

Servicio para la elaboración de planes de mejora de calidad del aire: Estudio de la contaminación atmosférica por material particulado atmosférico y ozono troposférico para la elaboración de los planes de mejora de calidad del aire



Código de referencia: CONTR 2019 383409. Lote 1

RESUMEN

Composición química de PM₁₀ y PM_{2.5}. año 2023



Unidad Asociada al CSIC-UHU
"Contaminación Atmosférica"
Centro de Investigación en
Química Sostenible (CIQSO)
Universidad de Huelva

Tabla de contenido

1.- INTRODUCCIÓN.....	5
2.- METODOLOGÍA	6
2.1.- RED DE CALIDAD DEL AIRE	6
2.2.- ANÁLISIS QUÍMICO	6
2.3.- CONTRIBUCIÓN DE FUENTES PMF5	9
3.- RESULTADOS.....	10
3.1.- COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MAPAS GEOQUÍMICOS DE PM10	10
3.2.- COMPOSICIÓN QUÍMICA Y MAPAS GEOQUÍMICOS DE PM2.5.....	19
3.3.- CONTRIBUCIÓN DE FUENTES PMF PM10 Y PM2.5	26
4. CONCLUSIONES	32

Elaboración:

Ana M. Sánchez de la Campa Verdoná y Jesús D de la Rosa Díaz

Muestreo y preparación de muestras:

María Luisa Avilés Martín, Cinta Marcelino Pozuelo
y Jesús D de la Rosa Díaz

Análisis químico:

Daniel A. Sánchez-Rodas Navarro, María Luisa Avilés Martín, Cinta Marcelino Pozuelo,
Ana M. Sánchez de la Campa Verdoná y Jesús D. de la Rosa Díaz

29 de mayo de 2023

Firmado por DE LA ROSA DIAZ JESUS DAMIAN - ***7511** el
día 18/05/2024 con un certificado emitido por AC FNMT
Usuarios

1.- INTRODUCCIÓN

La Unidad Asociada al CSIC-Universidad de Huelva “Contaminación Atmosférica” realiza desde el año 2021 distintos estudios dentro del “*Servicio para la elaboración de planes de mejora de calidad del aire: Estudio de la contaminación atmosférica por material particulado atmosférico y ozono troposférico para la elaboración de los planes de mejora de calidad del aire*” Código de referencia: CONTR 2019 383409. Lote 1, para la Consejería de Agricultura, Ganadería, Pesca y Desarrollo Sostenible de la Junta de Andalucía.

En este resumen se sintetizan los resultados obtenidos sobre la composición química del material particulado atmosférico (MPA, tanto PM10 y PM2.5) y su variabilidad geográfica en estaciones representativas de Andalucía durante el año 2023. Además, se presenta las contribuciones según orígenes de fuentes (componente mineral, aerosol marino, industrial, tráfico, combustión y regional) obtenidas a partir del modelo PMF5 (EPA).

Las conclusiones de los trabajos que se están desarrollando servirán de poyo científico-técnico en las distintas líneas de acción que se proponen en los Planes de Calidad del Aire según el Acuerdo del Consejo de Gobierno por el que se aprueba la formulación de la *Estrategia Andaluza de Calidad del Aire de Andalucía* (fecha 19-4-2016, <https://bit.ly/3tNd8gI>).

2.- METODOLOGÍA

2.1.- Red de Calidad del Aire

Se ha realizado el muestreo de PM₁₀, PM_{2.5} y partículas sedimentables en 22, 6 y 4 estaciones, respectivamente pertenecientes a la Red de Calidad del Aire de Andalucía (Tabla 1).

Tabla 1.- Estaciones de muestreo representativas de la Red de Calidad del Aire de Andalucía y tipo de captadores de MPA.

Estación	Provincia	Tipo de estación	PM ₁₀	PM _{2.5}	Deposición
Matalascañas	Huelva	Rural	x		x
Sierra Norte	Sevilla	Rural	x		
Plaza Castillo	Almería	Fondo Urbano	x		
Ronda de Valle	Jaén	Fondo Urbano	x		
San Fernando	Cádiz	Fondo Urbano	x		
Vva del Arzobispo	Jaén	Fondo Urbano	x	x	
Alcalá Guadaira	Sevilla	Fondo Urbano + Industrial	x		
Bailén	Jaén	Fondo Urbano + Industrial	x		
Campus	Huelva	Fondo Urbano + Industrial	x		x
La Línea	Cádiz	Fondo Urbano + Industrial	x		
La Rábida	Huelva	Fondo Urbano + Industrial	x		x
Lepanto	Córdoba	Fondo Urbano + Industrial	x	x	
Los Barrios	Cádiz	Fondo Urbano + Industrial	x		
Moguer	Huelva	Fondo Urbano + Industrial	x		
Puente Mayorga	Cádiz	Fondo Urbano + Industrial	x	x	
Carranque	Málaga	Hot spot tráfico	x		
Granada Norte	Granada	Hot spot tráfico	x	x	
Marbella	Málaga	Hot spot tráfico	x	x	
Mediterráneo	Almería	Hot spot tráfico	x		
Palacio de Congresos	Granada	Hot spot tráfico	x		
Príncipes	Sevilla	Hot spot tráfico	x		
Torneo	Sevilla	Hot spot tráfico	x	x	
Los Rosales	Huelva	Hot spot tráfico			x
Total estaciones			22	6	4

Todas las estaciones disponen de instrumentación automática para la medida de gases contaminantes (NO, NO₂, NO₂, O₂, CO y SO₂) y MPA (PM₁₀ – PM_{2.5}). Los captadores empleados en la mayoría de los casos son DIGITEL®, tanto secuenciales de bajo (DPA-14) como alto volumen. Las determinaciones gravimétricas fueron realizadas por LARCA-AMaYA y remitidos a los laboratorios de la Unidad Asociada en la Universidad de Huelva.

2.2.- Análisis químico

Se ha realizado el análisis químico de componentes inorgánicos de MPA mediante técnicas multielementales tales como ICP-MS, ICP-OES, CI y análisis elemental de especies de C. La caracterización química total es básica para la estimación de la contribución de fuentes según el modelo PMF v.5 (<https://bit.ly/2KNBLUa>).

Después del análisis gravimétrico de los filtros, se efectúa el tratamiento previo al análisis basado en el método desarrollado por Querol et al. (2004, *J Aerosol Science* 35: 1151-1172), que consiste en una digestión ácida total para el análisis de elementos mayoritarios y traza, lixiviación para el

análisis iónico, y una combustión para la determinación del contenido en carbono en cada una de las muestras de la fracción insoluble.

Los trabajos que realizan la Unidad Asociada CSIC-UHU “Contaminación Atmosférica” están validados a través de las certificaciones ISO9001 (ER 1227/2011) e ISO14001 (GA-2011/0643) a través de AENOR desde el año 2011 (<http://bit.ly/2AnQ9KL>) y auditada anualmente.

Con relación a la digestión ácida, se introduce 1/2 del filtro de 47 mm ó 150 mm de diámetro en una bomba de PFA (Savillex®) de 60 ml con 1.25 ml de HNO₃ y 2.5 ml de HF para filtros sedimentables, y el doble para filtros de partículas en suspensión y se cierra la bomba. Esta se introduce durante un mínimo de 4 horas en una estufa a 90 °C. Los ácidos utilizados son Merck con una pureza del 65% el HNO₃ y 40% el HF.

Transcurrido este tiempo, se extrae la bomba de la estufa y la solución existente se deja evaporar en una placa a 230°C tras haber añadido 1.25-2.5 ml de HClO₄ (también Merck, 60% de pureza) y se deja evaporar entre 3 y 6 horas. La relación de los ácidos siempre debe ser de 1:2:1 (HNO₃:HF:HClO₄) cuando se trabaja con filtros de fibra cuarzo con material particulado. El HNO₃ tiene la función de disolver la materia orgánica (restos vegetales e insectos) y carbonatos, mientras que el HF disuelve partículas de aluminosilicatos y el propio filtro. Posteriormente se añade el HClO₄ con el fin de digerir la materia orgánica más resistente.

Una vez se evapora la solución ácida queda un residuo sólido seco o “perla” que se disuelve por la adición de 0.5 ó 2.5 ml HNO₃ y agua bi-distilada (grado Milli-Q) hasta enrasar 10 ó 50 ml de solución en un matraz, según se trate de los filtros de 47 mm ó 150 mm, con lo que se obtiene una solución acidificada al 5% de HNO₃. Esta solución puede analizarse tanto con ICP-OES como con ICP-MS.

La misma rutina se realiza con los filtros blancos y el material standard de referencia que se utilizan para asegurar la correcta realización y análisis de las muestras. En nuestro caso se trata de NIST1633c (ash-fly).

Todos los análisis se realizarán en los laboratorios del Centro de Investigación en Química Sostenible (CIQSO) de la Universidad de Huelva empleándose técnicas multielementales (Fig. 1).

- Las concentraciones de elementos: Ba, Cr, Cu, Ni, Pb, Sr, Zn, As, Co, Li, Be, Sc, Ga, Ge, Se, Rb, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Hf, Ta, Bi, Hg, Tl, W fueron realizados mediante un equipo **ICP-MS** (AGILENT 7900®) de los Servicios de Instrumentación Científica del Centro de Investigación en Química Sostenible (SIC-CIQSO, <http://www.uhu.es/ciqso/servicios-cientificos.html>) de la Universidad de Huelva. Este equipo fue instalado en CIQSO en octubre de 2015, tratándose de un equipo de última

generación en ICPMS octopolar y celda de colisión con He, lo que permite minimizar cualquier tipo de interferencia atómica. La sintonía del equipo fue realizada mediante una solución de 10 ppb de Li, Y y Tl. La calibración empleada fue externa con soluciones cóctel de CLARITAS PPT (Spex 1, 2 y 4) de 1, 10, 50 y 100 ppb además de un blanco al 5% de HNO₃.

- Las concentraciones de elementos: Ca, S, Al, Fe, V, K, Ti, Na, Mg, Mn, Pb, Sr, Ba, Zn, Cu, Cr, Ni y P fueron realizados mediante un equipo **ICP-OES** (AGILENT 5110®) de los mismos Servicios de Instrumentación Científica de CIQSO. Este equipo fue instalado en CIQSO en julio de 2018. Se empleó una calibración externa, utilizándose para ello una solución patrón de blanco, 0.05 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm y 100 ppm. Los estándares de calibración utilizados son las soluciones mono-elementales de Agilent Technologies de 1000 µg/ml (Ca, Cu, Fe, K, Bi, Mg, Mn, Na, Ni, P, Ti y Al) y S (100 ppm). La secuencia de análisis consistió en blanco, 0.05 ppm, 0.5 ppm, 1 ppm, 5 ppm, 10 ppm, 10 ppm, 25 ppm, 50 ppm y 100 ppm, blancos de filtros, material de referencia, muestras, blanco, monitor (std 0.5 ppm) etc. Se introdujo Y como patrón interno.
- Para conocer la composición química de la fracción soluble (aniones SO₄²⁻, Cl⁻, y NO₃⁻ y de cationes solubles como NH₄⁺), una alícuota de cada muestra filtrada fue analizada mediante **Cromatografía Iónica**.
- La concentración de C y especies (orgánico y elemental) se realiza mediante un equipo **termo-óptico** SUNSET.

Con objeto de controlar la calidad de los resultados, se analiza al mismo tiempo en el ICP-OES e ICP-MS el standard NIST 1633c (ash fly) obteniéndose con una precisión y exactitud entre el 5-10% en la mayoría de los elementos analizados. En los metales analizados, el límite de detección es superior a 0.1 ng/m³ en las muestras correspondiente a los filtros de 47 mm. Níquel muestra en algunos filtros blancos altos niveles, siendo necesario la incorporación de un muestreo específico para contribución de fuentes y evitar el ataque total del filtro.



Figura 1.- Instrumentación empleada en el análisis de elementos traza (ICP-MS, Agilent 7900), mayores (ICP-OES, Agilent 5110), iones (Cromatografía Iónica, Methrom) y especies de C (Sunset), respectivamente.

