

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 PM2.5. año 2022



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	26
3.4.- TASA DE DEPOSICIÓN Y COMPOSICIÓN QUÍMICA DE PARTÍCULAS SEDIMENTABLES ¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.	
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

21 de junio de 2023

Firmado por DE LA ROSA DIAZ
JESUS DAMIAN - ***7511** el
día 04/10/2023 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 2022. 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 2021-2022.

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 (6.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Bailén (5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Granada Norte (6.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo (6.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Palacio de Congresos y Príncipes (4.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 (5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén (4.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo (4.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Granada Norte (4.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En relación a **C_{elemental}**, la máxima concentración se ha determinado en Granada Norte y Torneo (1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Bailén (1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Villanueva del Arzobispo y Carranque (1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Las máximas concentraciones de **Al₂O₃** se han registrado en Palacio de Congresos (2.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Villanueva del Arzobispo y Moguer (2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén y Granada Norte (2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las estaciones están comprendidas entre 1.8 y 0.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación a **Ca**, destacan las estaciones de Palacio de Congresos (2.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Villanueva del Arzobispo y Bailén (2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Granada Norte (2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 (0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida por Palacio de Congresos (0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Carranque, Mediterráneo y Vva del Arzobispo (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 Granada Norte, Palacio de Congresos, y Marbella (1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Torneo (0.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiendo a las estaciones hot-spot de tráfico.

Con relación a **fosfato**, destaca La Rábida con un valor máximo de 0.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el resto de las estaciones no se ha observado la presencia de una anomalía apreciable.

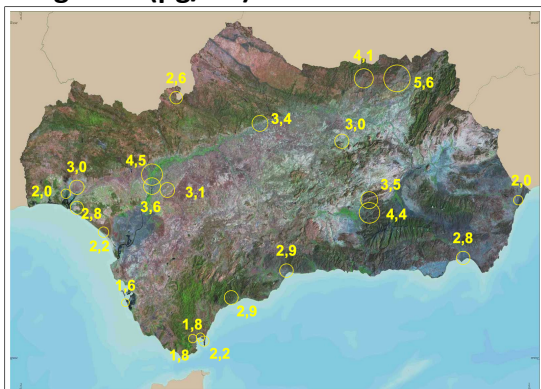
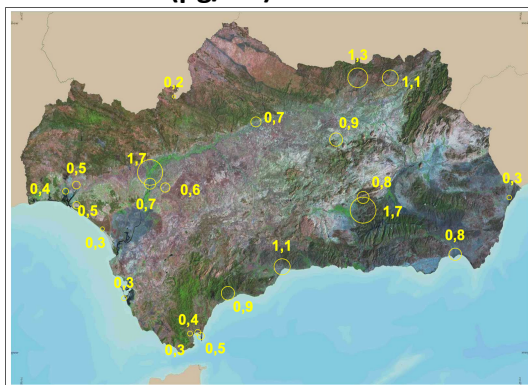
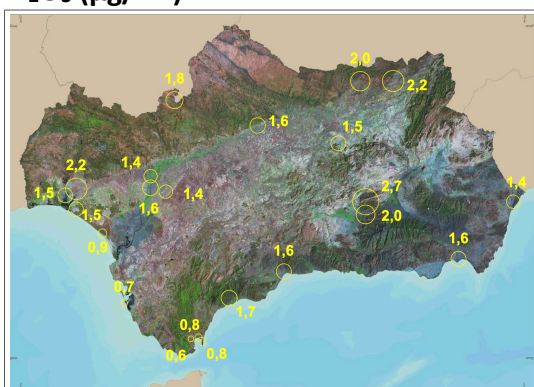
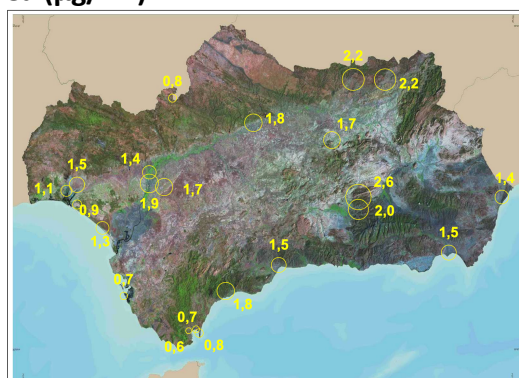
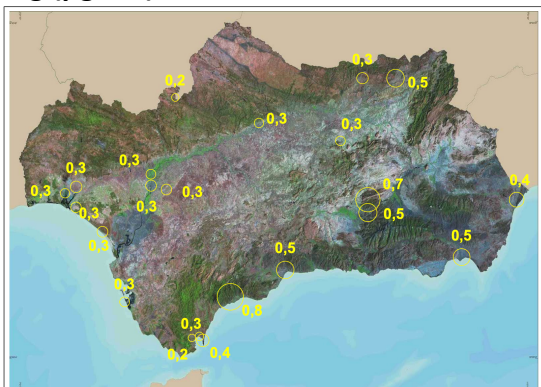
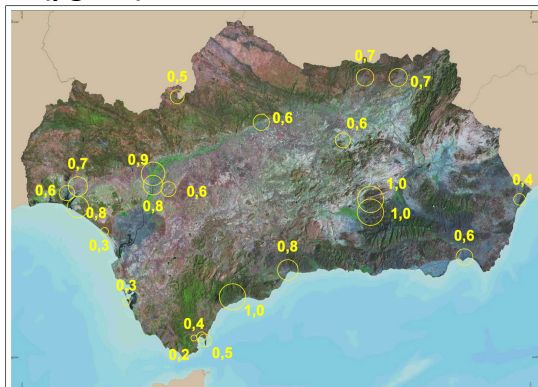
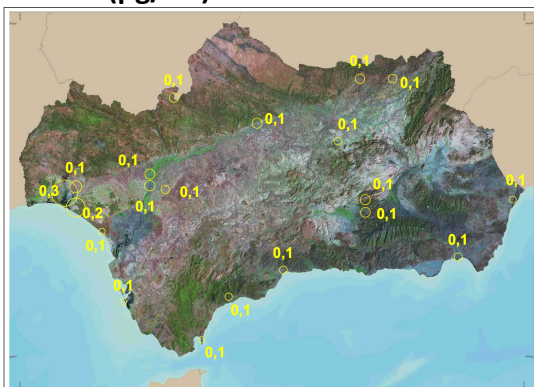
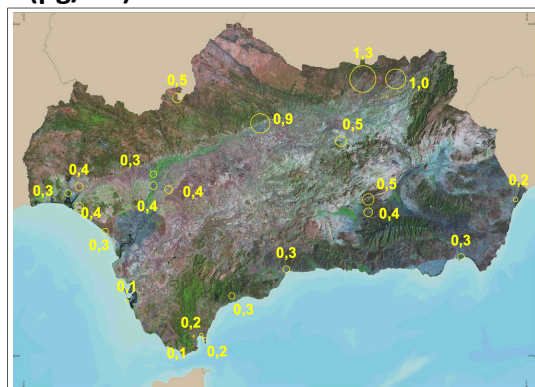
C orgánico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**C elemental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)** **Al_2O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Mg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fosfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 2.- Mapas geoquímicos de componente mineral en PM10 de Andalucía. Año 2022.

En relación a **K**, la máxima concentración se ha obtenido en Bailén ($1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y Villanueva del Arzobispo ($1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Es de destacar también las altas concentraciones de Lepanto ($0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las 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** (Figura 3) se registran en las estaciones costeras tanto del Mediterráneo como Atlántico. Destaca La Línea (29%), Marbella (27%), y Plaza Castillo (25%) En el Atlántico, destacan San Fernando (27%) y Matalascañas (24%).

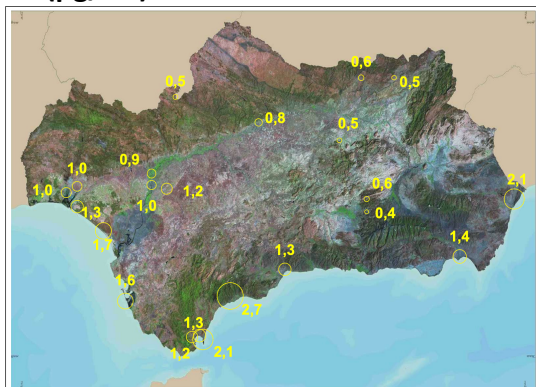
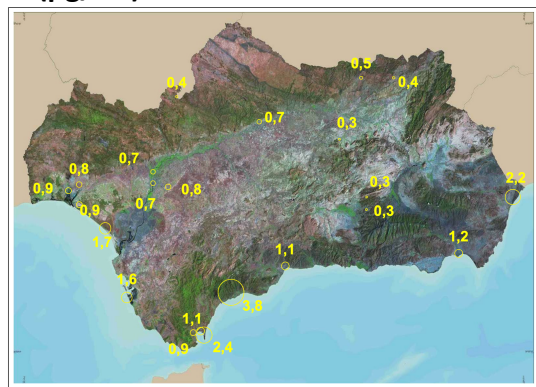
Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 3.- Mapas geoquímicos de Na y Cl en PM10 de Andalucía. Año 2022.

La mayor concentración de **sulfato nss** (antropogénico) se ha observado en Puente Mayorga ($2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Bailén ($1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de estaciones posee promedios anuales comprendidos entre 1.6 y $1.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 4).

