadas directamente de la erosión de las rocas y los suelos de la región. Son las partículas encontradas más abundantes con formas anhedrales y subhedrales asociadas a composiciones propias de la corteza superior.

Entre las partículas geogénicas encontradas se pudieron apreciar partículas elongadas subhedrales de cuarzo SiO<sub>2</sub> (Figura 20, A-7), o redondeadas sin forma definida (anhedrales) de forma relativamente abundante.

Aún más abundantes que las anteriores mencionadas se encontraron minerales de plagioclasas (albita?) (Na, Ca)Al(Si, Al)<sub>3</sub>O<sub>8</sub> y/o feldspatos más comúnmente microclina (KAlSi<sub>3</sub>O<sub>8</sub>).

Las formas que destacan de microclina es aquella de una forma cilíndrica tabular encontrada (Figura 20, A-2) y formas más comunes anhedrales (Figura 20, A-5) (A-9) que las distingue por sus composiciones (Si-Al-K) de otras partículas geogénicas.

Las formas de la plagioclasa encontradas (albita?) fueron de forma anhedral (Figura 20, A-1) y tabular (A-12).

Partículas de calcita se encontraron en la superficie de las caras de otras partículas, aunque su naturaleza es incierta debido a que en la toma de muestra puede verse integrada restos de cemento (Figura 20, A-3, A-8, A-10).

Laminas delgadas de Muscovita fueron identificadas (Figura 20, A-6, A11).

Las partículas de Fe que se muestran en el presente estudio anhedrales y subredondeadas como monopartícula y se pueden asociar a Hematita sintética derivado de desgaste del parque vehicular (Figura 20 (A- 4, A-5, A-7)).

## Grupo 2. Partículas antropogénicas

Las partículas antropogénicas representan un grupo amplio de orígenes y mineralogías por lo que se mencionan según lo posible en grupos que a continuación se describen a continuación.

### Esférulas de Fe

Las partículas esféricas denominadas esférulas de hierro o ferrosferas, son partículas constituidas principalmente de Fe, que se distinguen por poseer propiedades magnéticas que le confieren la capacidad de transportar consigo material particulado en su superficie y/o contenerlo en su interior.

Partículas de este tipo han sido documentadas en el polvo urbano (Bučko *et al.*, 2010; Yang *et al.*, 2010), aunque en muy pocos trabajos han explicado su forma y origen detalladamente (Bourliva A., *et al.*, 2016).

Las texturas de estos materiales revelan que se forman a altas temperaturas y aunado a su morfología (claramente no geogénica) se puede decir con facilidad que tienen una proveniencia antropogénica (Bourliva A., *et al.*, 2016). Se ha encontrado que estas partículas son liberadas de los vehículos a partir de la combustión de estos (Bučko *et al.*, 2010), en actividades industriales (metalúrgicas, producción de cementos) como productos de vitrificación y fusión de minerales como feldespatos, cuarzo, micas, fases amorfas, minerales con bajos puntos de fusión con una fuente rica en Fe que dan origen óxidos de Fe “en procesos tecnológicos” por lo que también son llamadas “partículas tectogénicas” (Abu Khatita A., *et al.*, 2016; Magiera T., *et al.*, 2013, Magiera T., *et al.*, 2011) y han sido considerada un importante contaminante en ambientes urbanos ya que puede traer además otros contaminantes peligrosos (Muxworthy *et al.*, 2001) y generalmente está acompañado de otros metales (Maher *et al.* 2008; Lee *et al.*, 2016).

Las esférulas encontradas presentan las siguientes texturas; esférulas de superficie suave o *smooth spherules* (Figura 21, **B-2**; **B-4**), esférulas que presentan un entramado poligónico o *polygonic spherules* (Figura 21, **B-5**; **B-6**), esférulas dendríticas o de piel de naranja

(*dendritic or orange peel spherules*) (Figura 21, **B-1**) y cenosferas (*cenospheres*) las cuales presentan huecos (Figura 21, **B-3**).

La composición mineralógica principal de estas partículas es la hematita sintética ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

Es sabido que debido a su capacidad magnética pueden adherirse a las caras o paredes de estas partículas cualquier otra partícula en la figura se puede observar lo que probablemente es materia orgánica adherida a esta y es fácil pensar que cualquier metal o partícula puede ser transportada por estas.

### **Partículas de Fe antropogénico**

Dentro de estas se encuentra partículas como rutilo sintético (Figura 21, **C1**) (antrópico), estas partículas presentan texturas elongadas, fibrosas y tabulares. El origen de estas partículas se da a partir de la separación de estas de la abrasión/ corrosión de líneas/cables de frenos especialmente del disco de los frenos (non exhaust traffic emissions) (Zannoni *et al.*, 2016) Al igual que las esférulas estas partículas de Fe representan material magnético (Muxworthy A *et al.*, 2001).

Partículas de este tipo se pudieron encontrar con morfologías elongadas, tabular y fibrosa (Figura 21, **C-2, C3, C6**) que corresponde a hematita ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) y mineral con apariencia de espinas que junto con las partículas tabulares octaédrica y prismáticas de Fe asociadas con Ti (Figura 21, **C5, C7, C-8**) corresponden a un mineral denominado ulvoespinela ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ).

### **Desgaste vehicular (Zn, Zr, Ba, Cordierita)**

Las partículas provenientes del desgaste vehicular (nonexhaust particles), ocurren a partir de la emisión por abrasión de frenos, calles y llantas de vehículos, así como también del desgaste de convertidores catalíticos y la resuspensión de estos materiales hacia la superficie de las calles.

En este trabajo se han encontrado partículas de desgaste vehicular con composiciones Zn, Zr, Ba, las fuentes potenciales de estos elementos se describen a continuación.

La fuente principal de Zn puede verse ligada a lo que trabajos previos han descrito en material particulado en un ambiente urbano, como producto de este a partir de la manufactura de



metal, combustión fósil, y material de tráfico predominantemente emitido en el desgaste de llantas (como ZnO u óxido de Zn) y ha sido identificado en emisiones de fundición de metales junto con ZnS (Ochoa-González R. *et al.*, 2016; Harrison *et al.*, 2012).

Sin embargo, algunos autores han descrito que la escorrentía de las aguas de lluvia es una fuente importante de contaminación de Zn por erosión de estructuras galvanizadas (Oulton L. *et al.*, 2014).

La recurrencia de materiales con composiciones asociadas a Zr en el presente estudio puede verse ligada a el catalizador o convertidor catalítico el cual es un aparato incorporado a los vehículos para reducir los gases nocivos expulsados. En su interior contiene un soporte cerámico o monolito de forma cilíndrica con celdillas que le dan la apariencia de un panel (Catalyst honeycomb substrate) este soporte cerámico a su vez está protegido por una capa de metales nobles (Platino, Rodio, Paladio) de óxidos de zirconio (en forma mineral) y de cerio además del mineral conocido como cordierita (Topka P., 2016), estos pudiendo ser de forma empleados a partir de una fuente natural o manufacturados sintéticamente. La importancia del desgaste del monolito cerámico (parte del catalizador) radica en la emisión de estos compuestos y su integración al polvo urbano.

Debido a la prohibición de los asbestos por el potencial riesgo a la salud en 1989, las personas empezaron el uso de compuestos no-basados en asbestos como compuestos para la fricción. Con esto se incorporó la barita sintética como material que se utiliza para hacer volumen y reducir el costo en la mejora de la fricción como relleno inerte (inert filler) de balatas de frenos (Thiyagarajan V. *et al.*, 2016) (Bijwe J., 2007). El desgaste de frenos producido por el contacto de la superficie entre la balata y el disco o tambor durante el frenado produce el desgaste y liberación de estos productos minerales y con esto se incorporan al polvo de materiales de Fe y Ba.

Las partículas de Zr se encontraron principalmente en forma ovoide (Figura 21, **D8**, **D10**). Pudo observarse una partícula de Zr en forma perfectamente prismática lo que no deja duda del origen antropogénico de estas (Figura 21, **D11**). Además, también se pudieron observar pequeñas partículas de 1  $\mu\text{m}$  en caras de otros cristales (Figura 21, **D7**, **D13**) y otras formas subhedrales (Figura 21, **D15**).

Las partículas de Ba que se observaron poseen formas anhedrales subredondeadas (Figura 21, **C12**). Estas partículas están posiblemente asociadas al desgaste de las pastillas de frenos ya que no existen fuentes de aporte de Ba que sean significativas en la zona y previamente se ha reportado la presencia de barita en filtros de aire (Moreno-Rodríguez *et al.*, 2015).

Los datos de geoquímica indican un contenido de Zn total en polvo que es superior a la mayoría de los suelos locales, lo que es diagnóstico de su origen antrópico, una partícula cristalina de Zn que se encontró la cual posee una forma tabular se observa en la Figura 21 (**D16**).

Además de estas también se encontraron mineralogías asociadas a cordierita ( $Mg_2Al_4Si_5O_{18}$ ), sin embargo, estas pueden tener un origen natural o sintético en (Figura 20, **C4**) a pesar de cualquiera de estos orígenes como antes fue mencionado se usa en el monolito de catalizador moderno esto lo sugiere el que se encuentre recurrentemente en las muestras (Ochoa-Contreras, 2017) y además se discute ampliamente en la literatura el uso de estos (Li F. *et al.*, 2016).

### **Partículas de Pb-S? Cr, Cu**

Las partículas encontradas que constan de esta composición pueden estar relacionadas a pigmentos (Pb-S?) aunque en el SEM no se puede distinguir entre Pb y S (limitaciones del equipo) se puede asumir que las partículas tales como la que se observa en la Figura 21 (**E1**, **E4**) la cual es de Calcio sintético (calcita syn) y que coinciden con Pb/S se deben a cemento, que es la superficie de la que fue recogida la muestra. Se encontraron además partículas de concentraciones de Cr y Fe que pueden ser asociadas a desgaste de frenos o pinturas. Estas partículas presentan formas delgadas y alargadas con apariencia de hilos o hebras (Figura 21, **E2**, **E3**, **E5**).

Otras partículas de Pb encontradas son pequeñas ( $<1 \mu m$ ) (Figura 21, (**D6**), (**D13**), (**D14**) (**D5**)).

En la cuenca 5 hay un aporte muy elevado de CuS (digenita?) esto permitió identificar partículas como la Figura 21, **C10**. Cabe destacar el tamaño de  $\sim 5 \mu m$  de estas partículas que les da un potencial muy grande de ser inhalados profundamente en el sistema. El Cu ha sido

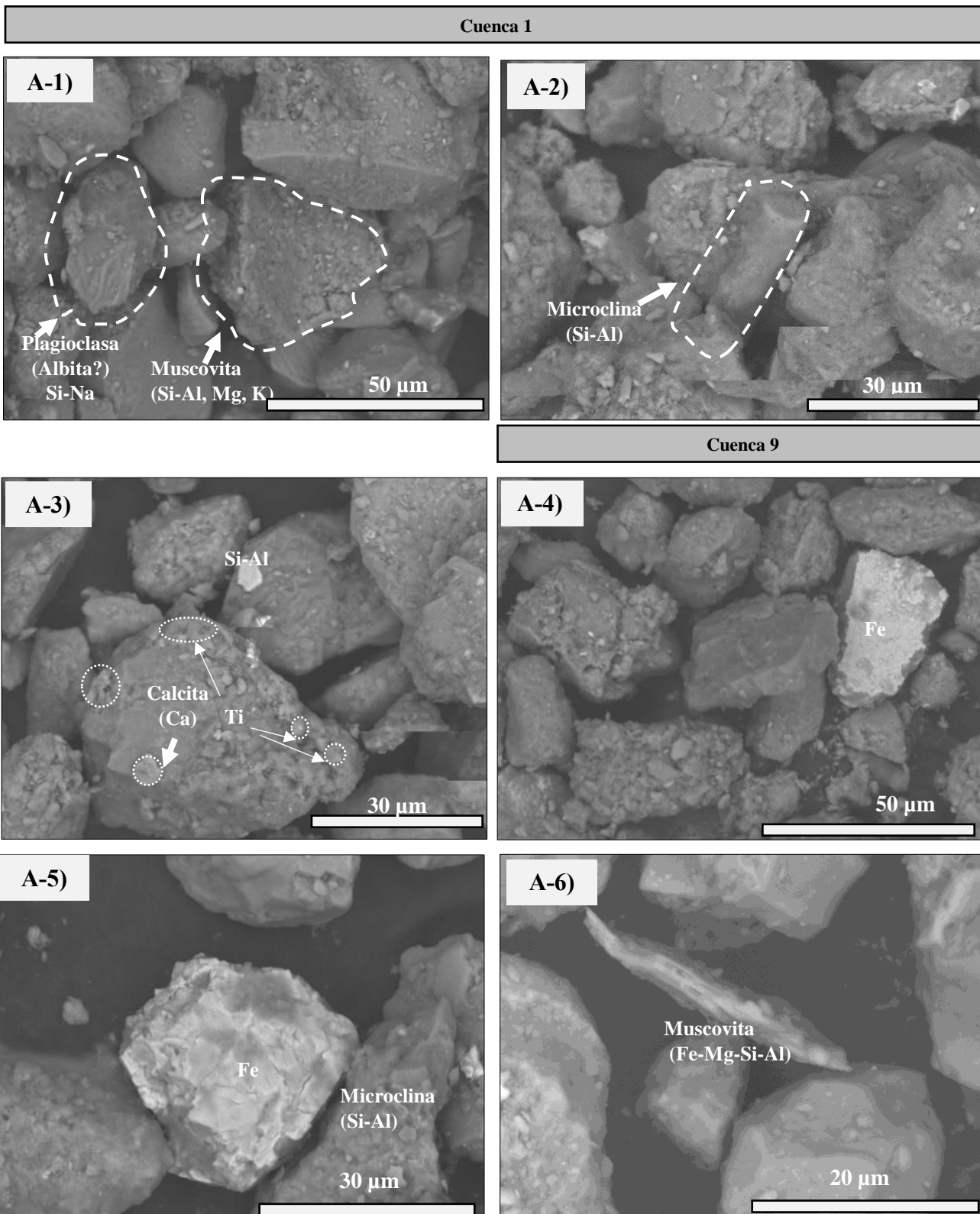
asociado a múltiples fuentes tales como fundición, combustión de aceites y combustibles, humo de madera, y desgaste de frenos, este último tiene un mayor sentido por el alto tráfico pesado en el área (Ochoa-González R., 2016).

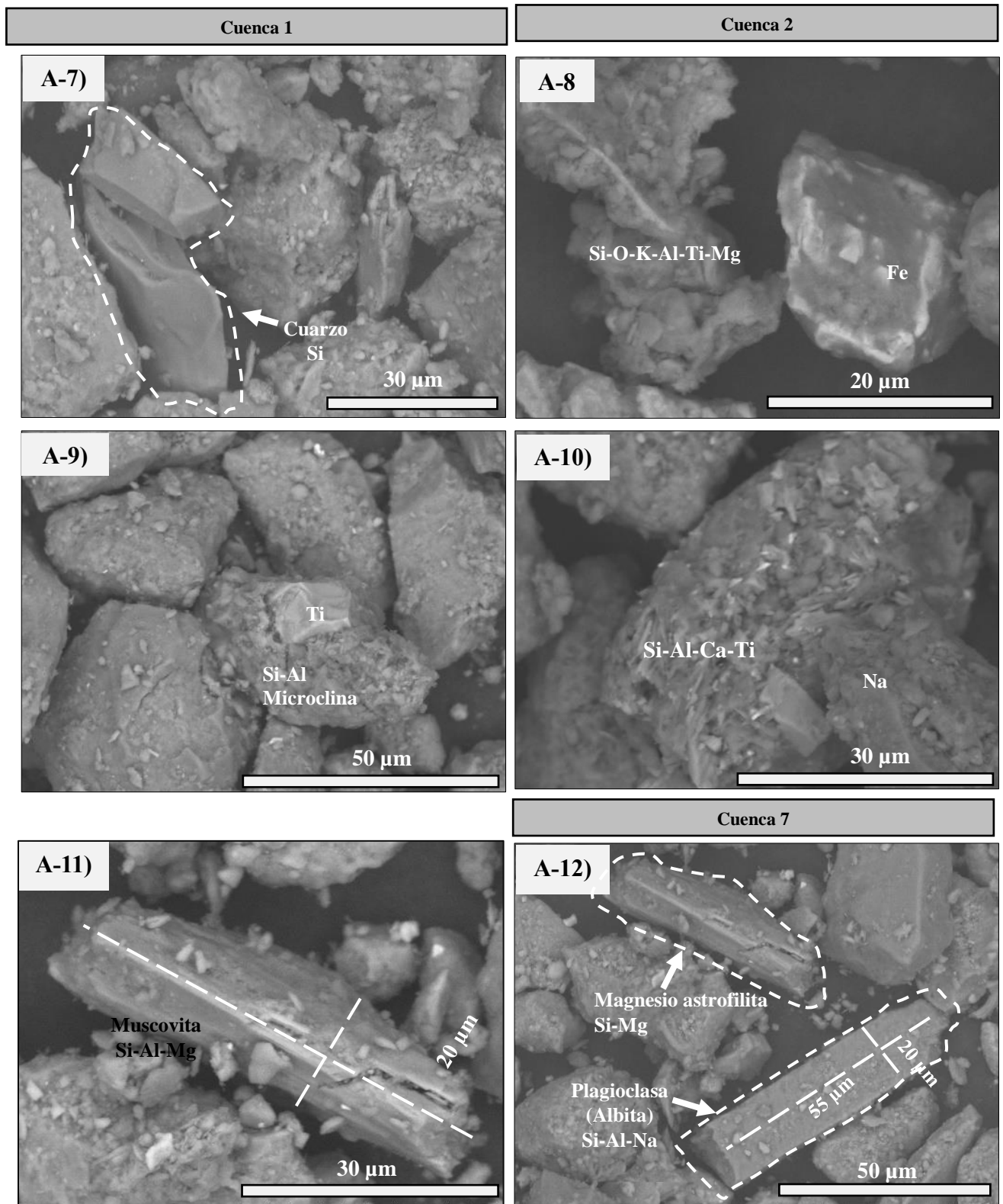
### **Otros minerales**

Partículas de con una morfología tabular fibrosa (Figura 20, **A10**) (Figura 21, **D2**) fueron identificados, aunque de estos no se puede constar si ocurre de forma natural o antropogénico, la composición que se encontró se estas partículas fue Fe, Mg, Si, Ti la cual se denominó Magnesio astrofilita  $\text{Na}_2\text{K}_2(\text{Fe}, \text{Mn})_5\text{Mg}_2\text{Ti}_2\text{Si}_8\text{O}_{24}(\text{OH}, \text{O})_7$ .

Además de estos, se identificó un mineral llamado dolomita ferrosa el cual es una variedad de dolomita con un hábito fibroso conglomerático (Figura 21, **F3**).

## Grupo 1. Minerales geogénicos

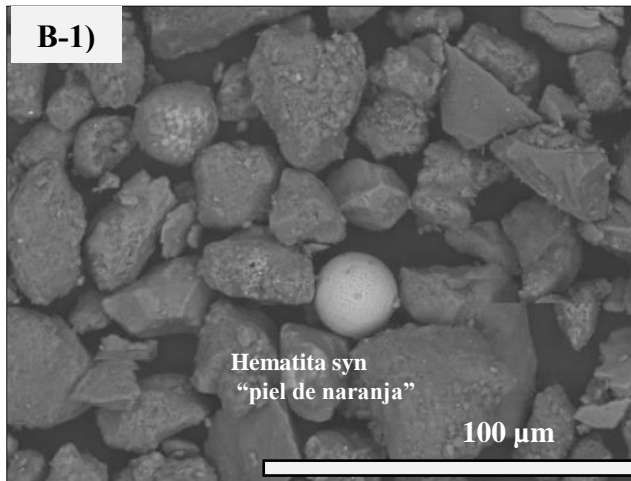




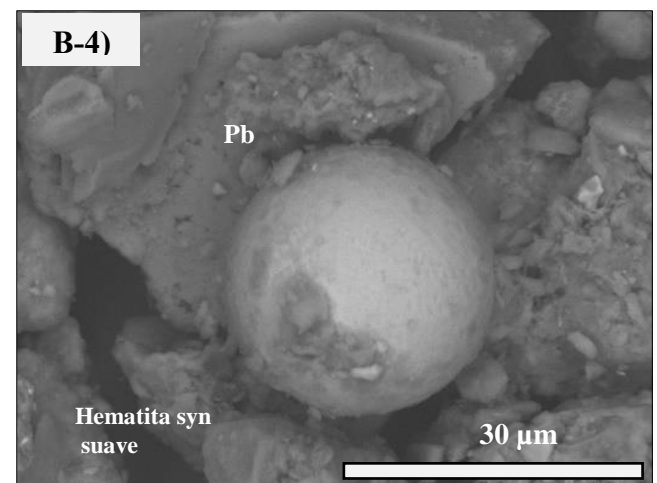
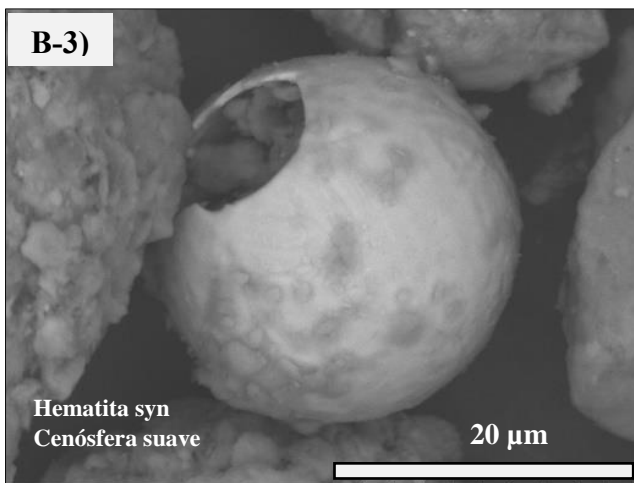
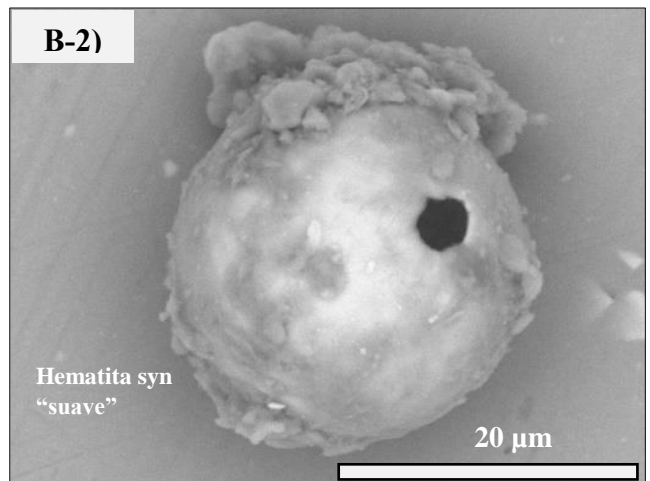
**Figura 20 [(A-1)- (A-10)].** Grupo de diferentes partículas geogénicas los cuales se describen más a detalle en el texto. Las imágenes mostradas son aquellas obtenidas en electrones retrodispersos (BSE).