2.3.- Contribución de Fuentes PMF5

En el presente estudio se ha aplicado el modelo receptor PMF versión 5 (Positive Matrix Factorization, Paatero y Tapper, 1994; <https://bit.ly/2KL1ixe>), para la identificación de las principales fuentes de MPA existentes en las estaciones analizados durante el año 2021-2023.

Este modelo organiza los datos experimentales mediante el método de mínimos cuadrados y los agrupa en factores, asimilables a fuentes o procesos de formación de partículas, calculando el peso de cada dato analizado en función del grado asociado de incertidumbre. La estimación de la incertidumbre de los datos se ha llevado a cabo según el método desarrollado por Polissar et al. (1998, *J Geoph Res* 103: 19045-19057) modificado para incluir también la incertidumbre asociada al uso de los filtros blancos (Amato et al., 2009, *Atm Env* 42: 9007-9017). El modelo PMF requiere un alto número de muestras para que el análisis sea suficientemente robusto.

3.- RESULTADOS

3.1.- Composición química y mapas geoquímicos de PM10

En las Figuras 2 a 4 se representan los mapas geoquímicos de PM10 de componentes de material mineral, aerosol marino y Compuestos Inorgánicos Secundarios (CIS).

Las mayores concentraciones de **C_{total}** se han registrado en Villanueva del Arzobispo ($7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Granada Norte ($6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo ($5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén ($5.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Lepanto ($4.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y Palacio de Congresos, Príncipes y Alcalá de Guadaira (todos con $4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las estaciones poseen concentraciones inferiores a $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. También las concentraciones máximas de **C_{orgánico}** se han obtenido en Villanueva del Arzobispo ($6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Granada Norte ($4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén y Torneo (ambos con $4.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En relación a **C_{elemental}**, la máxima concentración se ha determinado en Granada Norte ($1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo ($1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Bailén ($1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Villanueva del Arzobispo ($1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Las máximas concentraciones de **Al₂O₃** se han registrado en Palacio de Congresos ($1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Vva del Arzobispo y Moguer ($1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén y Granada Norte ($1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las estaciones están comprendidas entre 1.4 y $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación a **Ca**, destacan las estaciones de Palacio de Congresos ($2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Villanueva del Arzobispo, Bailén, Granada Norte y Marbella (todas con $1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Como en años anteriores, las máximas concentraciones se observan en Andalucía Oriental en comparación con Occidental, estando relacionadas con la resuspensión de roca carbonatada, propia de la Cordillera Bética.

Las mayores concentraciones de **Mg** se han registrado en Marbella ($0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida por Palacio de Congresos ($0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y Granada Norte ($0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las estaciones poseen concentraciones inferiores a $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones de **Fe** en PM10 son superiores en las estaciones de Torneo ($1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Granada Norte y Marbella (ambos $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y Palacio de Congresos y Príncipes (ambos $0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiendo a las estaciones hot-spot de tráfico.

En relación a **fosfato**, destaca La Rábida con un valor máximo de $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En el resto de estaciones no se ha observado la presencia de una anomalía apreciable.

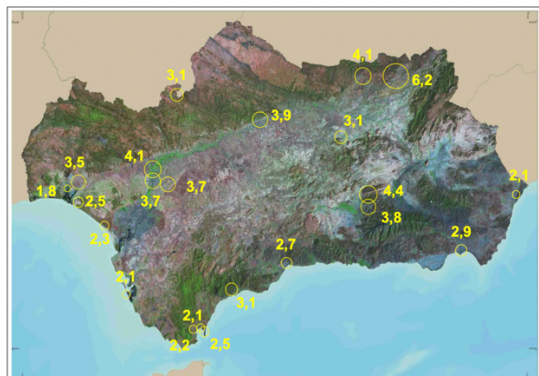
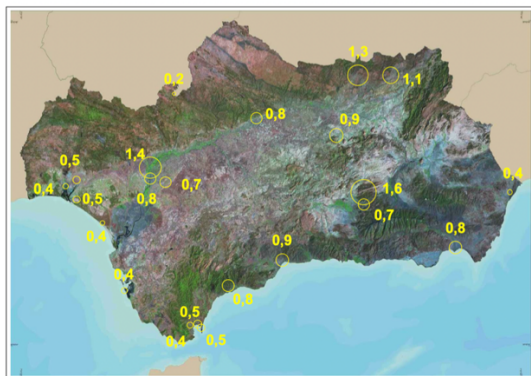
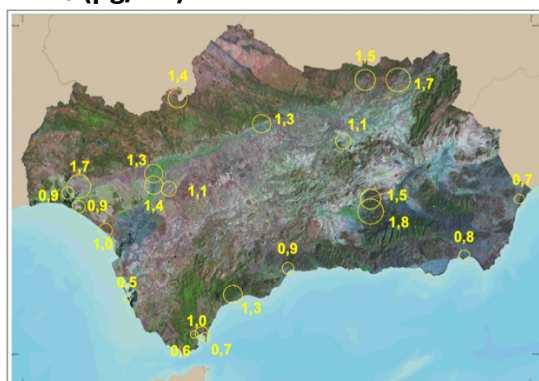
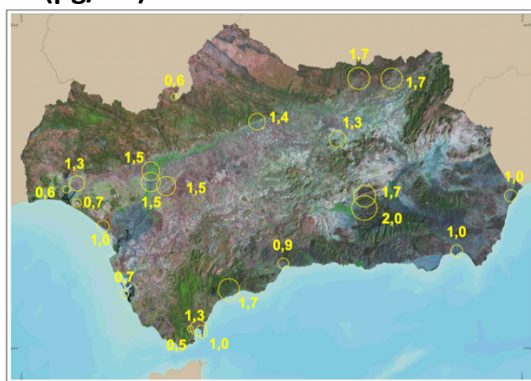
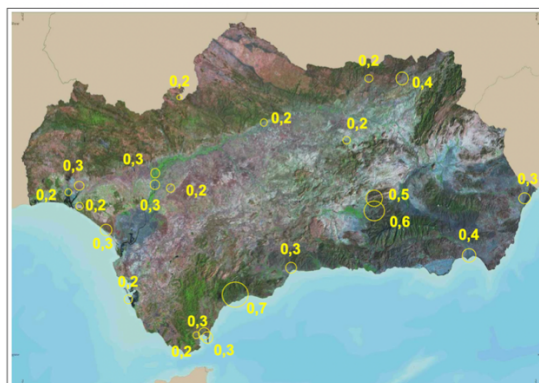
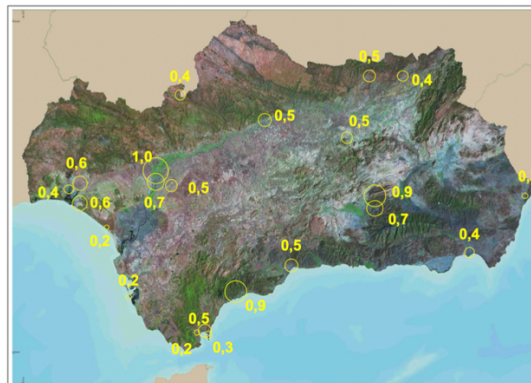
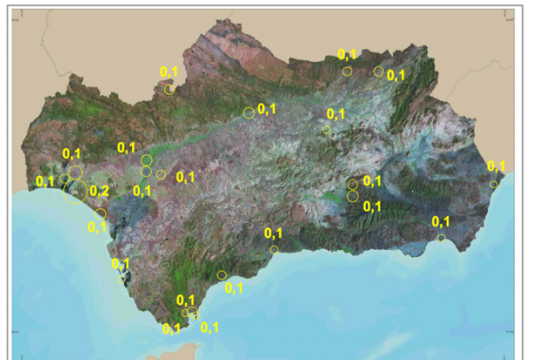
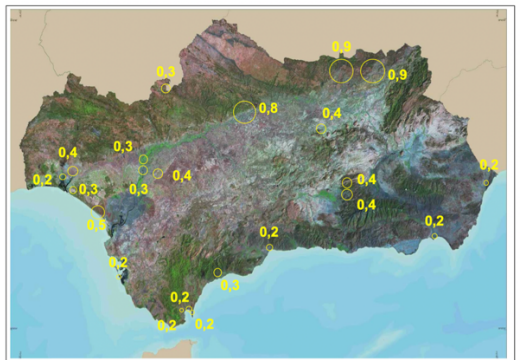
C orgánico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**C elemental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)** **Al_2O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Mg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fosfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 2.- Mapas geoquímicos de componente mineral en PM10 de Andalucía. Año 2023.

En relación a **K**, la máxima concentración se ha obtenido en Bailén y Villanueva del Arzobispo ($0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Es de destacar también las altas concentraciones de Lepanto ($0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de estaciones presentan concentraciones iguales e inferiores a $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Las altas concentraciones de C no mineral y K se asocian a procesos de combustión, principalmente de biomasa.

Las máximas concentraciones de **aerosol marino (Cl y Na, Figura 3)** se registran en las estaciones costeras tanto del Mediterráneo como Atlántico.

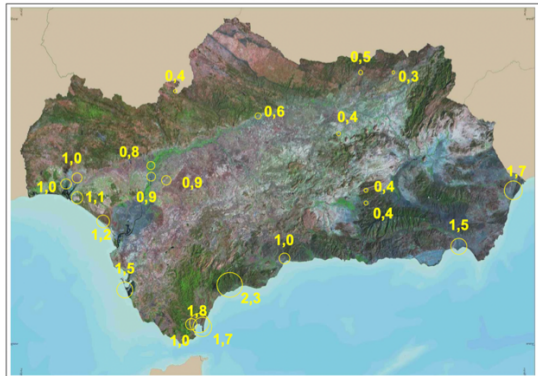
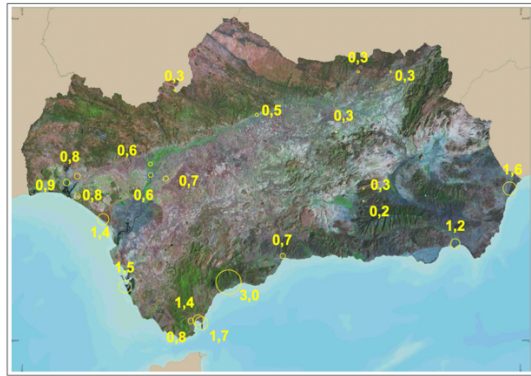
Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 3.- Mapas geoquímicos de Na y Cl en PM10 de Andalucía. Año 2023.

La mayor concentración de **sulfato nss (antropogénico)** se ha observado en Puente Mayorga ($2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Bailén ($1.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), La Rábida, La Línea, Plaza Castillo y Mediterráneo (todas con $1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 4). El resto de estaciones posee promedios anuales comprendidos entre 1.5 y $0.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La mayor concentración media de **nitrato** se ha obtenido en las estaciones de fondo urbano de Mediterráneo y Puente Mayorga ($2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida de las estaciones de Plaza Castillo ($2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Marbella ($1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 4). La mínima concentración fue en Sierra Norte ($0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La concentración promedio anual de **amonio** es muy similar en todas las estaciones de estudio, con un valor máximo en la estación de Mediterráneo ($0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y el resto de estaciones entre 0.2 y $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

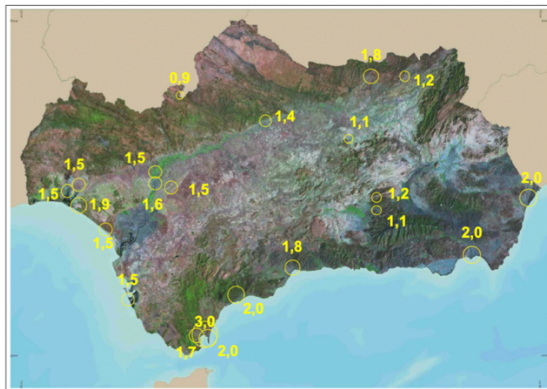
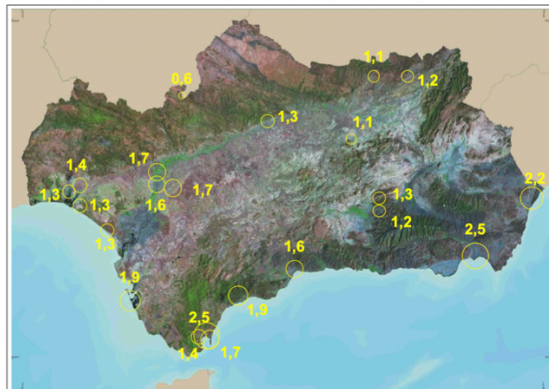
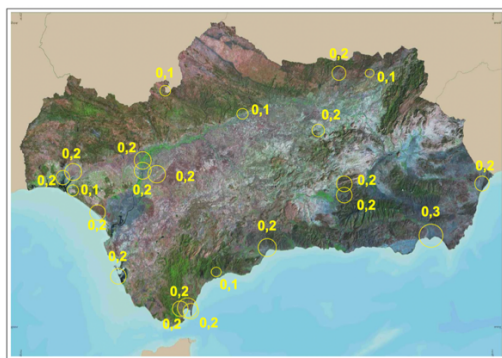
Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Amonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 4.- Mapas geoquímicos de Compuestos Inorgánicos Secundarios (CIS) en PM10 de Andalucía. Año 2023.