La mayor concentración media de **nitrito** se ha obtenido en las estaciones de fondo urbano de Plaza Castillo ($2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida de las estaciones de La Línea ($2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Mediterráneo con ($2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La mínima concentración fue en Sierra Norte ($0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 4). La mínima concentración fue en Sierra Norte ($0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

La concentración promedio anual de **amonio** es muy similar en todas las estaciones de estudio, con un valor máximo en la estación de Puente Mayorga de $0.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y resto de estaciones entre 0.2 y $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Figura 4).

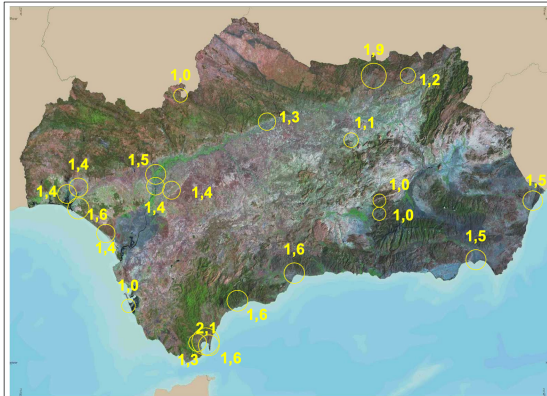
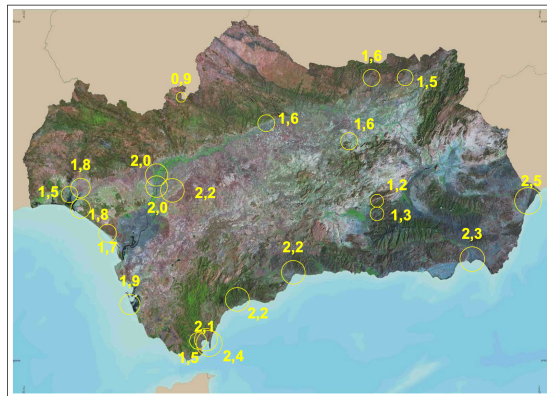
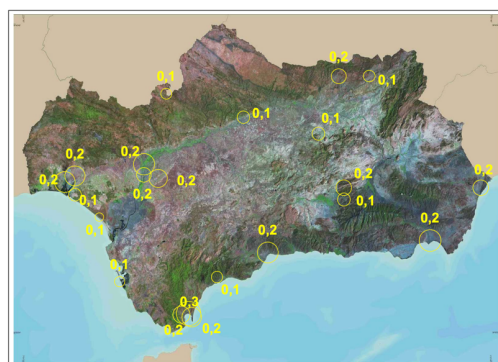
Sulfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Amonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 4.- Mapas geoquímicos de Compuestos Inorgánicos Secundarios (CIS) en PM10 de Andalucía. Año 2022.

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 $0.7 \text{ ng}/\text{m}^3$ en Bailén, Palacio de Congresos y Moguer.

Los valores más altos de **V** se han registrado en Bailén ($24.9 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguidos de Mediterráneo ($6.6 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), Carranque ($6.5 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Puente Mayorga ($4.9 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 $3.8 \text{ ng}/\text{m}^3$.

Con relación a **Cr** se observa una importante anomalía en estos cinco primeros meses del año en Puente Mayorga y La Línea (respectivamente: 11.7 y $11.5 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido por Torneo ($7.4 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$), Marbella ($6.9 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Granada Norte ($5.4 \text{ }\mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 Algeciras.

Mn es un elemento típicamente crustal y procedente de zonas de fundición relacionadas con Fe-Mn. Los valores más altos se han observado en Palacio de Congresos (14.7 ng/m^3) seguido de Granada Norte (13.1 ng/m^3). Las estaciones de Torneo, Sierra Norte y Príncipes también poseen concentraciones promedio anuales de Mn relativamente altas (12.7 , 12.6 y 12.2 ng/m^3 , respectivamente).

Las máximas concentraciones de **Co** se han registrado en la estación de Puente Mayorga (0.4 ng/m^3), La Línea, Bailén y Marbella (0.4 ng/m^3), siendo las concentraciones en el resto de las estaciones inferiores a 0.3 ng/m^3 .

Las estaciones de Campo de Gibraltar alcanzan las mayores concentraciones de **Ni** en PM₁₀. En concreto, Puente Mayorga es la estación donde se ha registrado las máximas concentraciones (9.8 ng/m^3), 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/m^3 . También se han obtenido altas concentraciones en Bailén (8.1 ng/m^3) y La Línea (7.5 ng/m^3) y Los Barrios (5.7 ng/m^3). La menor concentración se alcanzó en Villanueva del Arzobispo (1.1 ng/m^3), constituyendo el fondo geoquímico de Ni en PM₁₀ en el año 2022.

Los valores promedio anuales de **Cu** en PM₁₀ máximos se han obtenido en la estación de La Rábida (271 ng/m^3), seguido por Matalascañas (60 ng/m^3), Moguer (28 ng/m^3), La Línea (23.0 ng/m^3) y Lepanto-Campus (22 ng/m^3). El resto no superan 20 ng/m^3 . Salvo Matalascañas, el resto de las 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 Lepanto (90 ng/m^3), La Línea (55 ng/m^3) y La Rábida (54 ng/m^3). El resto de las estaciones poseen valores inferiores (Los Barrios y Moguer: 37 ng/m^3 , Príncipes: 39 ng/m^3 y Moguer: 37 ng/m^3 , entre otras). Ga posee concentraciones muy bajas, inferiores a 0.4 ng/m^3 .

Las máximas concentraciones de **As** se encuentran en las estaciones del Entorno de la Ría de Huelva, destacando La Rábida (5.7 ng/m^3), Campus Universitario (2.7 ng/m^3) y Moguer (2.4 ng/m^3). 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 inferior a 3 ng/m^3 se mantiene en los últimos 9 años ([Sánchez de la Campa et al. 2018, J Cleaner Production 186: 465-474](#)).

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/m^3 .

Las concentraciones máximas de **Rb** se observan en Andalucía Oriental, principalmente en Bailén (2.3 ng/m³), Lepanto (1.9 ng/m³), Moguer (1.8 ng/m³) y las estaciones de Granada Norte- Vva del Arzobispo (1.5 ng/m³) y Palacio de Congresos (1.4 ng/m³), coincidiendo con los máximos de K, afín desde un punto de vista geoquímico a Rb.

En Andalucía Oriental, las estaciones de Granada Norte y Palacio de Congresos (10.8 y 10.0 ng/m³, respectivamente), Marbella (7.4 ng/m³), Bailén (6.8 ng/m³), y Mediterráneo (6.9 ng/m³), 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 56.7-2.6 ng/m³.

Con relación a **Y** y **Zr**, ambos elementos poseen comportamientos muy parecidos. Los valores de Y están comprendidos entre 0.6-0.2 ng/m³, siendo los máximos los alcanzados en las estaciones de tráfico de Andalucía Oriental (0.6-0.5 ng/m³). En el caso de Zr, los máximos también se alcanzan en Marbella (3.4 ng/m³).

Todas las estaciones de la geografía andaluza presentan valores de **Nb** inferiores a 0.2 ng/m³ no observándose anomalías relevantes.

La estación de La Rábida posee las máximas concentraciones de **Cd** (0.7 ng/m³), seguido de Campus y Moguer (0.4 ng/m³). El resto de las estaciones registran concentraciones inferiores a 0.3 ng/m³. 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 Marbella Granada Norte (4.0 ng/m³), seguida de Torneo (3.9 ng/m³). El resto de las estaciones presentan concentraciones de **Sn** inferiores a 2.7 ng/m³, siendo las menores concentraciones las registradas en Sierra Norte y Plaza Castillo, y Villanueva del Arzobispo (0.6 a 0.4 ng/m³, respectivamente).

Las mayores concentraciones de **Sb** se registraron en Marbella (2.7 ng/m³), Torneo (2.0 ng/m³), y Granada Norte (1.8 ng/m³). El resto de las estaciones registran concentraciones inferiores a 1,7 ng/m³. Los mínimos promedios se han obtenido en Sierra Norte, San Fernando, Los Barrios y Matalascañas (0.3 ng/m³).

Las mayores concentraciones de **Ba** se han registrado valores relevantes en Granada Norte (28.9 ng/m³), Marbella (22.2 ng/m³), Torneo (20.8 ng/m³), y Carranque (18.9 ng/m³). Los Barrios y Matalascañas poseen las concentraciones más bajas con 6.3 y 6.5 ng/m³, respectivamente.

Puente Mayorga posee las mayores concentraciones promedio de **La** en PM10 en el año 2022 ha sido 1.2. El resto de las estaciones posee concentraciones inferiores a 0.7 ng/m³.

Ce se encuentra en altas concentraciones en las estaciones de Andalucía Oriental, comprendidas entre 1.5 a 1.0 ng/m³, mientras que en Andalucía Occidental los valores varían entre 1.3 a 0.4 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 (30.2 ng/m³), Bailén (20.3 ng/m³), Moguer (11.9 ng/m³), Campus (10.6 ng/m³), Mediterráneo (8.3 ng/m³) y Lepanto (8.1 ng/m³). El resto de las estaciones poseen valores inferiores a 7.6 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. La máxima concentración de Bi ha sido obtenida en La Rábida (1.0 ng/m³), Moguer y Bailén (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.

