

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 2021



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	33
4. CONCLUSIONES	35

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, Manuel Ortega Martín
y Jesús D de la Rosa Díaz

Análisis químico:

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

21 de junio de 2022

Firmado por DE LA ROSA DIAZ JESUS DAMIAN
- 29775115M el día 21/06/2022 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, PM10 y PM2.5) y su variabilidad geográfica en estaciones representativas de Andalucía durante el año 2021. 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). También se presenta los resultados de tasa de deposición y composición química de partículas sedimentables en cuatro estaciones del entorno de la Ría de Huelva.

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), 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.

En 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 analizadas durante el año 2021.

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. \(1998\)](#) modificado para incluir también la incertidumbre asociada al uso de los filtros blancos ([Amato et al., 2009](#)). 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 (8.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Bailén (5.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Granada Norte (5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo (4.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Palacio de Congresos y Lepanto (4.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Príncipes (4.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 2). 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 (7.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén (4.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Lepanto (3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), junto con las estaciones de Palacio de Congresos (3.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Granada Norte (3.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En relación a **C_{elemental}**, la máxima concentración se ha determinado en Granada Norte (1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Ronda de Valle (1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Villanueva del Arzobispo y Torneo (1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Rondad del Valle y Bailén (1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Las máximas concentraciones de **Al₂O₃** se han registrado en Lepanto (2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Moguer (2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Sierra Norte (1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Palacio de Congresos, Granda Norte, Torneo y Villanueva del Arzobispo (1.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las estaciones están comprendidas entre 1.7 y 0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

En relación a **Ca**, destacan las estaciones de Villanueva del Arzobispo (2.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén (2.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Granada Norte (2.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Palacio de Congresos, Príncipes y Torneos ha registrado una concentración de 1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 Carranque (0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de las estaciones poseen concentraciones inferiores a 0.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Las concentraciones de **Fe** en PM10 son superiores en las estaciones de Torneo (1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Marbella (1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), seguidas por Granda Norte (1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Príncipes (0.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), correspondiendo a las estaciones hot-spot de tráfico.

En relación a **fosfato**, no se ha observado la presencia de una anomalía apreciable, incluso ha desaparecido la existente en las estaciones del Entorno de la Ría de Huelva, salvo en La Rábida con un valor máximo de 0.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

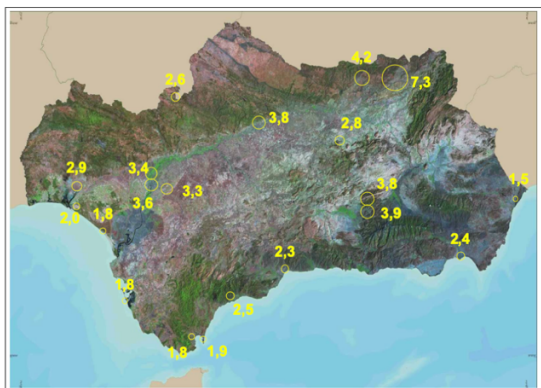
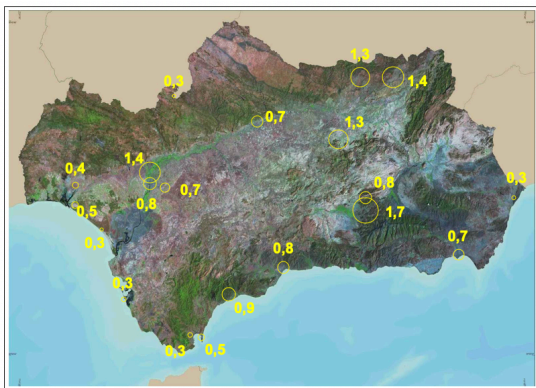
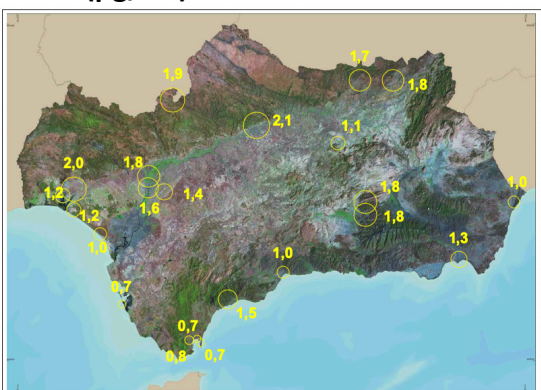
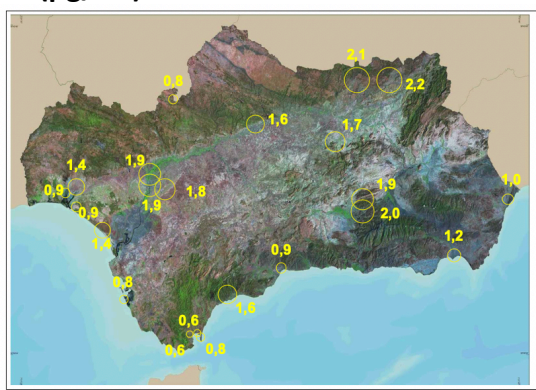
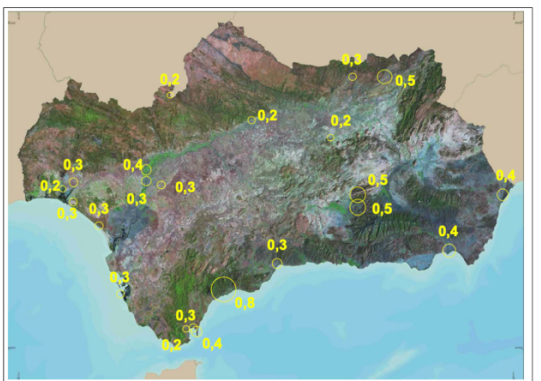
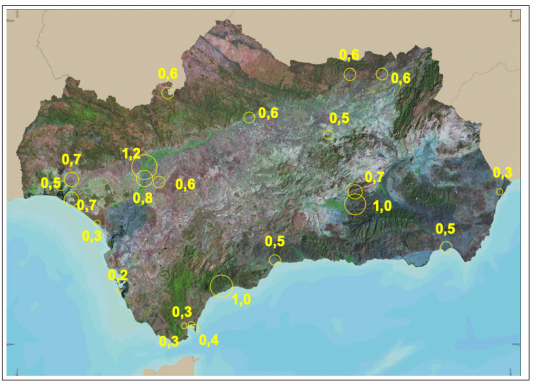
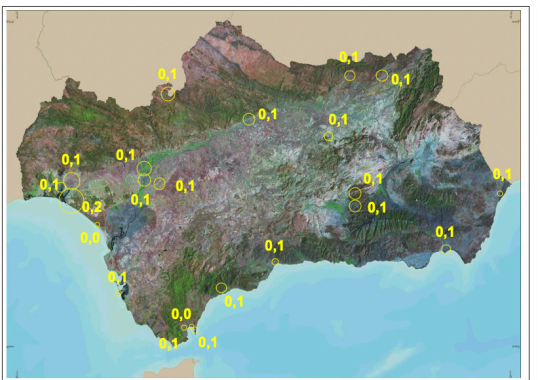
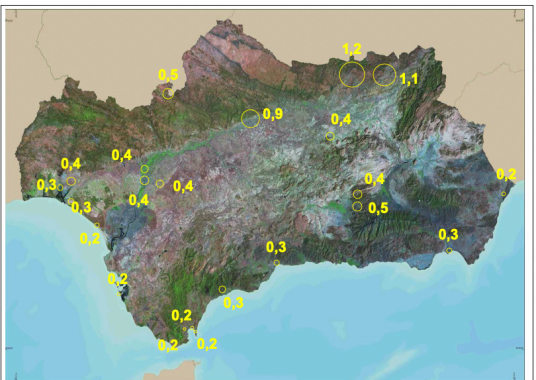
C orgánico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**C elemental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Al₂O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Ca ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Mg ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fe ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Fosfato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****K ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

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

En relación a **K**, la máxima concentración se ha obtenido en Bailén ($1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y Villanueva del Arzobispo ($1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Es de destacar también las altas concentraciones de Lepanto ($0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$). El resto de 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 Plaza Castillo (31%), Marbella (27%). En el Atlántico, destaca San Fernando (27%).

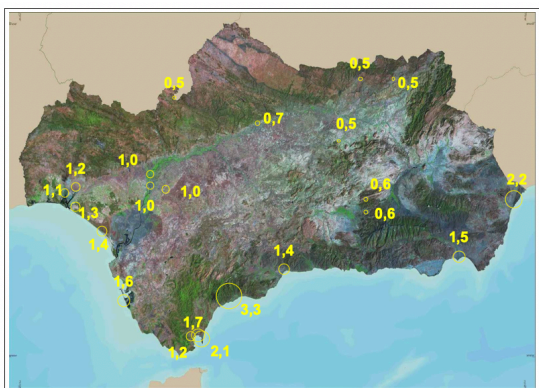
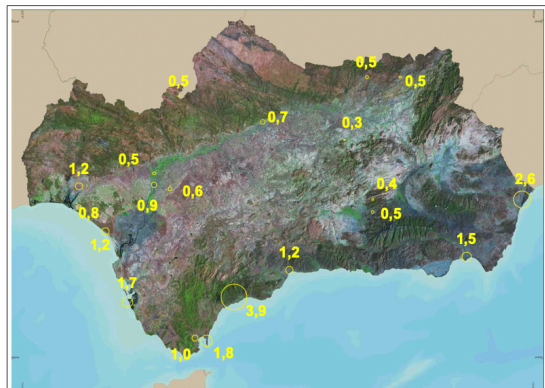
Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

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

La mayor concentración de **sulfato nss (antropogénico)** se ha observado en Bailén ($2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido de Marbella y Carranque ($1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), y Los Barrios y La Linea ($1.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La mínima concentración se obtuvo en Sierra Norte ($1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Figura 4).

La mayor concentración media de **nitrato** se ha obtenido en las estaciones de fondo urbano con influencia de tráfico de Carranque y La Linea ($2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguida de las estaciones de Marbella, Mediterráneo, Príncipes y Moguer ($2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Plaza Castillo con ($2.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (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 Palacio de Congresos de $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y mínimo de $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en Alcalá de Guadaira, Matalascañas y La Rábida (Figura 4).