En la [Figura 5](#) se representan los mapas de composición química de PM10 de elementos traza representativos.

Las concentraciones de **Li** son generalmente bajas y no superan $0.8 \text{ ng}/\text{m}^3$ en Palacio de Congresos. Los valores más altos de **V** se han registrado en Bailén ($27.6 \text{ ng}/\text{m}^3$), seguidos de Puente Mayorga ($6.8 \text{ ng}/\text{m}^3$), La Línea ($5.3 \text{ ng}/\text{m}^3$), Carranque ($5.0 \text{ ng}/\text{m}^3$) y Los Barrios ($4.7 \text{ ng}/\text{m}^3$). Las fuentes de V están relacionadas principalmente con la actividad petroquímica y la combustión de productos derivados del petróleo tal como fuel y coque. El resto de las estaciones de Andalucía poseen valores inferiores a $4.0 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Con relación a **Cr** se observa una importante anomalía en La Línea y Puente Mayorga (respectivamente: 13.4 y $10.6 \text{ ng}/\text{m}^3$), seguido por Marbella ($7.4 \text{ ng}/\text{m}^3$), Torneo ($6.2 \text{ ng}/\text{m}^3$), Los Barrios ($5.8 \text{ ng}/\text{m}^3$) y Granada Norte ($4.8 \text{ ng}/\text{m}^3$). La fuente principal en Campo de Gibraltar de Cr se encuentra en ACERINOX según los estudios previos realizados desde el año 2003 en el ámbito del Plan de Calidad del aire de Bahía de Algeiras.

Mn es un elemento típicamente crustal y procedente de zonas de fundición relacionadas con Fe-Mn. Los valores más altos se han observado en Torneo ($14.0 \text{ ng}/\text{m}^3$) y Príncipes ($11.8 \text{ ng}/\text{m}^3$) seguido de Granada Norte ($11.5 \text{ ng}/\text{m}^3$) y Marbella ($11.2 \text{ ng}/\text{m}^3$). Las estaciones de Sierra Norte,

Torneo, y Puente Mayorga también poseen concentraciones promedio anuales de Mn relativamente altas (10.8, 10.6 y 10.0 ng/m³, respectivamente).

Las máximas concentraciones de **Co** se han registrado en la estación de Puente Mayorga (0.5 ng/m³) y Marbella (0.4 ng/m³), siendo las concentraciones en el resto de las estaciones inferiores a 0.3 µg/m³.

Las estaciones de Campo de Gibraltar alcanzan las mayores concentraciones de **Ni** en PM10. En concreto, La Línea es la estación donde se ha registrado las máximas concentraciones (12.2 ng/m³), valor inferior al fijado por la DIRECTIVA 2004/107/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 15 de diciembre de 2004 relativa al arsénico, el cadmio, el mercurio, el níquel y los hidrocarburos aromáticos policíclicos en el aire ambiente, de 20 ng/m³. También se han obtenido altas concentraciones en Puente Mayorga y Bailén (ambos 9.1 µg/m³), Los Barrios (7.1 ng/m³) y Marbella (6.2 ng/m³). La menor concentración se alcanzó en Campus (1.2 ng/m³), constituyendo el fondo geoquímico de Ni en PM10 en el año 2023.

Los valores promedio anuales de **Cu** en PM10 máximos se han obtenido en la estación de La Rábida (263 ng/m³), seguido por Matalascañas (73.8 ng/m³), Campus (32.2 ng/m³), Moguer (32.1 ng/m³), Torneo (24.9 ng/m³) y Lepanto (19.3 ng/m³). El resto no superan 16.3 ng/m³. Salvo Matalascañas, el resto de estaciones con alta concentración de Cu se corresponden con ámbitos con influencia industrial y hot-spot tráfico.

Zn también se encuentra en altas concentraciones en La Rábida (64.3 ng/m³), Lepanto (63.9 ng/m³) y La Línea (50.1 ng/m³). El resto de las estaciones poseen valores inferiores (Torneo: 33.8 ng/m³, Príncipes: 36.7 ng/m³, Moguer 33.2 ng/m³ y Puente Mayorga: 30.2 ng/m³, entre otras).

Ga posee concentraciones muy bajas, inferiores a 0.4 ng/m³.

Las máximas concentraciones de **As** se encuentran en las estaciones del Entorno de la Ría de Huelva, destacando La Rábida (7.5 ng/m³), Moguer (4.2 ng/m³) y Campus Universitario (3.0 ng/m³). El valor de la concentración media registrada en las estaciones señaladas es inferior al valor límite objetivo descrito en la DIRECTIVA 2004/107/CE En el caso del As la fuente principal procede de las empresas del Polígono Punta del Sebo (Atlantic Cooper y empresas de fabricación de fertilizantes). El valor promedio en Campus de entorno a 3 ng/m³ se mantiene en los últimos 9 años ([Sánchez de la Campa et al. 2018](#)).

Al igual que en años anteriores, **Se** posee un importante descenso en comparación con años anteriores. Situándose en valores de fondo inferiores a 0.2 ng/m³.

Las concentraciones máximas de **Rb** se observan en Andalucía Oriental, principalmente en Bailén (1.8 ng/m³), Lepanto y Moguer (ambos con 1.6 ng/m³), y las estaciones de Palacio de Congresos

y Villanueva del Arzobispo (ambos con 1.5 ng/m^3) y Sierra Norte (1.4 ng/m^3), coincidiendo con los máximos de K, afín desde un punto de vista geoquímico a Rb.

En Andalucía Oriental, las estaciones de Palacio de Congresos y Granada Norte (9.7 y 8.4 ng/m^3 , respectivamente), Marbella (5.7 ng/m^3), Villanueva del Arzobispo (5.5 ng/m^3), y Bailén (5.0 ng/m^3), experimentan los máximos valores de **Sr**. Se recuerda que estas estaciones se clasifican dentro del grupo hot-spot tráfico, y en el caso de Villanueva del Arzobispo fuertemente influenciada por combustión de biomasa doméstica. El resto de las estaciones se encuentra en el rango de $4.5\text{-}2.4 \text{ ng/m}^3$.

En relación a **Y** y **Zr**, ambos elementos poseen comportamientos muy parecidos. Los valores de Y están comprendidos entre $0.6\text{-}0.3 \text{ ng/m}^3$, siendo los máximos los alcanzados en las estaciones de tráfico y en Villanueva del Arzobispo ($0.6\text{-}0.5 \text{ ng/m}^3$). En el caso de Zr, los máximos también se alcanzan en Marbella (3.9 ng/m^3).

Todas las estaciones de la geografía andaluza presentan valores de **Nb** inferiores a 0.2 ng/m^3 no observándose anomalías relevantes.

La estación de La Rábida posee las máximas concentraciones de **Cd** (1.0 ng/m^3), seguido de Moguer y Campus (0.5 y 0.4 ng/m^3 , respectivamente). El resto de las estaciones registran concentraciones inferiores a 0.3 ng/m^3 . Las concentraciones obtenidas poseen valores inferiores al límite objetivo descrito en la DIRECTIVA 2004/107/CE.

Altos contenidos en **Sn** y **Sb** se han registrado en las estaciones de fondo urbano con influencia de tráfico. Con relación a **Sn**, cabe destacar Torneo (5.2 ng/m^3), seguida de Marbella (4.3 ng/m^3) y Granada Norte (3.9 ng/m^3). El resto de las estaciones presentan concentraciones de Sn inferiores a 2.5 ng/m^3 , siendo las menores concentraciones las registradas en Sierra Norte, Matalascañas, Plaza Castillo, y Villanueva del Arzobispo (0.6 a 0.4 ng/m^3 , respectivamente).

Las mayores concentraciones de **Sb** se registraron en Lepanto (2.9 ng/m^3), Torneo (2.1 ng/m^3), Granada Norte y Marbella (1.8 ng/m^3). El resto de las estaciones registran concentraciones inferiores a 1.3 ng/m^3 . Los mínimos promedios se han obtenido en Sierra Norte, Villanueva del Arzobispo y Matalascañas (0.3 ng/m^3).

Las mayores concentraciones de **Ba** se han registrado valores relevantes en Torneo (31.1 ng/m^3), Marbella (29.6 ng/m^3), Granada Norte (22.9 ng/m^3), Palacio de Congresos y Alcalá de Guadaira (ambos con 19 ng/m^3). Plaza Castillo y San Fernando poseen las concentraciones más bajas con 8.2 y 8.5 ng/m^3 , respectivamente.

Puente Mayorga posee las mayores concentraciones promedio de **La** en PM10 en el año 2023, ha sido 2.1 ng/m^3 . El resto de las estaciones posee concentraciones inferiores a 0.7 ng/m^3 .

Ce se encuentra en altas concentraciones en las estaciones de Andalucía Oriental, comprendidas entre 1.4 a 0.6 ng/m³, mientras que en Andalucía Occidental los valores varían entre 1.1 a 0.4 ng/m³, con la excepción de Moguer, donde las concentraciones son de 1.5 ng/m³. Las ratios La/Ce de Puente Mayorga indica un origen antropogénico para La a partir de las emisiones de la planta FCC de la Refinería de San Roque.

Hf y **W** no poseen anomalías importantes en las estaciones estudiadas, siendo próximos al límite de detección.

Las máximas concentraciones de **Pb** se han descrito en La Rábida (34.9 ng/m³), Moguer (14.6 ng/m³), Bailén (12.9 ng/m³), Torneo (11.3 ng/m³), Campus (9.8 ng/m³) y Príncipes (9.1 ng/m³). El resto de las estaciones poseen valores inferiores a 6.2 ng/m³. En ningún caso se supera el límite propuesto por la DIRECTIVA 2004/107/CE.

Las anomalías observadas en Bi se mantienen como en años anteriores en el Entorno de la Ría de Huelva se mantienen. No obstante, la máxima concentración de **Bi** ha sido obtenida en Torneo (1.20 ng/m³), seguida de La Rábida (1.1 ng/m³), Moguer (0.8 ng/m³) y Campus (0.5 ng/m³).

Finalmente, **Th** y **U** se encuentran, en general, próximos al límite de detección (0.2 ng/m³). En ambos casos no se observa una anomalía geoquímica apreciable en las estaciones estudiadas.