## Grupo 2. Minerales antropogénicos

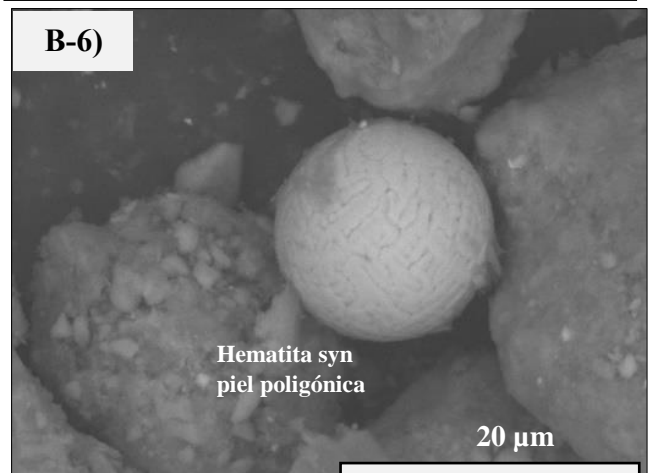
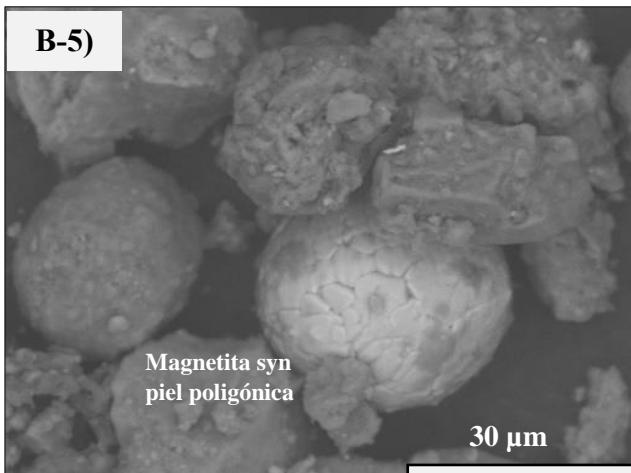
Cuenca 1



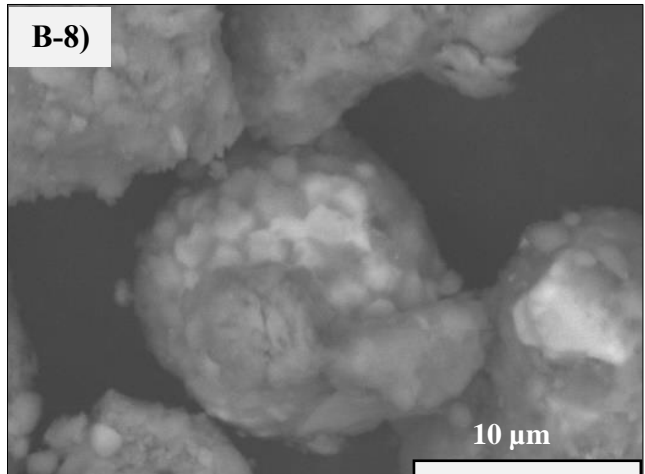
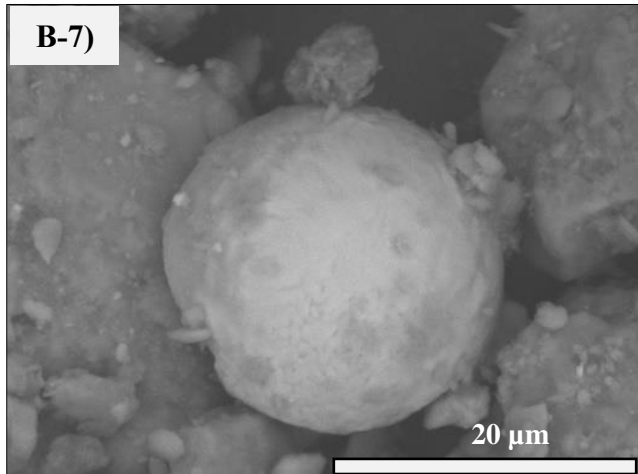
Cuenca 2



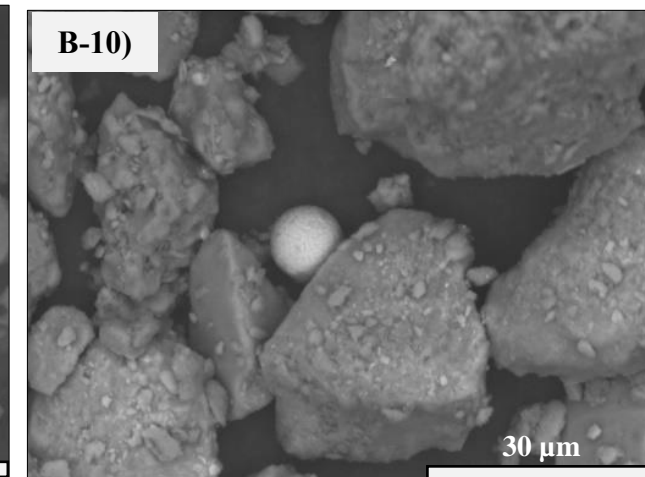
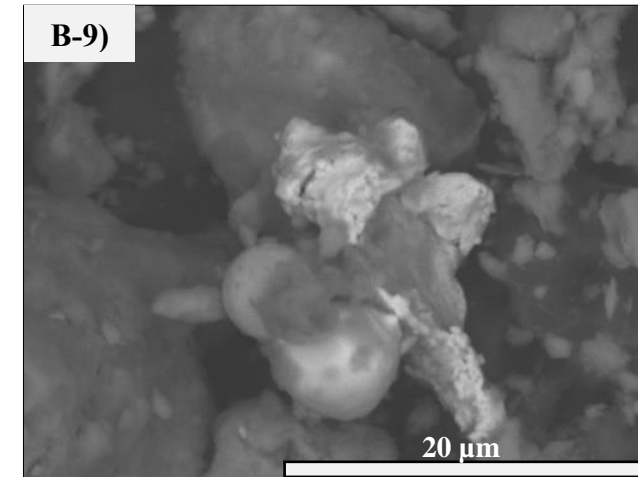
Cuenca 5



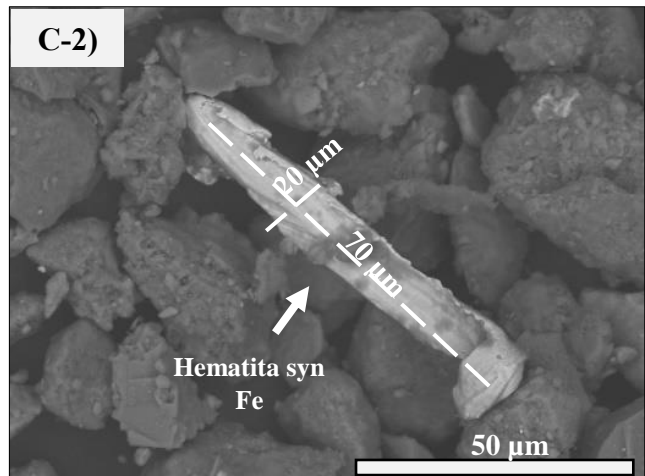
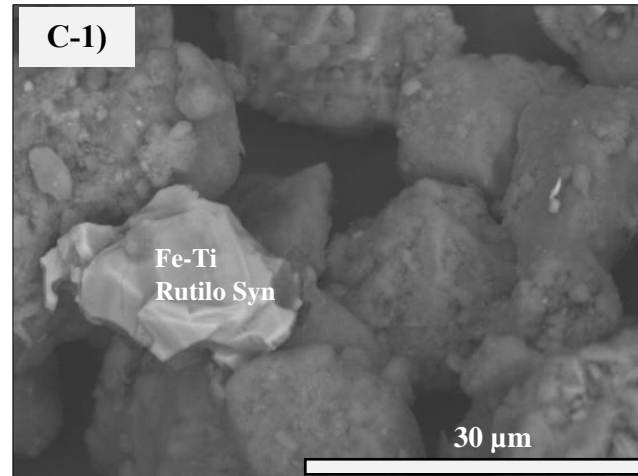
Cuenca 7



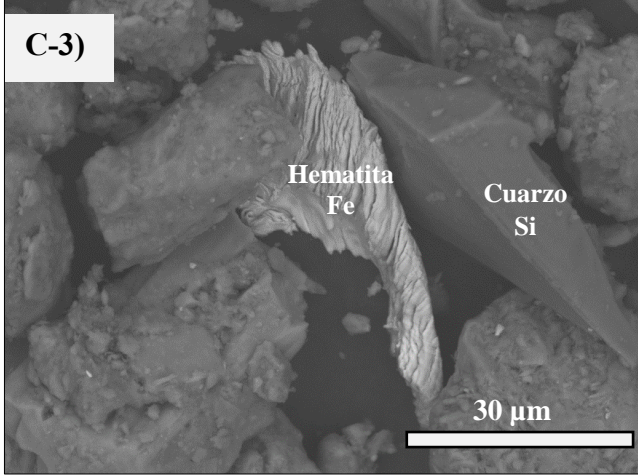
Cuenca 9



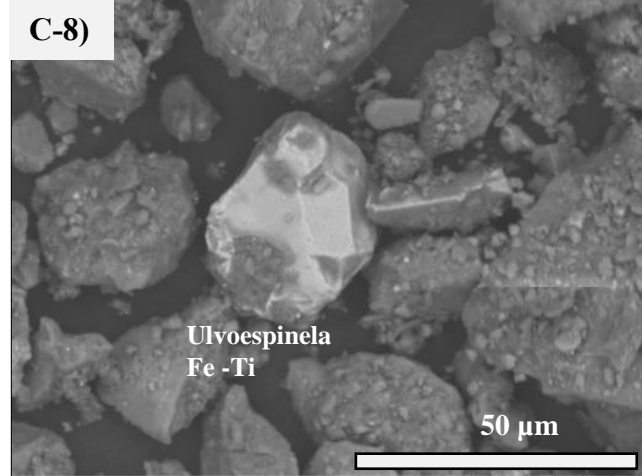
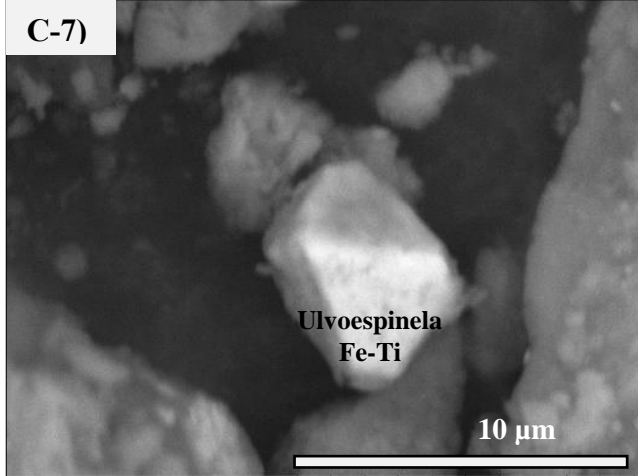
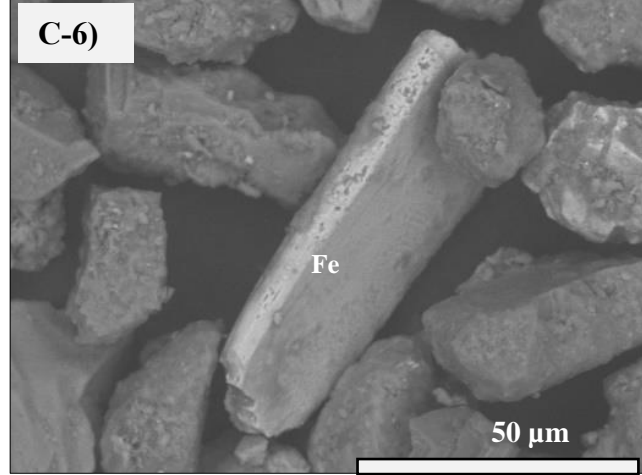
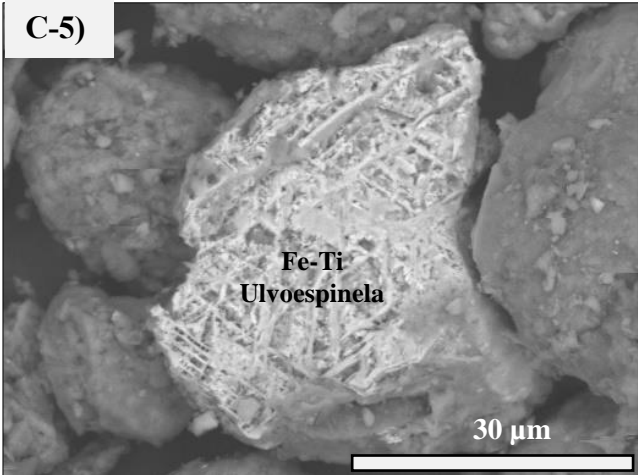
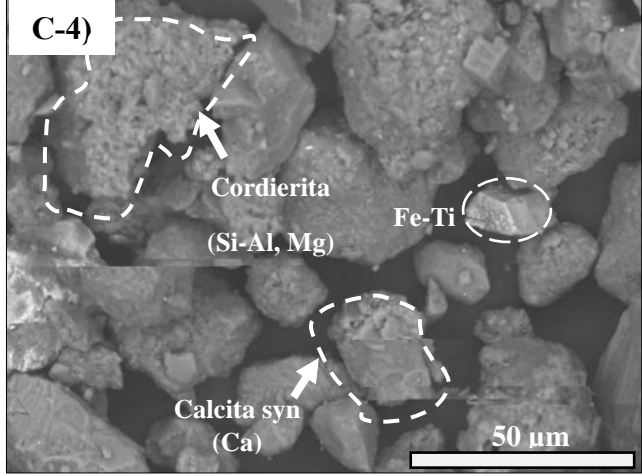
Cuenca 1



Cuenca 2

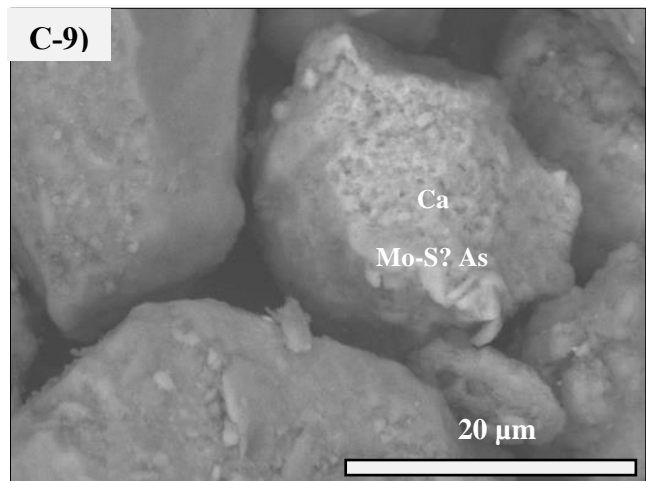


Cuenca 1

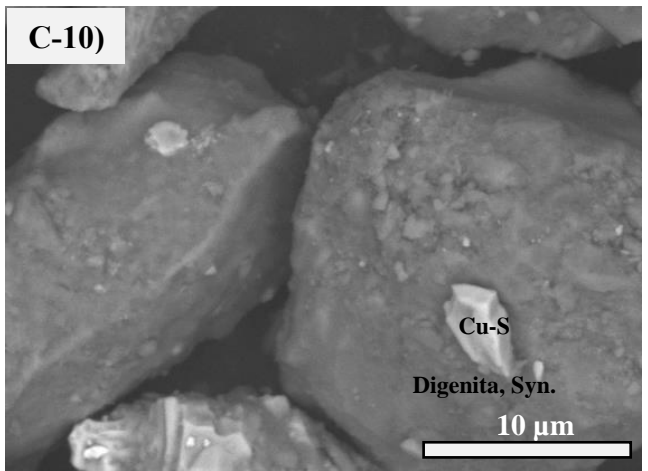




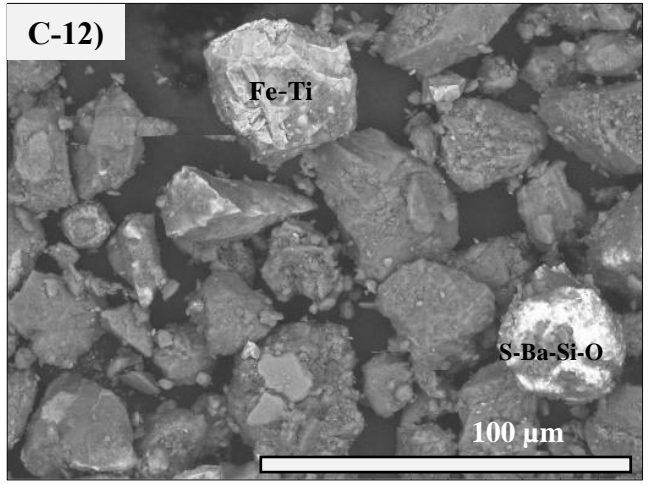
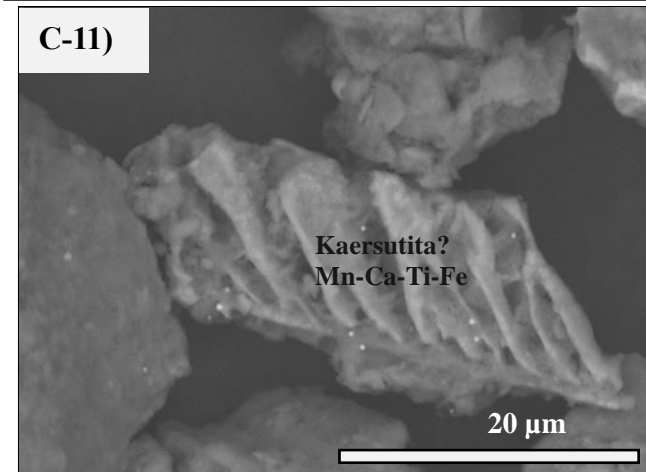
Cuenca 9



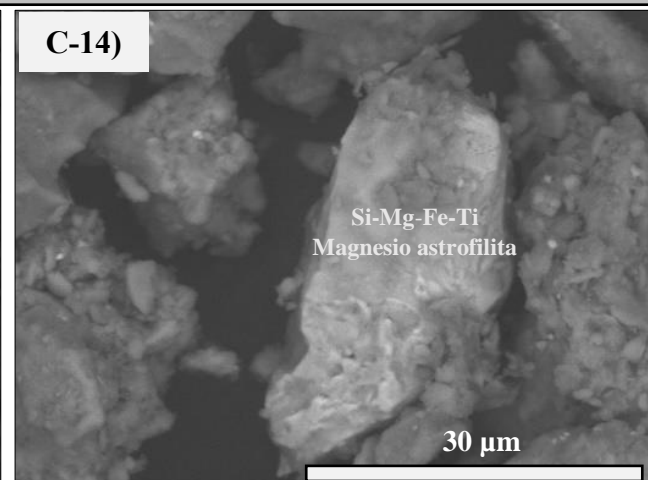
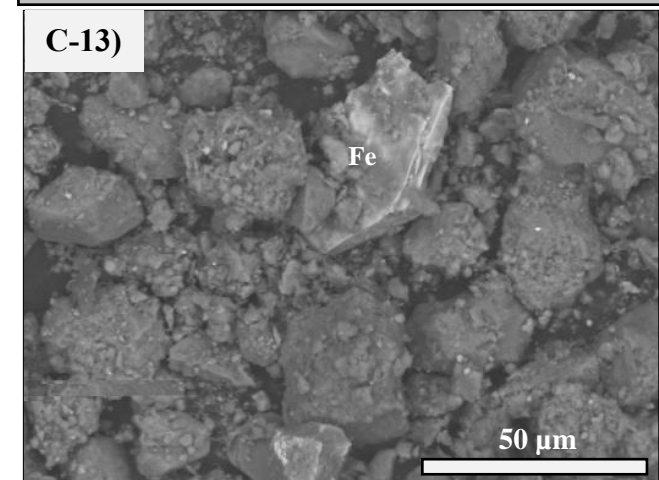
Cuenca 5



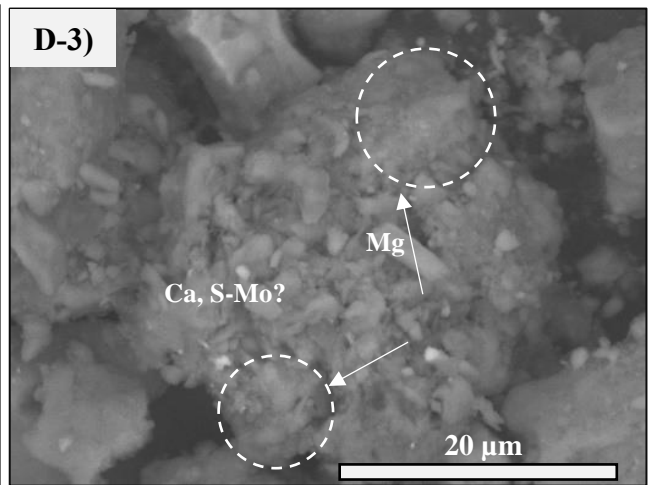
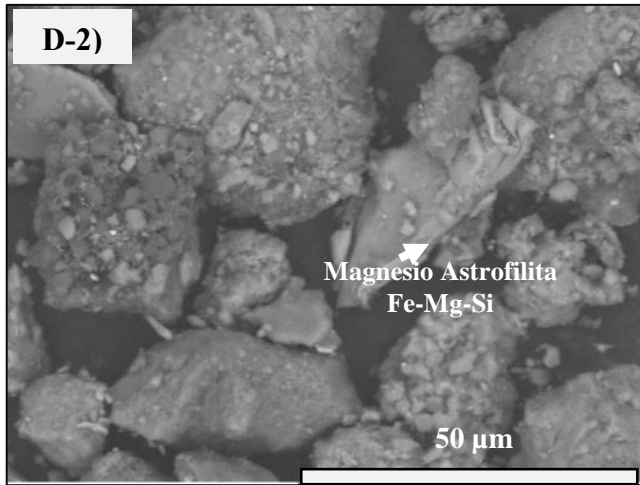
Cuenca 9



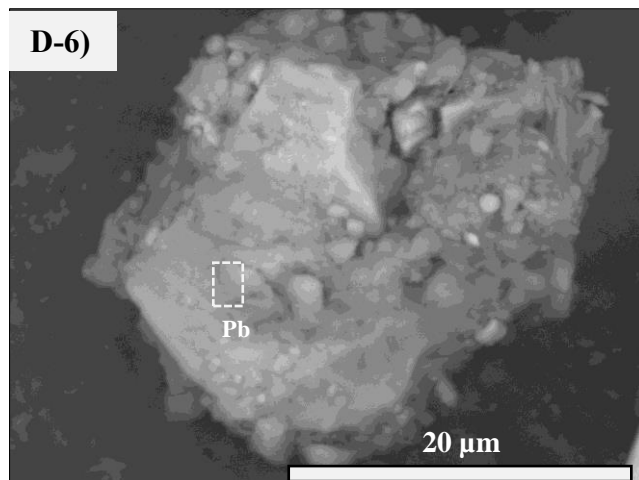
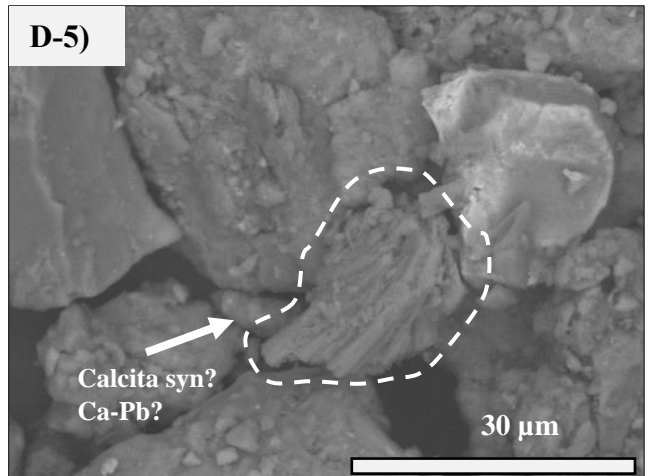
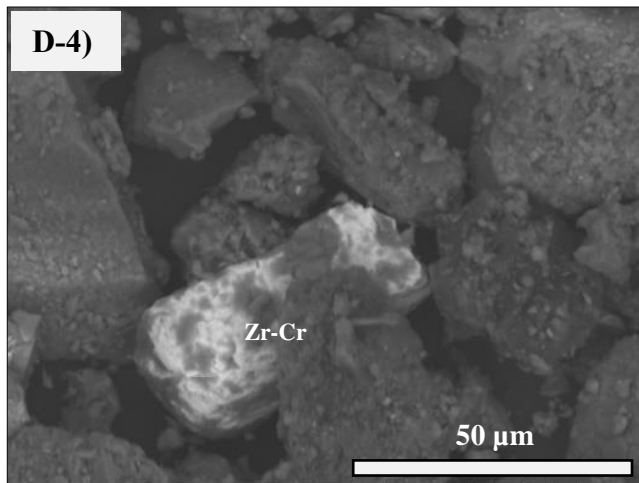
Cuenca 7



