

EVALUACIÓN DE LA RED SESMAF Y CONTAMINACIÓN EN PINARES

MEDICIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE DOSÍMETROS PASIVOS EN PINARES

AÑO 2016



CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE,
ADMINISTRACIÓN LOCAL
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Comunidad de Madrid

Dirección General del Medio Ambiente
Sección de Defensa Fitosanitaria



ÍNDICE

	<u>PÁGINA</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIAL Y MÉTODOS	6
2.1. Localización	6
2.2. Parámetros fisiográficos	7
2.3. Análisis de O ₃	9
2.4. Análisis de NO ₂	10
2.5. Análisis del agua de deposición	10
2.6. Análisis foliares	12
3. RESULTADOS ANALÍTICOS DE LAS MUESTRAS DE DEPOSICIÓN	13
3.1. Introducción	13
3.2. Tratamiento y conservación de las muestras	13
3.3. Resultados	13
3.3.1. Volumen recogido.....	16
3.3.2. pH	20
3.3.3. Conductividad	24
3.3.4. Cloruros	27
3.3.5. Nitratos	30
3.3.6. Sulfatos	33
4. DAÑOS POR OZONO	46
4.1. Introducción	46
4.2. El ozono troposférico	46
4.3. Efectos del ozono sobre la vegetación	47
4.4. Resultados	48
5. RESULTADOS DE LA RED DE DOSÍMETROS PASIVOS	52
5.1. Niveles de O ₃ en la Comunidad de Madrid	52
5.2. Niveles de NO ₂ en la Comunidad de Madrid	54
5.3. Niveles de contaminantes atmosféricos por muestreos	56
5.3.1. Ozono	57
5.3.2. NO ₂	72
5.4. Niveles de contaminantes atmosféricos por parcelas	89



	<u>PÁGINA</u>
5.4.1. Ozono	88
5.4.2. NO ₂	98
6. RESULTADOS ANALITICOS FOLIARES	108
6.1. Introducción.....	108
6.2. Afección por azufre.....	108
6.3. Toma de muestras y procedimiento analítico.....	109
6.4. Azufre hidrosoluble.....	110
6.5. Azufre total.....	111
6.6. Azufre orgánico.....	112
6.7. Relación azufre hidrosoluble / azufre orgánico.....	113
6.8. Comparación de los resultados con los valores patrón.....	114
7. CONCLUSIONES	117



1. INTRODUCCIÓN

La contaminación del aire se viene estudiando desde la segunda mitad del siglo XIX, siendo el estudio de sus efectos sobre los ecosistemas forestales un tema actualmente prioritario por su importancia en la incidencia sobre la producción y los demás fines de su existencia.

El bosque desempeña una función especial en el mantenimiento de un ecosistema equilibrado, con la protección y salvaguardia geomorfológica de los suelos, del medioambiente, de la estructura y enriquecimiento del paisaje, además de otros aspectos innegables de carácter económico como fuente de atracción para el tiempo libre, producción de materias primas renovables y oferta de empleo.

El Comité Económico y Social de la CEE señala que el bosque debe ser considerado un elemento clave del desarrollo tanto para la producción de materias primas de los que Europa es deficitaria, como para los servicios sociales prestados para mejorar la calidad de vida y para un desarrollo compatible del medio ambiente. En consecuencia, el valor ecológico, económico y paisajístico del bosque no puede continuar descuidándose y subordinándose a otras consideraciones.

Para ello, la legislación comunitaria es cada vez más estricta en cuanto a medidas relativas a la protección de los bienes forestales como patrimonio europeo y el Comité Económico y Social señala con satisfacción que en el Parlamento Europeo se presta una atención especial a la conservación y desarrollo forestal, señalándose básico el seguimiento y control de las masas por lo que se refiere a la contaminación atmosférica.

En este sentido, primero la administración central a través del Ministerio de Medio Ambiente y después varias comunidades autónomas han venido desarrollando redes de evaluación del estado de salud de las masas forestales que sirvan como elemento de diagnóstico y control para

sus gestores. La tendencia queda recogida incluso en el anteproyecto de Ley Básica de Montes y Aprovechamientos Forestales elaborado por el Colegio de Ingenieros de Montes, en el que el artículo 25 menciona la necesidad expresa de evaluación permanente del estado sanitario de los montes.

Considerando estos principios, la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid considera útil y necesario el seguimiento y control de los posibles daños ocasionados en las masas forestales por la contaminación atmosférica. El presente informe tiene por objeto la evaluación del probable deterioro por contaminación atmosférica producido en diferentes pinares, siguiendo la normativa europea para este tipo de estudios, recogida en los reglamentos:

- 1986 - Council Regulation (EEC) No 3528/86. Start of the protection of forest against damage caused by atmospheric pollution.
- 1992 - Council Regulation (EEC) No 2157/92. Continuation of the protection of forest against damage caused by atmospheric pollution and start of the Intensive Monitoring Programme.
- 1994 - Start of Intensive Monitoring Programme and details on installation, Crown condition assessment, Soil survey, Foliar assessment and Increment.
- 1995 - Commission Regulation No 690/95. Details on the assessment for deposition and meteorology.
- 1997 - Council Regulation (EC) No 307/97. Continuation of the protection of forest against damage caused by atmospheric pollution and continuation of the Intensive Monitoring Programme.
- 1997 - Commission Regulation No 1390/97. Amendment on the Crown condition assessment, the details for the assessment of soil solution and an amendment of the reporting.