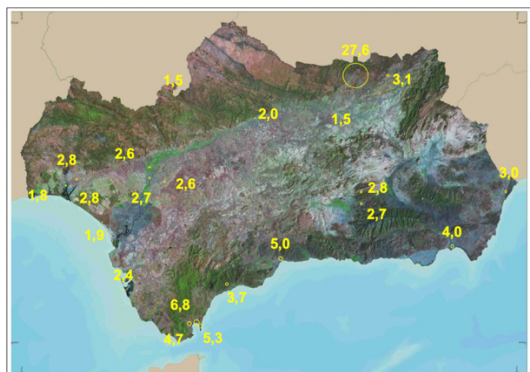
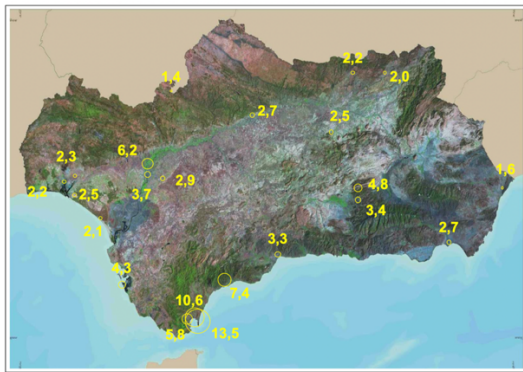
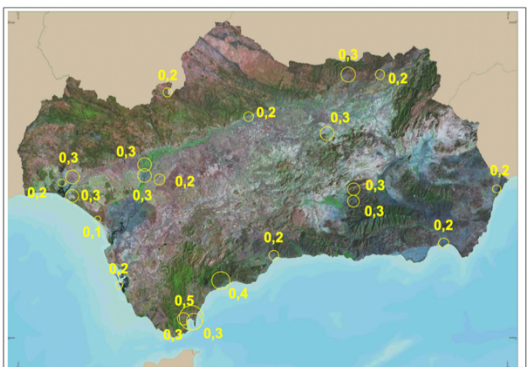
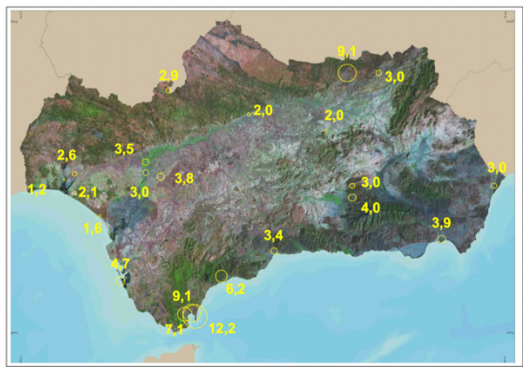
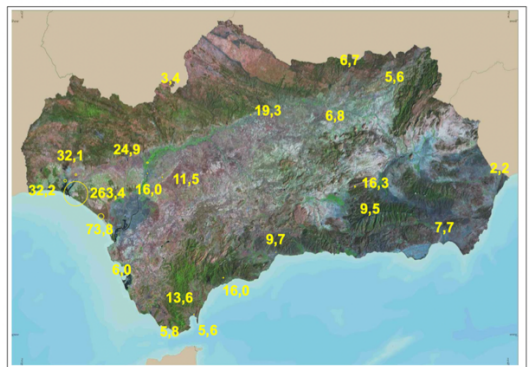
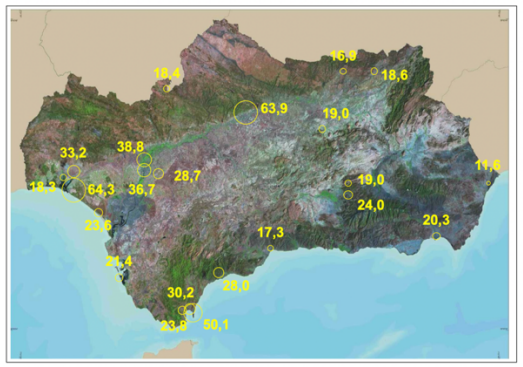
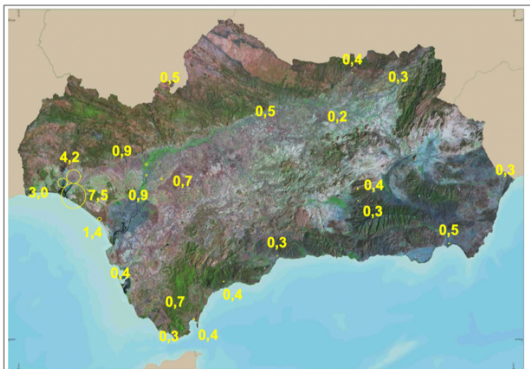
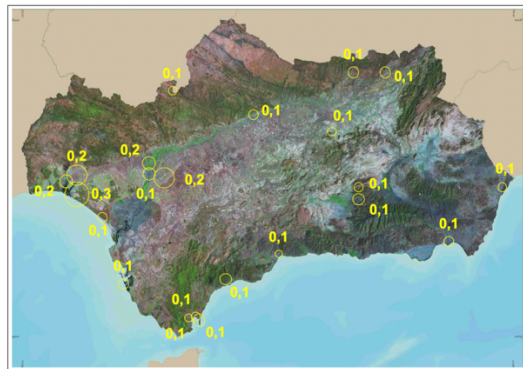
V (ng/m³)**Cr (ng/m³)****Co (ng/m³)****Ni (ng/m³)****Cu (ng/m³)****Zn (ng/m³)****As (ng/m³)****Se (ng/m³)**

Figura 5.- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2023.

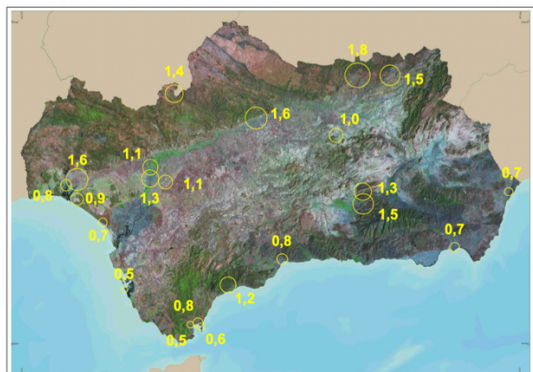
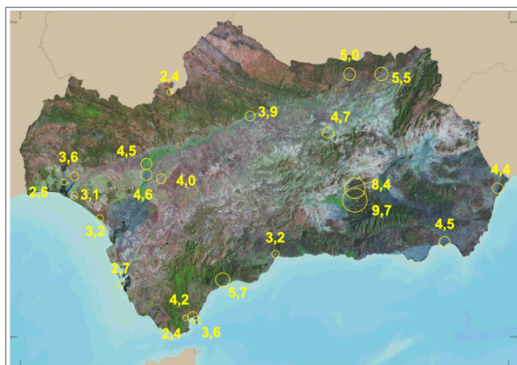
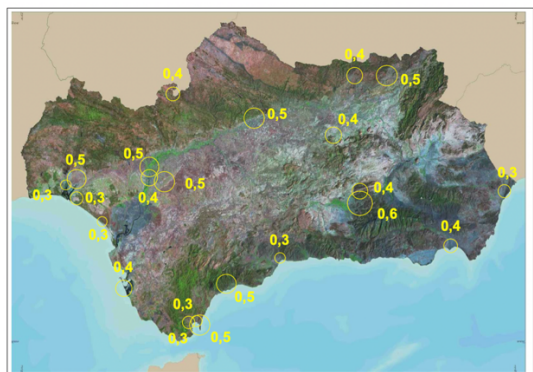
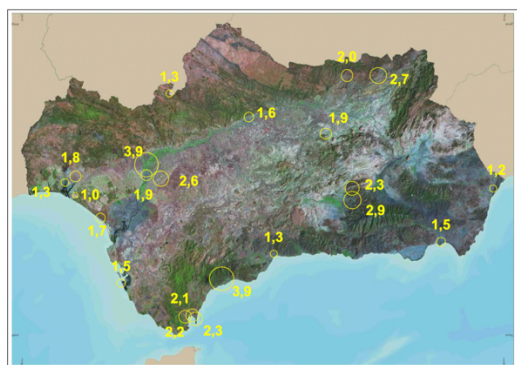
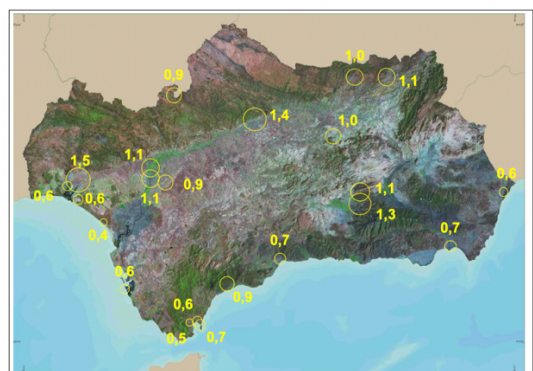
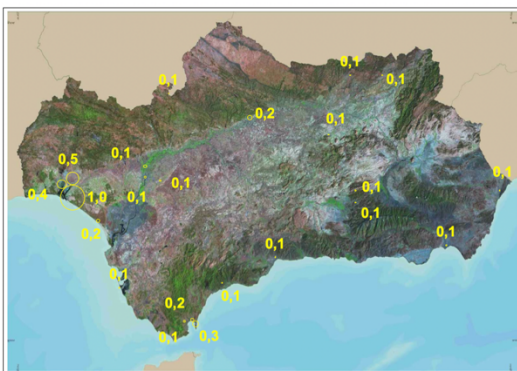
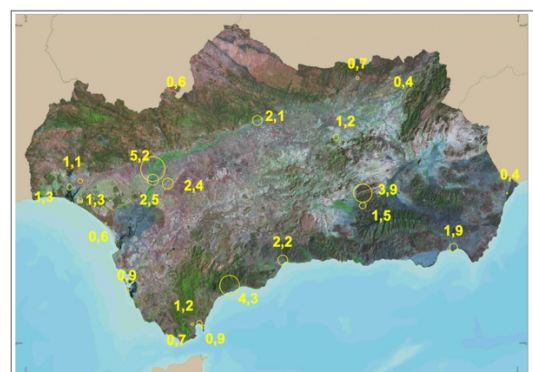
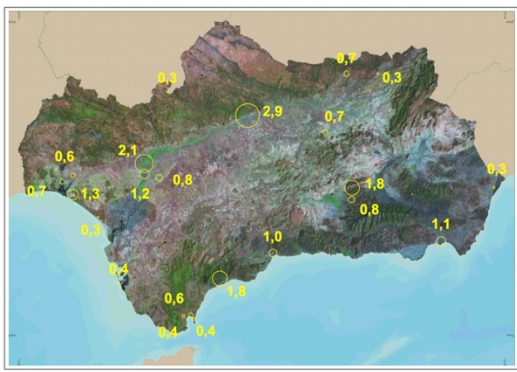
Rb (ng/m³)**Sr (ng/m³)****Y (ng/m³)****Zr (ng/m³)****Ce (ng/m³)****Cd (ng/m³)****Sn (ng/m³)****Sb (ng/m³)**

Figura 5 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2023.

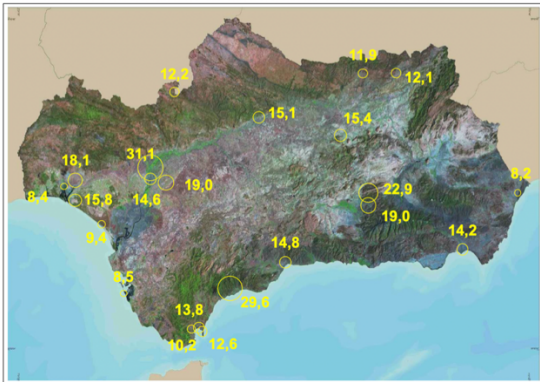
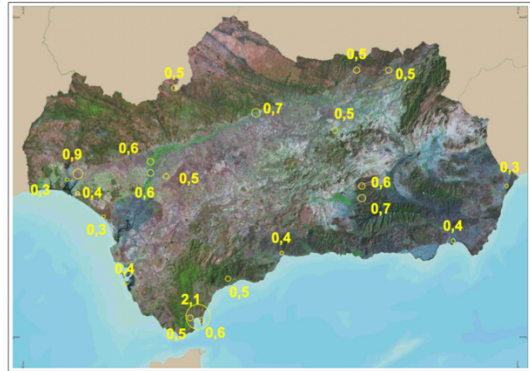
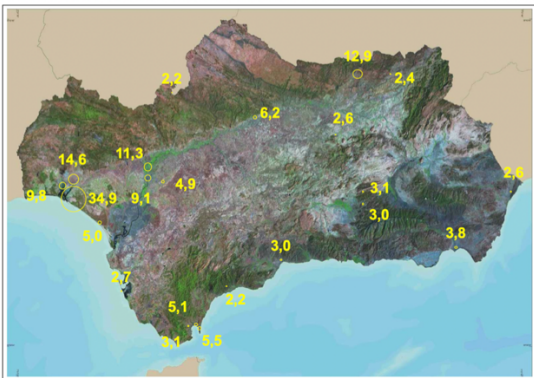
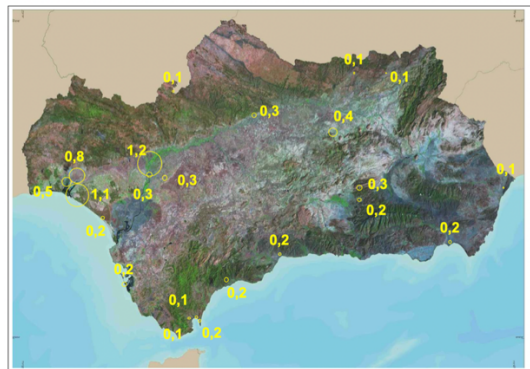
Ba (ng/m³)**La (ng/m³)****Pb (ng/m³)****Bi (ng/m³)**

Figura 5 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2023.