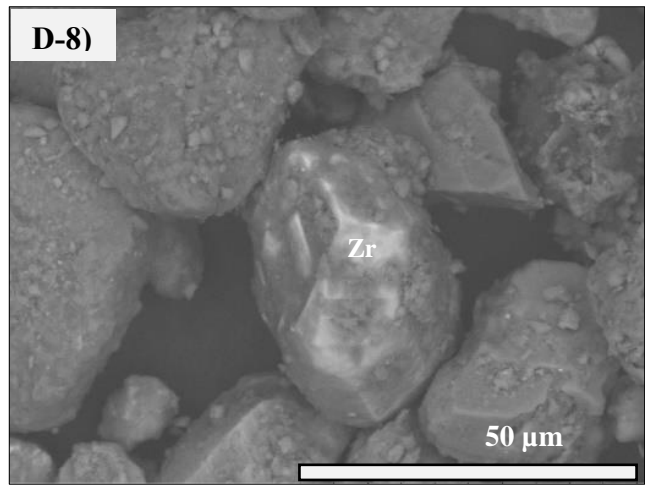
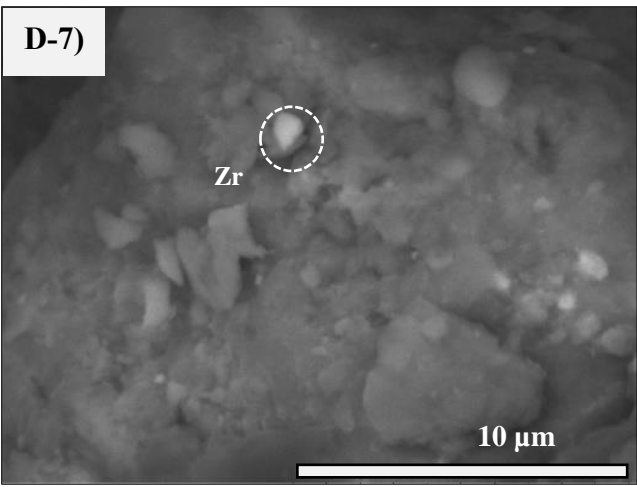
Cuenca 1



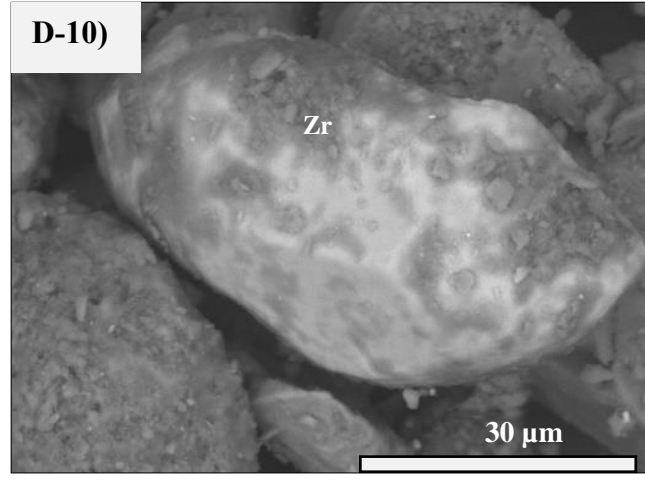
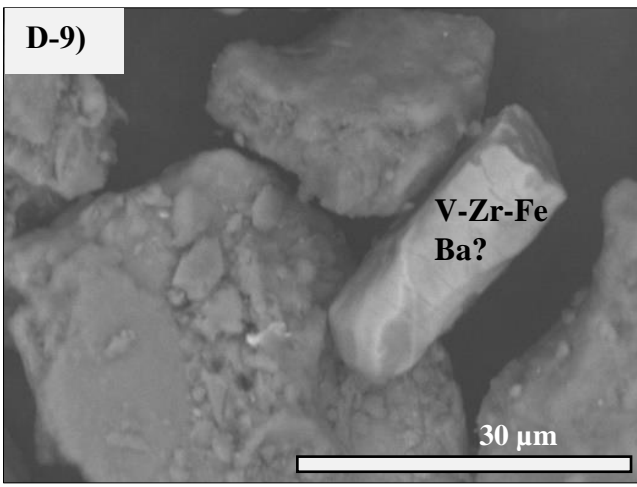
Cuenca 9



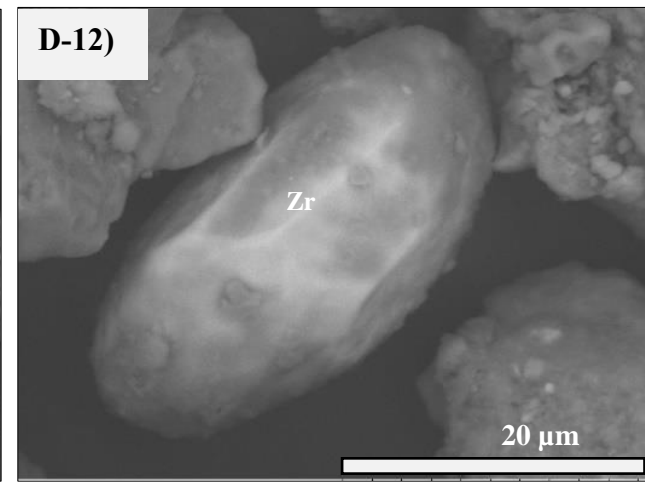
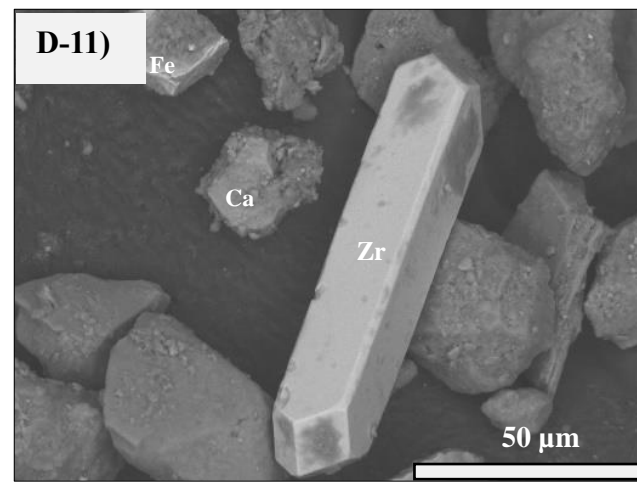
Cuenca 1

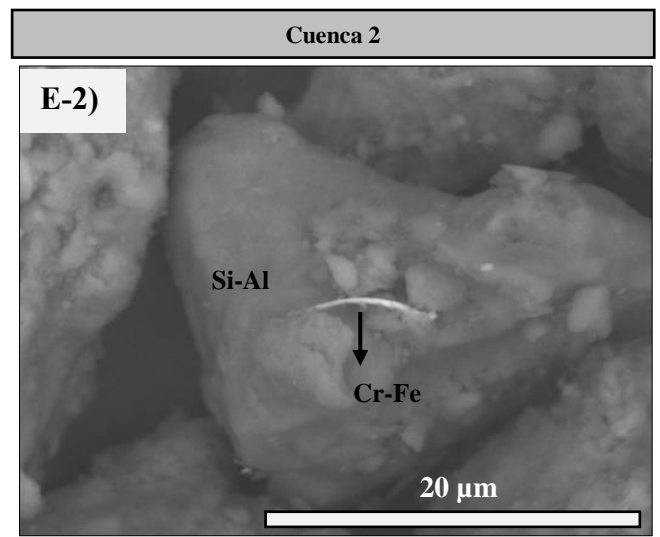
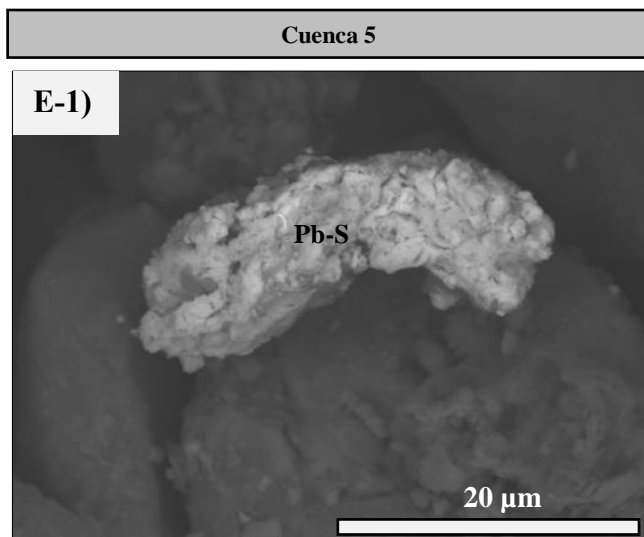
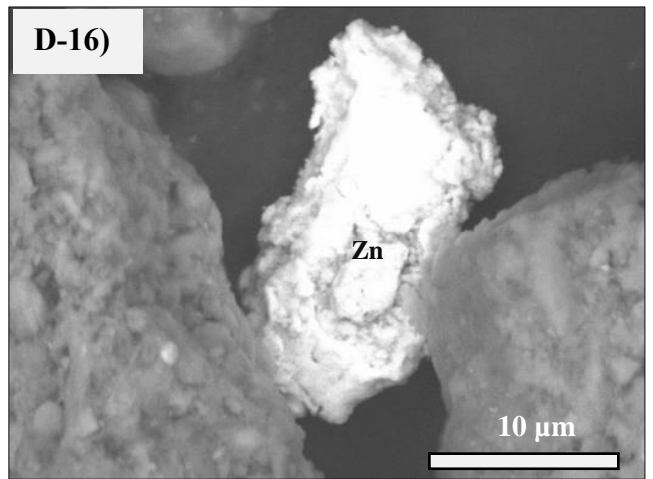
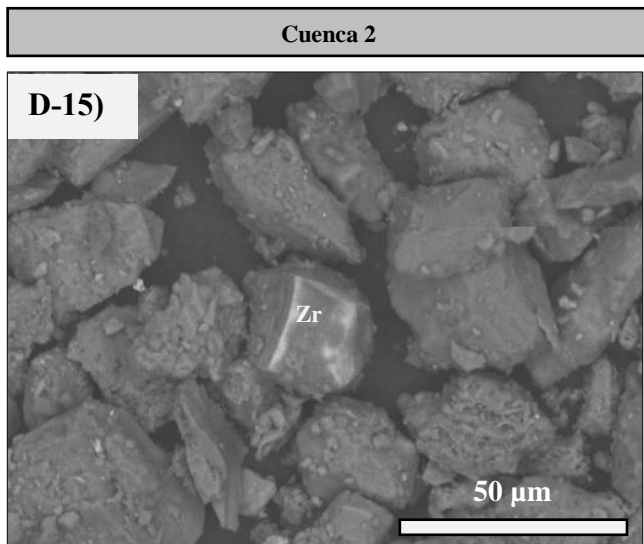
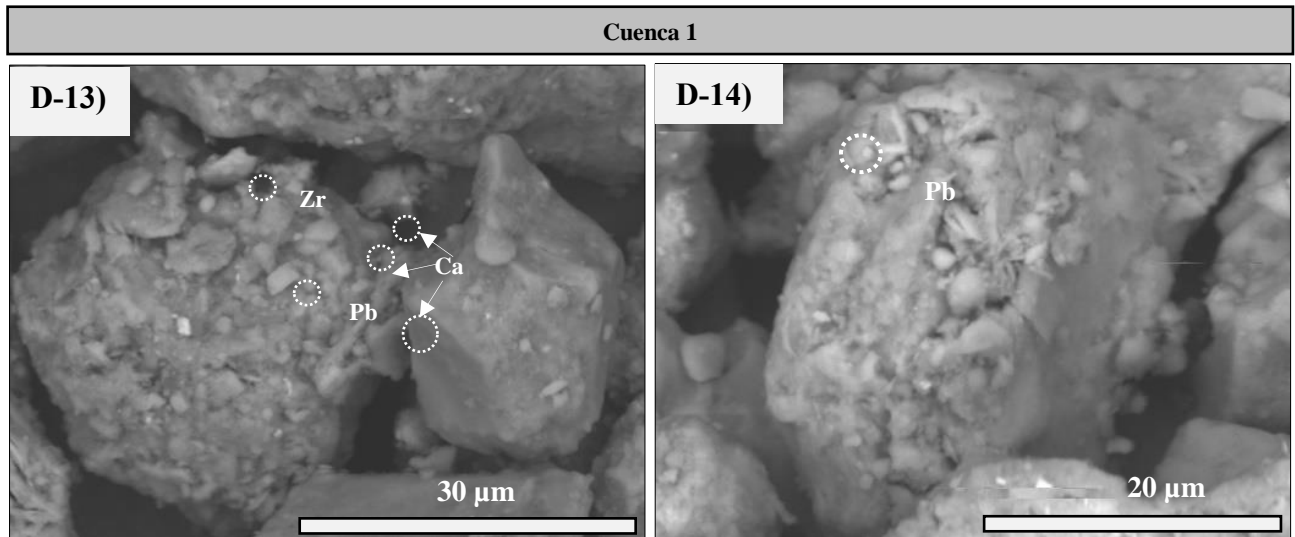


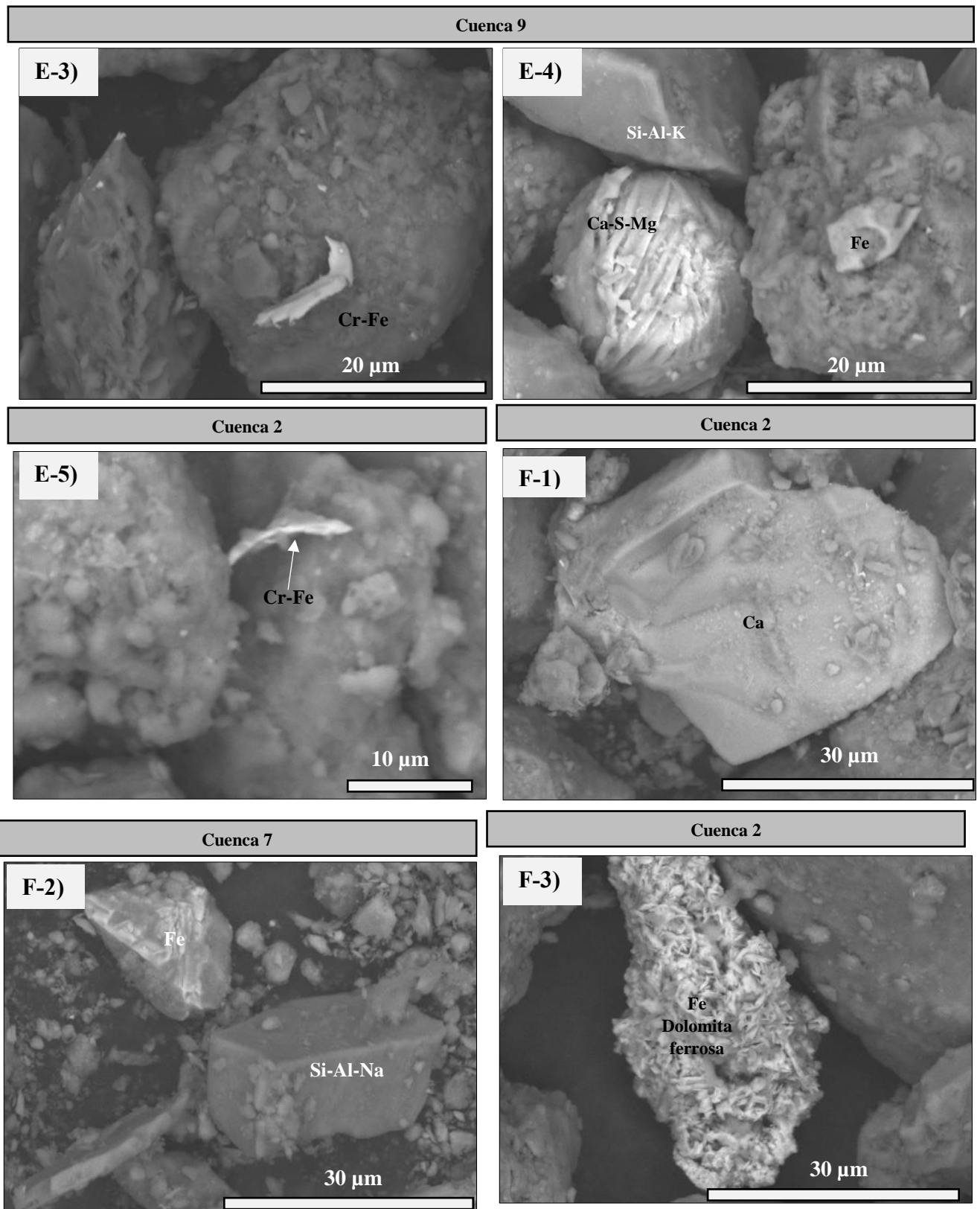
Cuenca 2



Cuenca 9







**Figura 21 [(B-1)- (F-4)].** Grupo de diferentes partículas de origen antrópico (antropogénicas), las imágenes mostradas son aquellas obtenidas en electrones retrodispersos (BSE).

## Capítulo IV. Conclusiones y recomendaciones

La técnica PXRF permite cubrir y analizar un gran número de muestras con relativa facilidad y rapidez, lo que sirvió para dar una interpretación geoquímica en muestras de suelos y matrices de polvo de escuelas estudiadas y representó un potencial importante como discriminante geoquímico del origen antrópico o geológico de las partículas de polvo.

Los valores que exceden a aquellos de los suelos naturales se consideran valores antrópicos y pueden ser asociados a partículas sintéticas (antrópicas).

El contenido de Fe en las muestras es muy variable lo que da evidencia de una ocurrencia de múltiples fuentes (geogénicas y antropogénicas). El Zn y Zr presentan alta concentración por encima del fondo geoquímico, que revelan una evidente fuente antropogénica. El Zr presenta altas concentraciones por de 1, 100 mg/kg previo al monzón y 1, 250 mg/kg después del monzón, pero una concentración similar para todos los lugares muestreados lo que lleva a interpretar una fuente continua de emisión o fuente de área recurrente. Las altas concentraciones de Zn de 600 mg/kg antes del monzón y 2, 000 mg/kg después del monzón muestra una fuente alta y variable pero que incrementa en el segundo muestreo para este elemento.

El cromo (Cr), no parece tener un aporte antropogénico en gran medida, pues se ve que este se encuentra dentro del dominio que tienen el fondo geoquímico de los suelos; salvo el notorio máximo de la cuenca 6 con una concentración de 200 mg/kg, esto se mantiene en el postmonzón con una concentración de 250 mg/kg. En cuanto a los valores de Pb se puede constatar un aporte muy por encima de la media general y por encima del fondo geoquímico.

El cambio geoquímico después del tratamiento a las muestras se da principalmente en los metales de Fe y Ti lo que da a entender la atracción de estas grasas hacia las partículas magnéticas de Fe o ferromagnéticas. El cambio por la remoción de grasas y aceites afecta la detección y absorción de rayos-X de la muestra al instrumento por la profundidad o grosor de las partículas irradiadas, y esto afecta como los rayos-X son detectados, lo que se conoce como profundidad de penetración crítica que varía por el *cambio en la matriz de la muestra* por recubrimientos o (coatings) en las partículas y que afectan en la incidencia de los rayos-X. El tratamiento de muestras urbanas que puedan contener grasas y aceites por lo tanto

requiere un tratamiento no solo para SEM sino también para PXRF lo que no afectaría la difracción de rayos-X pues todo material que no presenta estructura cristalina no es distinguido y representa ruido en la interpretación por ser material amorfo.

Cuando la técnica de PXRF se combina con técnicas de SEM y DRX facilitan el trabajo de identificación mineral de polvo urbano y pueden darnos datos importantes acerca del origen de partículas datos que han sido poco estudiados en el área de estudio y en la literatura en general. Las imágenes de composición elemental de las partículas obtenidas por SEM se interpretaron comparándolas con las formulas mineralógicas obtenidas de las especies minerales reportadas y descritas por Ochoa-Contreras (2017). El trabajo en SEM dio como resultado la identificación de diferentes formas y tamaños de minerales geogénicos como cuarzo, plagioclasa, muscovita con morfologías anhedrales pero en el caso de algunas plagioclasas morfologías subhedrales tabulares. Entre las mineralogías antropogénicas o sintéticas encontradas resaltan las partículas denominadas esférulas de hierro que corresponden a hematita sintética ( $\text{FeO}_2$ ) y otras partículas de hierro con morfologías elongadas y fibrosas de hematita y formas prismáticas de ulvoespinela ( $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ). Otro grupo de minerales comúnmente identificado fueron partículas de Zr con forma prismáticas y ovoides. Partículas de Ca sintético (calcita syn) de morfología subredondeada con un entramado de pequeñas agujas que se relacionan con Pb/S? Además, se encontraron partículas de Cr delgadas y alargadas con apariencia de hilos o hebras que podrían asociarse con el mineral denominado crocoita. Es de particular interés partículas de Cu-S encontrados en la cuenca 5 con un tamaño que ronda las  $\sim 5 \mu\text{m}$ .

Por último, partículas de origen incierto encontradas son aquellas nombradas Magnesio astrofilita (Fe, Mg, Si, Ti) con una morfología tabular fibrosa y el mineral denominado cordierita ( $\text{Mg}_2\text{Al}_4\text{Si}_5\text{O}_{18}$ ), sin embargo, este último se encontró que puede tener un origen natural o sintético (Ochoa-Contreras, 2017).

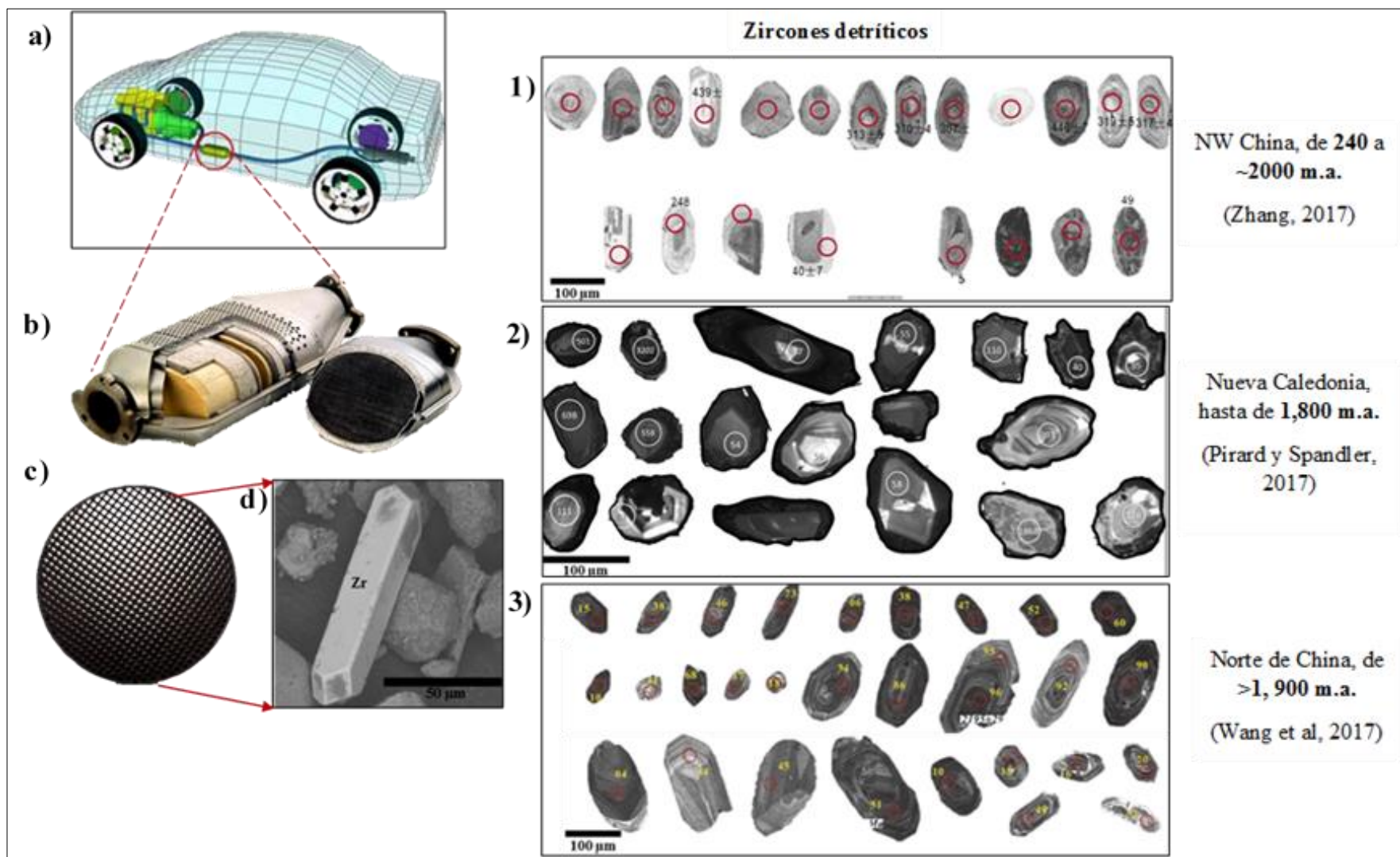
Para dar por concluido la explicación de partículas de origen antropogénico se explican los minerales de Zr y cordierita como una fuente debida al uso de estos en la manufactura del monolito de catalizador moderno de tres vías (Figura 22), usándose de manera natural o sintética esto lo sugiere el que se encuentre recurrentemente en las muestras (Ochoa-Contreras, 2017) y el que según la geoquímica el Zr se encuentre persistentemente en las

muestras como un contaminante de área, según lo indica la comparación con suelos naturales. En la Figura 22 las imágenes a, b y c representa la proveniencia de zircones por fuente de catalizadores. Las partes 1,2 y 3 de la figura pertenecen a imágenes representativas de zircones detríticos de diversos trabajos mostrando los rangos de edad de los fechamientos y tamaños (metamórficos e ígneos) cabe destacar la edad de estos y procesos erosivos por los cuales habrán pasado en su larga historia geológica, lo que imprime en estos minerales formas redondeadas. Esta figura resalta la proveniencia antrópica en cuanto a tamaño y estado (morfología) de los zircones encontrados en el presente trabajo.