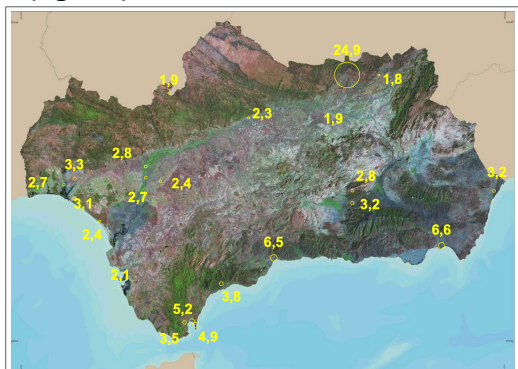
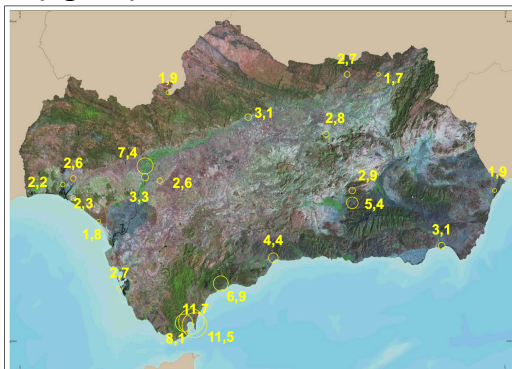
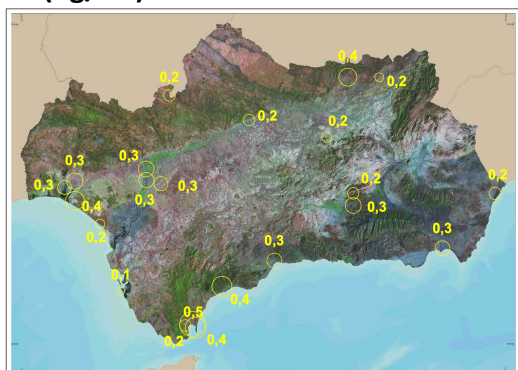
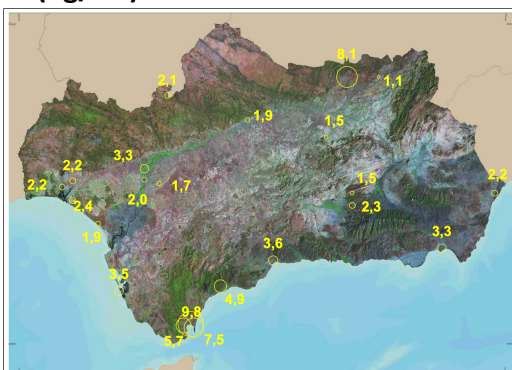
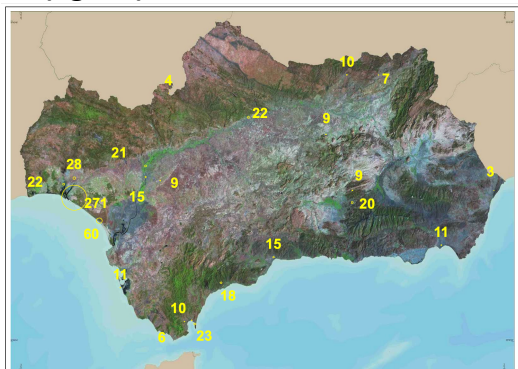
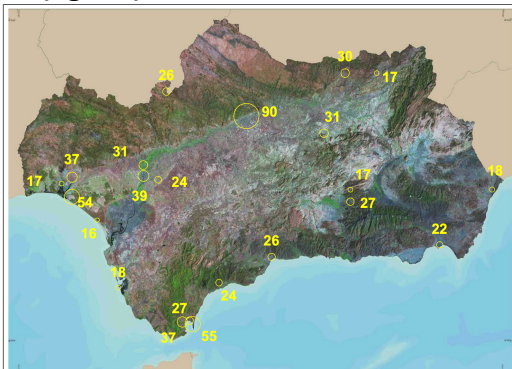
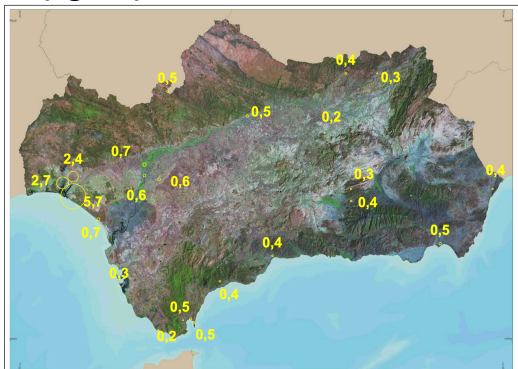
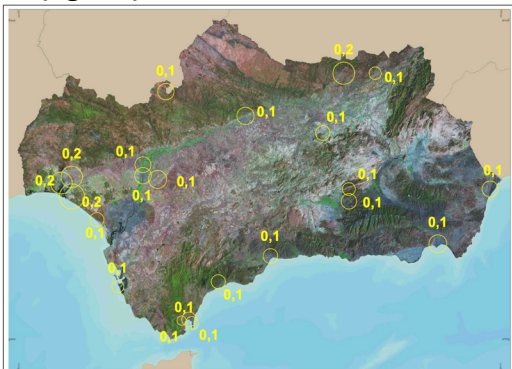
V (ng/m³)**Cr (ng/m³)****Co (ng/m³)****Ni (ng/m³)****Cu (ng/m³)****Zn (ng/m³)****As (ng/m³)****Se (ng/m³)**

Figura 5.- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2022.

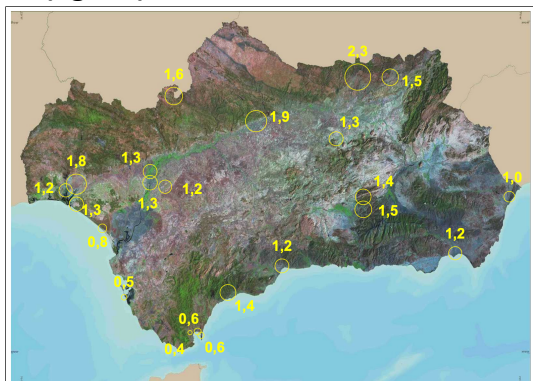
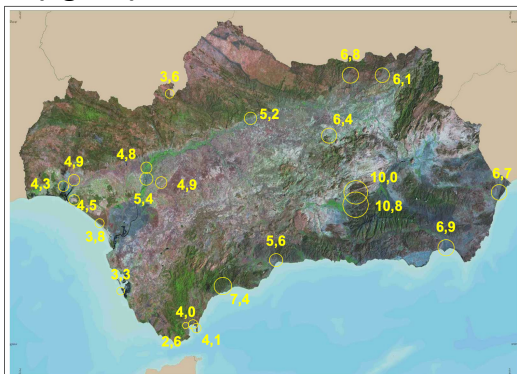
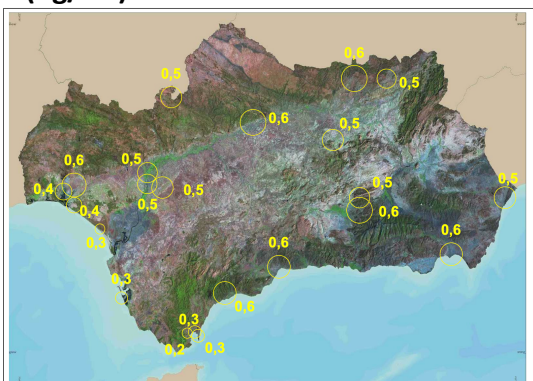
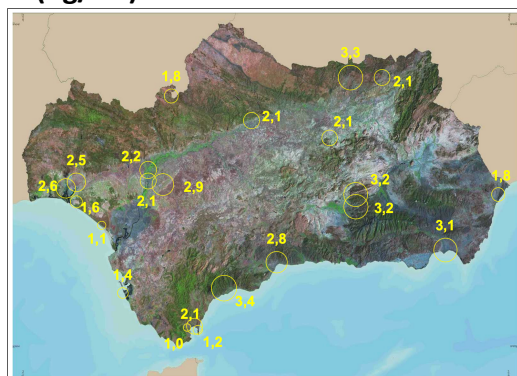
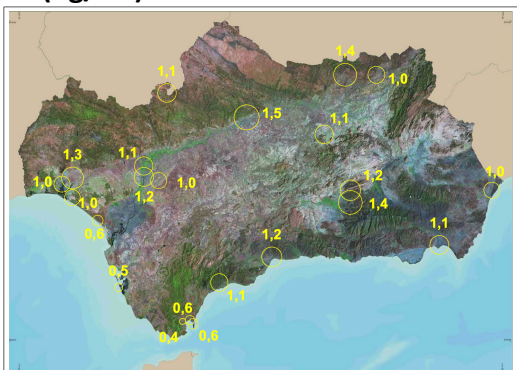
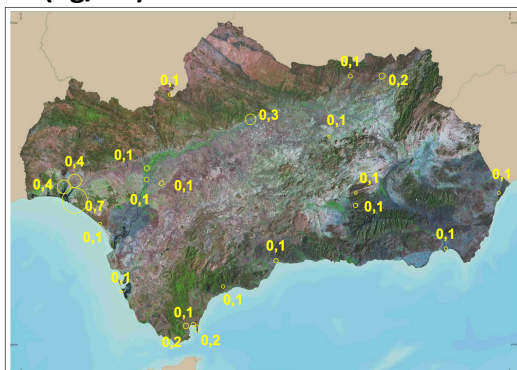
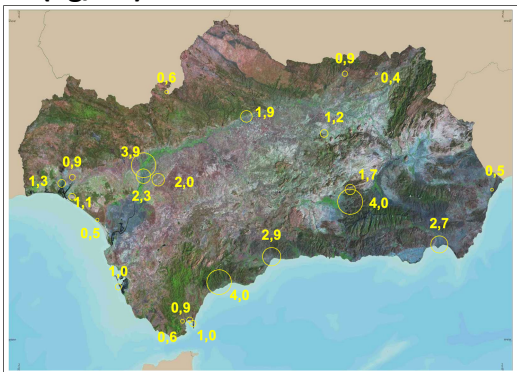
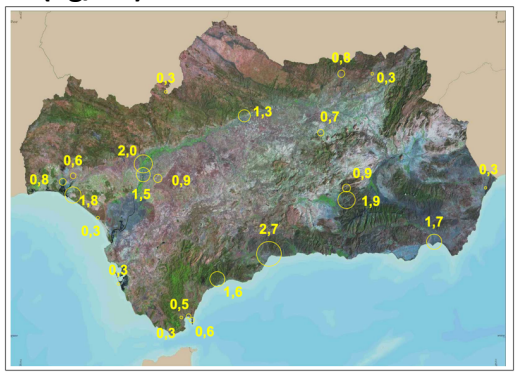
Rb (ng/m³)**Sr (ng/m³)****Y (ng/m³)****Zr (ng/m³)****Ce (ng/m³)****Cd (ng/m³)****Sn (ng/m³)****Sb (ng/m³)**