De entre todos los contaminantes que pueden afectar a la vegetación destacan por su peligrosidad el SO_2 , NO_x y el O_3 , el primero de ellos procedente —a grandes rasgos— de combustibles que contienen azufre y de la fusión de metales no ferrosos; como focos emisores pueden destacarse fundamentalmente las centrales eléctricas y las grandes instalaciones industriales. El ozono surge por oxidación de los óxidos de nitrógeno en presencia de la radiación ultravioleta. Como precursor del contaminante actúan por tanto estas sustancias procedentes en un 80%

de la emisión del tráfico rodado (Inventario de Emisiones de Contaminantes a la Atmósfera CORINE-AIRE).

La contaminación es un fenómeno causado por numerosos factores tanto de origen natural como antrópico. Desde un punto de vista geográfico se visualizan factores naturales que se relacionan con la atmósfera, el relieve y la cubierta

vegetal. Con respecto a los factores humanos, inciden el tamaño, forma y estructura de la ciudad, las áreas verdes, el volumen de la población, sus movimientos diarios y estacionales, así como las actividades que desempeña. En un enfoque de sistemas, el organigrama de factores naturales y antropogénicos sería el que se recoge en la Tabla 1.1.

Tabla 1.1. Factores que inciden en la contaminación atmosférica urbana.

Factores naturales

Atmósfera	Relieve	Vegetación
Latitud	Altitud	
Inversión térmica	Topografía	Formaciones vegetales
Circulación planetaria	Cuencas:	Localización Cobertura
Circulación local	- tectónicas	Densidad
Circulación solenoidal	- hidrográficas	

Factores antrópicos

Población	Urbanismo	Actividades
	Tamaño ciudad	
Volumen	Forma ciudad	Industriales
Distribución	Emplazamiento	Transporte
Desplazamientos	Periferia	Recreación
	Islas de calor urbano	

Entre las diversas fuentes de contaminación existentes en las ciudades, el transporte es una de las más importantes. Sus efectos se definen según el tamaño del parque móvil, los desplazamientos diarios y estacionales de la población y el estado de las calles (pavimento o tierra)

En numerosos países se llevan a cabo mediciones en continuo de los contaminantes atmosféricos, sin embargo, la monitorización automática de la calidad del aire es muy costosa, tanto por el equipamiento necesario como por su operatividad y mantenimiento. Los muestreadores pasivos, tales como los tubos de difusión o dosímetros, ofrecen una alternativa eficaz frente a este problema.

El **objetivo** del presente trabajo consiste en determinar, mediante el empleo de dosímetros pasivos, el nivel de contaminación espacial y temporal de diversas Comarcas de la Comunidad de Madrid, evaluando el grado de exposición de la población a contaminantes atmosféricos que tienen su origen en el tráfico urbano, como son el dióxido de nitrógeno (NO₂) y el ozono (O₃).

• **Ozono**

El ozono (O₃) es una forma alotrópica del oxígeno presente de forma natural en la atmósfera, tanto en la estratosfera como en la troposfera. No obstante, las emisiones antropogénicas de precursores de ozono, como los óxidos de nitrógeno (NO_x) y los compuestos orgánicos volátiles (COV), pueden provocar concentraciones elevadas de ozono como consecuencia de su reacción en presencia de luz ultravioleta. El aumento de la concentración de ozono por encima del nivel de fondo da lugar a una atmósfera contaminada que puede tener consecuencias directas o indirectas en la salud humana, en el crecimiento y en la fisiología de las plantas o en el funcionamiento de los ecosistemas. Algunos autores han señalado que el ozono troposférico ha aumentado en el hemisferio norte durante el presente siglo según una tasa del 1 % anual, con el consiguiente riesgo para los seres vivos del planeta.

En la última década se ha constatado que el ozono es el contaminante atmosférico más extendido en la zona mediterránea. Los altos niveles de industrialización e incremento de la flota de vehículos que se ha producido en esta área en los últimos años facilitan la emisión de

precursores de ozono; este hecho, junto con los altos niveles de radiación solar que caracterizan el clima de la zona, contribuye a la formación de ozono y otros oxidantes fotoquímicos. Además, la circulación propia de los vientos de la cuenca mediterránea favorece el transporte lejano de precursores y del mismo ozono, provocando concentraciones elevadas de oxidantes fotoquímicos en zonas rurales alejadas de fuentes contaminantes.