Se recomienda poner mayor atención y realizar estudios más detallados de estos y de las partículas ferromagnéticas (esférulas de Fe y otras formas de Fe), debido al potencial que tienen como acarreadoras de otros metales, cosa que con equipos más potentes se puede llegar a interpretar debidamente.

El Zn se encontró en aumento después de lluvias lo que indica su fuente potencial del desgaste de llantas sin embargo otra fuente de la que puede provenir es por el desgaste de materiales galvanizados como techos, cercos, tuberías estos es un indicador de los altos valores de este metal dentro de las escuelas y que autores señalan aumenta con la escorrentía de las aguas de lluvia que son precursoras del desgaste de estos materiales (Oulton L. *et al.*, 2014).





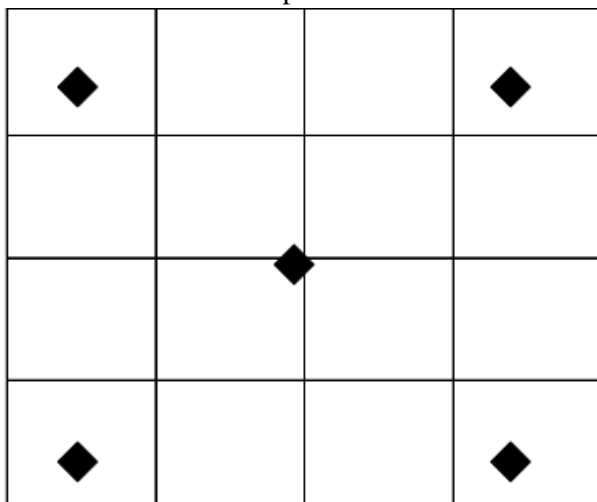
**Figura 22.** La (a, b y c) representa la proveniencia de zirrones por fuente de catalizadores. Las partes (1,2 y 3) de la figura pertenecen a imágenes representativas de zirrones detríticos de diversos trabajos mostrando los rangos de edad que dan en los fechamientos y tamaños (metamórficos e ígneos), esta figura resalta la proveniencia antrópica en cuanto a tamaño y estado (morfología) de estos minerales encontrados en el presente trabajo.

## Anexos I. Figuras

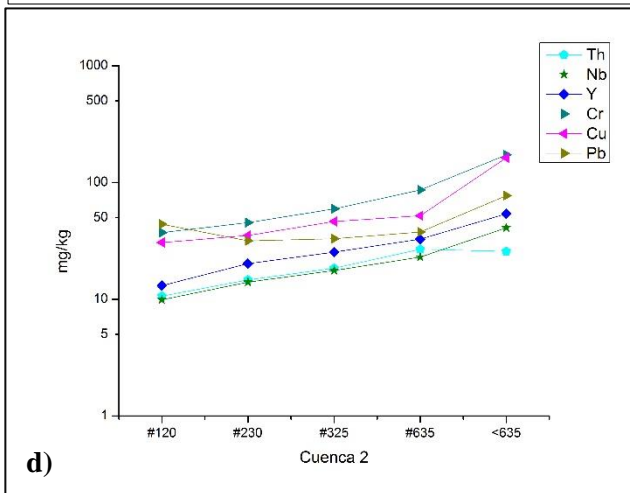
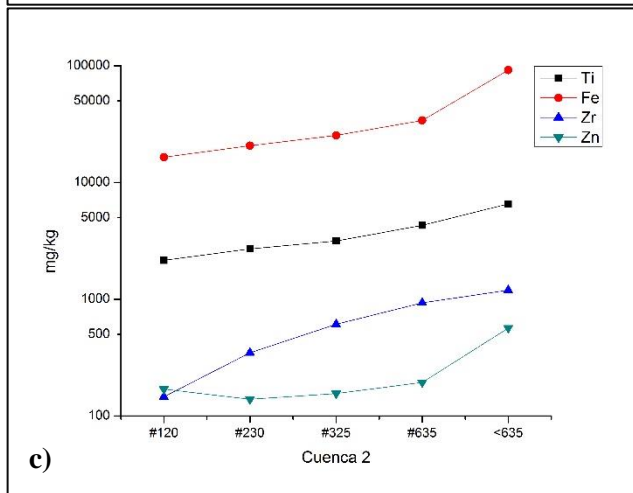
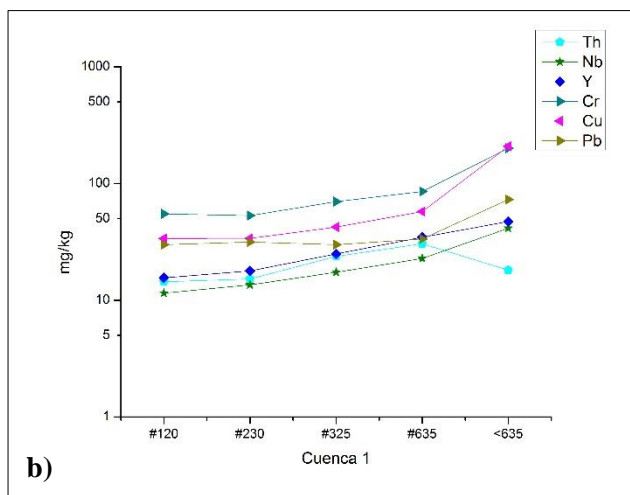
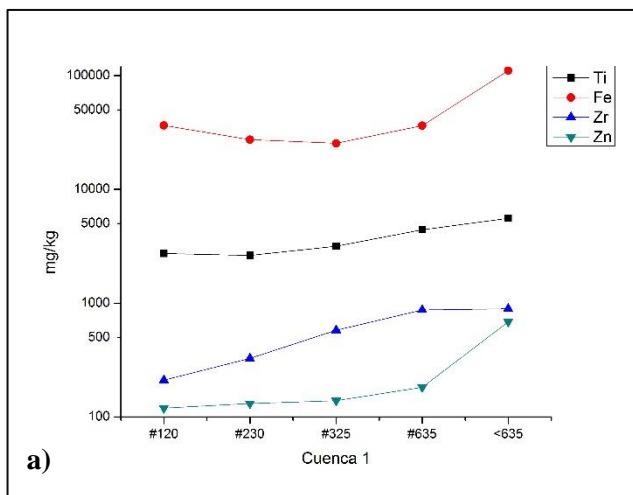
**Anexo 1.** Formato de cadena de custodia para el manejo de la información en cada sitio.

CADENA DE CUSTODIA			
<b>Proyecto: CONACYT 167676; Caracterización espacio-temporal de trazadores geoquímicos en partículas para identificación de fuentes geogénicas y de tráfico en zonas áridas y relación con biomarcadores de daño genotóxico en Hermosillo, Sonora.</b>			
Responsable de muestreo			
Datos de identificación del sitio			
Clave de muestra			
Fecha y hora de recolección de muestra			
Lugar de almacenamiento de muestra			
Análisis a realizar			
Personas que realizaron el muestreo			
Ubicación del sitio (dirección)			
Nombre de la escuela			
Nombre del director (a)			
Teléfono y correo			
Características del sitio		Materiales de limpieza utilizados en la zona :	
Vegetación		Sopladora	
Animales		Mapeador o trapeador	
Edificación e infraestructura		Diésel, gasolina, petróleo	
Materiales Externos de relleno		Escobas	
Actividades ajenas al proceso de contaminación que pudieran influir en la calidad de muestra		Detergentes químicos	
		Otros (especifique)	
Características de la muestra:		Muestra:	Peso:
Color		Total	325 (45µm)
Textura		Total seca	635 (20µm)
Presencia de humedad		Fracción Total	> 635
Presencia de hojarasca		> 18 (1mm)	Numero de bolsas:
Otros (especificar):		35 (500µm)	Observaciones:
		60 (250µm)	
		120/140 (125µm)	
		230 (63µm)	
Personas participantes en operaciones de cada etapa de la muestra:		Actividad:	Fecha:
			Hora:

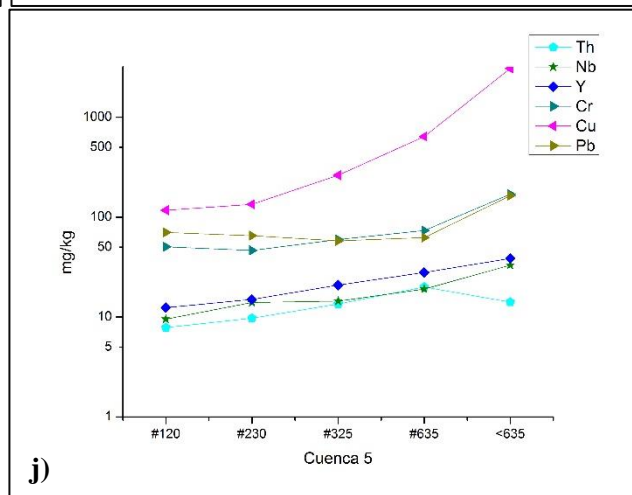
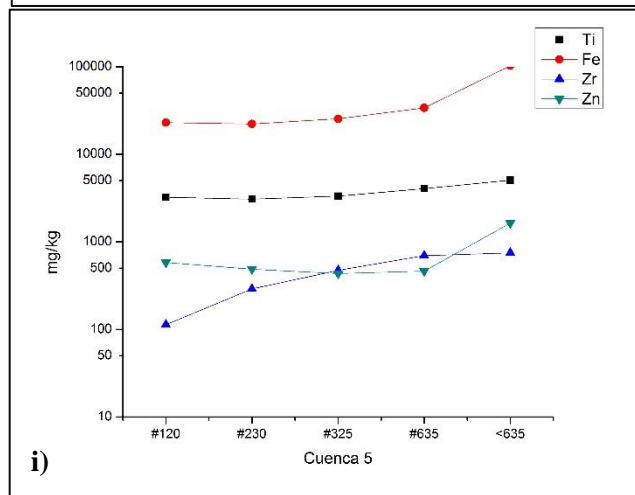
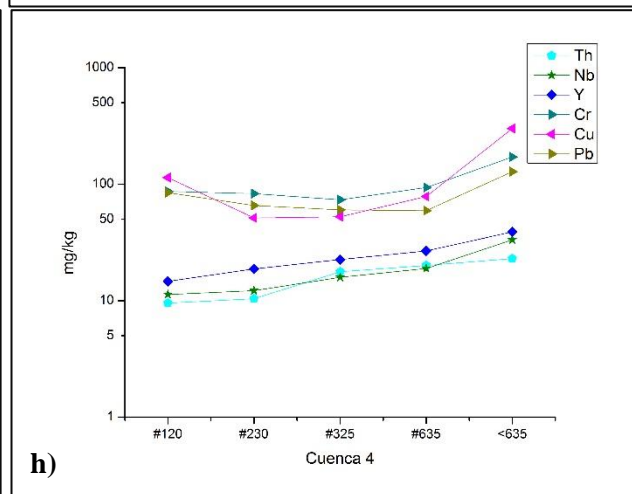
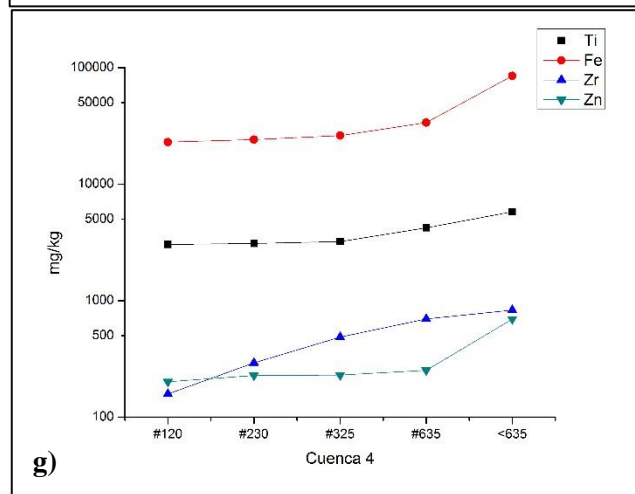
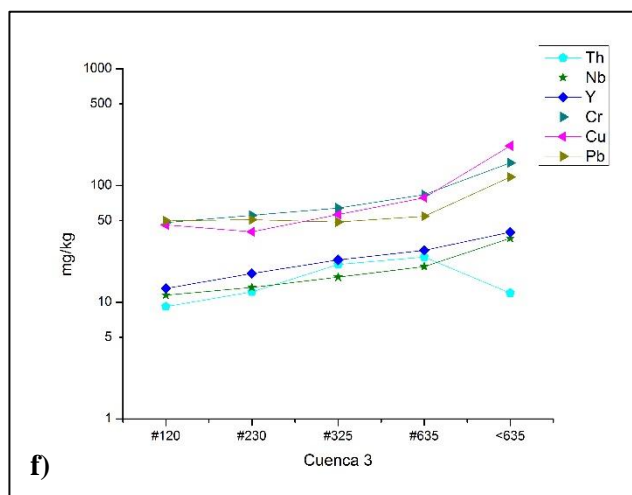
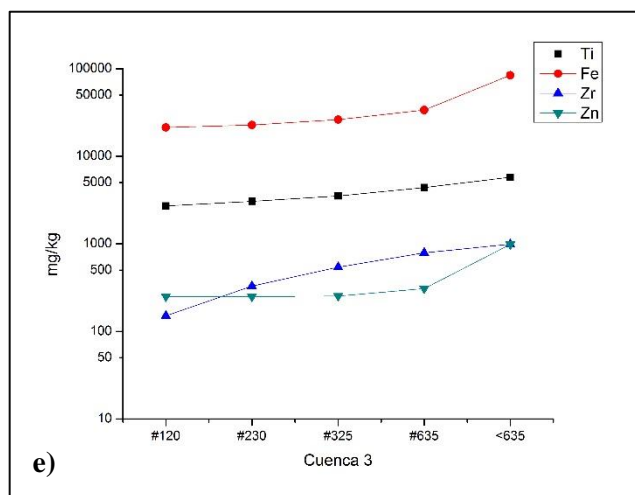
**Anexo 2.** Esquema de distribución en tresbolillo para la formación de una muestra compuesta especificado por la NMX-AA-132-SCFI-2006 para la toma de una muestra de suelos superficiales.



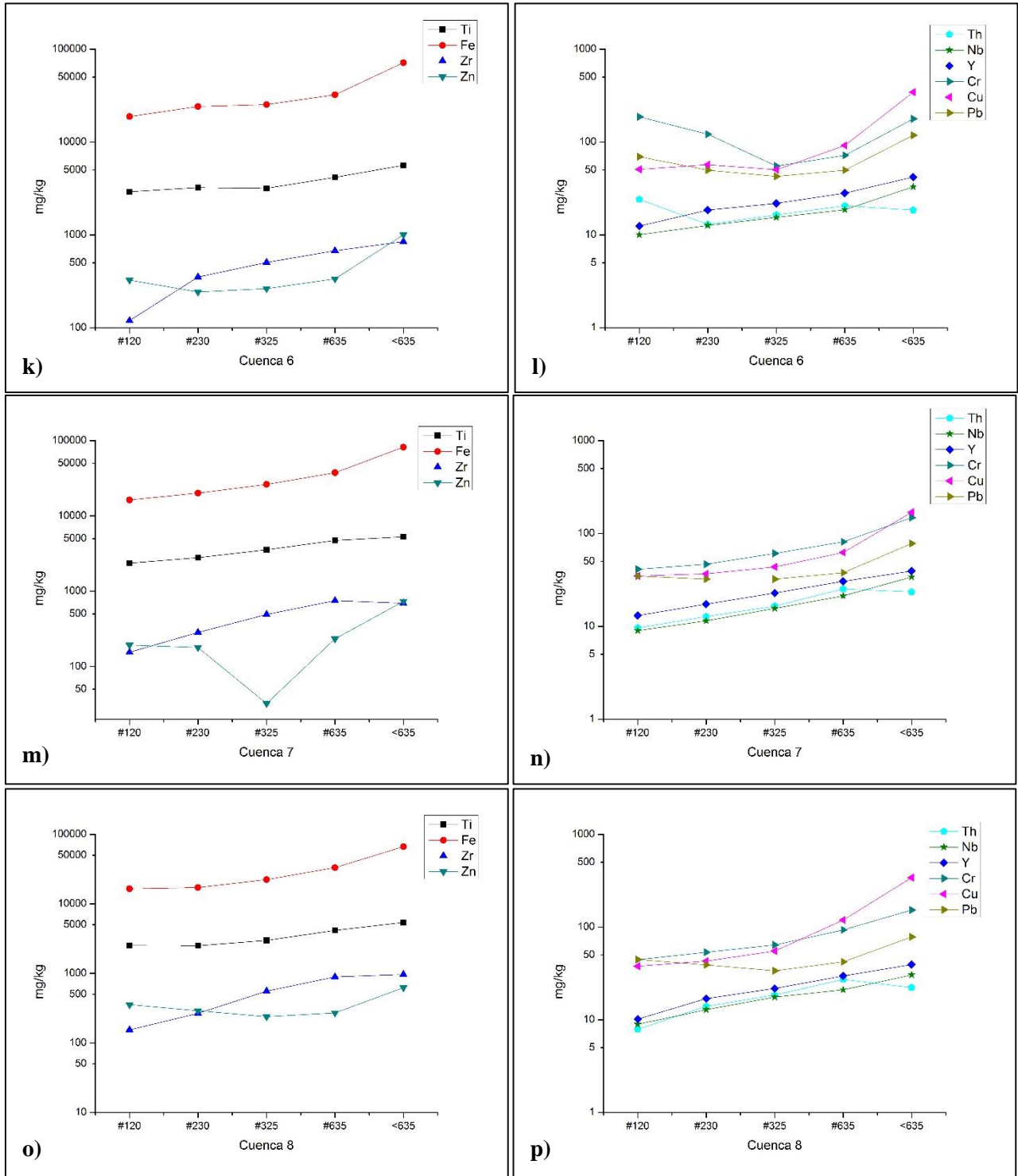
**Anexo 3.** Contenidos totales por malla de los elementos, se puede observar mayor concentración a menor tamaño de partícula.



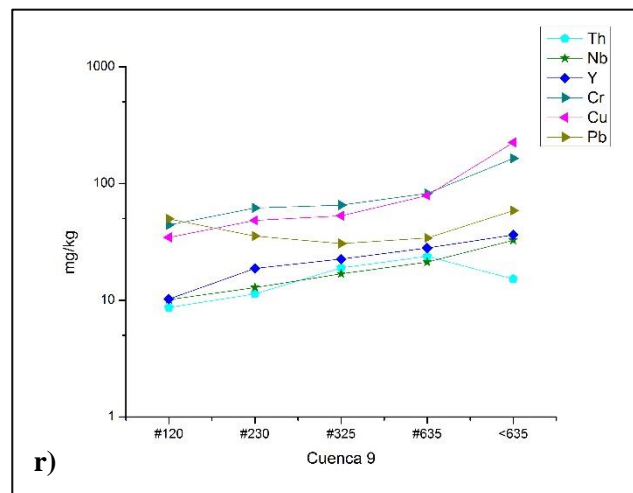
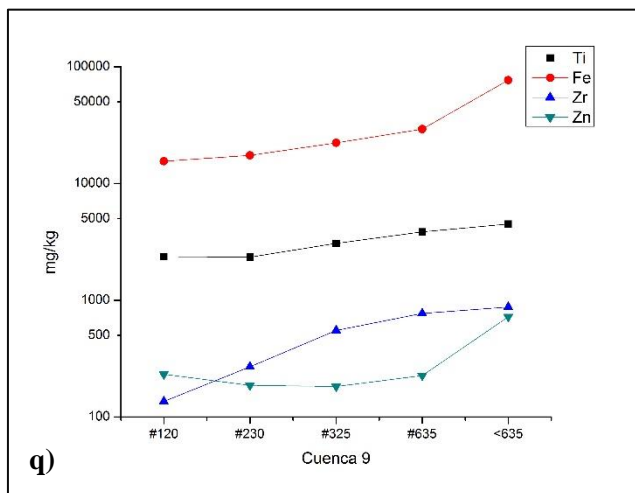
**Anexo 3 (continuación).** Contenidos totales por malla de los elementos, se puede observar mayor concentración a menor tamaño de partícula.



**Anexo 3 (continuación).** Contenidos totales por malla de los elementos, se puede observar mayor concentración a menor tamaño de partícula.



**Anexo 3 (continuación).** Contenidos totales por malla de los elementos, se puede observar mayor concentración a menor tamaño de partícula.



## Anexos II. Técnicas

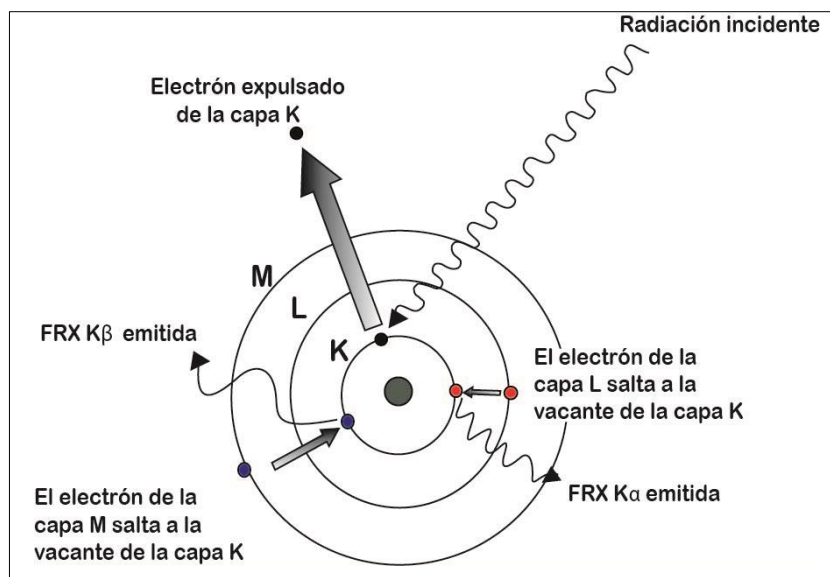
### 4. Explicación de la técnica de fluorescencia de rayos X.