3.2.- Composición química y mapas geoquímicos de PM2.5

En las Figuras 6 a 8 se representan los mapas geoquímicos de PM2.5 de componentes de material mineral, aerosol marino y Compuestos Inorgánicos Secundarios (CIS).

Las concentraciones de elementos relacionados con la **materia mineral** (Al_2O_3 , Ca e Fe) son muy bajas y similares en todas las estaciones, variando de 0.2 a 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, para Al_2O_3 y Ca, y de 0.1 a 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para el caso del Fe.

Mg y **fosfato** poseen valores muy bajos, no distinguiéndose anomalías geoquímicas en las estaciones seleccionadas. Lepanto y Vva del Arzobispo presentan la máxima concentración de K (ambos con 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el resto de las estaciones en valores inferiores a 0.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

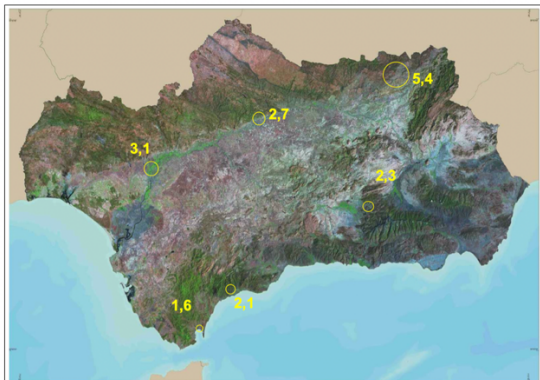
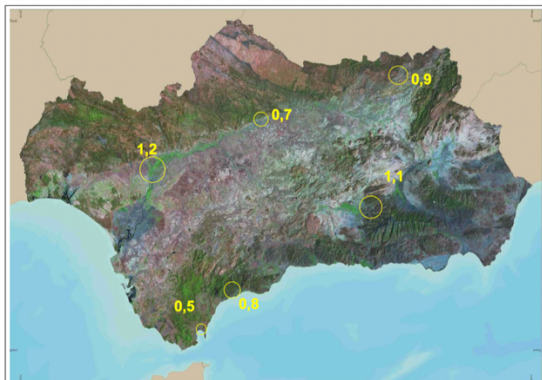
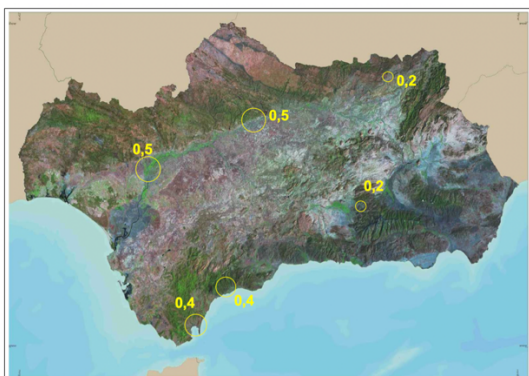
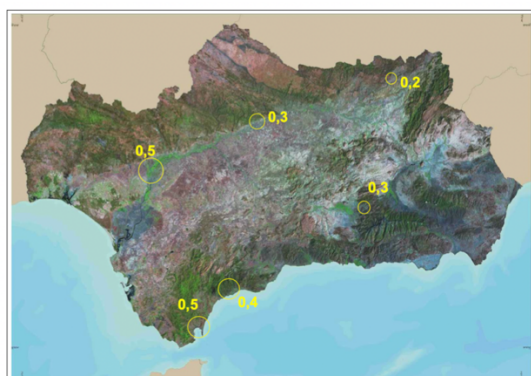
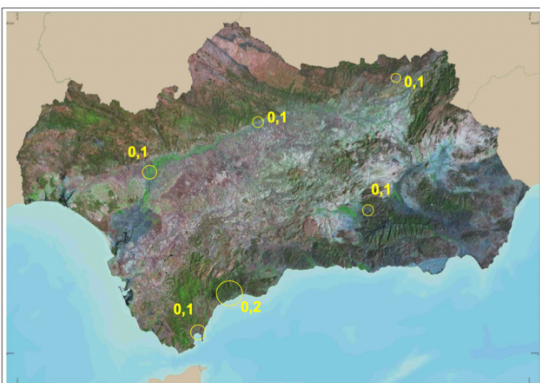
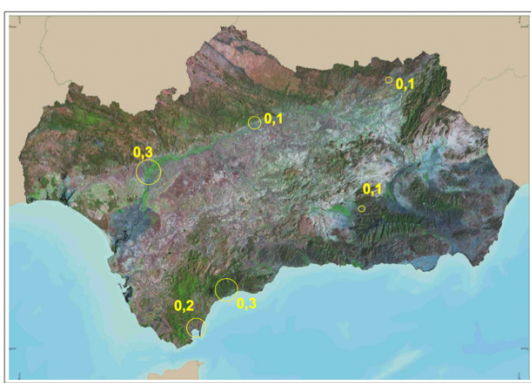
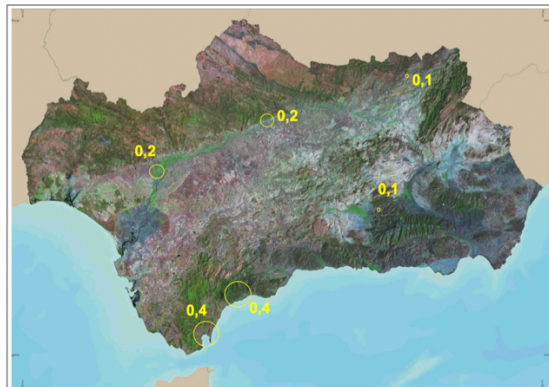
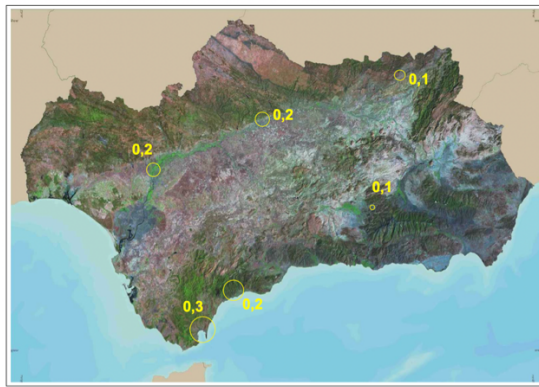
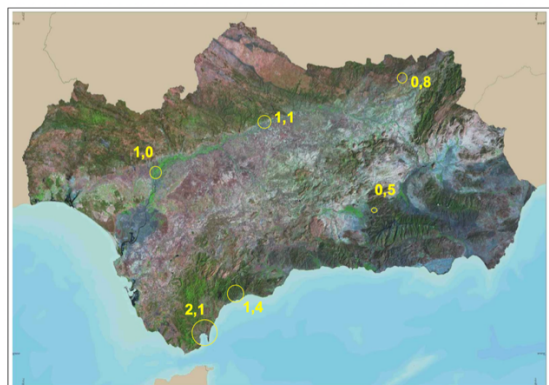
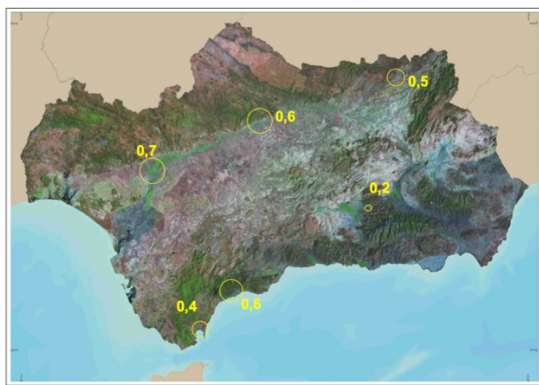
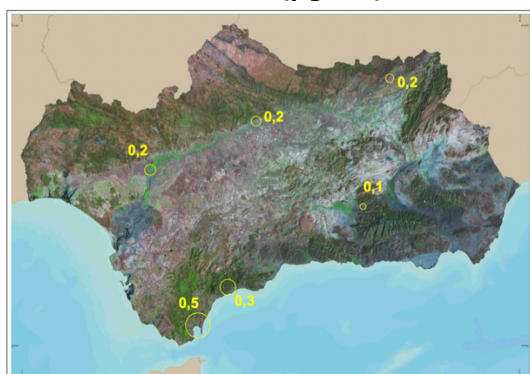
C orgánico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**C elemental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)** **Al_2O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Mg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 6.- Mapas geoquímicos de componente mineral en PM2.5 de Andalucía.

Elementos relacionados con el **aerosol marino** (Na y Cl) son máximos en Marbella y Puente Mayorga alcanzándose concentraciones de $0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Na y de $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Cl, el caso de Puente Mayorga. También, **sulfato no marino** (antropogénico) es máximo en Puente Mayorga, seguido de Marbella (2.1 y $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Figura 7.- Mapas geoquímicos de Na y Cl en $\text{PM}_{2.5}$ de Andalucía.

Con relación a **nitrato** y **amonio**, los máximos de nitrato se han observado en Torneo ($0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Lepanto y Marbella (ambos con $0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los máximos de amonio se han registrado en Puente Mayorga ($0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Sulfato no marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Amonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Figura 8.- Mapas geoquímicos de Compuestos Inorgánicos Secundarios (CIS) en $\text{PM}_{2.5}$ de Andalucía.

En la [Figura 9](#) se representan los mapas de composición química de PM_{2.5} de elementos traza representativos.

No se ha observado anomalías en **Li, Sc, Ga, Ge, Se, Nb, Cd, Th y U**, elementos traza con concentraciones cercanos al límite de detección (0.2-0.1 ng/m³). **La** presenta una anomalía positiva en Puente Mayorga (1.0 ng/m³).

V y Ni alcanza las máximas concentraciones en Puente Mayorga y Marbella (V: 5.4 y 3.4 ng/m³, respectivamente; y Ni: 6.9 y 5.0 ng/m³, respectivamente). La anomalía principal de **Cr y Mn** se encuentra en Puente Mayorga, (8.1 ng/m³ y 5.4 ng/m³, respectivamente).

Cu y Zn alcanza las máximas concentraciones en Lepanto (13.8 ng/m³ y 52.4 ng/m³, respectivamente). Las concentraciones de Cu y Zn en Lepanto están relacionadas con la industria del latón. La estación Lepanto, presenta también las máximas concentraciones en **Rb** (0.8 ng/m³) y **Sb** (2.4 ng/m³). La máxima concentración de **Pb** se alcanza en Torneo (6.0 ng/m³).

En relación a **As** y con respecto a las estaciones de PM_{2.5} presentadas en este informe, no se observa una anomalía geoquímica destacable, con concentraciones máximas inferiores a 0.6 ng/m³.

Las concentraciones máximas de **Rb** se encuentran en Lepanto (0.8 ng/m³), y las de **Sr** en Torneo y Puente Mayorga (en ambos 1.5 ng/m³), Marbella (1.3 ng/m³), y Lepanto (1.1 ng/m³). Finalmente, se destacan las máximas concentraciones de **Zr** en Marbella (2.8 ng/m³) y **Sn** en Torneo y Lepanto (1.6 ng/m³).