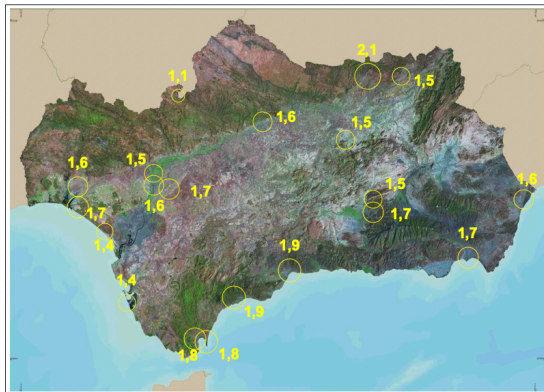
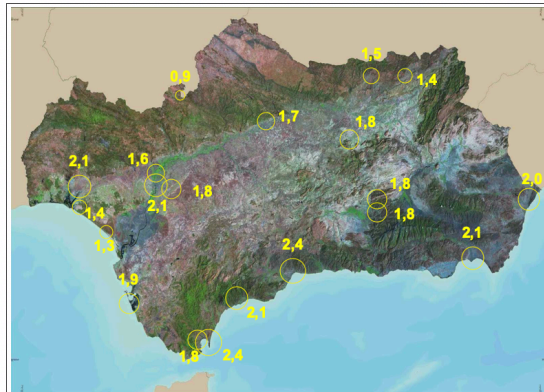
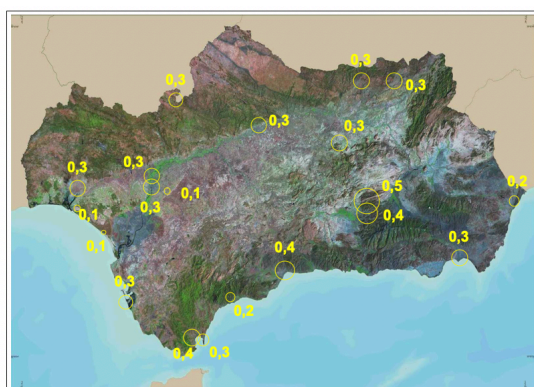
Sulfato no marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Amonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

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

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 ($22.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguidos de Carranque ($5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$), La Línea ($5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Puente Mayorga ($4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Los Barrio ($4.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 $4 \text{ ng}/\text{m}^3$.

En relación a **Cr** se observa una importante anomalía en estos cinco primeros meses del año en La Línea ($24.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), seguido por Puente Mayorga ($10.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Los Barrios ($7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La fuente principal en Campo de Gibraltar de **Cr** se encuentra en ACERINOX, aunque se estima que la instalación del mercado de abasto provisional en las proximidades de la estación de la Línea pueda ser responsable de esta anomalía tan importante. La siguiente estación con alto **Cr** es Marbella ($5.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Torneo ($5.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

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 (16.2 ng/m^3) seguido de Sierra Norte (14.0 ng/m^3), La Línea ($13.6 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), Marbella ($12.2 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), Príncipes ($12.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), Villanueva del Arzobispo ($10.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) y Lepanto ($10.1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). El resto de las estaciones posee valores inferiores a $10 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

Las mayores concentraciones de **Co** se han registrado en la estación de Marbella (0.6 ng/m^3), siendo las concentraciones en el resto de las estaciones inferiores a $0.4 \text{ } \mu\text{g/m}^3$.

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 ($14,8 \text{ ng/m}^3$), 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 Puente Mayorga ($8.1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) y Los Barrios (7.0 ng/m^3). También se destaca altas concentraciones en Bailén (7.0 ng/m^3) y Marbella ($4.8 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). La menor concentración se alcanzó en Villanueva del Alzobispo (1.3 ng/m^3), constituyendo el fondo geoquímico de Ni en PM10 en el periodo de muestreo.

Los valores medios de **Cu** en PM10 más altos se han obtenido en la estación de La Rábida (193 ng/m^3), seguido por Matalascañas (82.7 ng/m^3), Moguer (32.2 ng/m^3), Torneo ($23.0 \text{ } \mu\text{g/m}^3$), Lepanto ($20.9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$) y Campus ($18.9 \text{ } \mu\text{g/m}^3$). Salvo Matalascañas, el resto de estaciones con alta concentración de Cu corresponden con ámbitos con influencia industrial y hot-spot tráfico.

Zn también se encuentra en altas concentraciones en Lepanto (88.7 ng/m^3), La Línea (80.3 ng/m^3) y La Rábida (63.8 ng/m^3). El resto de las estaciones poseen valores inferiores (Los Barrios: 45.6 ng/m^3 , Príncipes: $35,5 \text{ ng/m}^3$ y Moguer: $35,1 \text{ ng/m}^3$, entre otras).

Ga y **Ge** posee concentraciones muy bajas, inferiores a 0.3 ng/m^3 en ambos casos.

Las máximas concentraciones de **As** se encuentran en las estaciones del Entorno de la Ría de Huelva, destacando La Rábida (6.3 ng/m^3), Campus Universitario (2.8 ng/m^3) y Moguer (3.6 ng/m^3). El valor de la concentración media registrada en La Rábida coincide 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). Se destaca el descenso en el impacto de As en la estación de Campus de la ciudad de Huelva en comparación con años anteriores ([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/m^3 .

Las concentraciones máximas de **Rb** se observan en Andalucía Oriental, principalmente en Bailén (2.1 ng/m³), Lepanto (1.7 ng/m³), Villanueva del Arzobispo y Moguer (1.6 ng/m³) y las estaciones de Granada (1.4 ng/m³), coincidiendo con los máximos de K, afín a este elemento.

En Andalucía Oriental, las estaciones de Granada Norte y Palacio de Congresos (9.6 y 9.2 ng/m³, respectivamente), Villanueva del Arzobispo (6.0 ng/m³), Marbella (5.9 ng/m³) y Bailén (5.7 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 5,3-2.3 ng/m³.

En relación con **Y** y **Zr**, **ambos elementos poseen comportamientos muy parecidos**. Los valores de Y están comprendidos entre 0.5-0.2 ng/m³, siendo los máximos los alcanzados en Granada Norte, Bailén y Sierra Norte (0.5 ng/m³). En el caso de Zr, los máximos también se alcanzan en Granada Norte (3.3 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 Moguer y La Rábida posee las máximas concentraciones de **Cd** (0.8 ng/m³ en ambas), seguido de Campus y Ronda del Valle (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 y Torneo (4.6 ng/m³), seguida de Granada Norte (4.0 ng/m³). El resto de las estaciones presentan concentraciones de Sn inferiores a 2.5 ng/m³, siendo las menores concentraciones las registradas en Sierra Norte y Plaza Castillo, y Villanueva del Arzobispo (0.6 y 0.4 ng/m³, respectivamente).

Las mayores concentraciones de **Sb** se registraron en Torneo (2.1 ng/m³), Granada Norte (2.0 ng/m³), Marbella (1.8 ng/m³) y Lepanto con 1.7 ng/m³. El resto de las estaciones registran concentraciones inferiores a 1,3 ng/m³. Valores inferiores se han discriminado en Sierra Norte (0.2 ng/m³), y Matalascañas (0.3 ng/m³).

Las mayores concentraciones de **Ba** se han registrado valores relevantes en Palacio de Congresos (36.6 ng/m³), Torneo (26.0 ng/m³), Granada Norte (24.6 ng/m³), y Carranque (21.2 ng/m³). Matalascañas posee las concentraciones más bajas con 5.3 ng/m³.

Puente Mayorga posee las mayores concentraciones promedio de **La** en PM10 en el año 2021 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 1.3 a 0.8 ng/m³, mientras que en Andalucía Occidental los valores varían entre 1.1 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. No obstante, cabe mencionar la concentración media de W registrada en Marbella (1.2 ng/m³).

Las máximas concentraciones de **Pb** se han descrito en La Rábida (32.1 ng/m³), Bailén (16.9 ng/m³), Moguer (16.8 ng/m³), Lepanto (9.4 ng/m³) y Campus (8.6 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 (1.1 ng/m³), Moguer (0.7 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.