La espectrometría de fluorescencia de rayos X (PXRF) es una técnica analítica instrumental no destructiva, que cuantifica la composición elemental en una muestra generalmente sólida al ser expuesta a una radiación de rayos X sin necesidad del tratamiento previo de esta o con realmente muy poco tratamiento de las muestras, tiene sus ventajas y rapidez, pero a su vez cuenta con limitaciones. Las concentraciones de cierto elemento dependen de la energía característica de rayos-X fluorescentes generados por átomos de los elementos cuando el destello de rayos-X del instrumento penetra la muestra (USEPA, 2003).

Para producir este proceso primero tiene que ocurrir una absorción fotoeléctrica por parte de la muestra. En este proceso de absorción, parte de la energía del fotón incidente de rayos X es utilizada para romper la energía del enlace del electrón interno del elemento (generalmente de la capa K o L) y la energía restante acelera la expulsión del electrón del átomo (Gutiérrez-Ginés *et al.*, 2010, Meléndez-Pizarro C.*et al.*, 2009).

Después de que el electrón es expulsado, el átomo queda en un estado altamente excitado y por lo tanto muy inestable. Para que se reestablezca la estabilidad, los electrones de las capas adyacentes llenarán el espacio vacante, saltando de un nivel de mayor energía a uno de menor

energía. Al pasar un electrón de otra capa y con una energía diferente al del electrón saliente hay una diferencia de energía, la cual se emite en forma de radiación de rayos X. La diferencia de energía forma un espectro característico único para cada elemento (Anexo 4).



**Anexo 4.1.** Esquema de la emisión de la radiación de fluorescencia de rayos X (elaboración propia, tomado como fuente a Gutiérrez-Ginés *et al.*, 2010).

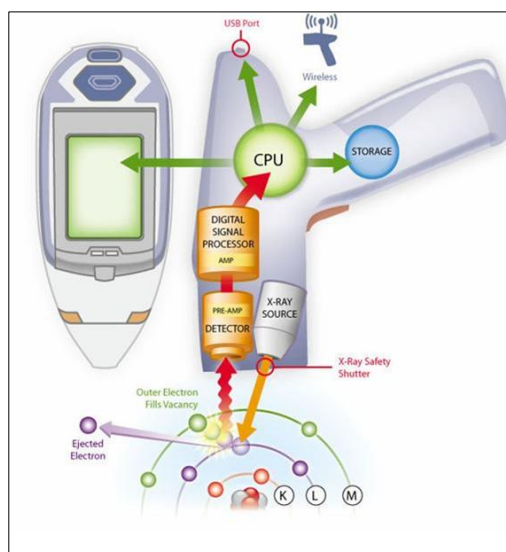
El fotón de rayos X emitido por la muestra tendrá una energía específica igual a la diferencia entre las dos energías de enlace de un electrón de las capas interna y adyacente, y esta energía es única para cada elemento.

Además de determinar la composición elemental en una muestra (análisis cualitativo), la intensidad de los rayos X permite un análisis cuantitativo ya que es directamente proporcional a la concentración del elemento. En cuanto más intensa es la emisión o fluorescencia en mayor cantidad se encuentra el elemento a cuantificar.

Las partes que conforman a los equipos portátiles de fluorescencia de rayos X son:

La fuente que genera los rayos-X (tubos miniaturizados); un detector que convierte los rayos X emitidos por la muestra en una señal electrónica susceptible de ser medida; y una unidad de procesamiento que registra la señal y calcula la concentración elemental en la muestra (Anexo 5).

El tiempo de exposición de la muestra a la radiación depende de la calidad requerida en el análisis siendo lo habitual entre 30 y 600 segundos (Gutiérrez-Ginés *et al.*, 2010).



**Anexo 4.2.** Representación de las partes internas de un equipo portátil de fluorescencia de rayos X.

La utilización de este tipo de instrumentos conlleva consigo varias ventajas y desventajas descritas a continuación.

Ventajas del método:

- Análisis no destructivo.
- Bajo costo, determinación rápida e interpretación de resultados simple.
- Permite determinaciones multielemento simultáneamente.
- Preparación de la muestra mínima o bien no la hay.
- El equipo puede ser portátil y dispuesto para analizar muestras de grandes dimensiones.
- Es aplicable a cualquier elemento químico con número atómico mayor que Flúor.
- Relativa simplicidad del espectro de emisión de rayos-X.
- Las interferencias espectrales se pueden detectar y corregir.

Limitaciones:



- Los contenidos elementales son contenidos totales, sin distinción de estados de oxidación.
- No se puede usar para elementos muy ligeros ya que no los detecta (litio, berilio, sodio, magnesio, aluminio, silicio y fosforo).
- Cuenta con un límite de detección de 10 a 20 ppm.
- Penetración baja, efecto de microheterogeneidad (tamaño de partículas y textura de la superficie).
- Complejidad. Gran número de parámetros analíticos a controlar al establecer la técnica analítica. Efecto físico de la matriz (propiedades físicas de la muestra, como el tamaño de la partícula)
- Los límites de detección disminuyen con el incremento del tiempo de medida.
- El efecto químico de la matriz (efectos de absorción de la radiación emitida por otro elemento del entorno; solapamiento de líneas de diferentes elementos).

Es de gran importancia el diseño del análisis desde la toma de muestra, su preparación, molienda, homogeneización y calibración del equipo para ese tipo de muestra.

### **Anexo 5. Explicación del funcionamiento del Microscopio electrónico de barrido.**

De manera general el microscopio electrónico de barrido también llamado SEM (Scanning Electron Microscope) es un instrumento que magnifica imágenes empleando un haz de electrones de alta energía el cual es disparado de una pistola de electrones con filamento de tungsteno. El haz de electrones se hace lo más delgado posible con un conjunto de lentes.

El sistema de barrido dentro de un microscopio electrónico, se regula con la corriente que pasa por bobinas y un tubo de rayos catódicos los cuales controlan el campo de visión (Anexo 6).

Posteriormente se barre sobre la superficie a analizar. A medida que la muestra es barrida por el haz de electrones la imagen se va dibujando en un monitor.

Lo anterior, tiene como resultado una imagen con propiedades de composición químicas y morfológicas, tales como forma de cristal, tamaño de partícula y relación espacial de los cristales y otros sólidos incluyendo microbios y material amorfo (Bates *et al.*, 2006).

Algunas características del SEM son:

- Puede ampliar los objetos hasta 100, 000 veces su tamaño (3 nm de resolución).
- Emplea electrones
- Produce imágenes de alta resolución
- EL SEM se utiliza rutinariamente para generar imágenes de alta resolución y mostrar las espaciales en composiciones químicas, mediante mapas elementales utilizando el EDS.
- Su uso en geología es para estudiar las formas y estructuras mineralógicas de muestras

Los electrones al chocar con la muestra generan distintas emisiones resultantes de la interacción electrón-muestra. Todas estas señales se producen simultáneamente pero cada una de ellas son captadas por detectores diferentes. Algunas de las emisiones se enlistan a continuación:

Detector de electrones secundarios (SE): ofrece una imagen en blanco y negro de topografía de la superficie examinada. Es la señal más adecuada para la observación de la muestra por ser la de mayor resolución.

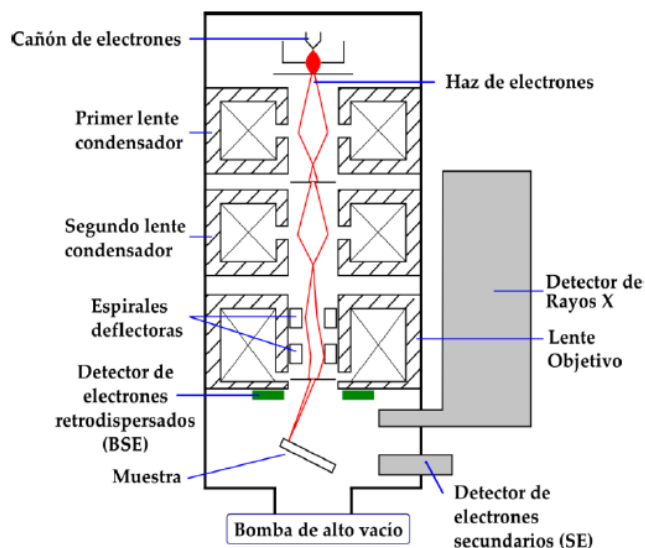
Detector de electrones retrodispersados (BSE): ofrece una imagen de superficie, aunque de menor resolución. Es sensible a las variaciones en el número atómico de los elementos presentes en la superficie, si tenemos una superficie totalmente lisa observaremos distintos tonos de gris en función de que existan distintos elementos.

Detector de rayos X (EDS): recibe los rayos X procedentes de cada uno de los puntos de la superficie de la muestra. La energía irradiada es característica de cada elemento, por lo que podemos obtener información cualitativa y cuantitativa de la superficie. Esta técnica se conoce como Microanálisis EDS (Energy Dispersive Spectroscopy).

Detector de rayos X (WDS): en vez de recibir y procesar la energía de todos los rayos X a la vez, únicamente se mide la señal que genera un solo elemento. Esto hace que esta técnica, aunque más lenta, sea mucho más sensible y precisa que la anterior. Es capaz de resolver los picos de elementos cuyas energías de emisión estén muy cercanas, así como detectar concentraciones mucho más pequeñas de cualquier elemento y, sobre todo, de los ligeros.

Una vez descritas las propiedades del SEM se pueden resaltar algunas desventajas del equipo entre las que se encuentran las siguientes:

- Las muestras deben ser sólidas y de tamaño adecuado para la cámara de microscopio.
- Las muestras se pueden volatizar a bajas presiones (rocas saturadas con hidrocarburos, las muestras "húmedas", tales como el carbón, materiales orgánicos o arcillas hinchables, y las muestras que puedan decrepitan a baja presión) no son adecuados para su examen en SEM convencional.
- Detectores de EDS en SEM no pueden detectar elementos muy ligeros (H, He, y Li), y muchos instrumentos no pueden detectar elementos con números atómicos de menos de 11 (Na).
- La mayoría de los equipos de SEM utiliza un detector de rayos x de estado sólido (EDS), y mientras que estos detectores son muy rápido y fácil de utilizar, tienen relativamente pobre resolución de energía y la sensibilidad a elementos presentes en abundancia baja en comparación con la longitud de onda de rayos X dispersivos (WDS).



**Anexo 5.1.** Esquema de los componentes principales de un SEM.

El equipo empleado en el presente trabajo el cual es un equipo marca Hitachi TM3030 de escritorio (Tabletop SEM) es un equipo versátil de bajo costo y fácil de usar comparado a equipos convencionales, además mantiene una magnificación de imagen de 60, 000x y resolución que se acerca al orden de aparatos convencionales.

El voltaje de aceleración solo se puede modificar a lo preestablecido (bajo voltaje 5 kV y alto voltaje 15 kV), además de que el vacío al que trabaja no se regula manualmente. Lo que puede resultar una desventaja puede hacerse una ventaja ya que las configuraciones de fábrica de esta clase de instrumentos están hechas para ver muchas muestras con poco o ningún tratamiento de las muestras (al montarlas) (Wilkinson, 2011).

El espectrómetro de rayos-X Bruker QUANTAX 70. QUANTAX es un detector EDS acoplado a este equipo y que fue diseñado exclusivamente para el equipo Hitachi TM3000 Tabletop Microscope. Este dispositivo genera un análisis cuantitativo y cualitativo de materiales sólidos en pocos segundos. Los elementos del boro (5) al mercurio (95) pueden ser detectados en distintos modos de análisis tales como: sobre un punto individual de la superficie de la muestra, modo de perfil de línea y modo de escáner general sobre un campo seleccionado y así desplegar un mapeo elemental del campo seleccionado ya sea por haber seleccionado los elementos a mostrar en la imagen de mapeo de modo automático o manual.

### Anexos III. Tablas

**Anexo 6.** Estándares analizados para establecer un Control de calidad de los análisis para el equipo Niton FXL (todas las concentraciones se expresan en mg.kg-1), SRM 2709a San Joaquin Soil (A), SRM 2710a Montana I Soil (B), SRM 2711a Montana II Soil (C) y SIEM 01 Granite (D).

Control de calidad													
	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7	Media	Estándar	Stdev	%D	RSD	
<b>Zr</b>	<b>A</b>	143.07	143.88	142.49	143.01	139.53	141.76	140.5	142.03	195	1.55	<b>-27.16</b>	1.09
	<b>B</b>	219.76	220.94	226.56	223.52	224.21	219.71	224.43	222.73	200	2.63	11.37	1.18
	<b>C</b>	311.13	309.17	310.73	308.44	313	312.28	311.54	310.9	-	1.63	-	0.52
	<b>D</b>	231.19	232.37	229.1	232.85	228.01	231.95	233.85	231.33	200.9	2.09	1.02	0.9
<b>Th</b>	<b>A</b>	10.58	11.45	11.85	12.15	11.5	12.53	14.08	12.02	10.9	1.1	10.28	9.13
	<b>B</b>	66.73	73.15	75.69	67.75	65.27	74.78	72.09	70.78	18.1	4.15	<b>291.05</b>	5.86
	<b>C</b>	19.49	21.93	22.15	16.61	19.63	20.36	18.04	19.74429	15	1.99	31.63	10.08
	<b>D</b>	21.75	25.15	24.82	23.08	23.48	22.42	21.6	23.19	20	1.4	15.93	6.05
<b>Pb</b>	<b>A</b>	16.37	16.65	13.76	13.38	15.94	17.44	14.04	15.37	17.3	1.61	-11.16	10.48
	<b>B</b>	5843.36	5772.29	5826.62	5786.99	5866.79	5806.36	5834.66	5819.58	5520	33.03	5.43	0.57
	<b>C</b>	1432.97	1419.31	1441.95	1438.16	1431.19	1447.32	1442.45	1436.19	1400	9.31	2.59	0.65
	<b>D</b>	25.11	25.08	22.47	25.16	24.47	24.44	26.76	24.78	26	1.28	-4.68	5.16
<b>Zn</b>	<b>A</b>	92.18	97.12	98.33	99.23	102.22	98.41	105.18	98.95	103	4.07	-3.93	4.11
	<b>B</b>	4289.71	4336.79	4328.8	4251.86	4331.37	4287.39	4319.65	4306.51	4180	31.2	3.03	0.72
	<b>C</b>	384.22	366.03	377.24	383.44	382.22	375.1	379.53	378.25	414	6.33	-8.63	1.67
	<b>D</b>	12.95	17.36	20.66	19.6	18.3	20.96	13.56	17.63	32	3.24	<b>-44.92</b>	18.4
<b>Cu</b>	<b>A</b>	39.34	36.9	42.22	35.35	31.47	35.85	34.8	36.56	33.9	3.44	7.85	9.4
	<b>B</b>	3696.98	3725.76	3694.07	3704.29	3694.59	3709.08	3687.46	3701.75	3420	12.74	8.24	0.34
	<b>C</b>	126.01	128.84	126	123.01	125.97	123.74	129.51	126.15	140	2.39	-9.89	1.89
	<b>D</b>	12.16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**Anexo 6 (continuación).** Estándares analizados para establecer un Control de calidad de los análisis para el equipo Niton FXL (todas las concentraciones se expresan en mg.kg-1), SRM 2709a San Joaquin Soil (A), SRM 2710a Montana I Soil (B), SRM 2711a Montana II Soil (C) y SIEM 01 Granite (D).

Control de calidad													
	Lectura 1	Lectura 2	Lectura 3	Lectura 4	Lectura 5	Lectura 6	Lectura 7	Media	Estándar	Stdev	%D	RSD	
Fe	A	29163.34	29312.95	29374.80	29472.09	29398.30	29340.65	29382.44	29349.22	33600.00	95.92	-12.65	0.33
	B	46705.61	46885.16	46669.54	46596.00	46656.73	46984.69	46867.91	46766.52	43200.00	145.03	8.26	0.31
	C	24163.44	24152.90	24234.84	24215.88	24197.99	24133.16	24304.70	24200.42	28200.00	58.39	-14.18	0.24
	D	10575.33	10641.93	10547.21	10647.87	10545.66	10593.84	10508.38	10580.03	51.70	-	-	0.49
Cr	A	93.52	92.57	92.32	100.17	92.27	92.33	93.98	93.88	130.00	2.85	-27.78	3.04
	B	29.89	33.43	34.80	35.83	30.46	37.02	39.87	34.47	23.00	3.55	<b>49.88</b>	10.31
	C	40.52	40.87	34.32	43.21	41.46	37.71	36.93	39.29	52.30	3.08	-24.88	7.83
	D	18.55	22.27	12.93	18.64	19.56	14.34	17.96	17.75	3.16	6.50	<b>173.08</b>	17.82
Ti	A	3534.16	3530.34	3546.53	3618.27	3581.47	3609.58	3589.18	3572.79	3360.00	35.94	6.33	1.01
	B	3022.84	3023.34	3052.05	2999.66	3010.70	3033.64	3062.99	3029.32	3110.00	22.26	-2.59	0.73
	C	2665.50	2639.55	2670.00	2652.49	2653.33	2609.22	2667.07	2651.02	3170.00	21.27	-16.37	0.80
	D	1086.83	1066.16	1083.84	1103.02	1099.82	1085.48	1100.32	1089.35	12.95	-	-	1.19
Nb	A	9.02	8.80	7.67	7.95	8.62	7.66	8.80	8.36	-	0.58	-	6.95
	B	11.44	13.21	10.27	11.36	10.94	10.60	11.60	11.35	-	0.95	-	8.38
	C	20.93	20.16	18.78	19.84	19.38	21.11	19.26	19.92	-	0.87	-	4.36
	D	21.74	22.11	23.75	23.14	24.29	24.90	24.85	23.54	1.27	18.00	<b>30.78</b>	5.38
Y	A	14.74	15.77	15.08	15.84	16.05	15.66	15.00	15.45	-	0.50	-	3.24
	B	17.75	17.75	19.38	17.28	19.68	19.91	18.76	18.64	-	1.06	-	5.66
	C	27.15	26.80	27.00	29.27	27.15	26.90	29.09	27.62	-	1.07	-	3.88
	D	53.32	52.25	52.38	51.98	52.84	49.94	50.65	51.91	1.20	56.00	-7.31	2.31

**Anexo 7.** Ubicación de las muestras y comentarios según las cadenas de custodia.

<b>Cuenca 1</b>			<b>Ubicación: Norte (Pueblitos, Villa Verde, Villas del Real)</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
Pedro Vázquez Rubiano	ES-09 2ES-09	X: 498086.42, Y: 3224102.59 Z: 233 m	<i>La cancha de toma de la muestra se encuentra muy deteriorada. <b>Uso de diésel en cancha.</b></i>	Su ubicación y su elevación con respecto al resto de su cuenca.
<b>Cuenca 2</b>			<b>Ubicación: Noreste-Poniente (aeropuerto)</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
5 de mayo (E. Zapata)	ES-12 2ES-12	X: 495589.7588, Y: 217951.3335 Z: 189 m	Se encuentra frente al aeropuerto, se ubica en la parte más meridional de su cuenca. Frente a ella se encuentra una calle sin pavimentar además de una calle de alto tráfico (Blvd. García Morales).	Su ubicación y su elevación con respecto al resto de su cuenca.
<b>Cuenca 3</b>			<b>Ubicación: Norte- Centro</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
15 de mayo	ES-22 2ES-22	X: 500801.51 Y: 3222996.64 Z: 237 m	Rodeada de calles sin pavimentar (calle frontal pavimentada). Cerrada anteriormente por protección civil.	Las observaciones por haber sido cerrada por protección civil.
<b>Cuenca 4</b>			<b>Ubicación: Nororiente-Centro</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
Prof. Alberto Gutiérrez	ES-15 2ES-15	X: 504059.24 Y: 3217086.24 Z: 208 m	Se encuentra frente a una calle muy transitada (Blvd. Rosales), la cancha está totalmente pintada azul (pintura de textura rugosa con la que se adhieren las suelas de los pies). <i>Utilizan aceite en la limpieza.</i>	Su ubicación y más alta concentración de metales del resto de su cuenca.
<b>Cuenca 5</b>			<b>Ubicación: Oriente (al lado de la presa)</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
Narciso Mendoza	ES-21 2ES-21	X: 507280.98 Y: 3218974.09 Z: 243 m	<b>Utilizan diésel para la limpieza.</b> Casos de cáncer y leucemia. Ubicada en un área de mucho tráfico cerca del ferrocarril.	Casos de cáncer/leucemia. Ubicada en un área de mucho tráfico/ cerca del ferrocarril.
<b>Cuenca 6</b>			<b>Ubicación: Centro</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
Ignacio Ramírez	ES-18 2ES-18	X: 505678.41 Y: 3217063.77 Z: 220 m	Se encuentra en la parte más septentrional de la cuenca. La cancha está totalmente pintada azul (pintura de textura rugosa con la que se adhieren las suelas de los pies). <i>Utilizan aceite quemado para la limpieza.</i>	Su ubicación y más alta concentración de metales del resto de su cuenca.

**Anexo 7 (continuación).** Ubicación de las muestras y comentarios según las cadenas de custodia.

<b>Cuenca 7</b>			<b>Ubicación: Surponiente (Las Minitas, El Apache, Palo Verde)</b>	<b>Motivo de selección</b>
<b>Escuela</b>	<b>Clave</b>	<b>Coordenadas</b>	<b>Observaciones</b>	
Nueva Creación (Real del Carmen)	ES-33 2ES-33	X: 498950.53 Y: 3213437.62 Z: 188 m	Canal pluvial al lado de la escuela. <i>Utilizan diésel para la limpieza.</i>	Elevación con respecto al resto de su cuenca.
<b>Cuenca 8</b>			<b>Ubicación: Surponiente (Palo Verde Indeur, Los Olivos)</b>	<b>Motivo de selección</b>
Manuel Ríos y Ríos	ES-17 2ES-17	X:502779.90 Y: 3211583.69 Z: 219 m	La mayor parte de la escuela no tiene cubierta (cemento) y permanece como suelo sin vegetación. De lado derecho se encuentran bodegas y grandes terrenos baldíos.	Alta concentración de metales del resto de su cuenca.
<b>Cuenca 9</b>			<b>Ubicación: Suroriente (Mallorca, Nuevo Hermosillo, Cuauhtémoc)</b>	<b>Motivo de selección</b>
José Ángel Barrios Ruiz	ES-28 2ES-28	X: 507479.08 Y: 3208838.04 Z: 256 m	Se encuentra detrás de chimeneas del parque industrial, se han presentado problemas de asma, y cutáneos, además de casos de leucemia.	Ubicación además de problemas de asma, cutáneos, y casos de leucemia presentados.