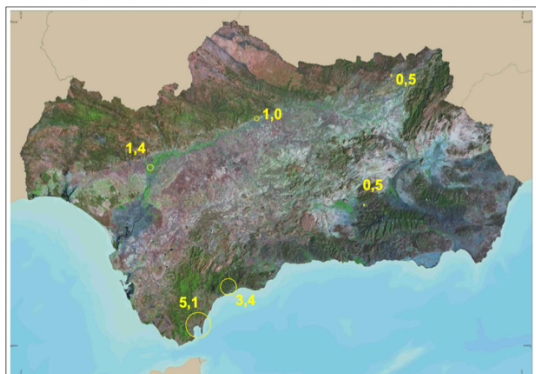
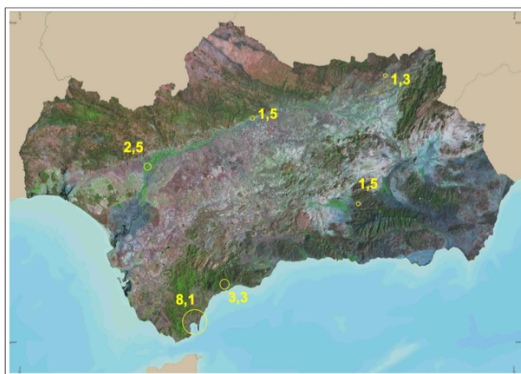
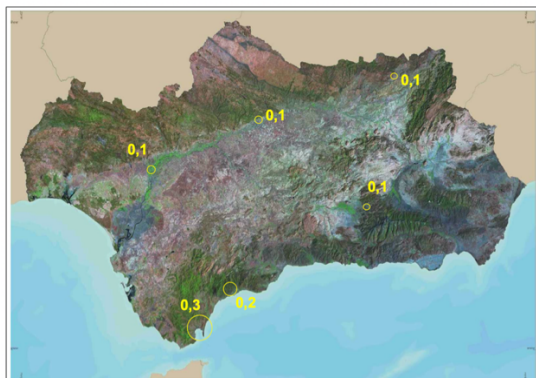
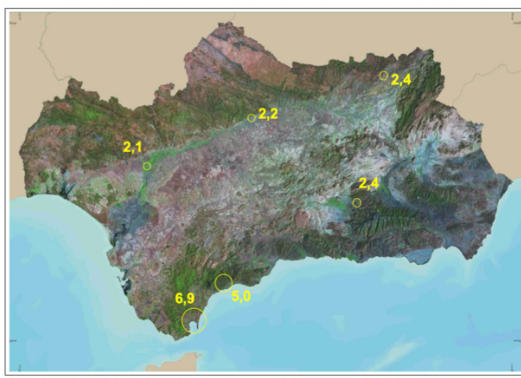
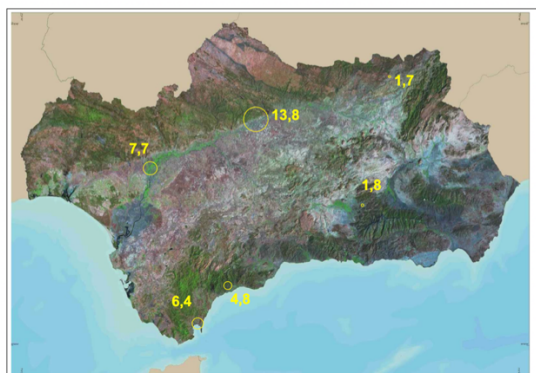
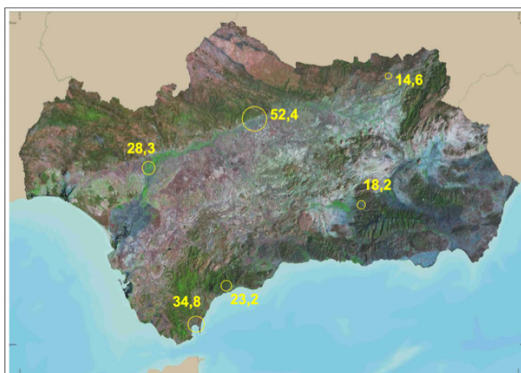
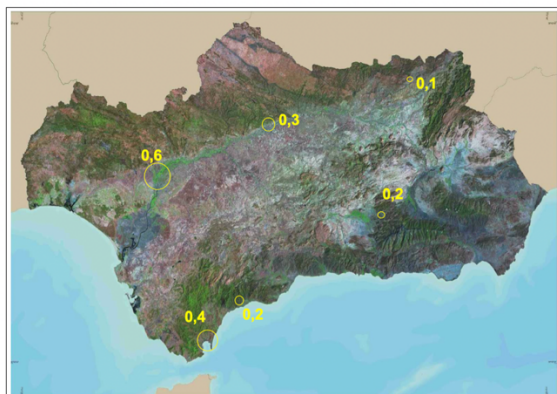
V (ng/m³)**Cr (ng/m³)****Co (ng/m³)****Ni (ng/m³)****Cu (ng/m³)****Zn (ng/m³)****As (ng/m³)**

Figura 9.- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2023.

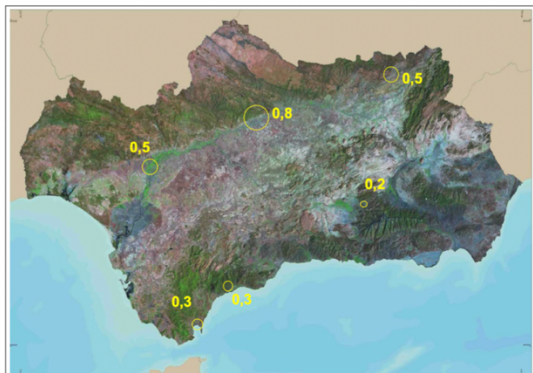
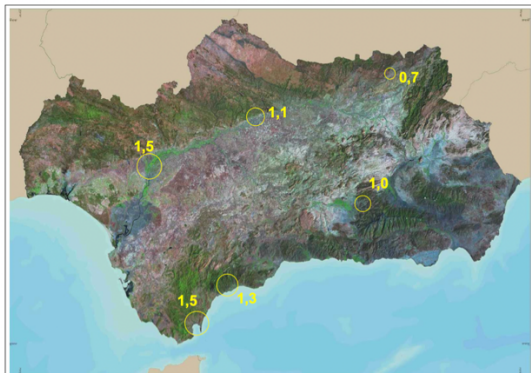
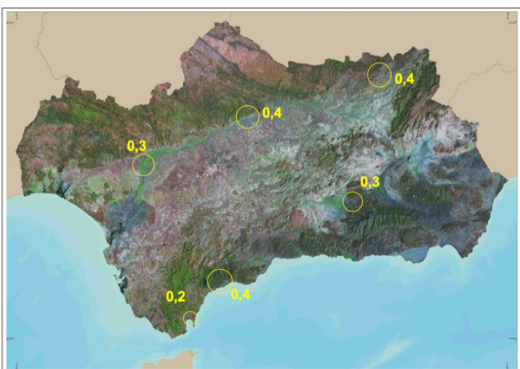
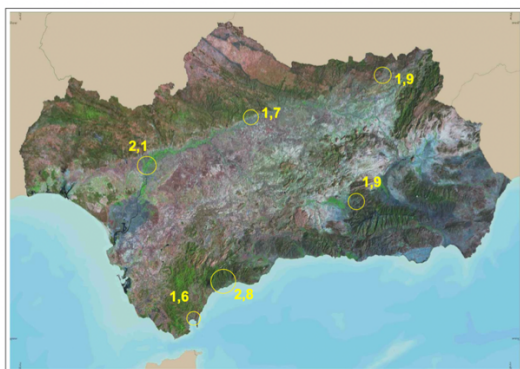
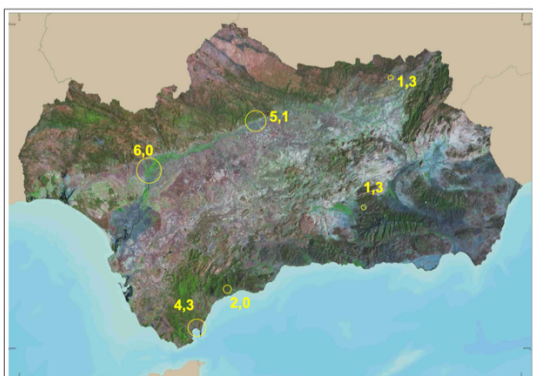
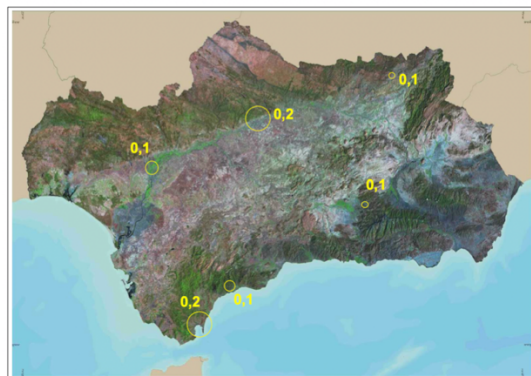
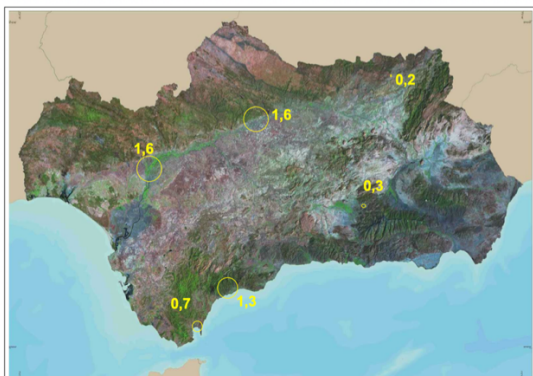
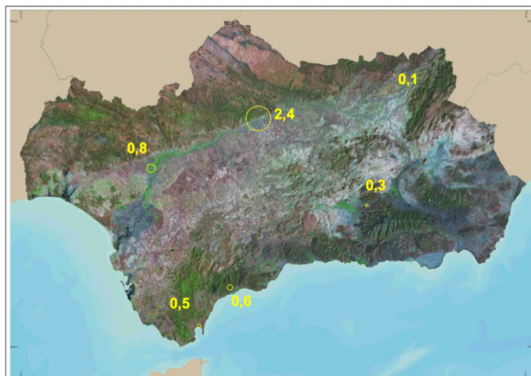
Rb (ng/m³)**Sr (ng/m³)****Y (ng/m³)****Zr (ng/m³)****Pb (ng/m³)****Cd (ng/m³)****Sn (ng/m³)****Sb (ng/m³)**

Figura 9 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2023.

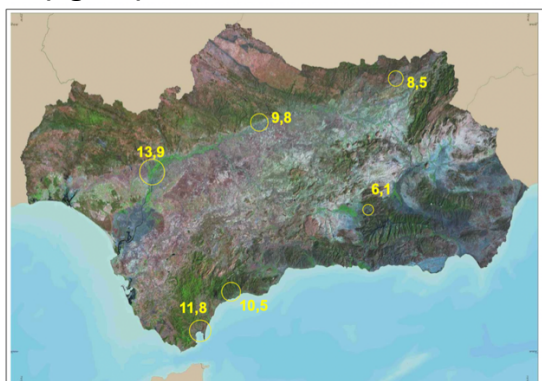
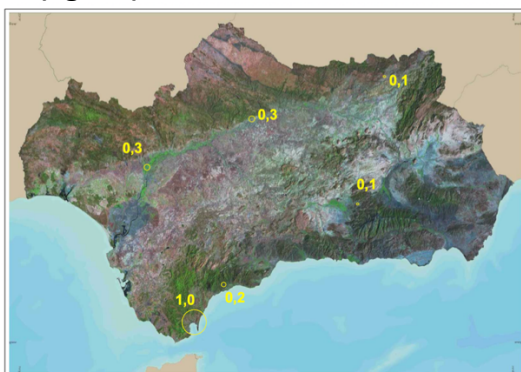
Ba (ng/m³)**La (ng/m³)**

Figura 9 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2023.