Figura 5 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2022.

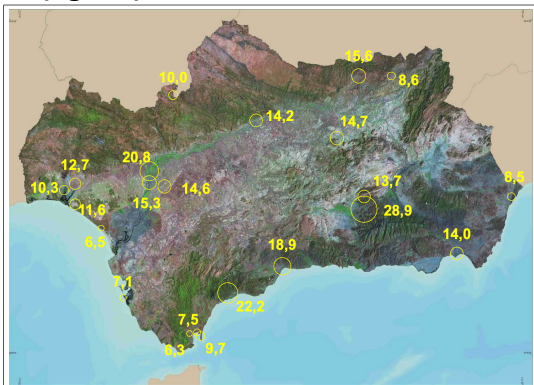
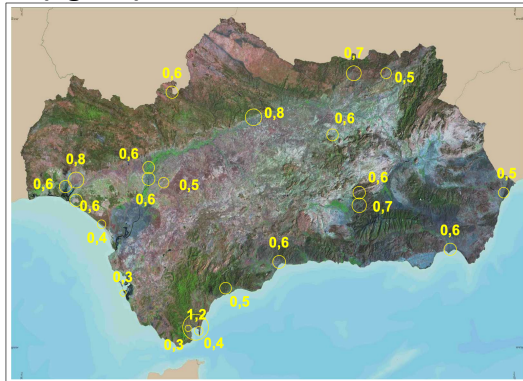
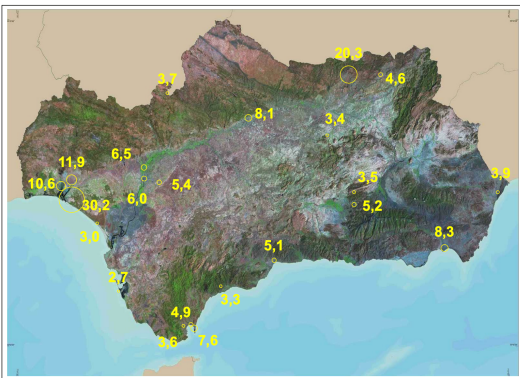
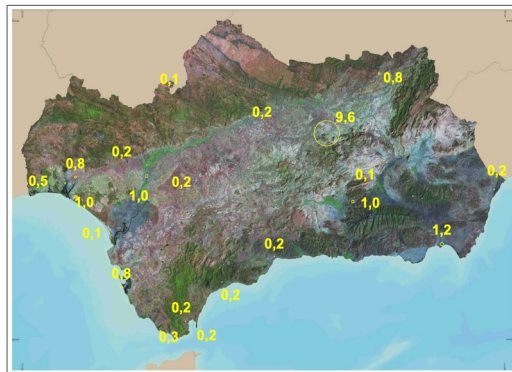
Ba (ng/m³)**La (ng/m³)****Pb (ng/m³)****Bi (ng/m³)**

Figura 5 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2022.

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 máximas concentraciones de elementos relacionados con la materia mineral (Al_2O_3 , Ca e Fe) se observan en Lepanto ($0,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Marbella ($0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente para Al_2O_3 , Ca e Fe.

Mg y fósforo poseen valores muy bajos, no distinguiéndose anomalías geoquímicas en las estaciones seleccionadas. Lepanto y Vva del Arzobispo presentan la máxima concentración de K ($0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que el resto de las estaciones en valores inferiores a $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

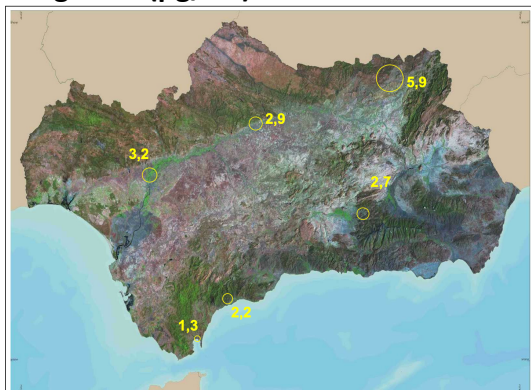
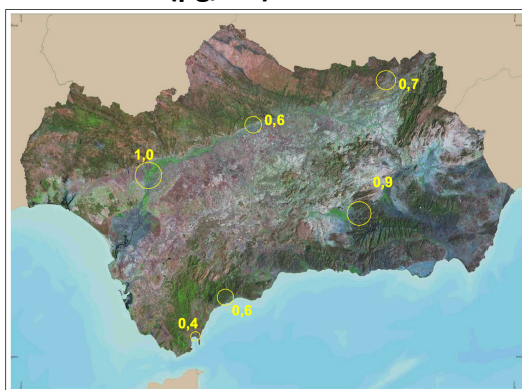
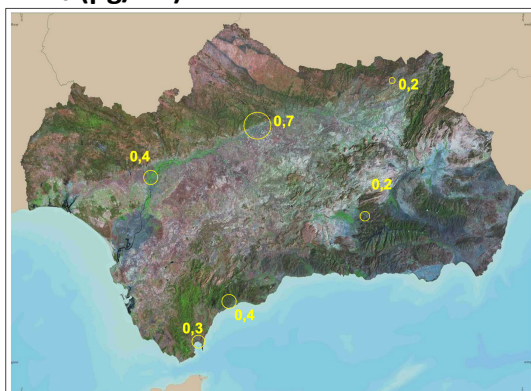
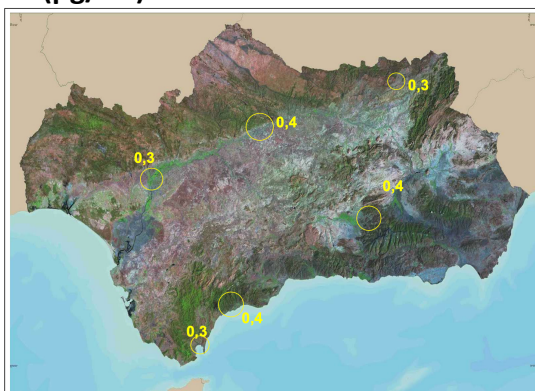
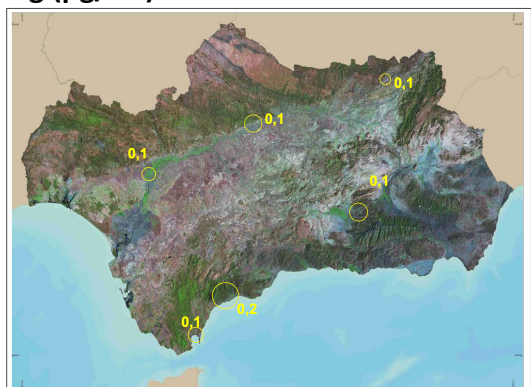
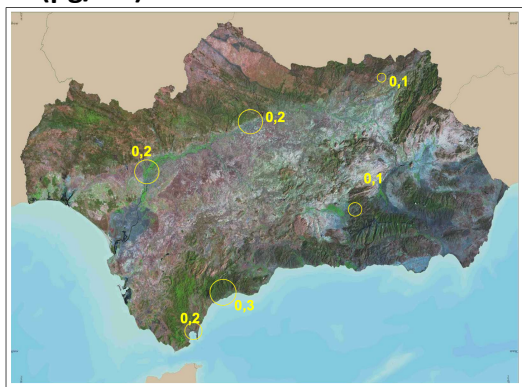
C orgánico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**C elemental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)** **Al_2O_3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Mg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

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 comprendidas entre $0,3\text{-}0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en ambos elementos. También, **sulfato no marino** (antropogénico) es máximo en Puente Mayorga, Marbella-Lepanto ($1,4$ y $1,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente).