**Anexo 8.** Datos brutos de contenidos totales por elemento en las mallas analizadas por PXRF.

Elemento	Cuenca 1 (premonzón)					Cuenca 1 (postmonzón)				
	ES-9					2ES-9				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
Fe	17046.72	17904.99	24938	34783.28	105441.79	14730.41	21072.25	26874.17	38987.94	62570.92
Ti	1983.74	2470.99	3524.79	4725.77	4460.92	2242.56	2413.3	3378.4	4916.07	6050.22
Zr	116.02	328.74	676.05	872.61	705.69	141.35	436.34	834.68	1238.39	1095.58
Th	13.5	17.41	28.78	39.14	23.32	9.87	19.57	34.27	52.12	44.19
Nb	9.72	12.35	17.48	22.81	36.36	11.61	16.85	20.72	24.03	34.93
Y	15.61	21.56	28.33	35.16	40.7	13.31	20.02	29.07	47.09	52.29
Cr	53.83	46.46	80.93	87.88	189.39	44.49	49.29	55.51	76.97	140.13
Zn	91.32	123.38	157.36	196.04	845.24	233.95	266.78	277.72	369.95	682.99
Cu	26.58	31.27	40.16	51.18	239.82	18.84	22.39	49.55	52.38	102.87
Pb	28.07	34.22	30.1	35.68	77.55	61.7	29.13	29.53	33.13	58.08

Elemento	Cuenca 2 (premonzón)					Cuenca 2 (postmonzón)				
	ES-12					2ES-12				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
Fe	16860.79	20485.91	22651.45	30153.56	105856.69	43392.76	27809.86	29060.28	35688.99	42507.25
Ti	1048.69	2309.41	2844.96	3869.13	5487.16	4079.49	3194.08	3326.73	4036.13	4646.17
Zr	143.41	364.2	502.51	746.2	868.99	239.2	387.03	649.55	684.71	562.64
Th	8.59	11.25	13.83	23.88	18.39	10.8	13.7	15.96	18.46	26.78
Nb	11.99	14.42	17.29	21.19	41.15	14.8	14.22	15.97	18.29	22.05
Y	15.51	19.57	20.14	29.23	48.36	16.74	20	29.66	29.8	32.19
Cr	43.86	49.64	62.05	78.91	173.05	42.23	35.49	46.67	77.58	96.65
Zn	149.84	140.59	136.83	167.15	635.45	208.19	209.08	228.43	275.41	365.01
Cu	30.36	32.71	37.68	47.21	211.21	126.61	38.07	38.73	51.09	83.68
Pb	37.86	37.38	39.15	41.1	99.3	42.89	38.06	38.56	39.58	52.15

Elemento	Cuenca 3 (premonzón)					Cuenca 3 (postmonzón)				
	ES-22					2ES-22				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
Fe	15404.21	20057.87	26231.87	33148.62	115619.41	16620.51	21149.62	24968.39	30368.78	37260.46
Ti	2368.63	2638.06	3529.2	4392.59	4538.03	2782.62	2632.08	3325.49	4154.76	4894.48
Zr	110.01	315.61	667.31	781.92	653.96	132.85	355.78	626.74	782.26	652.02
Th	7.39	12.31	26.72	39.73	16.72	14.12	10.81	19.34	29.62	28.52
Nb	10.5	11.78	17.68	19.53	34.99	9.83	12.86	16.84	18.73	20.37
Y	11.69	16.26	23.56	27.6	32.27	12.77	19.87	23.11	26.14	29.91
Cr	47.87	53	56.96	75.61	186.88	54.47	62.95	76.6	83.14	93.06
Zn	165.92	140.58	177.66	213.48	1146.3	137.37	173.14	188.37	224.44	338.74
Cu	71.6	37.34	49.12	78.09	343.35	34.82	38.47	50.3	61.34	84.48
Pb	48.63	56.7	64.15	79.57	228.27	71.72	64.71	59.76	72.43	105.18

**Anexo 8 (continuación).** Datos brutos de contenidos totales por elemento en las mallas analizadas por PXRf.

Elemento	Cuenca 4 (premonzón)					Cuenca 4 (postmonzón)				
	ES-15					2ES-15				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
<b>Fe</b>	16457.61	19839.7	23483.88	34400.91	111074.47	17673.96	17709.66	29653.59	38985.39	45251.65
<b>Ti</b>	3414.21	2571.76	3061.79	4429.5	6484.02	2417.5	2539.61	3895.44	4701.52	5698.53
<b>Zr</b>	121.59	265.24	594.56	814.12	992.9	158.7	383.08	674.68	1005.77	789.48
<b>Th</b>	7.47	9.61	13.73	20.79	13.61	11	17.3	17.13	28.92	27.7
<b>Nb</b>	8.77	12.11	16.65	20.04	38.46	10.13	12.7	17.88	22.37	26.04
<b>Y</b>	14.81	17.17	25.3	29.3	43.38	13.38	19.76	26.18	33.66	36.13
<b>Cr</b>	121.74	129.58	89.76	102.62	217.35	89.82	132.85	104.44	101.83	143.22
<b>Zn</b>	224.79	248.97	212.37	245.91	958.44	151.18	226.49	203.82	248.78	370.17
<b>Cu</b>	331	38.52	57.63	95.24	557.6	34.73	53.42	107.85	129.77	232.38
<b>Pb</b>	66.79	59.96	54.65	59.61	142.45	34.07	53.3	49.97	56.15	79.25

Elemento	Cuenca 5 (premonzón)					Cuenca 5 (postmonzón)				
	ES-21					2ES-21				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
<b>Fe</b>	25265.19	23735.46	28023.24	36546.42	127355.59	18429.32	21857.88	25473.42	34004.53	40548.74
<b>Ti</b>	3371.34	3214.62	3770.01	4399.43	5459.86	3446.17	3858.04	4032.34	4372.73	4745.75
<b>Zr</b>	132.3	375.97	576.88	853.1	880.46	135.92	297.64	449.21	698.51	490.35
<b>Th</b>	9.8	12.02	16.6	23.89	12.34	9.58	10.68	25.37	17.88	22.56
<b>Nb</b>	12.62	19.22	17.02	21.5	32.43	12.06	13.26	14.67	18.21	21.18
<b>Y</b>	15.25	17.26	22.66	30.06	37.37	12.33	18.04	20.78	28.27	26.84
<b>Cr</b>	57.31	50.02	64.24	92.82	217.07	43.23	68.88	63.85	90.64	112.7
<b>Zn</b>	273.59	275.21	318.89	360.75	1662.48	460.42	480.77	489.48	619.83	1058.84
<b>Cu</b>	64.27	108.78	204.27	357.37	1883.21	131.63	111.12	147.06	340.11	434.67
<b>Pb</b>	78.65	68.25	54.79	62.76	141.09	70.53	59.63	52.08	55.33	85.40

Elemento	Cuenca 6 (premonzón)					Cuenca 6 (postmonzón)				
	ES-18					2ES-18				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
<b>Fe</b>	20896.55	23411.44	24277.91	31609.68	70825.84	18037.79	22649.36	24833.62	75155.97	53539.07
<b>Ti</b>	4397.83	4155.49	3464.72	4626.39	5869.32	6063.89	5177.83	4156.98	4226.16	6227.21
<b>Zr</b>	121.2	356.29	563.3	654.09	849.76	91.99	279.61	544.58	763.53	826.95
<b>Th</b>	7.31	8.01	15.07	25.08	10.98	7.64	8.85	13.4	8.09	31.11
<b>Nb</b>	11.39	12.55	15.33	18.91	33.04	7.61	11.03	14.43	28.18	28.46
<b>Y</b>	15.66	17.18	22	29.34	41.58	9.73	14.44	26.6	29.88	38.75
<b>Cr</b>	618.12	331.23	231.38	201.8	269.01	1092.92	684.74	292.95	281.16	279.46
<b>Zn</b>	189.55	252.44	278.75	374.34	969.37	374.16	403.16	491.75	1279.45	983.13
<b>Cu</b>	60.15	95.78	66.56	174.89	677.87	55.56	75.79	76.77	382.82	453.87
<b>Pb</b>	64.29	63.32	58.68	66.71	158.12	89.55	72.71	66.38	95.77	118.72

**Anexo 8 (continuación).** Datos brutos de contenidos totales por elemento en las mallas analizadas por PXRF.

Elemento	Cuenca 7 (premonzón)					Cuenca 7 (postmonzón)				
	Es-33					2ES-33				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
Fe	17584.8	23873.09	30243.9	34808.48	86346.34	15713.91	21245.41	26948.77	33492.93	86836.26
Ti	2293.54	3133.01	3893.86	4220.95	3993.22	2509.74	2800.54	3466.27	4210.78	4060.99
Zr	168.32	336	556.02	496.63	367.35	156.04	285.96	504.72	525.56	346.82
Th	10.08	16.56	20.06	20.98	18.16	8.54	11.01	20.26	18.69	16.78
Nb	9.13	12.93	15.79	19.23	31.82	10.46	13.11	15.13	17.27	30.29
Y	14.25	22.53	24.63	26	32.91	13.52	18.91	24.59	26.37	30.6
Cr	44.99	58.66	76.93	78.85	140.61	36.11	44.19	55.85	72.16	156.36
Zn	157.25	145.53	179.19	223.68	852.01	280.55	265.75	268.5	343.05	1421.38
Cu	33.74	40.63	54.9	54.44	207.63	38.53	41.78	44.99	54.57	197.54
Pb	32.5	29.44	36.05	40.5	87.78	31.98	35.34	33.88	44.91	92.78

Elemento	Cuenca 8 (premonzón)					Cuenca 8 (postmonzón)				
	ES-17					2ES-17				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
Fe	15679.89	16758.98	21624.54	36013.01	95965.17	15991.79	21380.78	27158	45028.88	51967.4
Ti	3217.02	2543.73	3057.9	4580.33	6135.88	2222.72	3172.31	3603.46	4460.02	5759.13
Zr	132.99	283.75	554.37	983.33	1222.72	171.14	430.53	850.06	1199.28	1008.23
Th	6.77	9.71	21.45	33.12	17	11.67	19.26	25.12	29.13	36.26
Nb	9.1	12.35	17.61	23.31	37.84	10.84	17.05	18.54	27.02	26.13
Y	9.27	16.59	21.3	32.19	46.18	9.56	20.79	32.13	33.02	38.05
Cr	41.09	48.33	62.84	97.58	194.99	49.69	71.78	73.65	107.11	115.77
Zn	197.03	224.26	182.72	235.55	834.58	216.9	295.95	351.87	548.07	760.06
Cu	44.51	41.97	51.9	107.5	551.43	30.44	53.35	62.8	140.13	273.24
Pb	37.1	41.44	32.57	47.05	113.18	30.39	38.79	59.01	62.08	75.32

Elemento	Cuenca 9 (premonzón)					Cuenca 9 (postmonzón)				
	ES-25					2ES-25				
	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm	125 µm	63 µm	45 µm	20 µm	< 20µm
Fe	18858.18	24249.67	36312.63	41973.6	94711.08	22915.81	21439.12	26154.8	29608.57	61152.18
Ti	2548.11	2561.26	4273	4459.85	2764.64	2227.08	2483.79	3162.63	3538.31	3190.2
Zr	148.91	383.4	852.79	966.43	347.19	243.4	303.64	557.42	619.45	343.32
Th	6.77	11.25	27.15	28.38	24.79	7.43	11.22	12.86	23.27	13.46
Nb	11.57	16.92	24.23	25.84	26.75	10.15	15.02	17.52	15.31	23.37
Y	13.13	18.53	31.94	32.29	22.71	11.83	14.62	19.32	22.78	25.9
Cr	45.27	77.8	82.18	101.7	182.65	37.06	47.57	56.88	81.08	151.43
Zn	176.51	188.98	261.36	326.61	728.17	232.6	246.7	272.08	356.33	1270.26
Cu	39.24	57.83	106.59	164.75	309.01	33.93	52.47	58.48	122.8	329.17
Pb	23.23	26.51	36.63	42.77	41.41	22.81	31.49	30.3	42.23	85.04

**Anexo 9.** Valores máximos, mínimos y promedios de diferentes metales en un tamaño de partícula de 20 µm para las 9 cuencas (utilizados en la Figura 13 a-f, todos los valores son en mg.kg-1).

<b>Elemento</b>		<b>Cuenca 1</b>	<b>Cuenca 2</b>	<b>Cuenca 3</b>	<b>Cuenca 4</b>	<b>Cuenca 5</b>	<b>Cuenca 6</b>	<b>Cuenca 7</b>	<b>Cuenca 8</b>	<b>Cuenca 9</b>
<b>Fe</b>	Max	42724.42	37561.18	36989.81	38045.56	36546.42	37240.71	49210.88	36013.01	41973.60
	Min	32413.00	30495.50	32590.84	30495.50	32361.63	29285.48	31827.09	27965.55	24100.40
	Med	36444.65	33668.86	34602.87	33668.86	33897.20	32994.05	37487.40	33295.99	29472.64
<b>Ti</b>	Max	4725.77	4662.80	4758.09	4429.50	4399.43	4659.16	5901.84	4580.33	4459.85
	Min	4078.92	3869.13	4392.59	4100.07	3810.13	3898.79	4220.95	3719.37	3331.93
	Med	4429.31	4291.93	4511.31	4213.98	4059.91	4303.98	4728.09	4163.77	3793.40
<b>Zr</b>	Max	1044.24	1096.75	907.53	814.12	853.10	862.62	902.32	983.33	966.43
	Min	735.75	746.20	781.92	589.55	583.99	654.09	496.63	811.81	605.85
	Med	873.09	931.14	831.83	697.11	697.66	712.02	749.22	891.88	793.57
<b>Cr</b>	Max	87.88	105.26	90.05	102.62	92.82	201.80	85.72	110.17	101.70
	Min	80.73	74.59	75.61	83.51	63.34	74.81	78.36	81.26	70.06
	Med	85.41	86.25	84.32	93.51	73.37	110.69	81.38	93.17	81.18
<b>Zn</b>	Max	229.16	212.00	423.53	318.73	627.36	556.69	376.93	457.55	351.70
	Min	139.44	167.15	213.48	216.00	360.75	232.16	147.70	188.99	117.45
	Med	182.01	193.31	328.14	251.98	463.68	357.25	233.69	269.95	255.65
<b>Cu</b>	Max	65.02	56.48	105.57	95.24	1175.08	174.89	78.92	233.13	164.75
	Min	51.18	47.21	60.29	60.30	357.37	70.27	50.91	51.97	41.16
	Med	57.39	51.83	81.69	78.30	640.75	99.04	62.37	119.12	86.68
<b>Pb</b>	Max	35.68	41.10	79.57	70.56	73.48	79.36	40.54	47.05	46.55
	Min	32.24	34.00	46.47	52.46	50.93	31.82	33.42	31.66	24.51
	Med	33.47	37.57	56.49	59.10	62.39	55.30	37.70	42.05	37.47

**Anexo 9 (Continuación).** Valores máximos, mínimos y promedios de diferentes metales en un tamaño de partícula de 20 µm para las 9 cuencas (utilizados en la Figura 13 a-f, todos los valores son en mg.kg-1).

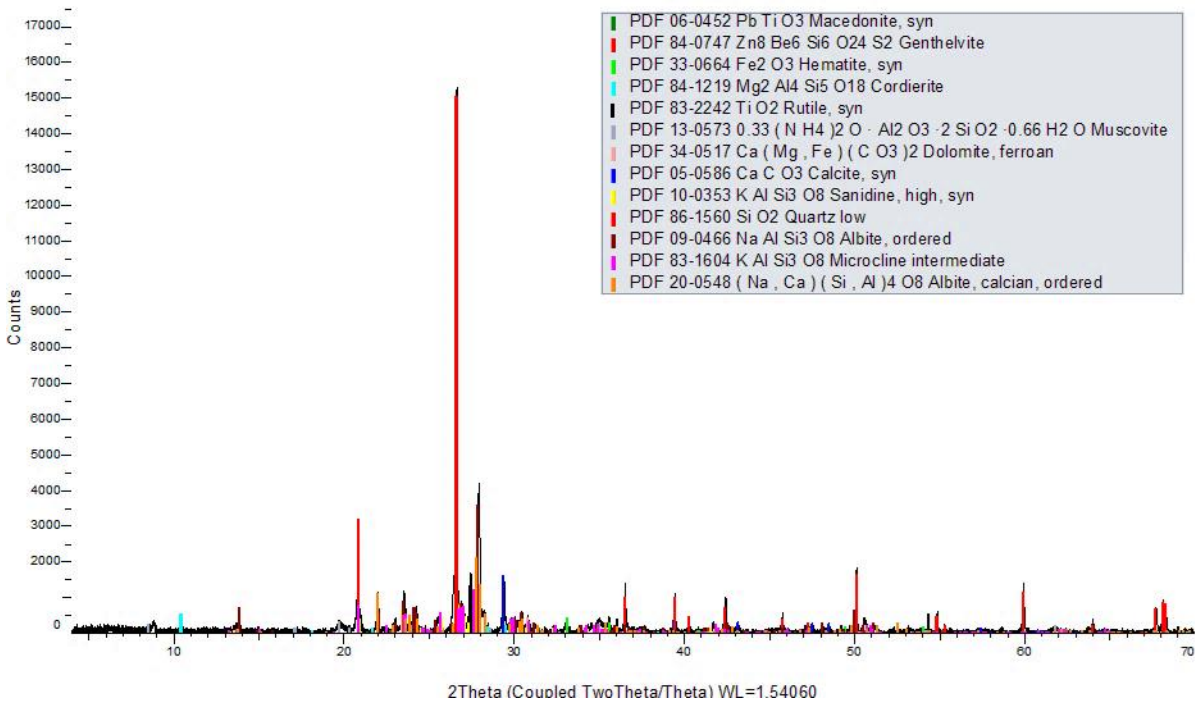
Elemento		Cuenca 1	Cuenca 2	Cuenca 3	Cuenca 4	Cuenca 5	Cuenca 6	Cuenca 7	Cuenca 8	Cuenca 9
<b>Fe</b>	Max	38987.94	35688.99	62508.05	51960.94	36514.41	82906.68	59103.98	45028.88	43401.40
	Min	29246.17	34641.29	30368.78	32347.03	33486.67	28403.37	32283.34	31009.62	26080.58
	Med	34478.27	35224.23	38380.12	40271.14	34668.54	55317.91	44156.78	35084.13	31512.07
<b>Ti</b>	Max	4916.07	4669.04	4391.08	5060.50	4372.73	4226.16	5801.70	4460.02	4210.33
	Min	3774.89	4036.13	3893.33	4324.30	3739.50	3519.36	4210.78	3914.34	3538.31
	Med	4380.18	4448.04	4134.47	4695.66	3973.59	3875.24	4643.19	4276.47	3789.87
<b>Zr</b>	Max	1238.39	989.82	915.49	1005.77	730.97	889.18	1156.82	1199.28	957.79
	Min	779.58	684.71	712.67	768.62	643.20	547.01	525.56	755.93	619.45
	Med	997.09	861.36	828.51	909.76	690.89	715.20	857.12	938.60	771.48
<b>Cr</b>	Max	91.44	83.92	125.82	101.83	90.64	281.16	119.61	125.82	101.83
	Min	73.70	72.86	72.00	73.41	70.28	59.80	68.46	72.00	78.27
	Med	81.44	78.12	91.26	89.33	78.22	138.85	87.28	91.26	87.62
<b>Zn</b>	Max	437.89	428.91	761.48	273.72	619.83	1870.60	433.66	548.07	907.03
	Min	125.20	275.41	224.44	222.47	548.19	258.17	215.05	220.10	276.33
	Med	270.16	359.39	505.09	249.06	584.71	940.55	317.50	370.41	467.91
<b>Cu</b>	Max	57.62	66.78	114.95	129.77	1361.47	382.82	83.33	144.66	122.80
	Min	41.42	41.03	45.05	65.45	340.11	73.08	41.81	56.58	41.91
	Med	50.66	52.97	73.39	97.44	716.67	185.76	57.43	102.33	86.23
<b>Pb</b>	Max	37.51	39.58	72.43	81.67	67.01	95.77	46.30	62.08	58.36
	Min	32.24	33.10	42.53	56.15	47.67	48.03	39.88	28.60	29.65
	Med	33.86	35.71	57.18	65.00	56.67	76.57	43.38	43.69	42.74

**Anexo 10.** Concentraciones de diferentes metales de los suelos recolectados para un tamaño de partícula de 20 µm (los valores se expresan en mg.kg-1).

Muestra de suelo	Fe	Ti	Zr	Th	Nb	Y	Cr	Zn	Cu	Pb
1Phaeozem 20 µm	30347.60	4483.42	370.75	17.53	20.04	26.70	57.74	87.82	39.52	28.89
2Vertisol 20 µm	50516.21	4325.00	540.53	26.09	26.62	32.90	89.47	133.41	47.45	34.67
3Calcisol #635	32802.90	5247.80	588.10	23.18	22.52	33.84	78.02	80.67	35.89	25.59
4Cambisol #635	35019.59	5892.46	683.58	25.27	28.00	38.24	75.45	64.51	31.88	25.00
5Regosol #635	36257.52	3639.59	626.97	36.29	26.79	41.81	87.14	95.06	36.79	28.53

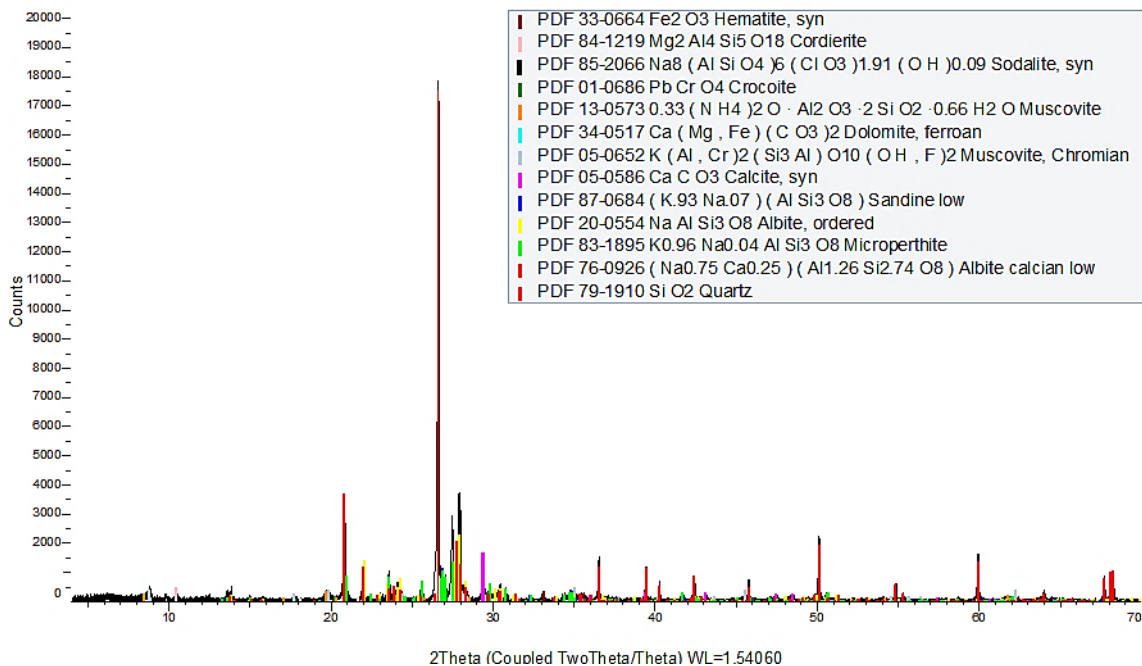
## Anexos IV. Difractogramas

(Coupled TwoTheta/Theta)



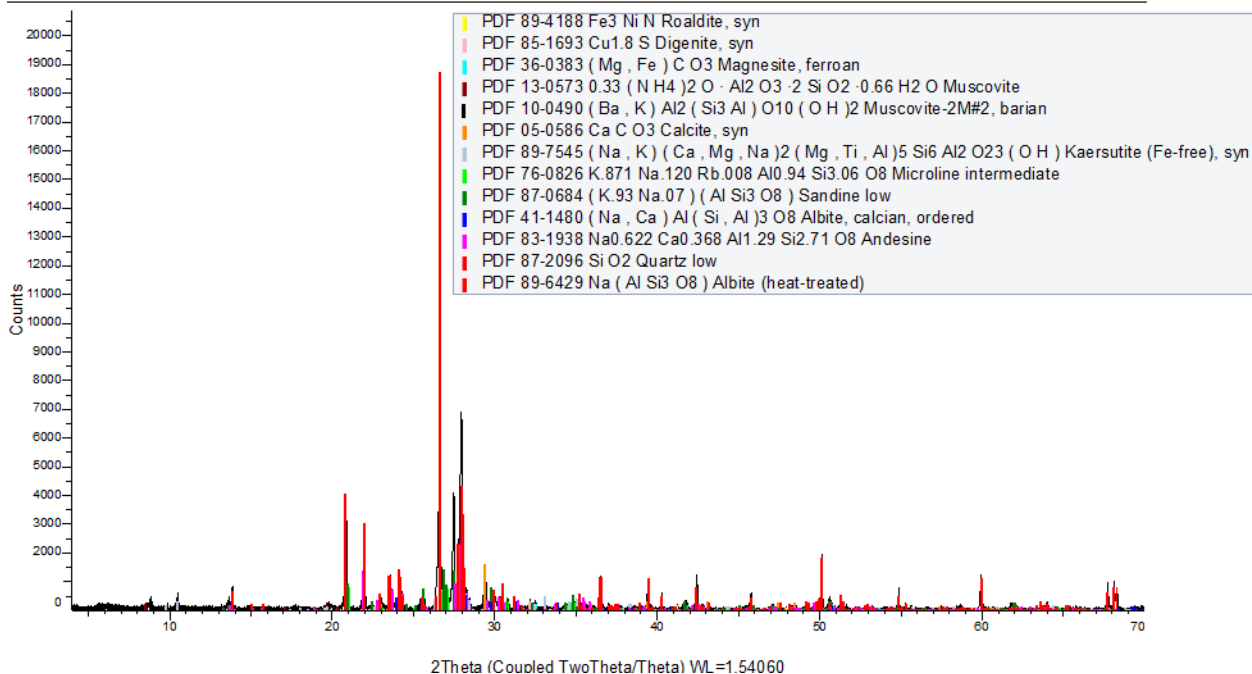
Anexo 11. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-09.