3.3.- Contribución de fuentes PMF PM10 y PM2.5

A continuación, se describen las principales fuentes que contribuyen al PM10. Estas fuentes son extensibles a PM2.5.

- Fuente Mineral.** Está constituida principalmente por elementos formadores de minerales de tipo silicatado tales como Al+Fe+Mn+Ti+Mg. y elementos traza (Rb+Sr+Ba+La) y afines a la composición de la corteza terrestre superior (UCC; Rudnick y Gao, 2003). Esta fuente procede de la resuspensión de partículas del suelo, deflacción del viento, desgaste del firme de rodadura por vehículos a motor e intrusiones de polvo procedente del Norte de África. Además, también contribuyen partículas derivadas del movimiento de partículas relacionadas con actividad portuaria, canteras, explotaciones mineras, entre otras.

Estación	Provincia	Nº filtros	Mineral			
			Fuente	µg/m ³	Perfil químico	
Alcalá de Guadaira	Sevilla	168	mineral	7,4	Al+Fe+Mn+Ti+V+Sr	urbano
Bailén	Jaén	182	mineral	11,7	Al+Ca+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Ni+Rb+Sr+Ba+Zr	urbano + industrial
Campus	Huelva	185	mineral	5,8	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Rb+Sr+La	urbano + industrial
Carranque	Málaga	182	mineral	7,7	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Cr+Sr+Ba+Zr	urbano
Granada Norte	Granada	180	mineral	7,6	Al+Ca+K+Na+Fe+Mn+Ti+fosfato+Rb+Sr+Ba+Zr	tráfico
La Línea	Cádiz	99	mineral	6,2	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Cu+Sr+Rb+Ba	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	175	mineral	7,8	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Cr+Co+Rb+Sr+La+Ce	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	182	mineral	9,8	Al+Ca+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Zn+Rb+Sr+Pb+Ba+Zr	urbano
Los Barrios	Cádiz	145	mineral	2,3	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Sr	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	mineral	9,2	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Sr+Pb+Ba+Zr	tráfico
Matalascañas	Huelva	189	mineral	7,6	1) Al+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Rb+Sr+Pb+La 2) Ca+Fe+Mn+Ti+Ni+Sr+Sn+La+OC	rural
Mediterráneo	Almería	173	mineral	7,8	Al+Ca+K+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Sr+Ba	urbano
Moguer	Huelva	120	mineral	12,4	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Rb+Sr+Ba+OC	urbano + industrial
Palacio Congresos	Granada	184	mineral	6,0	1) Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Rb+Sr+Zr 2) Ca+K+Na+Mg+Mn+fosfato+Cr+Pb+Ba+Zr	urbano
Plaza Castillo	Almería	178	mineral	6,4	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Cr+Sr+Ba	urbano
Príncipes	Sevilla	179	mineral	10,7	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cu+Sr+Ba	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	mineral	4,3	Al+Ca+K+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Rb+Sr+Ce	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	167	mineral	9,5	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Sr+Pb+Ba	urbano
San Fernando	Cádiz	174	mineral	4,9	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Zn+Sr+Pb	urbano
Sierra Norte	Sevilla	181	mineral	7,2	Al+Ca+K+Fe+Mn+Ti+fosfatos+V+Cr+Rb+Sr+Ba+sulfato	rural
Tomeo	Sevilla	154	mineral	9,5	Al+Ca+K+Na+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Sr+Ba	tráfico
Vva Arzobispo	Jaén	181	mineral	11,4	1) Al+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Rb+Sr+Ba 2) Ca+Mg+fosfato+Ba	urbano
22 estaciones		3616		7,9		

- Fuente Marina.** Se encuentra formada por Cl+Na±Mg. Estas partículas se generan a partir del aerosol marino en períodos de advección atlántica, y suele dominar en Andalucía en la costa y durante los meses de invierno. Puede incluir compuestos inorgánicos secundarios tales como sulfato, nitrato ó amonio, considerándose como fuentes envejecidas (“aged”). En el periodo estudiado, la fuente marina envejecida se ha discriminado en Campus y Matalascañas en la provincia de Huelva, Granada Norte y Palacio de Congresos en la provincia de Granada, y Villanueva del Arzobispo en la provincia de Jaén.

Marino						
Estacion	Provincia	Nº filtros	Fuente	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Perfil químico	
Alcalá de Guadaira	Sevilla	168	marino	2,1	Na+Cl	urbano
Bailén	Jaén	182	marino	1,5	Cl+Na	urbano + industrial
Campus	Huelva	185	marino	5,5	Na+Mg+Cl+nitrato+sulfato+amonio+Ni+V	urbano + industrial
Carranque	Málaga	182	marino	1,9	Na+Mg+C	urbano
Granada Norte	Granada	180	marino	5,1	Na+V+sulfato+Nitrato+Cl+amonio	tráfico
La Línea	Cádiz	99	marino	5,8	Na+Mg+Cl	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	175	marino	5,1	Na+Mg+Cl	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	182	marino	1,8	Na+Mg+Cl	urbano
Los Barrios	Cádiz	145	marino	2,3	Na+Mg+Cl	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	marino	7,5	Na+Mg+Cl	tráfico
Matalascañas	Huelva	189	marino	3,9	Na+Mg+Ni+Sr+sulfato+nitrato+Cl	rural
Mediterráneo	Almería	173	marino	4,7	Na+Mg+Ba+Cl	urbano
Moguer	Huelva	120	marino	3,0	Na+Mg+Cl	urbano + industrial
Palacio Congresos	Granada	184	marino	7,4	Na+fosfato+V+Rb+Sr+Pb+Ba+sulfato+nitrato+Cl	urbano
Plaza Castillo	Almería	178	marino	4,8	Na+Mg+Cl	urbano
Príncipes	Sevilla	179	marino	2,2	Na+Mg+Cl	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	marino	6,8	Na+Mg+Sr+sulfato+nitrato+Cl	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	167	marino	1,4	Na+Mg+Cl	urbano
San Fernando	Cádiz	174	marino	3,1	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Zn+Sr+Pb	urbano
Sierra Norte	Sevilla	181	marino	1,0	Na+Mg+Ba+Cl	rural
Tomeo	Sevilla	154	marino	2,4	Na+Mg+Cl	tráfico
Vva Arzobispo	Jaén	181	marino	2,4	Na+Ni+Zn+Ba+nitrato+Cl	urbano
22 estaciones		3616		3,7		

- Fuente Regional.** Estos componentes se asocian a aerosoles secundarios (sulfato, nitrato y amonio) originados a partir de precursores gaseosos emitidos por grandes centros de combustión y transportados desde larga distancia a la estación de muestreo. V y Ni pueden estar incluidos en esta fuente, y proceden de la combustión de combustibles fósiles (Viana et al. 2008).

Regional						
Estacion	Provincia	Nº filtros	Fuente	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Perfil químico	
Alcalá de Guadaira	Sevilla	168	regional	7,0	nitrato+sulfato+amonio+V	urbano
Bailén	Jaén	182	regional	3,9	nitrato+sulfato+amonio+Na	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	185				urbano + industrial
Carranque	Málaga	182	regional	9,4	1) nitrato+Na+sulfato+fosfato 2) amonio+sulfato+V+Ni+Pb	urbano
Granada Norte	Granada	180				tráfico
La Línea	Cádiz	99	regional	6,4	V+sulfato+nitrato+amonio+OC	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	175				urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	182	regional	5,5	Na+V+Ba+sulfato+nitrato+amonio	urbano
Los Barrios	Cádiz	145	regional	6,6	K+Na+Mg+V+Ni+Cu+sulfato+nitrato+amonio	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	regional	2,0	V+sulfato+nitrato	tráfico
Matalascañas	Huelva	189	regional	4,4	Ca+Ni+Sr+Pb+sulfato+nitrato+EC	rural
Mediterráneo	Almería	173	regional	3,2	V+Ni+Pb+Ba+sulfato+amonio	urbano
Moguer	Huelva	120	regional	4,8	K+Ba+nitrato+amonio+OC+EC	urbano + industrial
Palacio de Congresos	Granada	184				urbano
Plaza Castillo	Almería	178	regional	2,4	V+Ni+sulfato+amonio	urbano
Príncipes	Sevilla	179	regional	4,1	Na+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	regional	4,7	V+sulfato+nitrato+amonio+OC	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	167	regional	5,4	Na+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato+amonio	urbano
San Fernando	Cádiz	174	regional	5,6	1) Na+Mg+fosfato+V+Cr+Ni+Cu+Zn+Sr+sulfato+nitrato+OC 2) V+sulfato	urbano
Sierra Norte	Sevilla	181	regional	1,7	Na+Mg+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato+amonio	rural
Torneo	Sevilla	154	regional	3,3	V+Ni+Pb+nitrato+sulfato	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	181	regional	3,6	K+Cu+Rb+Cl+OC+EC	urbano
		3616		4,7		

- Fuente Tráfico.** Se caracteriza por la presencia de especies de C (OC+EC), nitrato y elementos traza tales como Ni+Cr+Cu+Sn+Sb+Ba. Estos constituyentes son característicos de emisiones exhaust (tubos de escapes de motores de combustión), desgastes de frenos y piezas mecánicas. Además, se puede acompañar por elementos afines a la contribución mineral (*road dust*), procedente de la respuspensión del pavimento (*road dust*). Los nitratos son compuestos inorgánicos secundarios derivados de precursores gaseosos (NO_x). En los últimos años suele incorporarse amonio derivado de la transformación de amoníaco empleado en los vehículos diésel para evitar emisiones de NO_2 .

Trafico					
Estacion	Provincia	Nº filtros	Nombre	µg/m ³	Perfil químico
Alcalá de Guadaira	Sevilla	168			urbano
Bailén	Jaén	182			urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	185			urbano + industrial
Carranque	Málaga	182		4,0	urbano
Granada Norte	Granada	180		10,7	tráfico
La Línea	Cádiz	99			urbano + industrial
La Rábida	Huelva	175			urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	182		2,3	urbano
Los Barrios	Cádiz	145			urbano + industrial
Marbella	Málaga	102		1,6	tráfico
Matalascañas	Huelva	189			rural
Mediterráneo	Almería	173			urbano
Moguer	Huelva	120			urbano + industrial
Palacio de Congresos	Granada	184		4,6	urbano
Plaza Castillo	Almería	178			urbano
Príncipes	Sevilla	179		6,0	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136		3,1	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	167			urbano
San Fernando	Cádiz	174			urbano
Sierra Norte	Sevilla	181			rural
Torneo	Sevilla	154		8,7	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	181			urbano
3616				5,1	

- Fuente Combustión.** Constituida por especies de C (C orgánico y C elemental), además de K, fosfato y Ca, principalmente. En algunos casos como La Rábida y Campus, esta fuente se encuentra interferida por la fuente de tráfico al añadirse metales tales como Cu+Pb+Ba ó Sb+Sn. También puede acoplarse con fuentes industriales en Los Barrios.