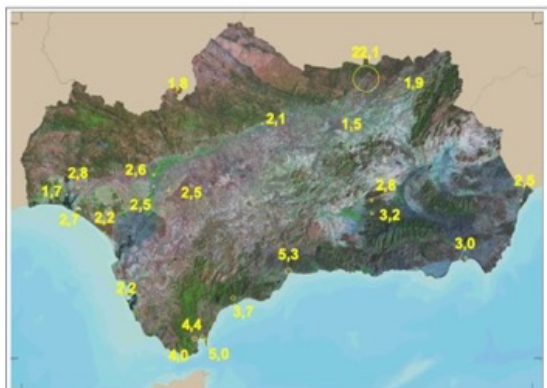
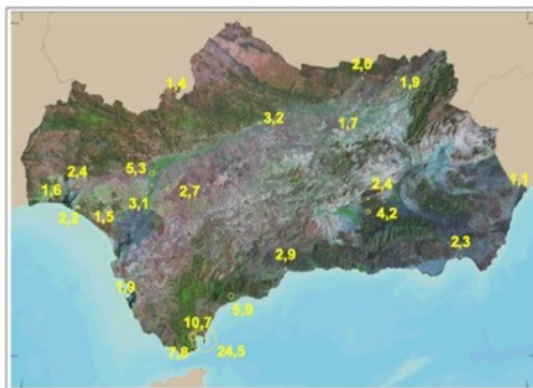
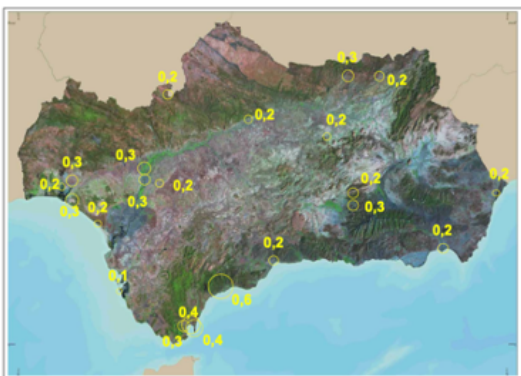
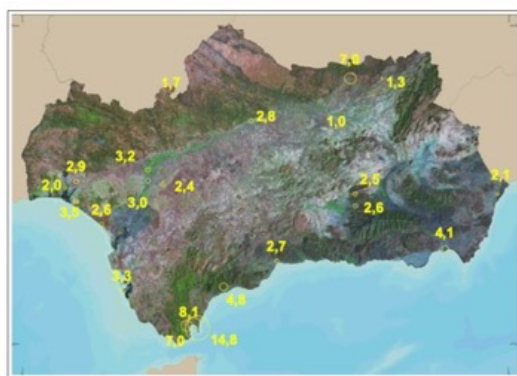
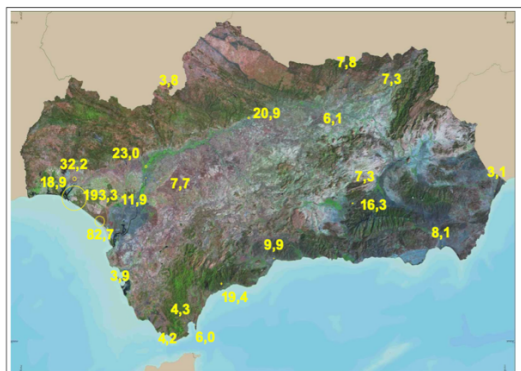
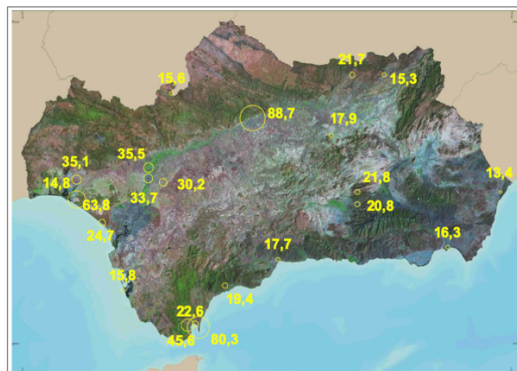
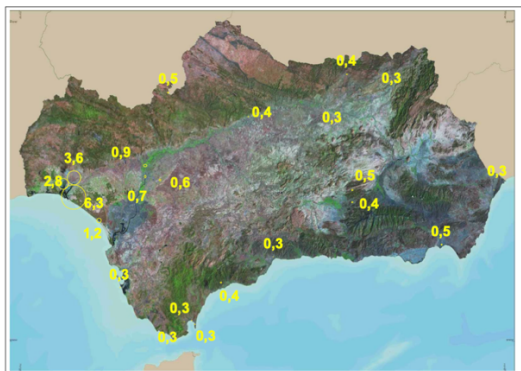
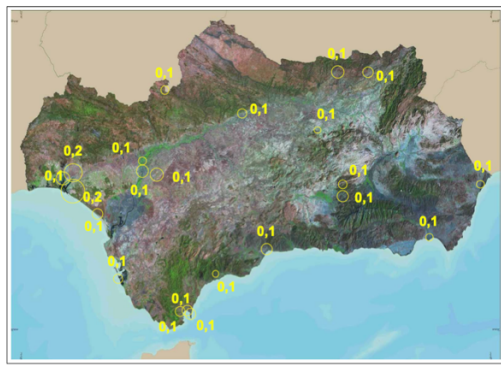
V (ng/m³)**Cr (ng/m³)****Co (ng/m³)****Ni (ng/m³)****Cu (ng/m³)****Zn (ng/m³)****As (ng/m³)****Se (ng/m³)**

Figura 5.- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2021.

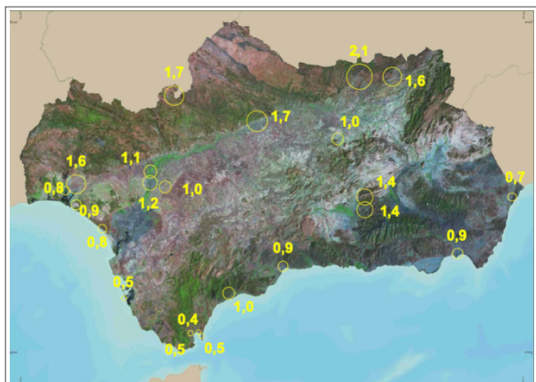
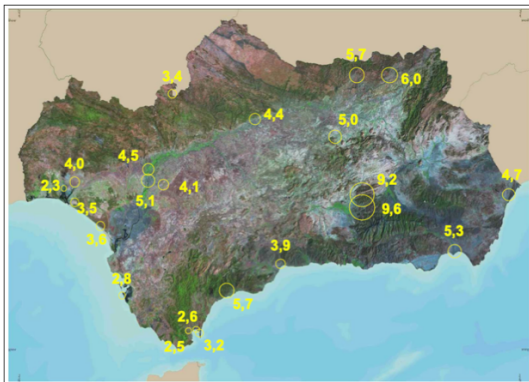
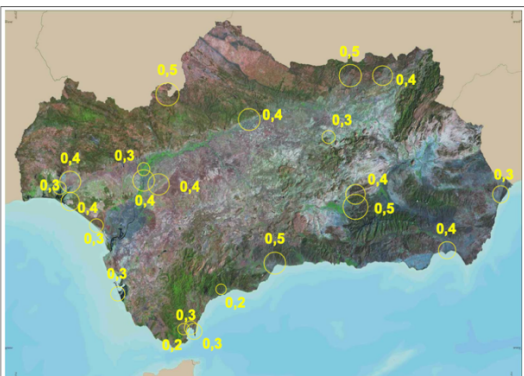
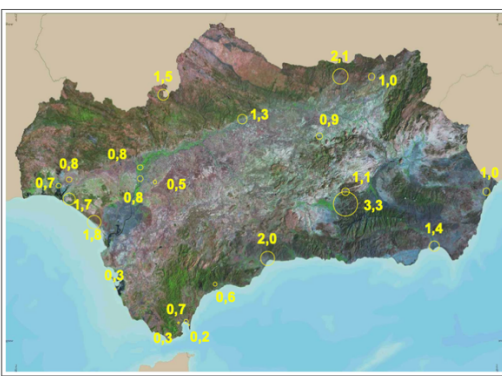
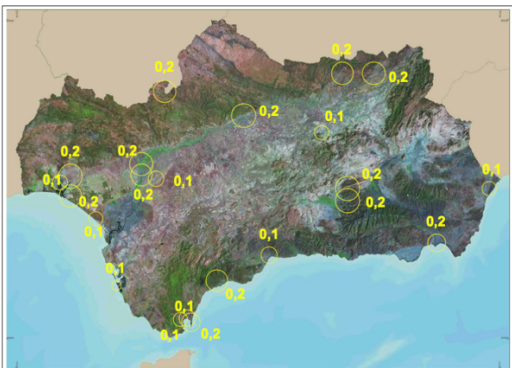
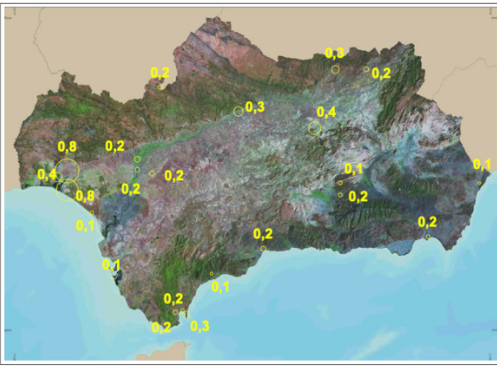
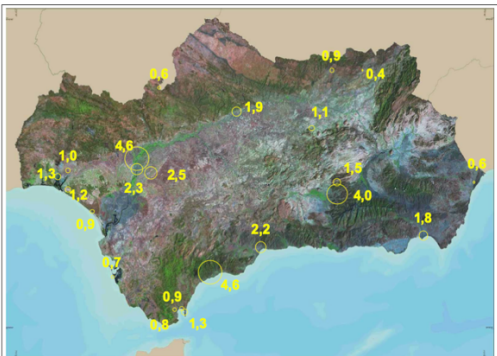
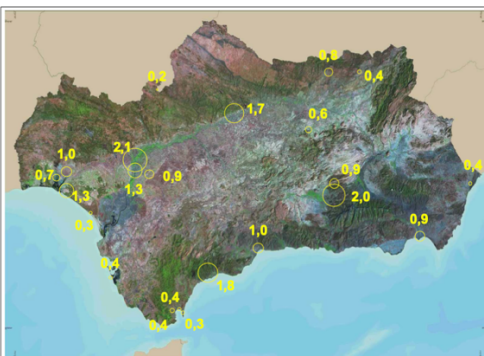
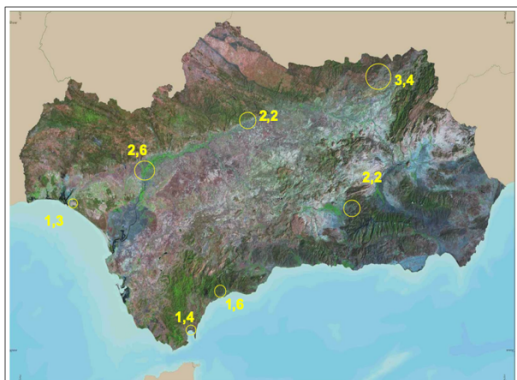
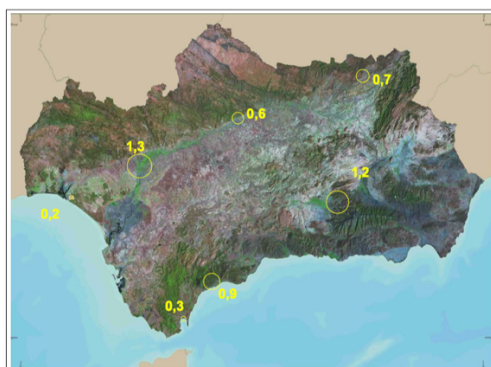
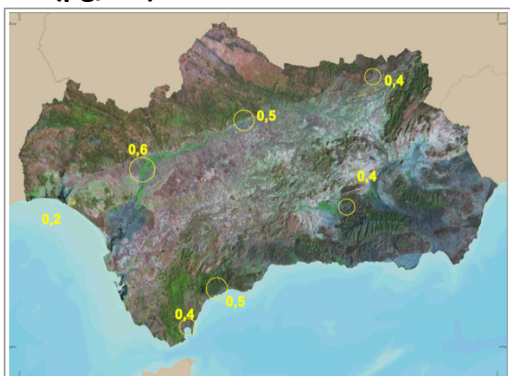
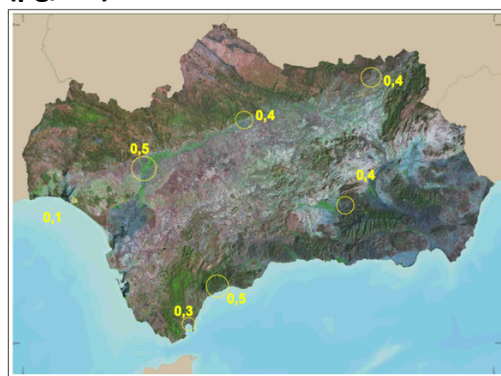
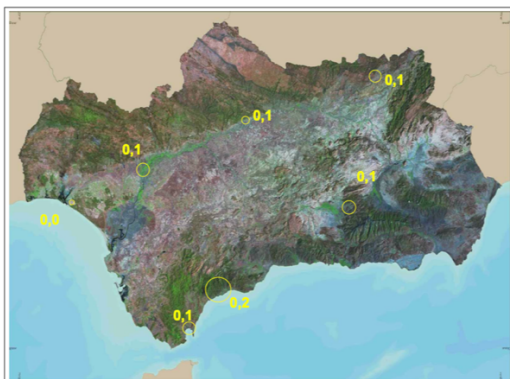
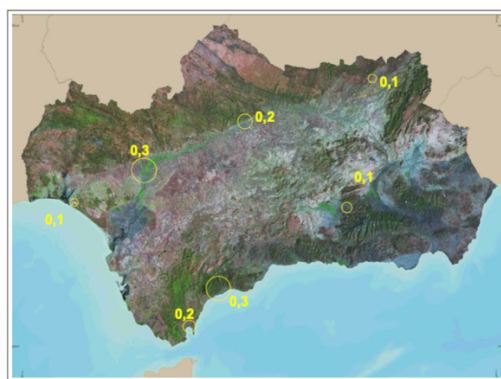
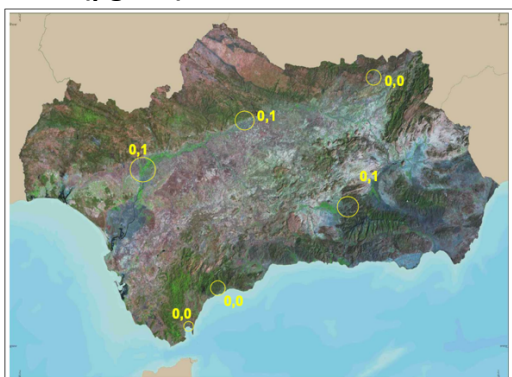
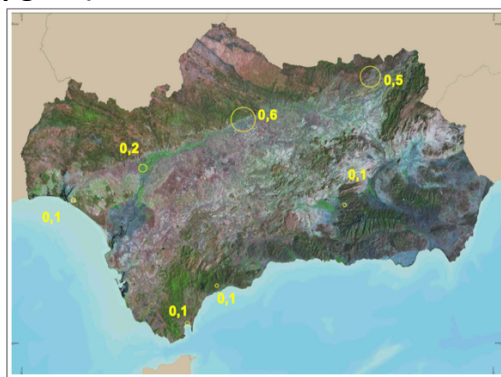
Rb (ng/m³)**Sr (ng/m³)****Y (ng/m³)****Zr (ng/m³)****Nb (ng/m³)****Cd (ng/m³)****Sn (ng/m³)****Sb (ng/m³)**