(Coupled TwoTheta/Theta)



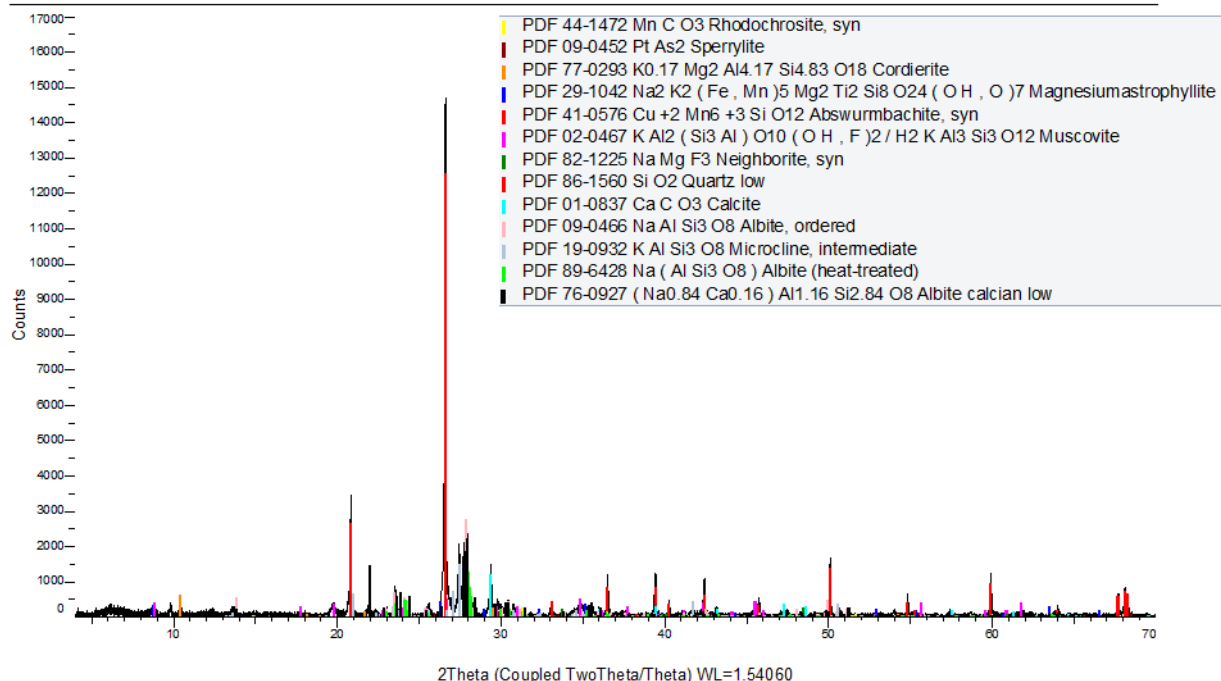
Anexo 12. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-12.

(Coupled TwoTheta/Theta)



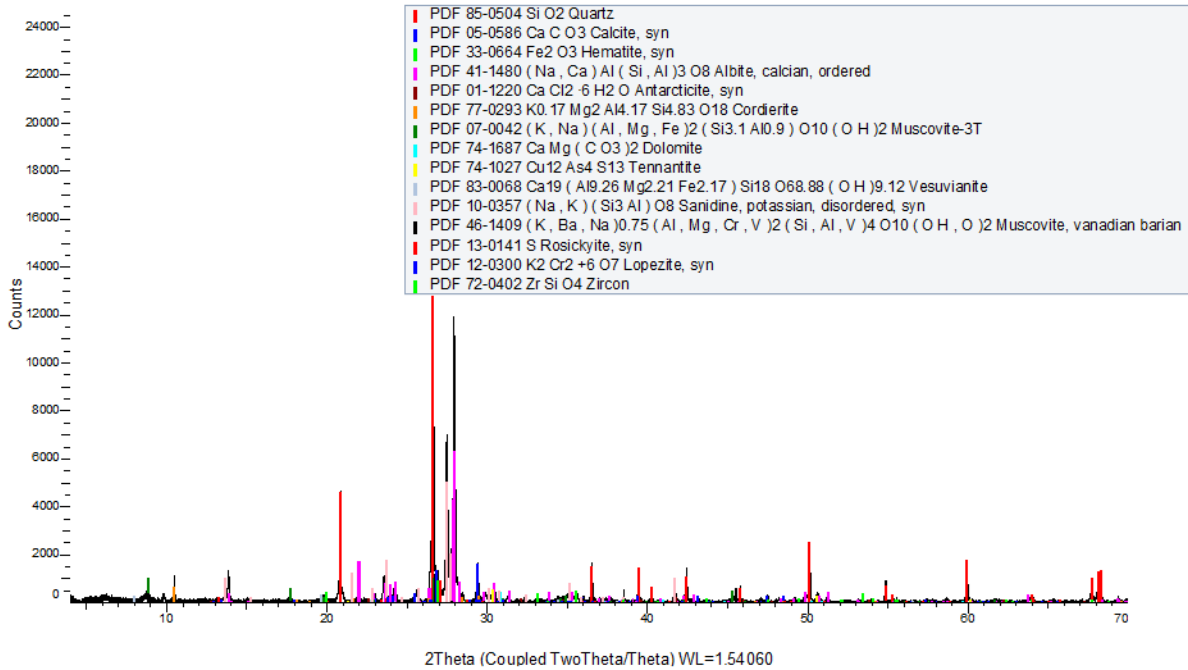
Anexo 13. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-28.

(Coupled TwoTheta/Theta)



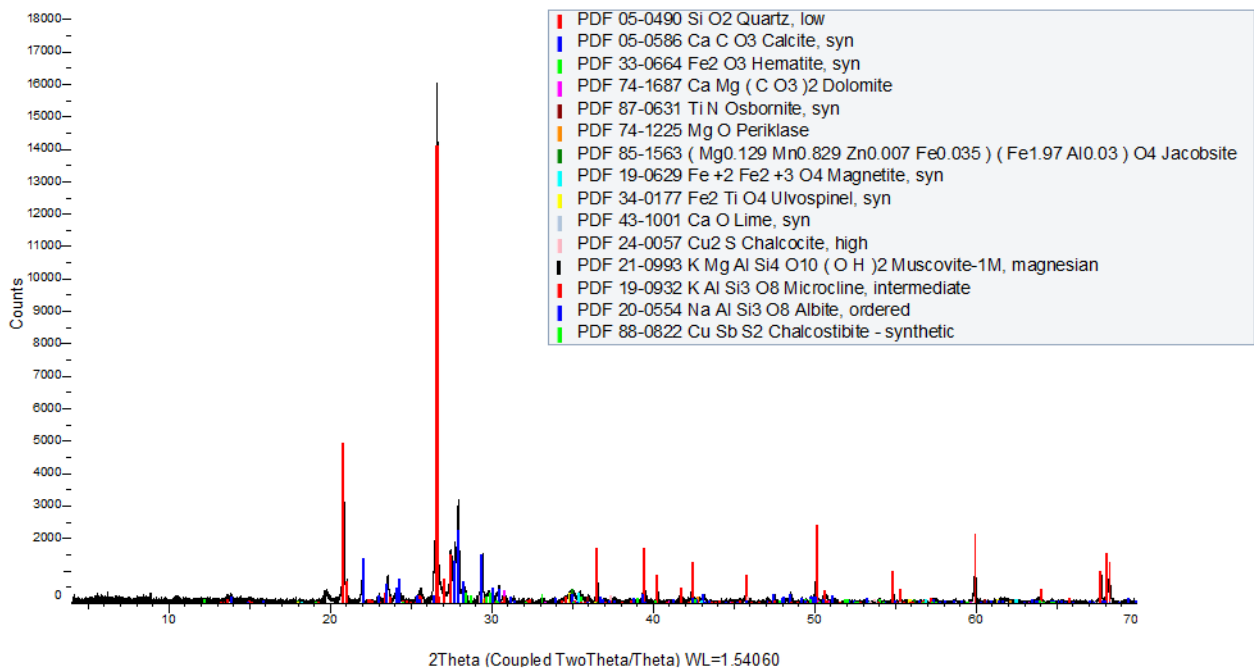
Anexo 14. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave ES-33.

(Coupled TwoTheta/Theta)



Anexo 15. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 2ES-09.

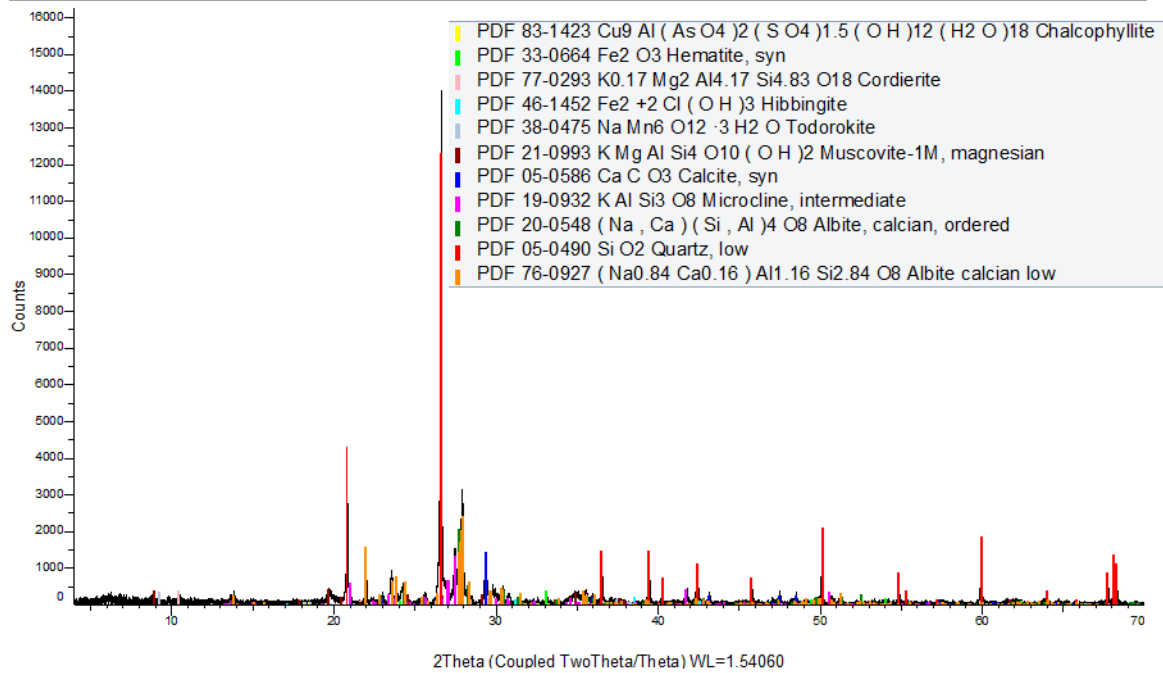
(Coupled TwoTheta/Theta)



Anexo 16. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 2ES-12.

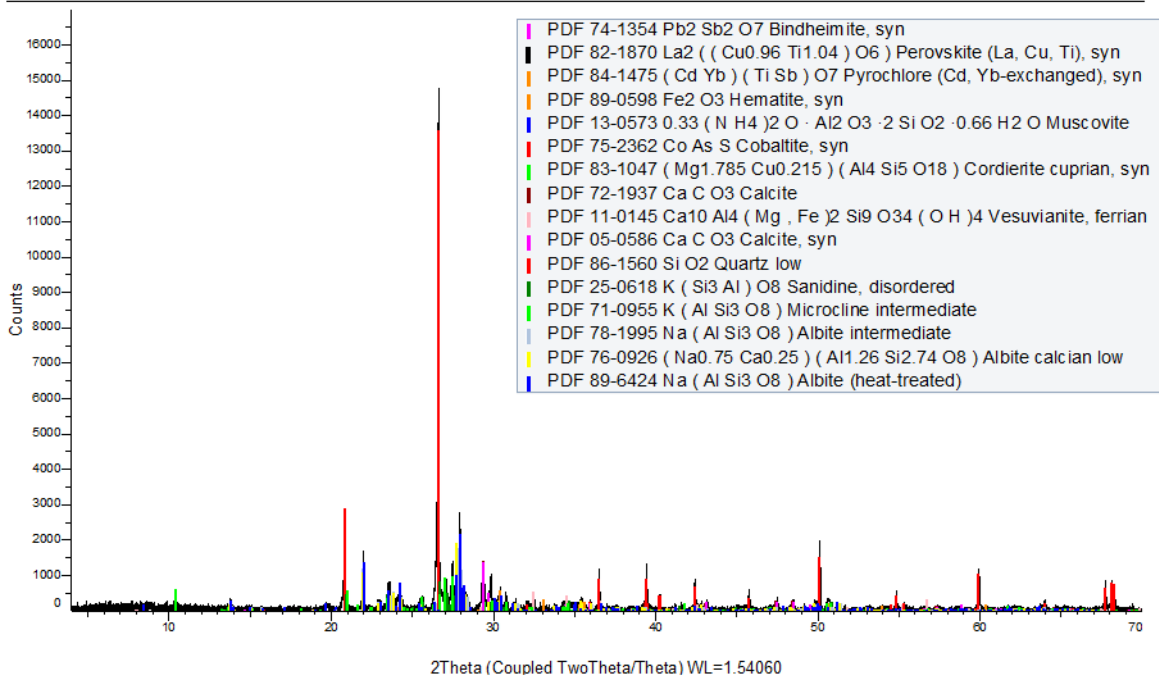


(Coupled TwoTheta/Theta)



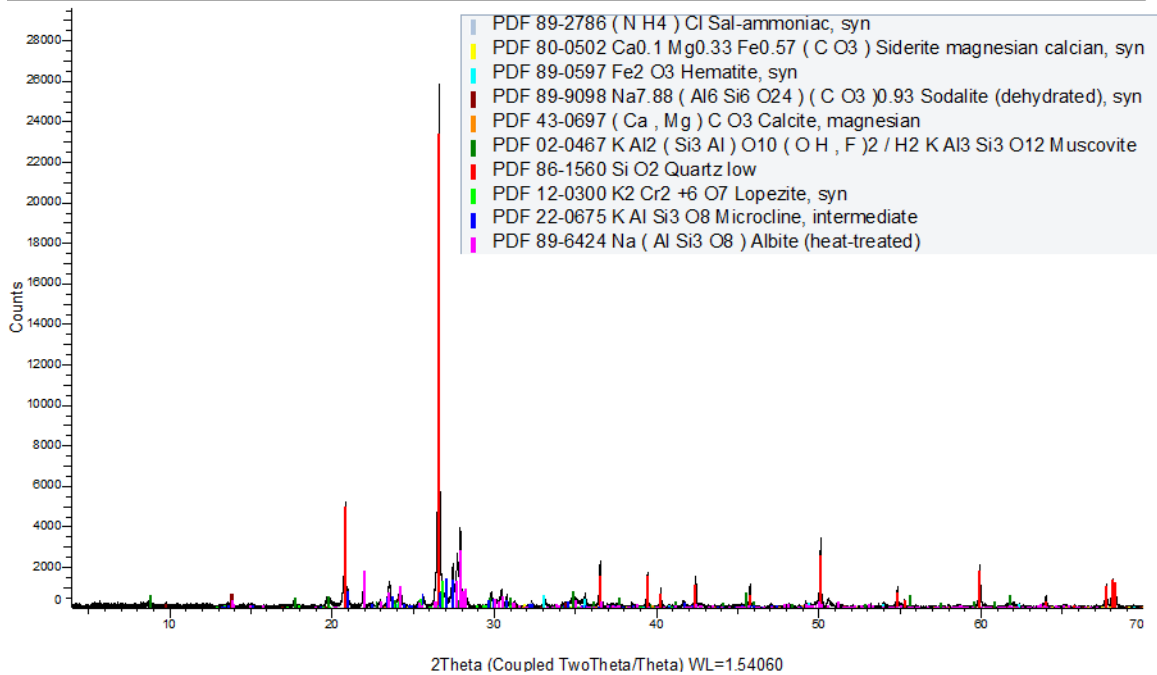
Anexo 17. Análisis semi-cuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave 2ES-33.

(Coupled TwoTheta/Theta)



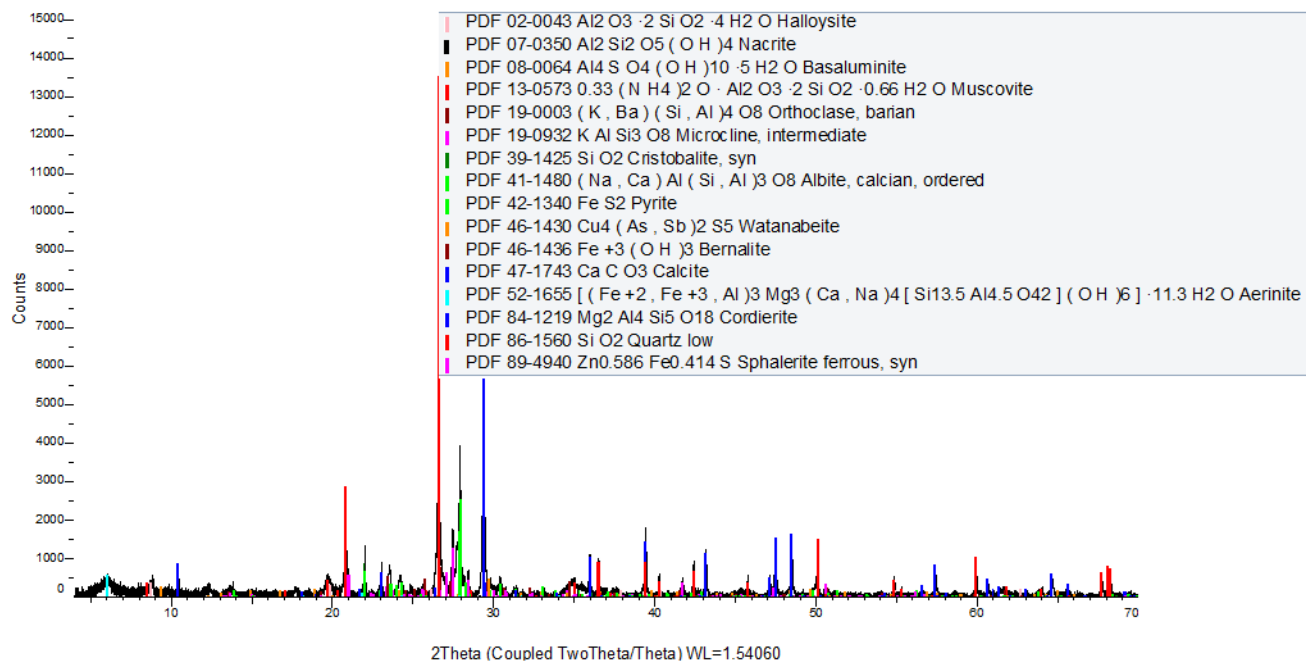
Anexo 18. Análisis semi-cuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave ES-19.

(Coupled TwoTheta/Theta)

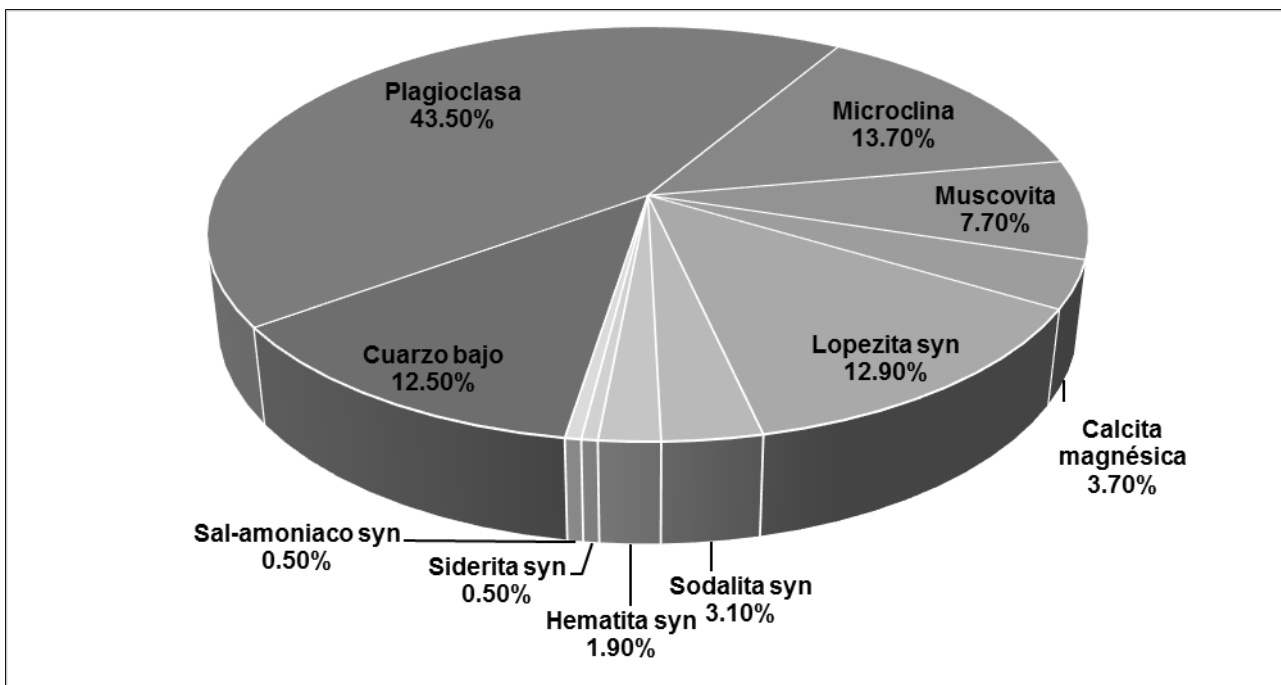


Anexo 19. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 4CM.

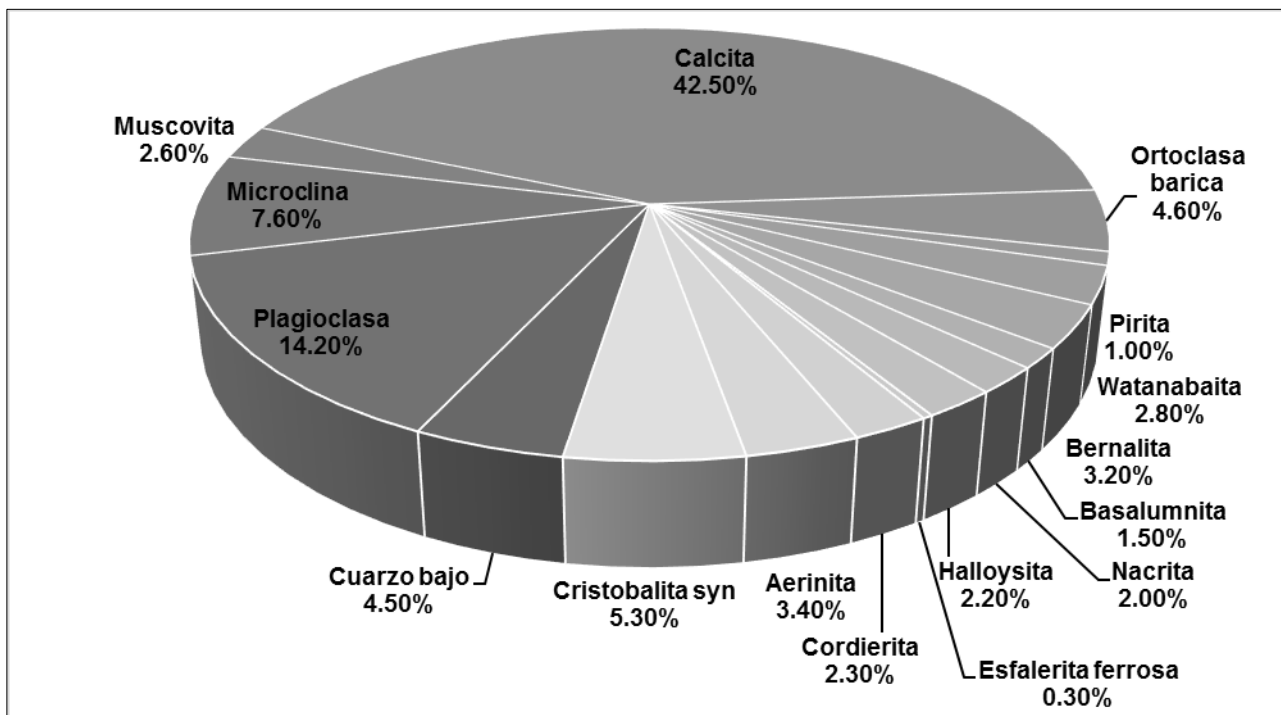
(Coupled TwoTheta/Theta)



Anexo 20. Análisis por DRX realizado a la muestra de clave 5RG.