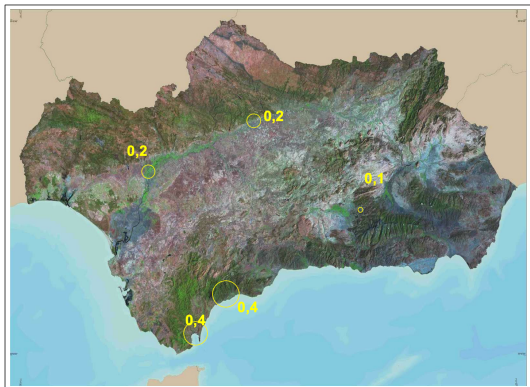
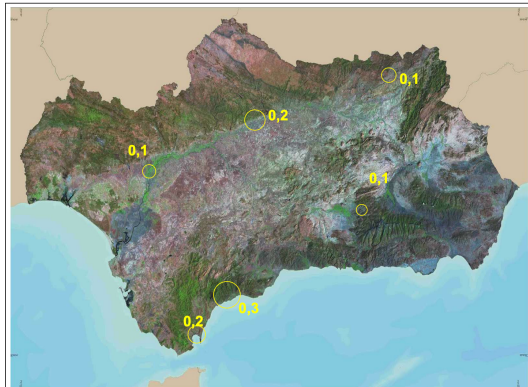
Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 7.- Mapas geoquímicos de Na y Cl en PM2.5 de Andalucía.

Con relación a **nitrato y amonio**, los máximos de nitrato se han observado en Lepanto ($0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Marbella ($0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los máximos de amonio se han registrado en Puente Mayorga ($0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

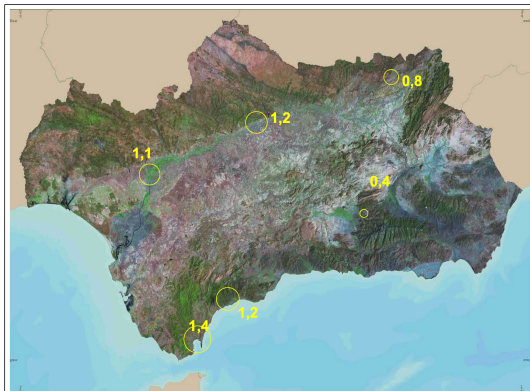
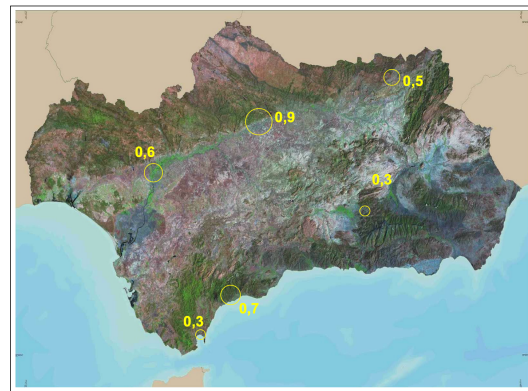
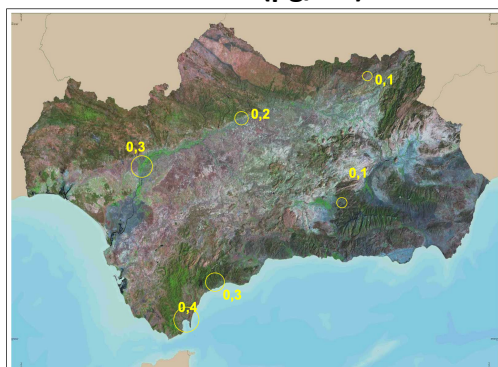
Sulfato no marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Amonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 8.- Mapas geoquímicos de Compuestos Inorgánicos Secundarios (CIS) en PM2.5 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, Co, 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 (0.5 ng/m³).

V y Ni alcanza las máximas concentraciones en Puente Mayorga y Marbella (V: 4.4 y 2.3 ng/m³, respectivamente; y Ni: 5.9 y 2.6 ng/m³, respectivamente). La anomalía principal de Cr se encuentra en Puente Mayorga, (6.6 ng/m³). Las máximas concentraciones de Mn se alcanzan en Puente Mayorga (5.4 ng/m³).

Cu alcanza las máximas concentraciones en Lepanto (15.3 ng/m³), mientras el Zn es máximo en las estaciones de Lepanto (72.5 ng/m³) y Torneo (33.2 ng/m³). Las concentraciones de Cu y Zn en Lepanto están relacionadas con la industria del latón, en Campus con la metalurgia del Cu. La estación Lepanto, presenta también las máximas concentraciones en Rb (0.9 ng/m³), Sb (0.9 ng/m³) y Pb (5.7 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.

Las concentraciones máximas de **Rb** se encuentran en Lepanto (0.79 ng/m³), y las de Sr en Lepanto (1.6 ng/m³), Granada Norte (1.4 ng/m³), Marbella (1.3 ng/m³),

Finalmente, se destacan las máximas concentraciones de **Zr** en Lepanto (3.4 ng/m³) y Sn en Torneo (1.4 ng/m³).

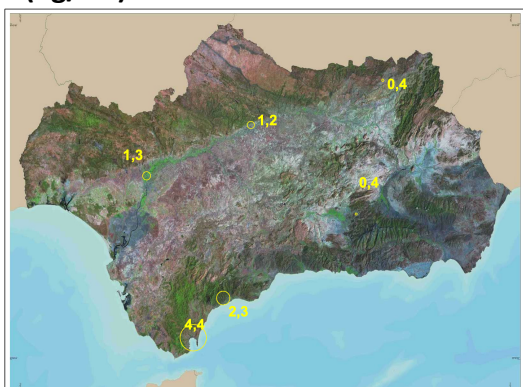
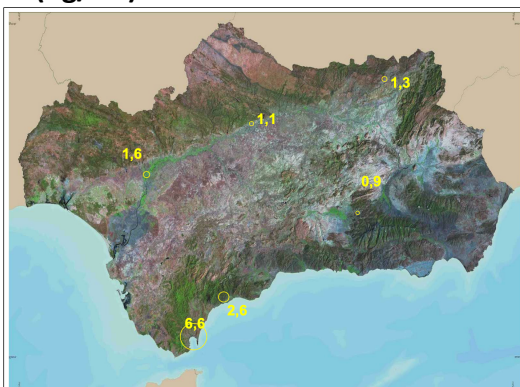
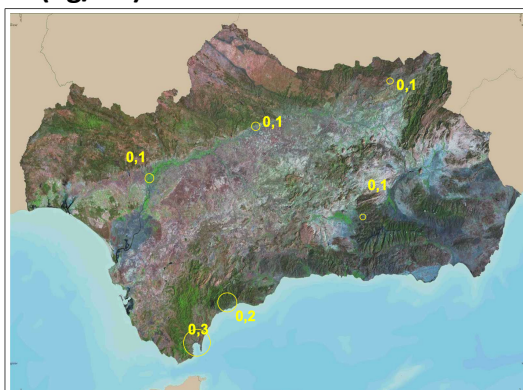
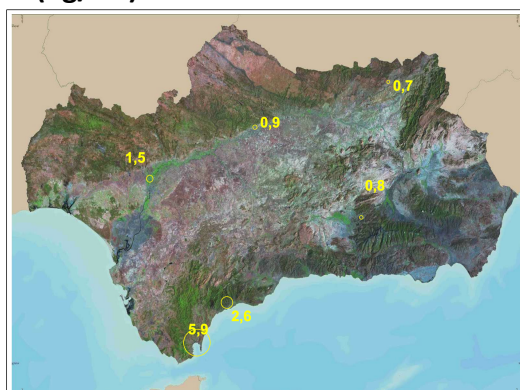
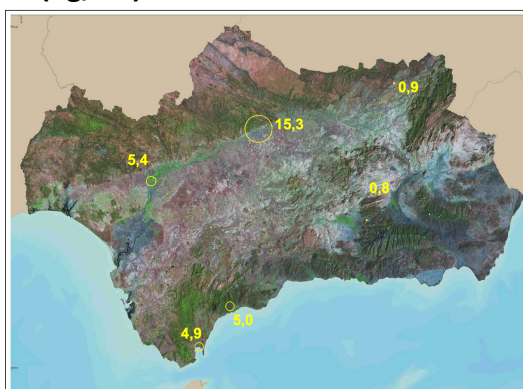
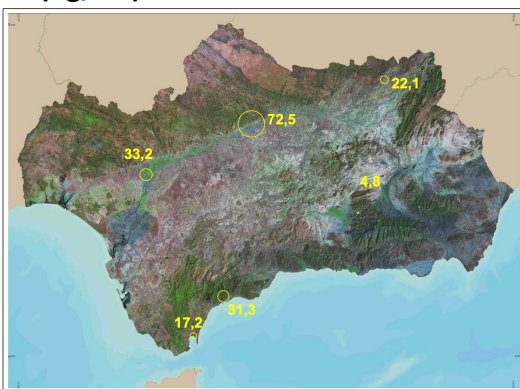
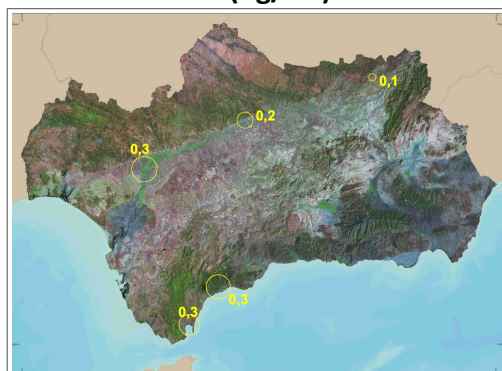
V (ng/m³)**Cr (ng/m³)****Co (ng/m³)****Ni (ng/m³)****Cu (ng/m³)****Zn (ng/m³)****As (ng/m³)**

Figura 9.- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2022.