Figura 5 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM10 en Andalucía durante el año 2021.

C orgánico ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**C elemental ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Al₂O₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****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 6.- Mapas geoquímicos de componente mineral en $\text{PM}_{2.5}$ de Andalucía.

Las máximas concentraciones de **aerosol marino** se registran en las estaciones costeras tanto del Mediterráneo como Atlántico (**Figura 7**). Destaca Plaza Castillo (31%), Marbella (27%). En el Atlántico, destaca San Fernando (27%).

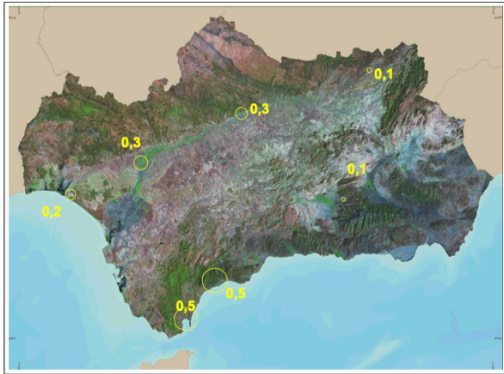
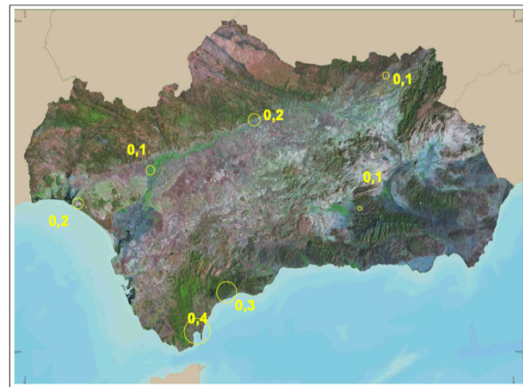
Na ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Cl ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

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

En relación a **nitrato** y **amonio** (**Figura 8**), los máximos de nitrato se han observado en Puente Mayorga ($0.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Lepanto ($0.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras que los máximos de amonio se han registrado en Marbella, Torneo, Granada Norte y Villanueva del Arzobispo ($0.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

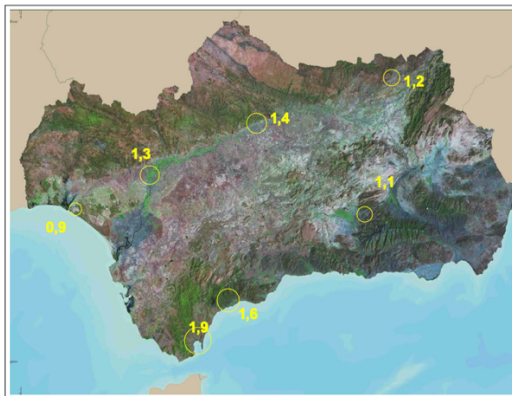
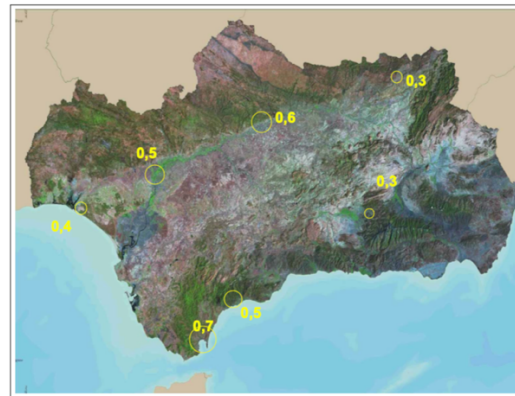
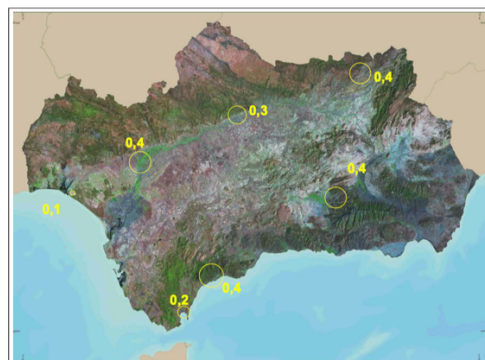
Sulfato no marino ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**Nitrato ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)****Amonio ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)**

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 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). **La** presenta una anomalía positiva en Puente Mayorga (1.0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

V y **Ni** alcanza las máximas concentraciones en Marbella y Puente Mayorga (V: 2.6 y 2.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente; y Ni: 3.3 y 6.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente). La anomalía principal de **Cr** se encuentra en Puente Mayorga, (9.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Las máximas concentraciones de **Mn** se alcanzan en Puente Mayorga y Torneo (5.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Cu alcanza las máximas concentraciones en Campus (43.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Lepanto (13.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), mientras el **Zn** es máximo en las estaciones de Lepanto (74.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Puente Mayorga (42.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 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** (0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y **Sb** (1.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). La máxima concentración de **Pb** se ha obtenido en Campus (12.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

As es máximo en Campus (3.8, $\mu\text{g}/\text{m}^3$), presentando la misma anomalía que la descrita en PM₁₀ para el Entorno de la Ría de Huelva. En esta selección no se presenta estaciones de este entorno geográfico.

Las concentraciones máximas de **Rb** se encuentran en Lepanto (0.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y las de **Sr** en Granada Norte (1.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo (1.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), y Marbella-Lepanto (1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Finalmente, se destacan las máximas concentraciones de **Zr** en La Rábida (1.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Puente Mayorga (1.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y **Sn** en Torneo (1.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