Combustion					
Estacion	Provincia	Nº filtros	Fuente	µg/m ³	Perfil químico
Alcalá de Guadaira	Sevilla	168	Tráf + Comb	4,2	urbano
Bailén	Jaén	182	Combustión	7,6	urbano + industrial
Campus	Huelva	185	Tráf + Comb	9,5	urbano + industrial
Carranque	Málaga	182			urbano
Granada Norte	Granada	180	Combustión	3,9	tráfico
La Línea	Cádiz	99	Combustión	3,9	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	175	Comb + Traf	5,0	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	182	Comb + Ind	4,3	urbano
Los Barrios	Cádiz	145	Comb + Ind	4,0	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	Combustión	1,9	tráfico
Matalascañas	Huelva	189	Combustión	4,1	rural
Mediterráneo	Almería	173	Traf + Comb	5,4	urbano
Moguer	Huelva	120	Combustión	3,5	urbano + industrial
Palacio Congresos	Granada	184	Combustión	3,7	urbano
Plaza Castillo	Almería	178	Combustión	1,6	urbano
Príncipes	Sevilla	179			tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136			urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	167	Combustión	4,3	urbano
San Fernando	Cádiz	174	Tráf + Comb	3,2	urbano
Sierra Norte	Sevilla	181	Combustión	6,0	rural
Torneo	Sevilla	154			tráfico
Vva Arzobispo	Jaén	181	Combustión	11,4	urbano
3616				4,9	

- Fuente Industrial.** Su composición varía en función de la actividad industrial próxima a la estación de muestreo. En general, se han identificado elementos y compuestos derivados de la industria del latón (Zn+Cu), metalurgia del Cu (As+Se+Bi+Cu+Zn+Pb), producción de acero inoxidable (Cr+Ni+Co), refinería de petróleo (V+Ni+La). centrales térmicas de carbón (V+Ni+As), y empresas de cerámica y ladrillera (V+Ni). En función de la ubicación de la estación de muestreo y de las fuentes industriales, esta fuente puede ser considerada como una única fuente “mezcla” o bien como fuentes independientes.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Industrial			Perfil químico	
			Nombre	$\mu\text{g}/\text{m}^3$			
Alcalá de Guadaira	Sevilla	168	industrial	4,5		sulfato+fosfato+Ca+Na+Zn+Cr+V+OC	urbano
Bailén	Jaén	182	industrial	4,3		V+Ni+Zn+Pb+sulfato+EC	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	185	industrial	5,8		1) CrAs+Cd+Pb+Bi+Zn+V 2) Fosfato+As+Zn+Sn+Sb+Pb	urbano + industrial
Carranque	Málaga	182					urbano
Granada Norte	Granada	180					tráfico
La Línea	Cádiz	99	industrial	1,6		Fe+Mn+Cr+Ni+Cu+Zn+Pb+Ba	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	175	industrial	4,4		1) Cu+Pb+Fe+Co 2) fosfato+Ca 3) Zn+As+Cd+Sn+Pb+Se+Bi	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	182					urbano
Los Barrios	Cádiz	145	industrial	1,1		Mn+Cr+Ni+Cu+Zn+Pb+Ba	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102					tráfico
Matalascañas	Huelva	189					rural
Mediterráneo	Almería	173	industrial	4,9		Na+Cr+Ni+Cu+Zn+V+sulfato+amonio	urbano
Moguer	Huelva	120	industrial	4,5		fosfato+Cr+Cu+Zn+As+Pb	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	184					urbano
Plaza Castillo	Almería	178	industrial	4,9		V+Cr+Zn+Sr+Pb+Ba+sulfato+nitrato+amonio	urbano
Príncipes	Sevilla	179	industrial	3,6		K+nitrato+Pb+V	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	industrial	1,5		Mn+Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Pb	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	167					urbano
San Fernando	Cádiz	174					urbano
Sierra Norte	Sevilla	181					rural
Torneo	Sevilla	154	Sufato + Amonio	1,9		sulfato+amonio	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	181					urbano
		3616		3,6			

El estudio de contribución de fuentes realizado mediante PMF5 (EPA, <https://bit.ly/3HAxBec>) ha permitido profundizar sobre el origen del PM10 en las estaciones analizadas en este estudio. Se ha determinado hasta 6 fuentes principales (Figura 10):

- **Mineral:** La fuente Mineral varía entre los máximos de $12.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Moguer, $11.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Bailén, $11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Vva del Arzobispo, y $10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Príncipes, y mínimos de $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Los Barrios y $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Puente Mayorga y Palacio de Congresos. La mayoría de las estaciones donde se han obtenido los valores máximos se encuentra a gran altitud relativa en relación a otras estaciones costeras o Del Valle del Guadalquivir. Este hecho se interpreta a partir de una mayor incidencia de las masas de aire norteafricanas en altura.
- **Marino:** las máximas contribuciones de la fuente marina ocurren en las estaciones costeras de Marbella ($7.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Puente Mayorga ($6.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En estas zonas, la proximidad del rompeolas provoca una mayor generación de aerosoles marinos. En Palacio de Congresos también se ha determinado altas concentraciones ($7.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) aunque en este caso se trata de una fuente marina con sulfato, considerándose como envejecida. Las mínimas concentraciones se han obtenido en la estación de Sierra Norte ($1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Villanueva del Arzobispo ($1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Ronda de Valle ($1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Tráfico:** La fuente de tráfico es máxima en las estaciones de Granada Norte ($10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo ($8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Palacio de Congresos ($6.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Príncipes ($6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Carranque ($4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Combustión:** la fuente de Combustión es máxima en Villanueva del Arzobispo ($11.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Campus ($9.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), duplicando-triplicando las contribuciones de Granada Norte ($3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Palacio de Congresos ($3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Ronda de Valle-Lepanto ($4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Sierra Norte ($6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Las máximas se observan en la provincia de Jaén,

seguida por Granada. En La Rábida también se ha obtenido altas concentraciones (hasta $5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

- **Industrial:** la fuente industrial se encuentra restringida a los grandes polígonos industriales de Andalucía, y donde históricamente se iniciaron los Planes de Calidad Ambiental entre los años 2001 a 2003. La máxima concentración se ha obtenido en Campus ($5.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). También se destacan las estaciones de Mediterráneo-Plaza Castillo ($4.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Moguer ($4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y La Rábida ($4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). En el caso del Campo de Gibraltar, el aporte de la fuente industrial es máxima en La Línea ($1.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Puente Mayorga ($1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Regional:** la fuente regional no presenta una zonificación geográfica clara. Las máximas concentraciones se registran en Marbella ($9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Alcalá de Guadaira ($7.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Otras estaciones con altas concentraciones son Los Barrios ($6. \mu\text{g}/\text{m}^3$) y La Línea ($6.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

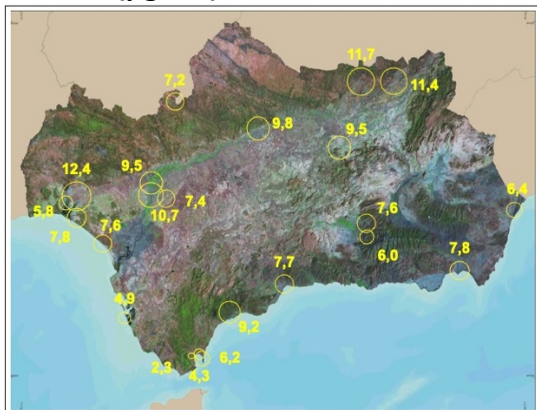
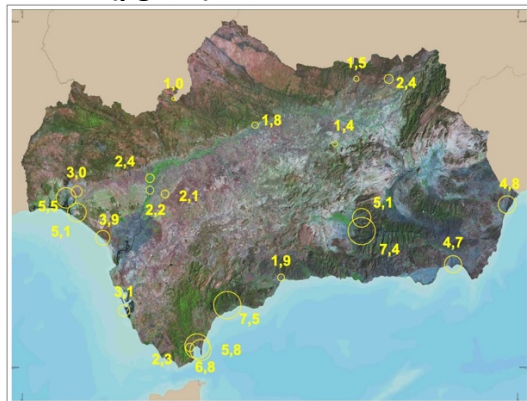
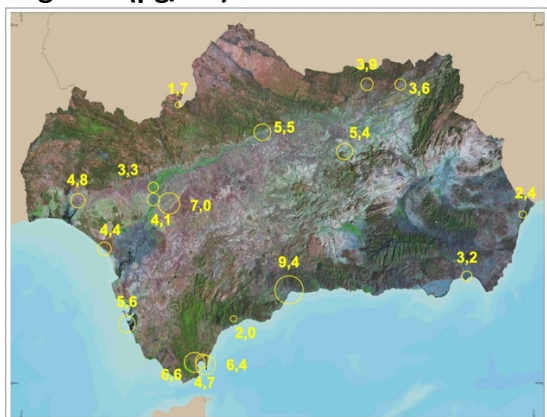
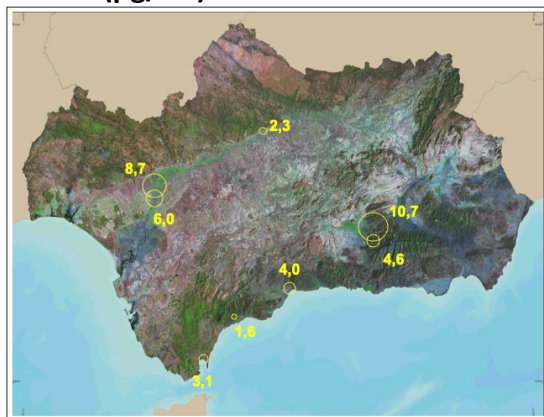
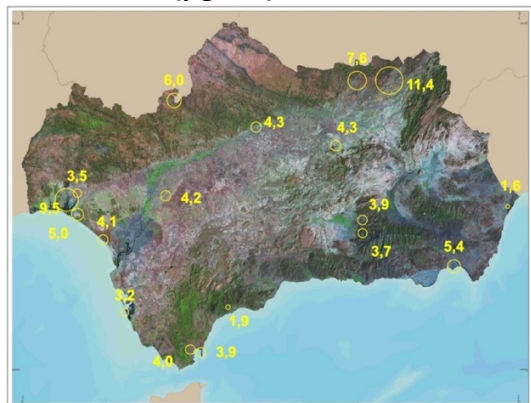
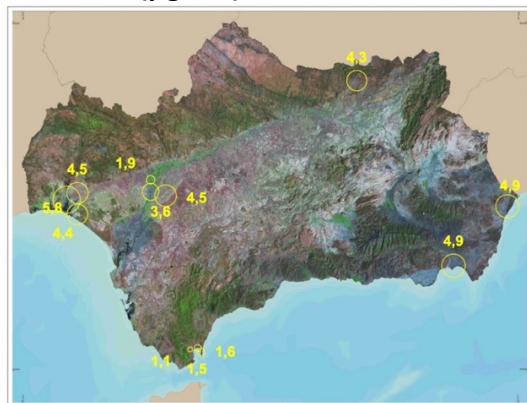
Mineral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Regional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Tráfico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Combustión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Industrial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 10.- Mapas de contribución de fuentes PM10 en Andalucía durante el año 2023.

4. CONCLUSIONES

En este informe resumen se ha presentado la composición química de PM₁₀, PM_{2.5} y partículas sedimentables en estaciones de la Red de Calidad del Aire de Andalucía correspondiente al año 2023. Los resultados se han comparado mediante mapas geoquímicos a nivel regional en el caso de PM₁₀ y PM_{2.5}.

Las concentraciones obtenidas durante el año 2023 son bajas en comparación con las obtenidas en los años 2021 y 2022. En el caso de metales traza y ultratrazas, se destacan las anomalías ya observadas en otros estudios relacionadas con la actividad industrial (As en Entorno de la Ría de Huelva, Zn en Córdoba, V y Ni en Bailén y Cr en Campo de Gibraltar), aunque las concentraciones son bajas en comparación con la evolución histórica. En ningún caso se encuentran por encima de los límites objetivos de As, Ni, Cd y Pb según la legislación vigente.

El estudio de contribución de fuentes ha permitido profundizar sobre el origen del MPA en las estaciones analizadas en este estudio. En los años 2021, 2022 y 2023, se destacan las máximas concentraciones de **materia mineral** obtenidas en Villanueva del Arzobispo (11.4 µg/m³), **aerosol marino** en las estaciones costeras de Marbella (7.5 µg/m³), Plaza Castillo (7.5 µg/m³) y Puente Mayorga (6.8 µg/m³), **tráfico** en las estaciones de Granada Norte (10.7 µg/m³), Torneo (8.7 µg/m³), y Príncipes (6.0 µg/m³), **combustión** en Villanueva del Arzobispo (11.4 µg/m³) y Bailén (7.6 µg/m³), **industrial** en Campus (5.4 µg/m³), Moguer (4.5 µg/m³), La Rábida (4.4 µg/m³) y Bailén (4.3 µg/m³), y **regional** en Carranque (9.4 µg/m³), Alcalá de Guadaira (7.0) y Los Barrios (6.6 µg/m³) y La Línea (6.4 µg/m³).