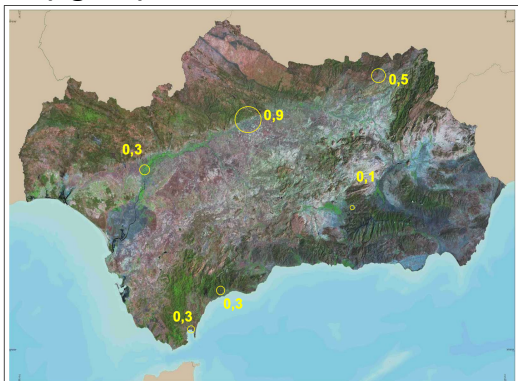
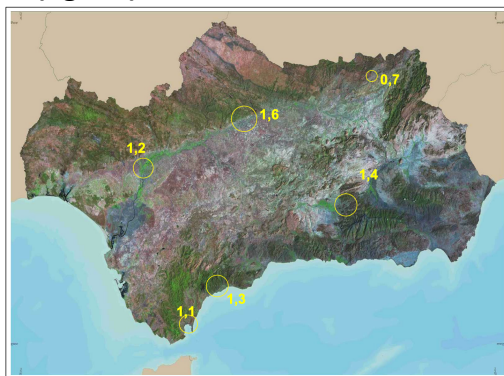
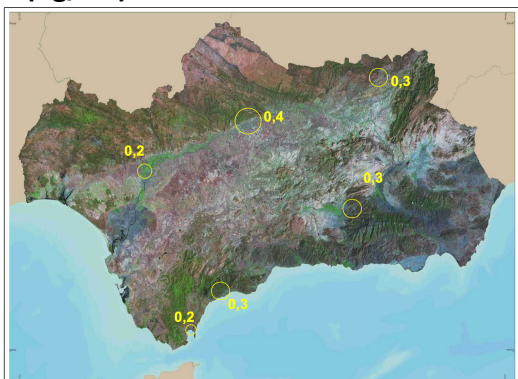
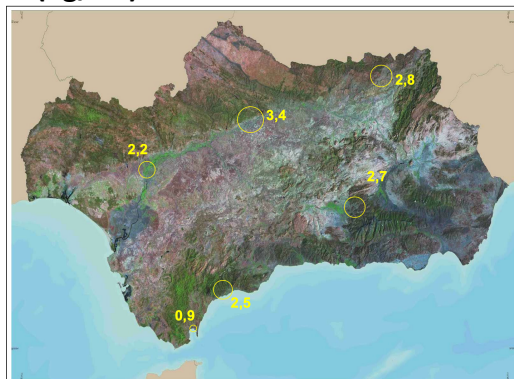
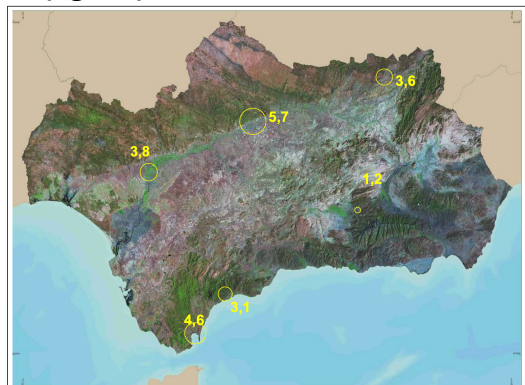
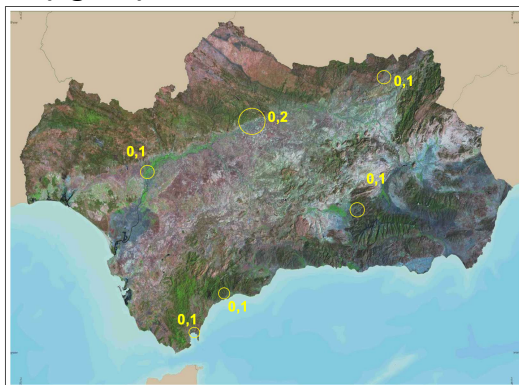
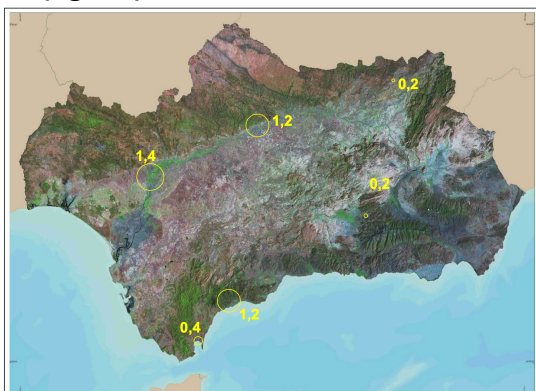
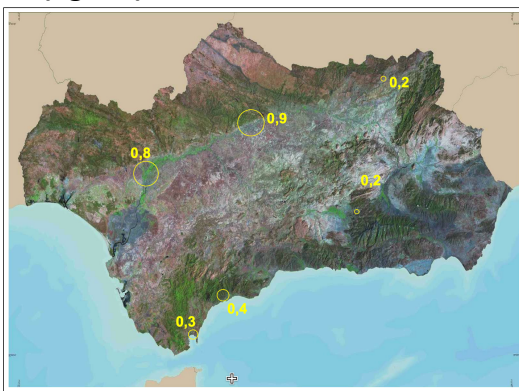
Rb (ng/m³)**Sr (ng/m³)****Y (ng/m³)****Zr (ng/m³)****Pb (ng/m³)****Cd (ng/m³)****Sn (ng/m³)****Sb (ng/m³)**

Figura 9 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2022.

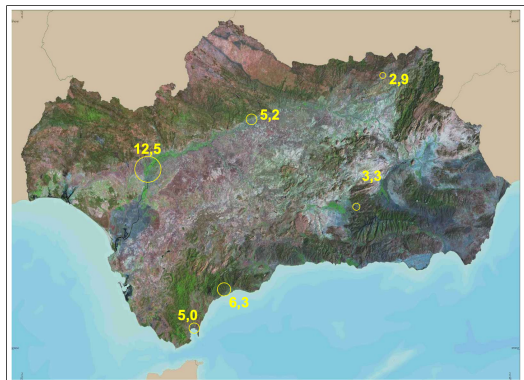
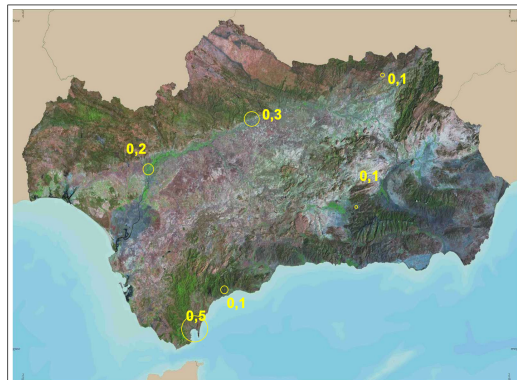
Ba (ng/m³)**La (ng/m³)**

Figura 9 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2022.

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. 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.

Mineral						
Estacion	Provincia	Nº filtros	Fuente	µg/m ³	%	Perfil químico
Alcalá de Guadaira	Sevilla	107	Mineral	8,2	32	Al+Fe+Mn+Ti+V+Sr
Bailén	Jaén	122	Mineral	12,3	39	Al+Ca+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Ni+Rb+Sr+Ba+Zr.
Campus MCV	Huelva	125	Mineral	7,2	27	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Rb+Sr+La.
Carranque	Málaga	122	Mineral	9,4	37	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Cr+Sr+Ba+Zr.
Granada Norte	Granada	119	Mineral	8,7	29	Al+Ca+K+Na+Fe+Mn+Ti+fosfato+Rb+Sr+Ba+Zr
La Línea	Cádiz	99	Mineral	6,2	26	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Cu+Sr+Rb+Ba
La Rábida	Huelva	114	Mineral	8	32	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Cr+Co+Rb+Sr+La+Ce.
Lepanto	Córdoba	123	Mineral	9,7	39	Al+Ca+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+Zn+Rb+Sr+Pb+Ba+Zr
Los Barrios	Cádiz	102	Mineral	4,10	25	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Sr.
Marbella	Málaga	102	Mineral	9,2	27	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Sr+Pb+Ba+Zr
Matalascañas	Huelva	131	Mineral	6,6	30	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Sr+Pb+Ba+Zr
Mediterráneo	Almería	114	Mineral	9,6	34	Al+Ca+K+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Sr+Ba
Moguer	Huelva	120	Mineral	12,4	44	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Rb+Sr+Ba+OC.
Palacion de Congresos	Granada	124	Mineral 1	5,8	26	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Rb+Sr+Zr.
Plaza Castillo	Almería	117	Mineral	6,6	25	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+Cr+Sr+Ba.
Príncipes	Sevilla	123	Mineral	12,3	43	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cu+Sr+Ba.
Puente Mayorga	Cádiz	136	Mineral	4,3	21	Al+Ca+K+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Rb+Sr+Ce.
Ronda de Valle	Jaén	106	Mineral	10,3	49	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Sr+Pb+Ba
San Fernando	Cádiz	115	Mineral	5,1	28	Al+Ca+K+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Zn+Sr+Pb.
Sierra Norte	Sevilla	120	Mineral	10,4	54	Al+Ca+K+Fe+Mn+Ti+fosfatos+V+Cr+Rb+Sr+Ba+sulfato
Torneo	Sevilla	99	Mineral	8,1	29	Al+Ca+K+Na+Mg+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Cr+Ni+Sr+Ba
Villanueva del Arzobispo	Jaén	121	Mineral 1	13,4	47	Al+Fe+Mn+Ti+fosfato+V+Rb+Sr+Ba.