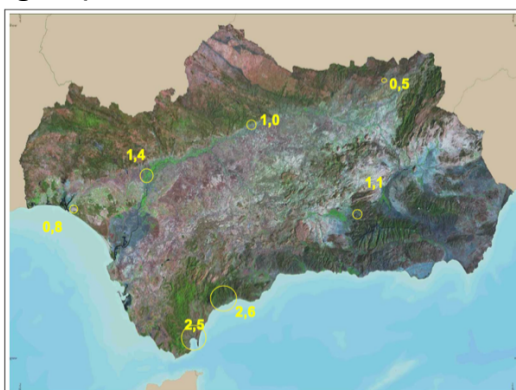
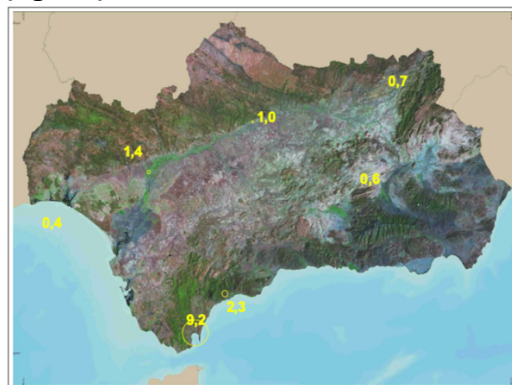
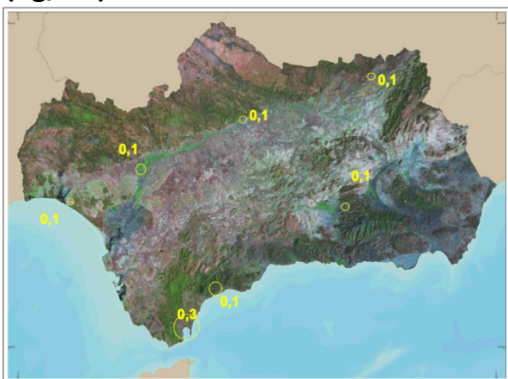
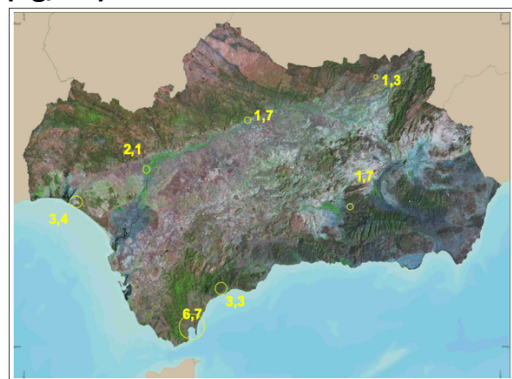
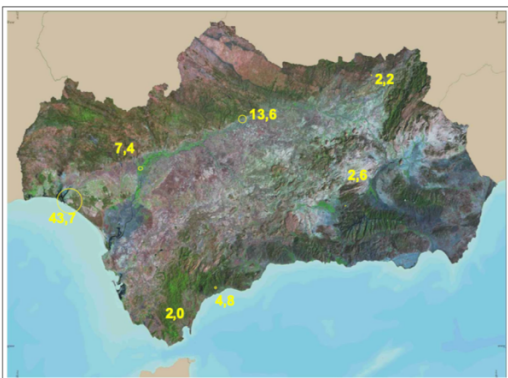
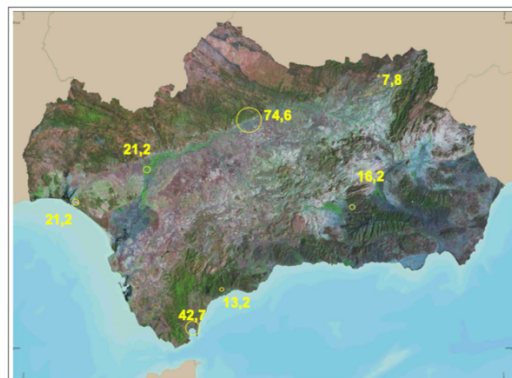
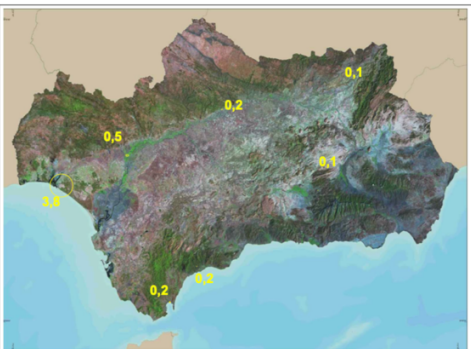
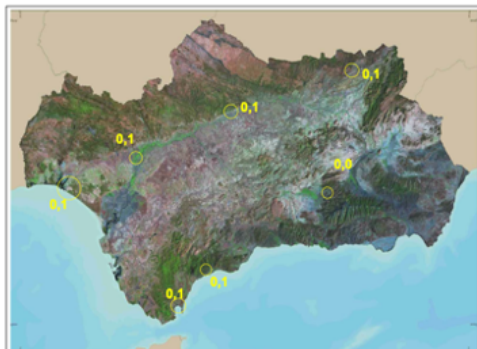
V (ng/m³)**Cr (ng/m³)****Co (ng/m³)****Ni (ng/m³)****Cu (ng/m³)****Zn (ng/m³)****As (ng/m³)****Se (ng/m³)**

Figura 9.- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2021.

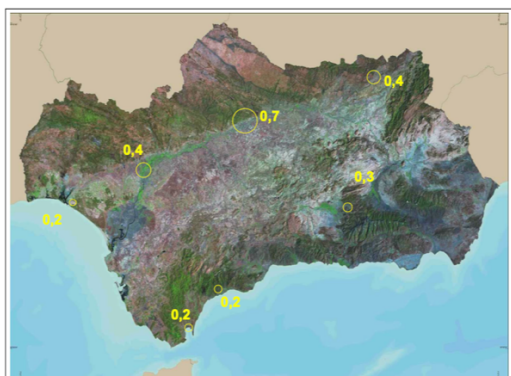
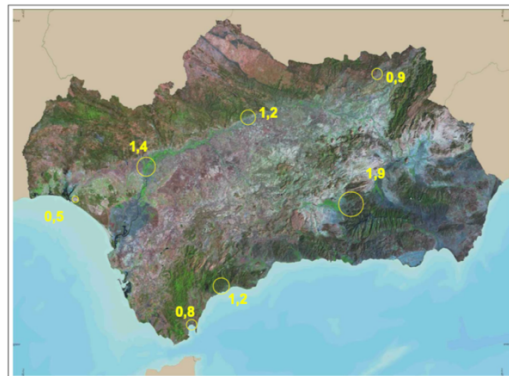
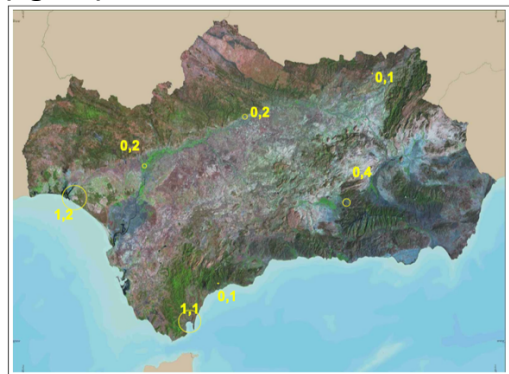
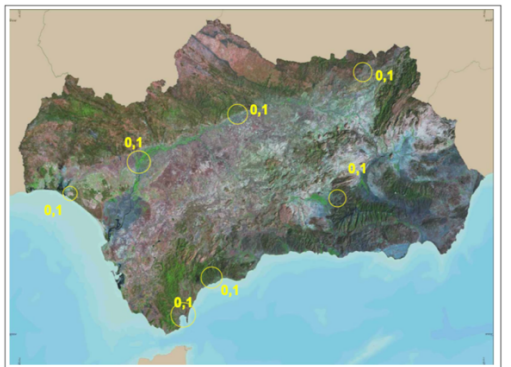
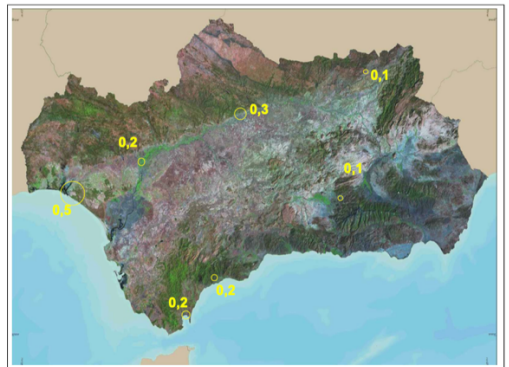
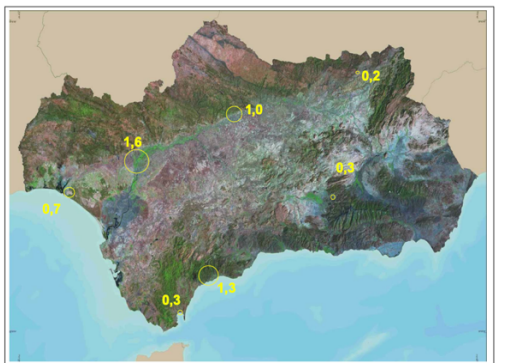
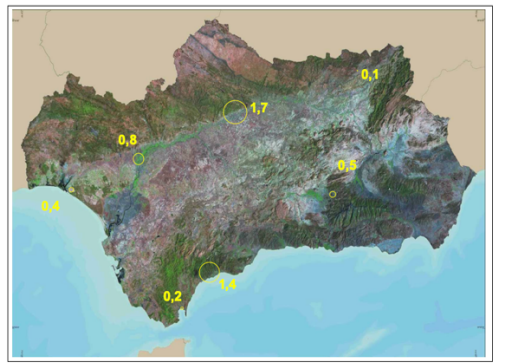
Rb (ng/m³)**Sr (ng/m³)****Y (ng/m³)****Zr (ng/m³)****Nb (ng/m³)****Cd (ng/m³)****Sn (ng/m³)****Sb (ng/m³)**

Figura 9 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2021.

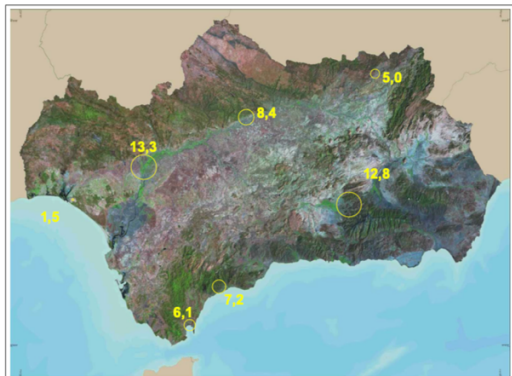
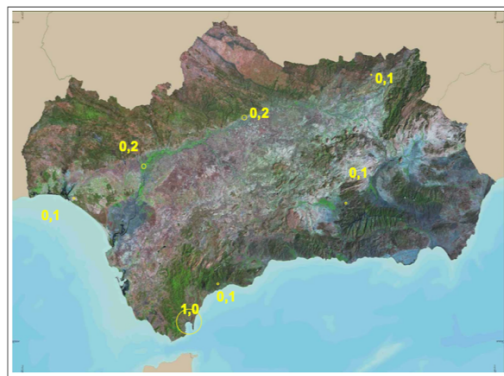
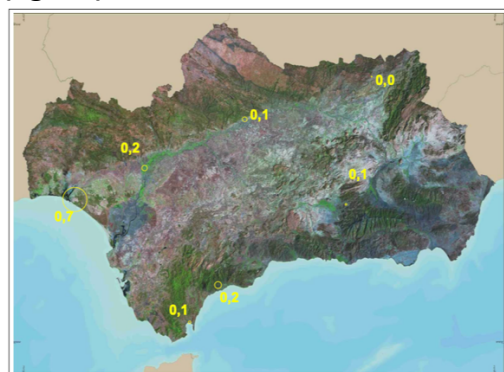
Ba (ng/m³)**La (ng/m³)****Pb (ng/m³)****Bi (ng/m³)**

Figura 9 (continuación).- Mapas de composición química de elementos traza representativos en PM2.5 en Andalucía durante el año 2021.