**Anexo 21.** Análisis semicuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave 5RG (suelo de fondo).



**Anexo 22.** Análisis semicuantitativo por DRX realizado a la muestra de clave 5RG (suelo de fondo).

## Anexos V. Ejemplo de identificación mineralógica con datos de EDS-SEM, DRX

**Anexo 23.** Tabla de comparación de resultados SEM EDS contra datos obtenidos en DRX de Ochoa-Contreras, 2017.

Figura	Forma	Tamaño	SEM EDS	DRX	Origen	Observaciones
A1	Anhedral, subredondeada	~ 20 $\mu\text{m}$	Si, Na, Al	Plagioclasa (Na, Ca)Al(Si, Al) $3\text{O}_8$	Geogénico	
*A1	Anhedral, subredondeada	~ 20 $\mu\text{m}$	Si, Al, Mg, K	Muscovita	Geogénico	
A2	Elongada, primática	10 $\mu\text{m}$ $\times$ 30 $\mu\text{m}$	Si, Al	Microclina KAlSi $3\text{O}_8$	Geogénico	
A3	Anhedral	~5 $\mu\text{m}$	Ca	Calcita CaCO $3$ Syn	Antropogénico	Proviene de cemento
*A3	Anhedral	~3 $\mu\text{m}$	Ti	Rutilo TiO $2$ Syn	Geogénico/Antrópico?	La muestra presenta Rutilo sintético
**A3	Anhedral	<10 $\mu\text{m}$	Si, Al	Microclina KAlSi $3\text{O}_8$	Geogénico	
A4	Anhedral	~ 20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	
A5	Subredondeado	~ 20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	
A6	Laminar	~ 20 $\mu\text{m}$	Fe, Mg, Si, Al	Muscovita	Geogénico	
A7	Elongado	20 $\mu\text{m}$ $\times$ 40 $\mu\text{m}$	Si, O	Cuarzo SiO $2$	Geogénico	
B1	Esférica piel de naranja	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	a partir de combustión de vehículos
B2	Esférica suave	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B3	Esférica cenosfera	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B4	Esférica suave	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B5	Esférica	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B6	Esférica piel poligónica	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B7	Esférica	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B8	Esférica	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B9	Esférica	20 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	————
B10	Esférula compuesta por más metales	20 $\mu\text{m}$	Fe, Cr, Cu, Pb-S?	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$ y otros metales	Antropogénico	Compuesta por metales como Cr,Cu,Pb-S?
C1	Subredondeada, subhedral	20 $\mu\text{m}$	Fe, Ti	Rutilo Syn TiO $2$	Antropogénico	
C2	Elongada, apariencia escorácea	20 $\mu\text{m}$ $\times$ 70 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn Fe $2\text{O}_3$	Antropogénico	

Figura	Forma	Tamaño	SEM EDS	DRX	Origen	Observaciones
C3	Fibrosa	20 $\mu\text{m}$ $\times$ 50 $\mu\text{m}$	Fe	Hematita Syn $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Antropogénico	
C5	Fibrosa anhedral	$\sim$ 20 $\mu\text{m}$	Fe-Ti	Ulvoespinela $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$	Antropogénico	
C6	Elongada tabular	20 $\mu\text{m}$ $\times$ 70 $\mu\text{m}$	Fe-Ti	Hematita Syn $\text{Fe}_2\text{O}_3$	Antropogénico	
C7	Euhedral Prismático octaedro	$\sim$ 10 $\mu\text{m}$	Fe-Ti	Ulvoespinela $\text{Fe}_2\text{TiO}_4$	Antropogénico	
C10	Pequeños cristales subhedrales	$\sim$ 5 $\mu\text{m}$	Cu, S	Digenita Syn $\text{Cu}_{18}\text{S}$	Antropogénico	Alta concentración de Cu en la cuenca 5
C12	Subredondeada, Anhedral	20 $\mu\text{m}$	Ba-S-Si-O	Barita $\text{BaSO}_4$	Antropogénico	
D11	Euhedral prismático	20 $\mu\text{m}$ $\times$ 70 $\mu\text{m}$	Zr	$\text{ZrSiO}_4$	Antropogénico	
D16	Anhedral, Subrectangular	20 $\mu\text{m}$	Zn, (Cr,Cu?)	-	Antropogénico	
E2	Pequeñas fibras delgadas y alargadas	<10 $\mu\text{m}$	Cr, Fe, (Pb?)	Crocoita? $\text{PbCrO}_4$	Antropogénico	La composición sugiere fuente a partir de pinturas
E3	Pequeñas fibras delgadas y alargadas	10 $\mu\text{m}$	Cr, Fe, (Pb?)	Crocoita? $\text{PbCrO}_4$	Antropogénico	La composición sugiere fuente a partir de pinturas
E5	Pequeñas fibras delgadas y alargadas	10 $\mu\text{m}$	Cr, Fe, (Pb?)	Crocoita? $\text{PbCrO}_4$	Antropogénico	La composición sugiere fuente a partir de pinturas

## Bibliografía

Abu Khatita, A., De Wall, H. & Koch, 2016, Anthropogenic particle dispersions in topsoils of the Middle Nile Delta: a preliminary study on the contamination around industrial and commercial areas in Egypt, *Environment Earth Science* 75, 263-282 (19 p).

Al-Khashman O., 2004, Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan, *Atmospheric Environment* 38, 6803–6812 (9 p).

Apeageyi E., Bank M., Spengler J., 2011, Distribution of heavy metals in road dust along an urban-rural gradient in Massachusetts, *Atmospheric Environment* 45, 2310-2323 (13 p).

Barrios C., Domínguez-Sáez A., Rubio J., Pujadas M., 2012, Factors influencing the number distribution and size of the particles emitted from a modern diesel vehicle in real urban traffic, *Atmospheric Environment* 56, 16-25 (10 p), doi:10.1016/j.atmosenv.2012.03.078.

Bates S., Zografi G., Engers D., Morris K., Crowley K. Newman A., 2006, Analysis of amorphous and nanocrystalline solids from their X-ray diffraction patterns, *Pharmaceutical Research*, 23, 2333-2349 (16 p).

Bell M., Samet J., Dominici F, 2004, Time-series studies of particulate matter, *Annual Review of Public Health Palo Alto*, Vol. 25, 247-280 (34 p).

Bijwe Jayashree, Kumar Mukesh, 2007, Optimization of steel wool contents in non-asbestos organic friction composites for best combination of thermal conductivity and Tribo-performance. *Wear* 263:1243–1248 (5 p).

Bourliva A., Papadopoulou L., Aidona E., 2016, Study of road dust magnetic phases as the main carrier of potentially harmful trace elements, *Science of the Total Environment* 553 380–391 (12 p).

Bourliva A., Papadopoulou L., 2015, Microstructural characteristics of magnetic particles in urban and industrial dusts from Thessaloniki area, Greece: preliminary results, *Proceedings of the 14th International Conference on Environmental Science and Technology Rhodes, Greece*, 6 p.

Bucko I., Magiera T., Pesonen L., Janus B., 2010, Magnetic, Geochemical, and microstructural characteristics of road dust on roadsides with different traffic volumes case study from Finland, *Water Air Soil Pollution*, 12 p.

Chen H., Lu X., Chang Y., Xue W., 2014, Heavy metal contamination in dust from kindergartens and elementary schools in Xi'an, China, *Environmental Earth Science* 71, 2701–2709 (9 p), DOI 10.1007/s12665-013-2648-9.

Choate, L., Ranville, J., Bunge, A., Macalady D., 2006, Dermal adhered soil, Amount and particle-size distribution, *Integrated Environmental Assessment and Management* 2, 375–384 (10 p).

Crosby C., Fullen M., Booth C., Searle D., 2014, A dynamic approach to urban road deposited sediment pollution monitoring (Marylebone Road, London, UK), *Journal of Applied Geophysics* 105, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jappgeo.2014.03.006>.

Del Rio-Salas R., Ruiz J., De la O-Villanueva M., Valencia-Moreno M., Moreno-Rodríguez V., Gómez-Álvarez A., Grijalva T., Mendivil H., Paz-Moreno F., Meza-Figueroa D., 2012, Tracing geogenic and anthropogenic sources in urban dusts: Insights from lead isotopes, *Atmospheric Environment* 60, 202-210 (8 p).

Faiz Y., Tufail M., Tayyeb Javed M., Chaudhry M., Naila-Siddique, 2009, Road dust pollution of Cd, Cu, Ni, Pb and Zn along Islamabad Expressway, Pakistan, *Microchemical Journal* 92, 186–192 (6 p).

Ferreira-Baptista L., De Miguel E., 2005, Geochemistry and risk assessment of street dust in Luanda, Angola: A tropical urban environment, *Atmospheric Environment* 39, 4501-4512 (11 p).

Flagg C., Neff J., Reynolds R., Belnap J., 2014, Spatial and temporal patterns of dust emissions (2004–2012) in semi-arid landscapes, southeastern Utah, USA, *Aeolian Research* 15, 31-43 (13 p).

Fugiwara F., Jiménez R., Marrero J., Gómez D., Smichowski P., 2011, Antimony as a traffic-related element in size-fractionated road dust samples collected in Buenos Aires, *Microchemical Journal* 97, 62–67 (6 p).

García R., Torres M., Baez, A., 2008, Determination of trace elements in total suspended particles at the Southwest of Mexico City from 2003 to 2004, *Chemistry and Ecology*, 24, 157-167 (10 p).

García-Rico L., Meza-Figueroa D., Gandolfi A., Del Río-Salas R., Romero F., Meza Montenegro M., 2016, Dust–Metal Sources in an Urbanized Arid Zone: Implications for Health-Risk Assessments, *Archives of Environmental Contamination Toxicology*, 12 p, DOI 10.1007/s00244-015-0229-5.

Ginoux, P., Prospero J., Gill T., Hsu N., Zhao M., 2002, Global-scale attribution of anthropogenic and natural dust sources and their emission rates based on MODIS Deep Blue aerosol products, *Reviews of Geophysics* 50, 36 p.

González-Sandoval J., 2005, Carta Geohidrológica de la ciudad de Hermosillo, Sonora, México, tesis de posgrado del Programa de Maestría en Ciencias Geología, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología.

Goudie A., 2014, Desert dust and human health disorders, *Environment International*, 63,101-113 (12 p).

Gutiérrez-Ginés, M., Ranz, V., 2010, Utilización de un equipo Portátil de Fluorescencia de Rayos X para el estudio de metales pesados en suelos: puesta a punto y aplicación a vertederos Universidad de Alcalá, 109-120 (12 p).

Gunawardana C., Egodawatta P., Goonetilleke A., 2014, Role of particle size and composition in metal adsorption by solids deposited on urban road surfaces, *Environmental Pollution* 184, 44-53 (9 p).

Guo L., Hu Y., Hu Q., Lin J., Li C., Chen J., Li L., Fu H., 2014, Characteristics and chemical compositions of particulate matter collected at the selected metro stations of Shanghai, China, *Science of the Total Environment* 496, <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.07.055>.



Harrison R., Jones A., Gietl, J., Yin, J., Green, D., 2012, Estimation of the contributions of brake dust, tire wear, and resuspension to nonexhaust traffic particles derived from atmospheric measurements, *Environmental Sciences and Technology* 46, 6523–6529 (6 p).

Hjortenkrans D., Bergbäck B., Häggerud A., 2006, New Metal Emission Patterns in Road Traffic Environments, *Environmental Monitoring and Assessment* 117, 85–98 (13 p).

INEGI, 2012, *Perspectiva estadística de Sonora*, 101 p.

INEGI, guía para la interpretación de cartografía edafológica, <http://www.inegi.org.mx/inegi/SPC/doc/INTERNET/EDAFI.pdf>, consultado el 18 de octubre del 2015.

Jalava P., Salonen R., Pennanen A., Hirvonen M., 2008, Effects of solubility of urban air fine and coarse particles on cytotoxic and inflammatory responses in RAW 264.7 macrophage cell line, *Toxicology and Applied Pharmacology* 229, DOI: 10.1016/j.taap.2008.01.006.

Kristiani A., Corneliasari, Sembiring K., Aulia F., Abimanyu H., 2015, Sulfated Zirconia catalyst for hydrolysis of palm oil lignocellulosic wastes, *Research Centre for Chemistry* 65.

Klein C., Hurlbut C., Dana J., 1993, *Manual of mineralogy*, 527 p.

Khodadoust A., Sorial G., Wilson G., Suidan M., Griffiths R., Brenner R., 1999, Integrated system for remediation of contaminated soils, *Journal of Environmental Engineering*, No. 11, 1033–1041 (9 p).

Lee P., Yu S., Chang H., Cho H., Kang M., Chae B., 2016, Lead chromate detected as a source of atmospheric Pb and Cr (VI) pollution, *Scientific Reports* 6:36088, 10 p, DOI: 10.1038/srep36088.

Li F., Shen B., Tian L., Li G., He C., 2016, Enhancement of SCR activity and mechanical stability on cordierite supported V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-WO<sub>3</sub>/TiO<sub>2</sub> catalyst by substrate acid pretreatment and addition of silica, *Powder Technology* 297, 384–391 (8 p).

Li R., Cai G., Wang J., Ouyang W., Cheng H., Lin C., 2014, Contents and chemical forms of heavy metals in school and roadside topsoils and road surface dust of Beijing, *Journal of Soils & Sediments* 14, 1806–1817 (12 p).

Lippmann M., Chen L., 2009, Health effects of concentrated ambient air particulate matter (CAPs) and its components, *Critical Reviews in Toxicology*, (865-913) 49 p.

Magiera T., Gołuchowska B., Jabłońska M., 2013, Technogenic Magnetic Particles in Alkaline Dusts from Power and Cement Plants, *Air Pollution* 171, 17 p.

Magiera T., Jablonska M., Strzyszczyński Z., Rachwał M., 2011, Morphological and mineralogical forms of technogenic magnetic particles in industrial dusts, *Atmospheric Environment* 45, (4281-4290) 10 p.

Maher B., Moore B., Matkovic J., 2008, Spatial variation in vehicle-derived metal pollution identified by magnetic and elemental analysis of roadside tree leaves, *Atmospheric Environment* 42, 364–373 (10 p).

Meléndez -Pizarro O., Camacho-Dávila A., 2009, *Espectrometría de Fluorescencia de Rayos X*, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de Chihuahua, 4 p.

Method 6200, Field Portable X-Ray Fluorescence Spectrometry for the determination of elemental concentrations in soil and sediment, 32 p.

Meza-Figueroa D., De la O-Villanueva M., De la Parra M., 2007, Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México, *Atmospheric Environment* 41, 276–288 (12 p).

Meza-Figueroa D., Gonzalez-Grijalva B., Del Río-Salas R., Coimbra R., Ochoa-Landin L., Moreno-Rodríguez V., 2016, Traffic signatures in suspended dust at pedestrian levels in semiarid zones: Implications for human exposure, *Atmospheric Environment* 138, 4-14 (11 p). <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.05.005>

Moreno-Rodríguez Del Río-Salas R., Adams D., Ochoa-Landin L., Zepeda J., Gomez-Alvarez A., Palafox-Reyes J., Meza-Figueroa D., 2015, Historical trends and sources of TSP

in a Sonoran desert city: Can the North America Monsoon enhance dust emissions?, *Atmospheric Environment* 110, 111-121 (11 p).

Muxworthy A., Matzka J., Petersen N., 2001, Comparison of magnetic parameters of urban atmospheric particulate matter with pollution and meteorological data, *Atmospheric Environment* 35, 4379–4386 (8 p).

NIOSH, 2009, *Approaches to Safe Nanotechnology*. DHHS (NIOSH) Publication No. 125.

NMX-AA-132-SCFI-2006, Muestreo de suelos para la identificación y la cuantificación de metales y metaloides, y manejo de la muestra, 32p.

Ochoa-Contreras R., 2017, *Caracterización Mineralógica de material particulado de Hermosillo, Sonora, México, Utilizando la técnica de Difracción de Rayos X*, 171 p., tesis de posgrado del Programa de Maestría en Ciencias Geología, Universidad de Sonora, División de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Geología.

Ochoa-Gonzalez R., Strekopytov S., Amato F., Querol X., Reche C., Weiss D., 2016, New insights from Zinc and Copper isotopic compositions into the sources of atmospheric particulate Matter from two major European cities *environmental science and technology*, 50, 9816–9824 (8 p).

Oulton L., Taylor M., Hose G., Brown C., 2014, Sublethal toxicity of untreated and treated stormwater Zn concentrations on the foraging behaviour of *Paratya australiensis* (Decapoda: Atyidae), *Ecotoxicology*. 1022–1029 (8 p).

Pachauri T., Singla V., Satsangi A., Lakhani A., Maharaj K., 2013, SEM-EDX Characterization of Individual Coarse Particles in Agra, India, *Aerosol and Air Quality Research*, 13, 523–536 (13 p).

Pasha M., Alharbi B., 2015, Characterization of size–fractionated PM10 and associated heavy metals at two semi–arid holy sites during Hajj in Saudi Arabia, *Atmospheric Pollution Research* 6 162-172 (11 p).

Prospero J., Ginoux P., Torres O., Nicholson S., Gill, T., 2002, Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust derived from the nimbus 7 toms absorbing aerosol product, *Reviews of Geophysics* 40, 31 p.

Potts, PJ., Williams-Thorpe, O., Webb, PC. 1997. The bulk analysis of silicate rocks by portable X-ray fluorescence: effect of sample mineralogy in relation to the size of the excited volumen. *Geostandards Newsletter* 21, 29-41 (13 p).

Räisänen M., Kupiainen K., Tervahattu H., 2005, The effect of mineralogy, texture and mechanical properties of anti-skid and asphalt aggregates on urban dust, stages II and III, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment* 64, DOI 10.1007/s10064-004-0267-0.

Ram S., Kumar R., Chaudhuric P., Chandad S., Santrae S., Sudarshana M., Chakrabortya A., 2014, Physico-chemical characterization of street dust and re-suspended dust on plant canopies: An approach for finger printing the urban environment, *Ecological Indicators* 36, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.08.010>.

Ramirez-Leal R., Esparza-Ponce H., Duarte-Moller A., 2007, Characterization of inorganic atmospheric particles in air quality program with SEM, TEM and XAS, *Revista Mexicana de Física*, vol. 53, núm. Es3, 102-107 (6 p).

Reed S., 2005, *Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology*, University of Cambridge, 192 p.

Rodríguez- Castañeda, 1981, Notas sobre la geología del área de Hermosillo, Sonora, *Revista Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geología*, Vol. 5, 30-36 (7 p).

Rodríguez-Seijo A., Andrade M. L., Vega F. A., 2015, Origin and spatial distribution of metals in urban soils., *Journal of soils and sediments*, 1-13 pp., DOI 10.1007/s11368-015-1304-2.

Ruby M., Lowney Y., 2012, Selective Soil Particle Adherence to Hands: Implications for Understanding Oral Exposure to Soil Contaminants, *Environ. Science and Technology* 46, 12759–12771 (13 p), [dx.doi.org/10.1021/es302473q](http://dx.doi.org/10.1021/es302473q).

SEMARNAT, 2012, ([http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe\\_04/03\\_suelos/index\\_suelos.html](http://app1.semarnat.gob.mx/dgeia/informe_04/03_suelos/index_suelos.html)), consultado el 18 de octubre del 2015.

Serra Y., Adams D., Minjarez-Sosa C., Moker Jr J., Arellano A., Castro C., Quintanar A., Alatorre L., Granados A., Vázquez E., Holub K., Demets C., 2016, The North American Monsoon gps transect experiment 2013, American Meteorological Society, 2103-2116 (14 p).

Sezgin N., Kurtulus Ozcan H., Demir G., Nemlioglu S., Bayat C., 2003, Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway, *Environment International* 29, 979– 985 (6 p).

Solanki P., 2015, Health Aspect of Nanostructured Materials, *J. Molecular Biomarkers & Diagnosis*, S8:e001 doi:10.4172/2155-9929.S8-e001.

Song X., Shao L., Zheng Q., Yang S., 2014, Mineralogical and geochemical composition of particulate matter (PM10) in coal and non-coal industrial cities of Henan Province, North China, *Atmospheric Research* 143, <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosres.2014.03.015>.

Silva A., Delerue-Matos C., 2005, Use of solvent extraction to remediate soils contaminated with hydrocarbons, *Journal of Hazardous Materials B124*, 224–229 (5 p).

Tong S., Lam K., 1998, Are nursery schools and kindergartens safe for our kids? The Hong Kong study, *Science of the Total Environment* 216, 217–225 (9 p).

Topka P., Klementová M., 2016, Total oxidation of ethanol over Au/Ce<sub>0.5</sub>Zr<sub>0.5</sub>O<sub>2</sub> cordierite monolithic catalysts, *Applied Catalysis A: General* 522 130–137 (8 p).

Thiyagarajan V., Kalaichelvan K., Vijay R., Lenin Singaravelu D., 2016, Influence of thermal conductivity and thermal stability on the fade and recovery characteristics of non-asbestos semi-metallic disc brake pad, *The Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering* 38, 1207-1219 (12 p).

Treatise of geology, Volume 9: Environmental Geochemistry, 9.07 The Medical Geochemistry of Dusts, Soils, and Other Earth Materials, G.S. Plumlee, T.L. Ziegler, 264-305 (42 p).

United States Environmental Protection Development (USEPA), 2003, Agency Environmental Technology Verification Report Lead in Dust Wipe Measurement Technology NITON LLC X-Ray Fluorescence Spectrum Analyzer, XLt 700 Series, 45 p.

Wilkinson K., Lundkvist J., Seisenbaeva G., Kessler V., 2011, New tabletop SEM-EDS-based approach for cost-efficient monitoring of airborne particulate matter, *Environmental Pollution*, 159, 311-318 (8 p).

World Reference Base for soil resources (WRB), 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, 192 p.

Wu, J., Hu, C., Xu, X., Zhang, Y., Lu, C., Wang, D., 2016. Preparation and thermal shock resistance of cordierite-spodumene composite ceramics for solar heat transmission pipeline, *Ceramics international*, 42.

Yang T., Liu Q., Li H., Zeng Q., Chan L., 2010, Anthropogenic magnetic particles and heavy metals in the road dust: magnetic identification and its implications, *Atmospheric Environment* 44, 1175–1185 (11 p), <http://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2009.12.028>.

Zannoni D., Valotto G., Visin F., Rampazzo G., 2016, Sources and distribution of tracer elements in road dust: The Venice mainland case of study, *Journal of Geochemical Exploration* 166, 64–72 (8 p).

Zheng N., Liu J., Wang Q., Liang Z., 2010, Heavy metals exposure of children from stairway and sidewalk dust in the smelting district, northeast of China, *Atmospheric Environment* 44, 3239-3245 (7 p).