- Fuente Marina.** Se encuentra formada por **Cl+Na±Mg**. Puede incluir compuestos inorgánicos secundarios tales como sulfato, nitrato ó amonio, considerándose como fuentes envejecidas (“aged”). Estas partículas se generan a partir del aerosol marino en periodos de advección atlántica, y suele dominar en Andalucía en la costa y durante los meses de invierno.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Marino				Perfil químico	
			Fuente	µg/m ³	%			
Alcalá de Guadaira	Sevilla	107	Marino	2,1	8,3		Na+Cl	urbano
Bailén	Jaén	122	Marino	1,2	3,8		Cl+Na.	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	125	Marino	6,5	24		Na+Mg+Cl.	urbano + industrial
Carranque	Málaga	122	Marino	3,3	13		Na+Mg+Cl.	urbano
Granada Norte	Granada	119	Marino + Regional	5,1	17		Na+V+sulfato+Nitrato+Cl+amonio	tráfico
La Línea	Cádiz	99	Marino	5,8	24		Na+Mg+Cl.	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	114	Marino	6,4	25		Na+Mg+Cl.	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	123	Marino	2,2	8,9		Na+Mg+Cl.	urbano
Los Barrios	Cádiz	102	Marino	2,6	16		Na+Mg+Cl.	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	Marino	7,5	22		Na+V+Ni+Zn+Pb+sulfato+nitrato.	tráfico
Matalascañas	Huelva	131	Marino	6,5	29		Na+Mg+Ni+Sr+sulfato+nitrato+Cl+amonio.	rural
Mediterráneo	Almería	114	Marino	5,1	18		Na+Mg+Ba+Cl.	urbano
Moguer	Huelva	120	Marino	3	11		Na+Mg+Cl	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	124	Marino aged	8	36		Na+fosfato+V+Rb+Sr+Pb+Ba+sulfato+Cl.	urbano
Plaza Castillo	Almería	117	Marino	7	27		Na+Mg+Cl.	urbano
Príncipes	Sevilla	123	Marino	1,9	6,7		Na+Mg+Cl.	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	Marino	6,8	33		Na+Mg+Sr+sulfato+nitrato+Cl	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	106	Marino	1,3	6,2		Na+Mg+Cl.	urbano
San Fernando	Cádiz	115	Marino	3,7	20		Na+Mg+Cl	urbano
Sierra Norte	Sevilla	120	Marino	1	5,2		Na+Mg+Ba+Cl	rural
Torneo	Sevilla	99	Marino	2,5	8,8		Na+Mg+sulfato+Cl.	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	121	Marino	0,5	1,7		Na+Cl	urbano

- **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.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Regional				Perfil químico	
			Fuente	µg/m ³	%			
Alcalá de Guadaira	Sevilla	107	Regional	5,1	20		Na+V+sulfato+nitrato+amonio	urbano
Bailén	Jaén	122	Regional	4	13		Na+fosfato+sulfato+nitrato+amonio	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	125						urbano + industrial
Carranque	Málaga	122	Regional 1	8,5	33		V+Ni+sulfato+amonio.	urbano
Granada Norte	Granada	119						tráfico
La Línea	Cádiz	99	Regional	6,4	27		V+sulfato+nitrato+amonio+OC	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	114						urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	123	Regional	6	24		Na+V+Ba+sulfato+nitrato+amonio	urbano
Los Barrios	Cádiz	102	Regional	5,3	33		K+Na+Mg+V+Ni+Cu+sulfato+nitrato+amonio	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	Regional	2	5,8		V+sulfato+nitrato.	tráfico
Matalascañas	Huelva	131	Regional	3,1	14		Ca+NSr+n+sulfato+OC+EC.	rural
Mediterráneo	Almería	114	Regional	4,1	14		Na+fosfato+V+Ni+Pb+Ba+sulfato+nitrato+amonio.	urbano
Moguer	Huelva	120						urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	124						urbano
Plaza Castillo	Almería	117	Regional	10,7	41		V+Cr+Zn+Sr+Pb+Ba+sulfato+nitrato+amonio.	urbano
Príncipes	Sevilla	123	Regional	4,1	14		Na+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato.	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	Regional	4,7	23		V+sulfato+nitrato+amonio+OC.	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	106	Regional	4,7	22		Na+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato+amonio.	urbano
San Fernando	Cádiz	115	Regional	5,8	32		Na+Mg+fosfato+V+Cr+Ni+Cu+Zn+Sr+sulfato+nitrato+OC	urbano
Sierra Norte	Sevilla	120	Regional	2	10		Na+Mg+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato+amonio	rural
Torneo	Sevilla	99	Regional	5,9	21		V+Ni+Nitrato	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	121	Regional	2,7	9,4		Na+fosfato+V+Zn+Pb+sulfato+nitrato+amonio	urbano

- **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 resuspensión 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 amoniaco empleado en los vehículos diesel para evitar emisiones de NO₂.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Trafico			Perfil químico	
			Nombre	µg/m ³	%		
Alcalá de Guadaira	Sevilla	107	Tráfico	3,8	15	Cu+Zn+Sn+OC+EC	urbano
Bailén	Jaén	122					urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	125	Tráfico + Combustión	9,6	36	K+Zn+Sn+Sb+nitrato+amonio+OC+EC	urbano + industrial
Carranque	Málaga	122	Tráfico	4,3	17	Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Sb+Pb+Ba+Zr+OC+EC.	urbano
Granada Norte	Granada	119	Tráfico	11,4	39	Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Sb+Pb+OC+EC.	tráfico
La Línea	Cádiz	99					urbano + industrial
La Rábida	Huelva	114					urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	123	Tráfico	2,6	11	V+Cr+Cu+Zn+Sn+Pb+Ba+Zr+OC+EC	urbano
Los Barrios	Cádiz	102					urbano + industrial
Marbella	Málaga	102	Tráfico	8,2	24	Ca+Fe+Mn+Ti+fósforo+Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Sb+Ba+Zn+OC+EC	tráfico
Matalascañas	Huelva	131					rural
Mediterráneo	Almería	114	Tráfico	5,7	20	Ca+fósforo+Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Pb+Ba+OC+EC.	urbano
Moguer	Huelva	120					urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	124	Tráfico	4,5	20	fósforo+V+Cr+Cu+Zn+Pb+Zr+OC+EC.	urbano
Plaza Castillo	Almería	117					urbano
Príncipes	Sevilla	123	Tráfico	7,7	27	Ca+K+Fe+Mn+fósforo+Cr+Cu+Zn+Sn+Pb+Ba+OC+EC.	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	Tráfico	3,1	15	Fe+V+Cu+Zn+Sn+Sb+Pb+EC	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	106					urbano
San Fernando	Cádiz	115					urbano
Sierra Norte	Sevilla	120					rural
Torneo	Sevilla	99	Tráfico	8,9	31	Ca+K+Fe+Mn+Ti+fósforo+Cr+Cu+Zn+Sn+Sb+Pb+Ba+OC+EC.	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	121					urbano

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

Estacion	Provincia	Nº filtros	Combustion			Perfil químico	
			Nombre	µg/m ³	%		
Alcalá de Guadaira	Sevilla	107					urbano
Bailén	Jaén	122	Combustión	9,1	29	K+Cr+Cu+Zn+Pb+Zr*OC.	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	125					urbano + industrial
Carranque	Málaga	122					urbano
Granada Norte	Granada	119	Combustión	4,4	15	K+Cu+Zn+Zr+nitrato+amonio.	tráfico
La Línea	Cádiz	99	Combustión	3,9	16	K+fósforo+amonio+OC+EC.	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	114	Combustión + Tráfico	4,9	20	K+Ti+Rb+nitrato+amonio+OC+EC.	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	123	Combustión + Industri:	4,2	17	5. Combustión+Industrial: K+fósforo+Cu+Zn+Rb+Pb+OC+EC	urbano
Los Barrios	Cádiz	102	Combustión + Industri:	3	19	Ca+K+fósforo+V+Ni+Cu+Pb+Ba+amonio+OC+EC	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102					tráfico
Matalascañas	Huelva	131	Combustión + Tráfico	3,2	14	K+fósforo+Zn+Sn+Sb+Pb+sulfato+nitrato+amonio+OC+EC.	rural
Mediterráneo	Almería	114	Combustión	3,9	14	K+Na+nitrato+OC	urbano
Moguer	Huelva	120	Combustión	3,5	12	K+Ba+nitrato+amonio+OC+EC.	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	124	Combustión	4	18	K+Zn+Ba+Nitrato+Cl+amonio.+OC+EC	urbano
Plaza Castillo	Almería	117	Combustión	1,6	6,2	Ca+K+Zn+Pb+amonio+OC+EC.	urbano
Príncipes	Sevilla	123					tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136					urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	106	Combustión 1	4,7	22	Ca+K+fósforo+Cr+Cu+Zn+Ba+OC.	urbano
San Fernando	Cádiz	115					urbano
Sierra Norte	Sevilla	120	Combustión 1	5,8	30	K+fósforo+Cr+Zn+Rb+Pb+Ba+sulfato+amonio+OC+EC	rural
Torneo	Sevilla	99					tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	121	Combustión	12	42	K+Cu+Rb+OC+EC	urbano

- **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.