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.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Mineral				
			Fuente	µg/m ³	%	Perfil químico	
Alcalá de Guadaira	Sevilla	47	Mineral	11,7	47	Al+Fe+Mn+Ti+V+Cr+Sr+Mg	urbano
Bailén	Jaén	61	Mineral	12,2	38	Al+Fe+Mn+Ti+Mg+Rb+Sr+Cr+P	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	66	Mineral	5,4	20	Al+Ca+Fe+Mn+Ti+P+Cr+Rb+Sr+La	urbano + industrial
Carranque	Málaga	63	Mineral	8,7	37	Al+Fe+Mn+Sr+Ti+V+P	urbano
Granada Norte	Granada	56	Mineral	7,6	26	Al+Ti+Mn+Ca+Fe+Mg+Sr+Cu+Zn+Ba+REE (Ce)	tráfico
La Línea	Cádiz	39	Mineral + Combustion	8,4	36	Nit+P+Na+Al+Ca+K+MgFe	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	59	Mineral+ Reg	8,1	30	Al+Ti+Mn+La+Sulf+Nit+Amon+Ca+K	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	62	Mineral	9,8	43	Al+Ti+Mn+Fe+Mg+Rb+Sr+P	urbano
Los Barrios	Cádiz	59	Mineral	4,5	26	Al+Ti+Fe+K+Sr+Ca.	urbano + industrial
Marbella	Málaga	43	Mineral	7,3	23	Al+Ti+PbK+Fe+Mn+Ca y menos Sulf+Amon	tráfico
Matalascañas	Huelva	72	Mineral	8,9	38	Al+Ca+Fe+Ti+Mn+La+Rb+Sr	rural
Mediterráneo	Almería	60	Mineral	6,9	26	Ti+Al+Mn+Fe+K+Sr	urbano
Moguer	Huelva	60	Mineral	10,9	39	Al+Mn+Ti+Fe+Ca+K+Sr+Ni+Cr+V	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	63	Mineral	13,7	53	Al+Ca+Mg+Fe+Ti+Mn+P+K+Sr+Ba	urbano
Plaza Castillo	Almería	63	Mineral	4,6	19	Al+Ti+Mn+Fe+K+Rb+Sr	urbano
Príncipes	Sevilla	63	Mineral	15,7	54	Al+Ca+Mn+Ti+Mg+Fe+K+Rb+Sr+V+Cr+Ni	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	67	Industrial	5,5	28	Al+fosfato+Rb+Fe+Na+K+sulfato	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	45	Mineral	6,4	31	Al+Ti+Fe+Mn+Sr+Ba+VK+Ca	urbano
San Fernando	Cádiz	62	Mineral	5,6	31	Al+Ti+Mn+Fe+Sr+Cr+V+P+Ca+K	urbano
Sierra Norte	Sevilla	61	Mineral	11,8	59	Crti+Mn+Al+Ca+Mg+Sr+Rb+Ba	rural
Torneo	Sevilla	44	Mineral	10,4	38	Al+K+Ti+Mg+Fe+Sr+P	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	62	Mineral 1	14	46	Al+Mg+Ba+Zn+Cu+P+Mn+Ti	urbano

- 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				
			Fuente	µg/m ³	%	Perfil químico	
Alcalá de Guadaira	Sevilla	47	Marino	2,6	10	Cl+Na+Mg	urbano
Bailén	Jaén	61	Marino	1,7	5	Cl+Na	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	66	Marino	3,5	14	Cl+Na+Mg	urbano + industrial
Carranque	Málaga	63	Marino	3,1	13	Cl+Na+Mg	urbano
Granada Norte	Granada	56	Marino	1,6	5	Cl+Na	tráfico
La Línea	Cádiz	39	Marino	4,4	19	Cl+Na+Mg+Sr	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	59	Marino aged	7,7	28	Cl+Na+Mg+Nit+Sulf	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	62	Marino	4,1	18	Cl+Na+Mg	urbano
Los Barrios	Cádiz	59	Marino	2,4	14	Cl+Na+Mg	urbano + industrial
Marbella	Málaga	43	Marino	8,3	26	Cl+Na+Mg	tráfico
Matalascañas	Huelva	72	Marino aged	7,8	33	Cl+Na+Mg+Cr+Ni+Zn+Sulf+Nit+Amon	rural
Mediterráneo	Almería	60	Marino	5,6	21	Cl+Na+Mg	urbano
Moguer	Huelva	60	Marino	3,2	12	Cl+Na+Mg	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	63	Marino aged	3,4	13	Cl+Na+Sulf+Nit	urbano
Plaza Castillo	Almería	63	Marino	5,7	23	Cl+Na+Mg	urbano
Príncipes	Sevilla	63	Marino	2	7	Cl+Na+Mg	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	67	Marino	7	35	Cl+Na+Mg+Sr+nitrato+sulfato	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	45	Marino + Reg.	6,1	30	Amon+Sulf+Cl+Na+V+Na	urbano
San Fernando	Cádiz	62	Marino	4,1	23	Cl+Na+Mg	urbano
Sierra Norte	Sevilla	61	Marino	1,1	6	Cl+Na+Mg+Zn+Ba	rural
Torneo	Sevilla	44	Marino	3,6	13	Cl+Na+Mg	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	62	Marino	1,2	4	Cl+Na	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				
			Fuente	µg/m ³	%	Perfil químico	
Alcalá de Guadaira	Sevilla	47	Regional	5,9	24	Sulf+Nit+Am+V+P	urbano
Bailén	Jaén	61	Regional	6,1	19	Nit+Am+Sulf+P+Na+Cu	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	66	Regional	11,5	43	Sulf+Nit+V+Am+La	urbano + industrial
Carranque	Málaga	63	Regional	7,7	33	Nit+SulfAmon+Zn+Ni+Ba	urbano
Granada Norte	Granada	56	Regional	4,4	15	Sulf+Amon+Nitr+V+Na	tráfico
La Línea	Cádiz	39					urbano + industrial
La Rábida	Huelva	59					urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	62	Regional	4,7	20	Amon+Sulf+Nit+Zn+V+P+Ni	urbano
Los Barrios	Cádiz	59	Regional + Tráfico	4,7	28	nitrato+sulfato+Sn+Na+amonio	urbano + industrial
Marbella	Málaga	43	Regional	5,8	18	Nit+Sulf+Amon+V+Ni	tráfico
Matalascañas	Huelva	72					rural
Mediterráneo	Almería	60	Regional	9	34	Sulf+Nit+Amon+V+Ni+Ba	urbano
Moguer	Huelva	60	Regional	4,6	16	Nit+Sulf+Amon+V+Ni	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	63					urbano
Plaza Castillo	Almería	63	Regional+Tráfico	13,1	54	Nit+Sulf+Sn+V+Ni+Cr	urbano
Príncipes	Sevilla	63	Regional	5,2	18	Amon+Sulf+Nit+Ni+V	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz						urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	45					urbano
San Fernando	Cádiz	62	Regional	4,9	27	Amon+Nit+Sulf+Ba+Ni+V	urbano
Sierra Norte	Sevilla	61	Regional	0,5	2	Amon+Nit+Sulf+Pb+Ni+Na	rural
Torneo	Sevilla	44	Regional	5,3	20	Nit+Amon+Sulf+Ni+V+Pb	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	62	Regional	1,2	4	Amon+Nit+Sulf+Na	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	Tráfico			Perfil químico	
			Nombre	µg/m ³	%		
Alcalá de Guadaira	Sevilla	47	Tráfico + Combustión	4,8	19	OC+EC+Cu+Sn+Zn+Ba	urbano
Bailén	Jaén	61					urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	66	Tráfico	3,3	12	EC+OC+Amonio+Sn+Sb	urbano + industrial
Carranque	Málaga	63	Tráfico	3,9	17	OC+EC+Cu+Sn+Cr+Zr	urbano
Granada Norte	Granada	56	Tráfico + Combustión	7,2	24	OC+EC+Ni+Cr+CuSnSb+Ba	tráfico
La Línea	Cádiz	39	Tráfico	1,6	7	EC+OC+V+Pb	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	59					urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	62	Tráfico + Ind.	4,4	19	EC+OC+Cr+Ni+Cu+Zn+Sn+Sb+V	urbano
Los Barrios	Cádiz	59					urbano + industrial
Marbella	Málaga	43	Tráfico + Combustión	10,2	33	EC+OC+Cu+Sn+Sb+Zn+Cr+Ca+Fe	tráfico
Matalascañas	Huelva	72					rural
Mediterráneo	Almería	60	Tráfico	0,52	19	OCEC+Cu+Cr+Pb+Ni+Ampn	urbano
Moguer	Huelva	60					urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	63	Tráfico	3,4	14	EC+OC+Sn+Cu+Cr	urbano
Plaza Castillo	Almería	63					urbano
Príncipes	Sevilla	63	Tráfico	6,1	21	EC+OC+Sb+Sn+Cu+Ba+Zn	tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	67	Tráfico	3,4	17	EC+Sb+Sn+amonio+Cu+V+OC.	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	45	Tráfico	1,4	7	Nit+Cu+Pb+Zn+OC+EC	urbano
San Fernando	Cádiz	62					urbano
Sierra Norte	Sevilla	61					rural
Torneo	Sevilla	44	Tráfico	7,8	29	EC+OC+Sb+Sn+Cu+Cr+Zn+Ba+Fe	tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	62					urbano

- Fuente Combustión.** Constituida por especies de C (C orgánico y C elemental), además de K, fosfato 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 ó Sb+Sn.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Combustion			Perfil químico	
			Nombre	µg/m ³	%		
Alcalá de Guadaira	Sevilla	47					urbano
Bailén	Jaén	61	Combustión	7,1	22	OC+EC+Zr+K+Pb+Cu	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	66	Combustion	2	8	Cu+OC+EC	urbano + industrial
Carranque	Málaga	63					urbano
Granada Norte	Granada	56	Combustión	8,7	30	Nit+EC+OC+K	tráfico
La Línea	Cádiz	39					urbano + industrial
La Rábida	Huelva	59	Combustión	6,2	23	EC+OC+Amon+Cd+Bi	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	62					urbano
Los Barrios	Cádiz	59	Combustión	4,1	24	EC+OC+Ba+fosfato+K+Ca.	urbano + industrial
Marbella	Málaga	43					tráfico
Matalascañas	Huelva	72	Comsbustión + Traf	4,1	17	EC+OC+Amon+Sb+Sn+Pb	rural
Mediterráneo	Almería	60					urbano
Moguer	Huelva	60	Combustión	4,2	15	EC+OC+Amon+Ba	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	63	Combustión	5,1	20		urbano
Plaza Castillo	Almería	63	Combustión	0,9	4	OC+EC+Amon+Zn+Pb+Ca	urbano
Príncipes	Sevilla	63					tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	67	Combustión	2,4	12	OC+amonio+EC	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	45	Combustión 1	6,6	32	OC+Cu+Zn+P	urbano
San Fernando	Cádiz	62	Combustión+Tráfico	3,3	19	OC+EC+Pb+Cu+P+K+Zn	urbano
Sierra Norte	Sevilla	61	Combustión 1	6,5	33	OC+Zn+Cu+Ni+P+K	rural
Torneo	Sevilla	44					tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	62	Combustión	14,1	46	EC+OC+K	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.

Estacion	Provincia	Nº filtros	Industrial			Perfil químico	
			Nombre	µg/m ³	%		
Alcalá de Guadaira	Sevilla	47					urbano
Bailén	Jaén	61	Industrial	5,2	16	V+Ni+EC+Zn+Sulf+OC+Pb	urbano + industrial
Campus MCV	Huelva	66	Industrial	0,8	3	Bi+Pb+Cd+As+Ni+Sb+Cu	urbano + industrial
Carranque	Málaga	63					urbano
Granada Norte	Granada	56					tráfico
La Línea	Cádiz	39	Industrial	8,6	38	Cr+Zn+Ni+Mn+Pb+Fe	urbano + industrial
La Rábida	Huelva	59	Industrial 1	5,1	19	Pb+As+Sb+Bi+P+Zn+Cu+Se	urbano + industrial
Lepanto	Córdoba	62					urbano
Los Barrios	Cádiz	59	Industrial	1,4	8	Zn+Cr+Ba+Mn+Ni	urbano + industrial
Marbella	Málaga	43					tráfico
Matalascañas	Huelva	72	Industrial	2,7	12	Cu+Cd+As+Zn+Sb+Bi	rural
Mediterráneo	Almería	60					urbano
Moguer	Huelva	60	Industrial	5	18	Pb+Cu+As+Zn+P	urbano + industrial
Palacion de Congresos	Granada	63					urbano
Plaza Castillo	Almería	63					urbano
Príncipes	Sevilla	63					tráfico
Puente Mayorga	Cádiz	67	Industrial	1,7	8	Cd+Cr+Zn+Ni+Mn+La.	urbano + industrial
Ronda de Valle	Jaén	45					urbano
San Fernando	Cádiz	62					urbano
Sierra Norte	Sevilla	61					rural
Torneo	Sevilla	44					tráfico
Villanueva del Arzobispo	Jaén	62					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:** varía entre los máximos de 15.7 µg/m³ Príncipes y 14.0 µg/m³ en Villanueva del Arzobispo y mínimos de 5.6 µg/m³ en San Fernando. También se destaca las altas concentraciones en Palacio de Congresos (13.7 µg/m³), Bailén (12.2 µg/m³) y Sierra Norte (11.8 µg/m³). La mayoría de las estaciones donde se han obtenido los valores máximos se encuentra a gran altitud relativa en relación a otras estaciones costeras ó Del Valle del Guadalquivir. Este hecho se interpreta a partir de una mayor incidencia de las masas de aire en altura, sobre todo de origen norteafricano. Desde un punto de vista climático (años 1996-2021), este tipo de masas de aire tiene una incidencia anual mayor en Andalucía Oriental (31% días al año) que Andalucía Occidental (25 %). En el año 2021, el impacto fue mayor que el promedio climático en Andalucía Oriental (38%) e igual al 25% en Andalucía Occidental. El análisis de la contribución de fuentes durante los episodios norteafricanos en comparación con los días de advección atlántica durante los años 2007 a 2014 en estaciones representativas de Andalucía, ha puesto de manifiesto además de una mayor concentración de componentes de origen natural, un incremento de componentes de origen antropogénico (Millán et al. 2021, Environment Pollution 290: 118065). Por ello, es de especial interés su caracterización.
- Marino:** las máximas contribuciones ocurren en las estaciones próximas del litoral, destacando Marbella (8.3 µg/m³), Matalascañas (7.8 µg/m³), La Rábida (7.7 µg/m³) y Puente Mayorga (7.0 µg/m³). En estas zonas, además de las masas de aire atlánticas, la proximidad del rompeolas provoca una mayor generación de aerosoles marinos. Las

mínimas concentraciones se han obtenido en la estación de Sierra Norte ($1.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Villanueva del Arzobispo ($1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Esta fuente puede encontrarse envejecida como en el caso de Puente Mayorga uniéndose CIS tales como sulfato y nitrato.

- **Tráfico:** las concentraciones máximas se alcanzan en las estaciones de Marbella ($10.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Torneo ($7.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Granada Norte ($7.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). También destacan las estaciones de Príncipes ($6.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Alcalá de Guadaira ($4.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Lepanto ($4.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Carranque ($3.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Combustión:** las contribuciones máximas se obtuvieron en Villanueva del Arzobispo, casi duplicando las contribuciones de Granada Norte ($8.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén ($7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Ronda de Valle ($6.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Sierra Norte ($6.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La fuente de combustión es biomasa, discriminándose tanto en zonas rurales como en grandes ciudades como Granada y Jaén.
- **Industrial:** se encuentra restringida a los grandes polígonos industriales de Andalucía, donde históricamente se iniciaron los Planes de Calidad Ambiental entre los años 2001 a 2003. Se destacan las estaciones de La Línea ($8.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Bailén ($5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), La Rábida ($5.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), Moguer ($5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Matalascañas ($2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$).
- **Regional:** no presenta una zonificación geográfica clara. Las máximas concentraciones se registran en Plaza Castillo ($13.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$), La Rábida ($11.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) y Mediterráneo ($9.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

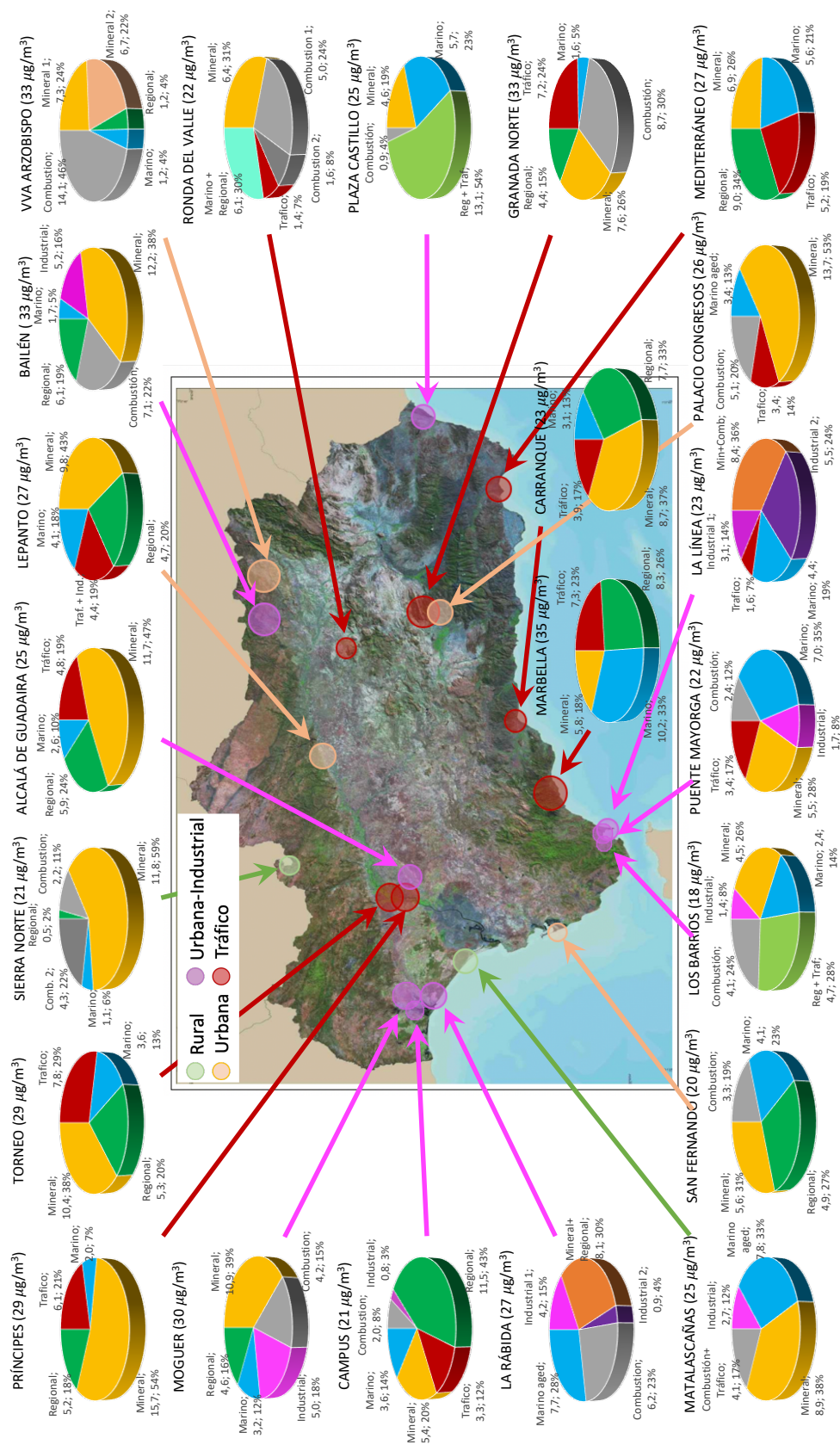


Figura 10.- Mapa de contribución de fuentes PM10 en Andalucía durante el año 2021.