Estación	Provincia	Nº filtros	Industrial			Perfil químico	
			Nombre	µg/m ³	%		
Alcalá de Guadaira	Sevilla	107	Industrial	6,2	24	Ca+fosfato+Cr+Cu+Zn+Pb+Ba+OC.	urbano
Bailén	Jaén	122	Industrial	4,8	15	V+Ni+Zn+Pb+sulfato+EC.	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	125	Industrial 1	3,3	12		urbano + industrial
Carranque	Málaga	122					urbano
Granada Norte	Granada	119					tráfico
La Línea	Cádiz	99	Industrial	1,6	6,7	Fe+Mn+Cr+Ni+Cu+Zn+Pb+Ba	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	114	Industrial 1	4,5	18	Zn+As+Cd+Pb+Bi.	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	123					urbano
Los Barrios	Cádiz	102	Industrial	1,1	6,8	Mn+Cr+Ni+Cu+Zn+Pb+Ba	urbano + industrial
Marbella	Málaga	102					tráfico
Matalascañas	Huelva	131	Industrial	2,9	13	Cu+Zn+Sn+Sb+Pb+La+EC.	rural
Mediterráneo	Almería	114					urbano
Moguer	Huelva	120	Industrial	4,5	16	fosfato+Cr+Cu+Zn+As+Pb.	urbano + industrial
Palacio de Congresos	Granada	124					urbano
Plaza Castillo	Almería	117					urbano
Príncipes	Sevilla	123					tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	136	Industrial	1,5	7,4	Mn+Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Pb.	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	106					urbano
San Fernando	Cádiz	115					urbano
Sierra Norte	Sevilla	120					rural
Torneo	Sevilla	99					tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	121					urbano

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 13.4 µg/m³ en Vva del Arzobispo, 12.4 µg/m³ en Moguer y 12.3 µg/m³ en Bailén y Alcalá de Guadaira, y mínimos de 4.1 µg/m³ en Los Barrios y 4.3 µg/m³ en Puente Mayorga. La mayoría de las estaciones donde se han obtenido los valores máximos se encuentra a gran altitud relativa con 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 en altura.
- **Marino:** las máximas contribuciones de la fuente marina ocurren en las estaciones costeras de Marbella (7.5 µg/m³), Plaza del Castillo (7.0 µg/m³), y Puente Mayorga (6.8 µg/m³). En Granada Norte se encuentra acoplada a Regional alcanzando conjuntamente hasta 8.0 µg/m³. En estas zonas, la proximidad del rompeolas provoca una mayor generación de aerosoles marinos. Las mínimas concentraciones se han obtenido en la estación de Sierra Norte (1.0 µg/m³) y Villanueva del Arzobispo (0.5 µg/m³).
- **Tráfico:** La fuente de tráfico es máxima en las estaciones de Granada Norte (11.4 µg/m³), Torneo (8.9 µg/m³), y Marbella (8.2 µg/m³). En Campus se acopla con la fuente de Combustión, alcanzando conjuntamente 9.6 µg/m³.
- **Combustión:** la fuente de Combustión es máxima en Villanueva del Arzobispo (12.0 µg/m³) y Bailén (9.1 µg/m³), casi triplicando las contribuciones de Granada Norte (4.4 µg/m³), Palacio de Congresos (4.0 µg/m³), Ronda de Valle (4.7 µg/m³) y Sierra Norte (5.8 µg/m³). Las máximas se observan en la provincia de Jaén, seguida por Granada. En La Rábida también se ha obtenido altas concentraciones (hasta 4.9 µg/m³).
- **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 Alcalá

de Guadaira ($6.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). También se destacan las estaciones de Bailén ($4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Moguer y La Rábida ($4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Campus ($3.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Matalascañas ($2.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 Plaza Castillo ($10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Marbella ($8.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Lepanto ($6.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

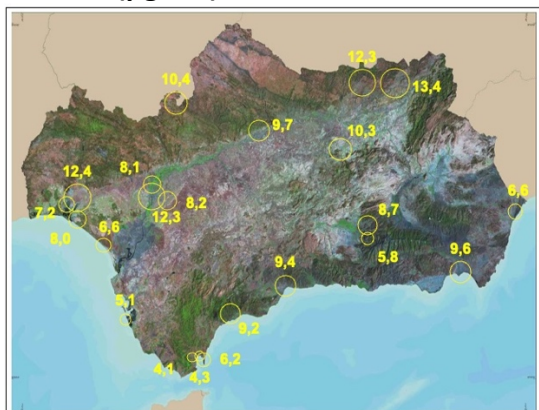
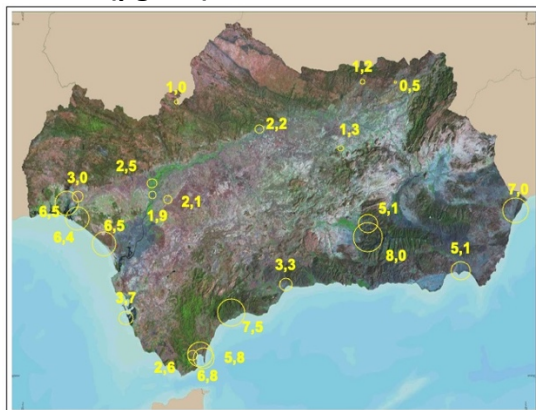
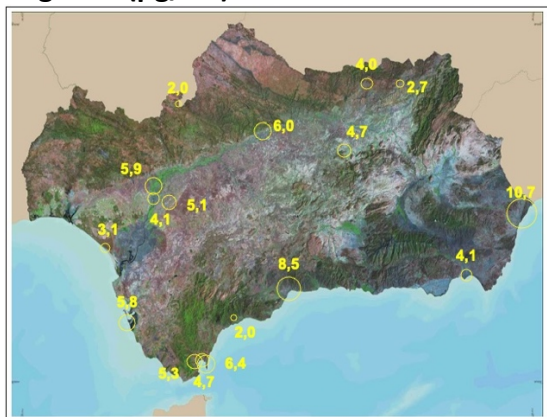
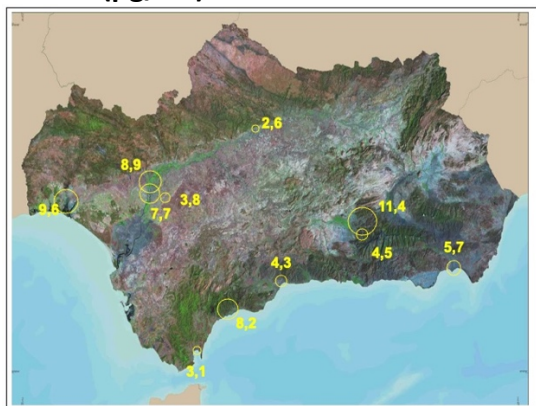
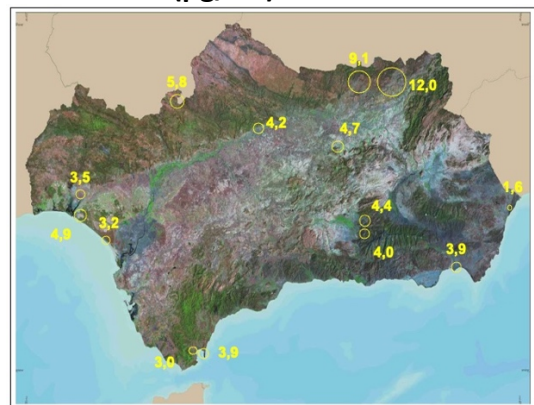
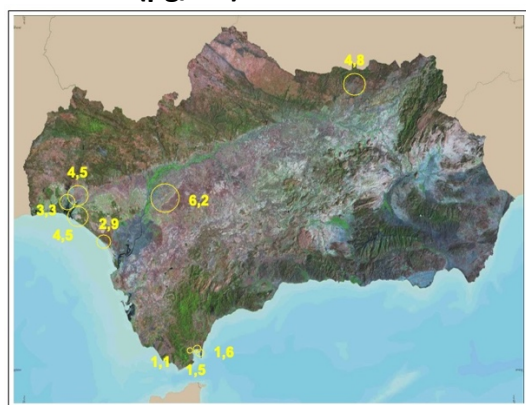
Mineral ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Regional ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Tráfico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Combustión ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Industrial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

Figura 10.- Mapas de contribución de fuentes PM10 en Andalucía durante el año 2022.

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 2022. 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 2022 son relativamente bajas y comparables con las obtenidas en el año 2021 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 y 2022, se destacan las máximas concentraciones de **materia mineral** obtenidas en Villanueva del Arzobispo (13.4 µg/m³), **aerosol marino** en las estaciones costeras de Marbella (7.5 µg/m³), Plaza Castillo (7.0 µg/m³) y La Rábida (7.7 µg/m³), **tráfico** en las estaciones de Granada Norte (11.4 µg/m³), Torneo (8.9 µg/m³), Marbella (8.2 µg/m³) y, **combustión** en Villanueva del Arzobispo (12.0 µg/m³) y Bailén (9.1 µg/m³), **industrial** en Alcalá de Guadaira (6.2 µg/m³), Bailén (4.8 µg/m³), La Rábida y Moguer (4.5 µg/m³) y Campus (3.3 µg/m³), y **regional** en Plaza Castillo (10.7 µg/m³), Marbella (8.5) y Lepanto (6.0 µg/m³).