En la [Figura 11](#) se ha representado en mapas de orígenes de fuentes de PM2.5

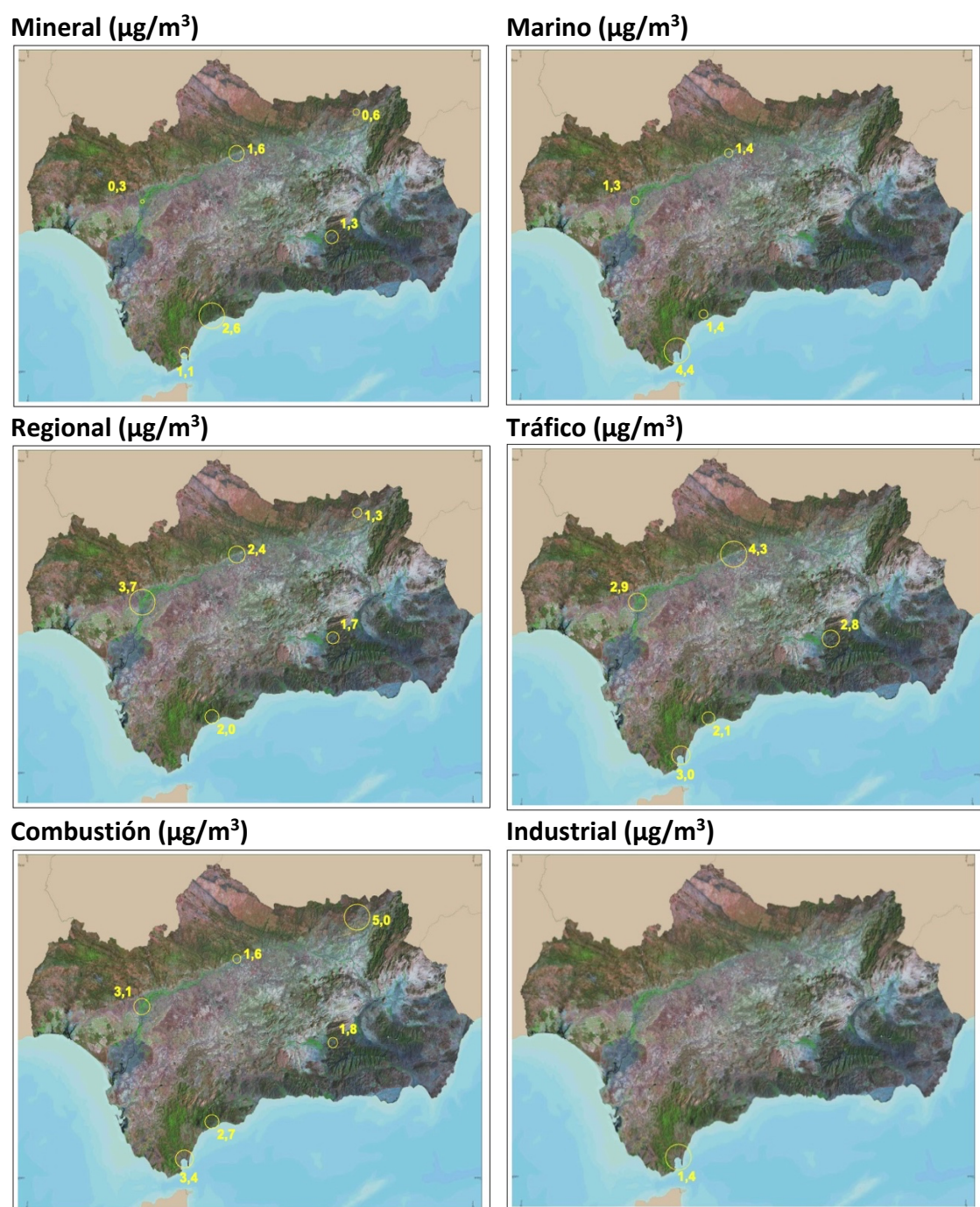


Figura 10.- Mapas de contribución de fuentes PM2.5 en Andalucía durante el año 2021.

3.4.- Tasa de deposición y composición química de partículas sedimentables

En la [Tabla 2](#) se muestran los niveles de partículas sedimentables (mg/m^2 día), además de pH y conductividad obtenidos en las estaciones de Campus, La Rábida y Matalascañas entre enero a octubre del año 2021 junto con los promedios, máximos y mínimos históricos anuales entre los años 2008 a 2020. En la Rábida se dispone de datos de partículas sedimentables desde el año 2006. También se representan los resultados obtenidos en Los Rosales durante el año 2021 (abril a diciembre).

Tabla 2.- Tasa de deposición (mg/m^2 día), pH y conductividad (μS) en las estaciones de Campus, La Rábida y Matalascañas.

	2008-2021	2006-2021	2008-2021	2021
Estación	Campus	La Rábida	Matalascañas	Los Rosales
Promedio				
pH	6,9	6,8	6,9	6,9
Conductividad (μS)	125	241	176	181,7
mg/m^2 día	68	71	42	
Maximo				
pH	7,4	7,0	7,2	
Conductividad (μS)	275	657	425	
mg/m^2 día	109	105	59	
Minimo				
pH	6,1	6,1	6,3	
Conductividad (μS)	57,9	85,9	84,6	
mg/m^2 día	30	41	22	
	2021	2021	2021	2021
	Campus	La Rábida	Matalascañas	Los Rosales
pH	7,4	6,7	6,9	6,9
Conductividad (μS)	102	249	253	182
mg/m^2 día	90	66	59	281

En el año 2021, la máxima tasa de deposición se ha obtenido en Campus ($90 \text{ mg}/\text{m}^2$ día), seguido de La Rábida ($66 \text{ mg}/\text{m}^2$ día) y Matalascañas ($59 \text{ mg}/\text{m}^2$ día). Los máximos de Campus coinciden con un periodo de obras próximo en la estación de Campus durante los meses de verano. En los Rosales, la tasa de deposición es muy alta ($281 \text{ mg}/\text{m}^2$ día) debido a la proximidad con la Avenida Tráfico Pesado y arboleda de la avenida.

El valor promedio de pH es mayor también en Campus (7.4), seguido por Los Rosales y Matalascañas (6.9) y La Rábida (6.7). La máxima conductividad se ha observado en Matalascañas ($253 \mu\text{S}$) muy similar a La Rábida ($249 \mu\text{S}$) y Campus ($102 \mu\text{S}$). En Los Rosales, la conductividad fue intermedia ($182 \mu\text{S}$).

En la [Tabla 3](#) se ha representado la tasa de deposición anual de elementos mayoritarios y traza en la fase insoluble de partículas sedimentables. Se destaca las altas concentraciones obtenidas en

Al, K, Mg, Mn y Na (22841 mg/m², 5924 mg/m², 5290 mg/m², 207 mg/m², 1603 mg/m²) en Matalascañas, Ca y Mg (6045 mg/m² y 5117 mg/m²) en Campus, e Fe, P, S y Ti (20674 mg/m², 1621 mg/m², 15569 mg/m² y 7290 mg/m²) en La Rábida en relación al resto de estaciones.

Las anomalías geoquímicas de elementos traza observadas en PM10 en La Rábida también se ponen de manifiesto en las partículas de sedimentables, observándose altas concentraciones en Cu (696 mg/m²), Zn (214 mg/m²), Pb (70 mg/m²), As (6.7 mg/m²), V (5.6 mg/m²) y Ni 3.3 mg/m²) en comparación con el resto de las estaciones.

Tabla 3.59.- Tasa de deposición anual de elementos mayoritarios y traza en la fase insoluble del material particulado sedimentable en las estaciones de Campus, La Rábida, Matalascañas y Los Rosales durante el año 2021.

Localidad	CAMPUS	LA RÁBIDA	MATALASCAÑAS	LOS ROSALES
Tasa de deposición anual				
pH	7,2	6,7	6,9	6,6
Conductividad (µS)	155,5	255,8	233,7	173,0
g/m ²	24,6	23,1	29,4	22,5
ICP-MS (Fracción Insoluble)				
mg/m ²				
Li	1,0	0,9	1,3	1,1
Be	0,1	0,0	0,1	0,1
B	0,1	0,2	0,1	0,1
Sc	0,3	0,4	0,4	0,4
V	3,3	5,6	3,1	3,0
Cr	2,9	3,1	2,6	3,3
Co	2,1	2,8	2,7	1,1
Ni	1,6	3,3	1,5	2,3
Cu	60,8	695,8	11,2	33,5
Zn	42,3	213,6	45,0	57,7
Ga	0,6	0,5	0,7	0,6
Ge	0,1	0,2	0,1	0,1
As	1,5	6,7	0,6	1,6
Se	0,1	0,2	0,1	0,1
Rb	2,3	2,0	2,6	2,3
Sr	4,2	4,3	4,2	3,7
Y	0,7	0,8	0,7	0,7
Zr	3,4	3,2	4,1	5,2
Nb	0,4	0,8	0,4	0,6
Mo	0,9	16,9	0,1	0,9
Cd	0,2	1,0	0,1	0,3
Sn	0,7	0,9	0,2	1,2
Sb	0,7	5,9	0,2	1,1
Cs	0,1	0,1	0,1	0,1
Ba	14,4	16,4	11,8	18,1
La	1,1	1,5	1,2	1,1
Ce	2,1	2,0	2,3	2,0
Pr	0,2	0,2	0,3	0,2
Nd	0,9	0,9	1,0	0,9
Sm	0,2	0,2	0,2	0,2
Eu	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Gd	0,2	0,2	0,2	0,2
Tb	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dy	0,1	0,1	0,1	0,1
Ho	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Er	0,1	0,1	0,1	0,1
Tm	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Yb	0,1	0,1	0,1	0,1
Lu	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hf	0,1	0,1	0,1	0,1
Ta	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
W	0,0	0,2	0,0	0,1
Ti	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Pb	8,8	69,5	3,4	9,4
Bi	0,3	1,2	0,1	0,3
Th	0,3	0,3	0,3	0,3
U	0,1	0,3	0,1	0,1
ICP-OES (Fracción insoluble)				
mg/m ²				
Al	16274	14406	22841	15530
Ca	6045	5586	5444	3449
Fe	11749	20674	11954	11266
K	4195	3640	5924	3405
Mg	5117	3125	5290	2244
Mn	166	150	207	115
Na	1104	1015	1603	1221
P	908	1621	805	857
S	1931	15569	928	1508
Ti	5759	7290	4949	3094

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 2021. 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 2021 son relativamente bajas y comparables con las obtenidas en el año 2020 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. Se destacan las máximas concentraciones de **materia mineral** obtenidas en Príncipes (15.7 µg/m³) y Villanueva del Arzobispo (14.0 µg/m³), **aerosol marino** en las estaciones costeras de Marbella (8.3 µg/m³), Matalascañas (7.8 µg/m³) y La Rábida (7.7 µg/m³), **tráfico** en las estaciones de Marbella (10.2 µg/m³), Torneo (7.8 µg/m³) y Granada Norte (7.2 µg/m³), **combustión** en Villanueva del Arzobispo, Granada Norte (8.7 µg/m³), Bailén (7.1 µg/m³), Ronda de Valle (6.6 µg/m³) y Sierra (6.6 µg/m³) Norte (6.5 µg/m³), **industrial** en La Línea (8.6 µg/m³), Bailén (5.2 µg/m³), La Rábida (5.1 µg/m³), Moguer (5.0 µg/m³) y Matalascañas (2.7 µg/m³), y **regional** en Plaza Castillo (13.1 µg/m³), La Rábida (11.5) y Mediterráneo (9.0 µg/m³).

Con relación a la tasa de deposición anual de partículas sedimentables del entorno de la Ría de Huelva, se destaca las altas concentraciones de elementos afines a sulfuros en La Rábida con Campus, y Barrio de Los Rosales en Huelva Capital y Matalascañas. Se supera en un orden de magnitud Cu, Zn y Pb, mientras que As multiplica x 4 las concentraciones de Huelva capital.