Diversas autoridades, nacionales e internacionales, han tratado en los últimos veinte años de comprender los

procesos implicados en la formación de ozono, los factores que contribuyen a su formación y sus efectos sobre los receptores vegetales y la salud humana. Por ello, han intentado establecer, por un lado, límites de las concentraciones de ozono que no deberían ser superados para garantizar la integridad de los seres vivos (niveles críticos) y, por otro, estrategias de reducción que impedirían la superación de dichas concentraciones (Tabla 1.II). En este contexto, es fundamental la determinación de índices de exposición que permitan explicar el efecto de este contaminante frente a la vegetación.

Tabla 1.II. Umbrales de información, alerta y protección de la salud y la vegetación.

Real Decreto 102/2011	Periodo de promedio	Valor límite
Umbral de información	1 hora	180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Umbral de alerta	1 hora	240 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Protección de la salud humana	8 horas	120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Protección de la vegetación	1 hora (Mayo-Julio)	AOT40 18.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ hora en 5 años
Protección de los bosques	1 hora (Abril-Septiembre)	AOT40 10.000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Las reacciones químicas que intervienen en la formación de ozono troposférico dependen de factores como la intensidad de luz y, en general, provocan una marcada variación diurna, con concentraciones más elevadas durante los mayores niveles de radiación solar y valores mínimos durante la noche. Sin embargo, los perfiles diarios difieren mucho, dependiendo del carácter industrial/urbano o rural de la zona.

Al amanecer, en las zonas con una presencia importante de hidrocarburos, el NO_2 presente en la atmósfera inicia su disociación por efecto de la radiación solar, incrementándose los niveles de NO y O. La concentración de ozono se genera al mismo nivel que la formación de NO, pero conforme avanza el día los radicales generados a partir de los hidrocarburos reaccionan con el NO, lo que proporciona una mayor concentración de NO_2 ; este hecho, sumado al incremento de la insolación, favorece el aumento de los niveles de ozono.

A media mañana, los niveles de NO son bajos debido a su reacción con los radicales procedentes de los hidrocarburos, lo que provoca que los niveles de ozono se incrementen rápidamente, ya que no puede reaccionar con el NO. A medida que avanza la tarde, los niveles de hidrocarburos presentes en la atmósfera disminuyen la formación de NO_2 . Esto, junto a la disminución de la radiación solar, provoca la reducción de la concentración de ozono.

En zonas rurales, además de estos procesos de formación y destrucción de ozono, intervienen de forma notable los procesos de transporte de contaminantes. En estas áreas afectadas por el transporte de masas de aire que presentan precursores del ozono, el enfriamiento radiativo que se produce durante la noche provoca la formación de inversiones térmicas de superficie que delimitan dos estratos. El estrato superior, con una elevada concentración de ozono, se haya por encima de la inversión y quedaría aislado respecto al estrato inferior situado entre el suelo y el final de la inversión. La concentración del ozono disminuiría lentamente en este estrato inferior como consecuencia de su intervención en reacciones químicas y de su depósito seco. Durante la mañana, al romperse la inversión como consecuencia del aumento de radiación solar, se obtiene un rápido incremento de la concentración de ozono en superficie, al principio por mezcla de la capa enriquecida de ozono que se encuentra en altura y, posteriormente, por la formación fotoquímica de ozono cerca de la superficie, siempre que existan precursores. Las concentraciones de ozono disminuirán lentamente durante las últimas horas de la tarde, cuando la radiación solar es más débil y comienza la formación de una nueva inversión en superficie.

La persistencia de estos episodios fotoquímicos dependen además de la dispersión de los precursores de ozono desde zonas urbanas e industriales, de la intensidad de la radiación ultravioleta, las temperaturas (por encima de 20°C se favorece la velocidad de las reacciones y la tasa de emisión de hidrocarburos) y las condiciones de la capa límite.

Los análisis de los registros de ozono procedentes de áreas rurales, no directamente afectadas por ciudades o penachos industriales, han señalado la existencia de un marcado ciclo anual con un máximo de concentración al final del invierno o al principio de la primavera. Algunos estudios relacionan este incremento de ozono primaveral con el transporte de ozono estratosférico hacia la parte superior de la troposfera. Otros estudios consideran que el máximo en la estación de primavera se debe a la acumulación de precursores de ozono durante el invierno, como consecuencia de la menor intensidad de radiación solar, las menores temperaturas y la formación de estrechas capas de mezcla. Al aumentar la temperatura y la radiación solar en primavera, los precursores acumulados reaccionarán, dando lugar a la aparición de concentraciones más elevadas en ese periodo. Esta segunda hipótesis está apoyada por la enorme variabilidad estacional de la vida media de los óxidos de nitrógeno, veinte veces mayor en invierno que en primavera. Esto ha llevado a la conclusión de que la formación de ozono durante el invierno está muy influenciada por fuentes antrópicas de precursores, mientras que en verano los

procesos de formación a escala regional y local serán los más favorecidos.

• Dióxido de nitrógeno

Como ya se ha mencionado anteriormente la fuente principal de NO₂ en la atmósfera es el tráfico rodado. Cuando está presente en concentraciones elevadas actúa como un irritante del tracto respiratorio, pudiendo exacerbar el asma o aumentar la susceptibilidad a las infecciones bronquio-pulmonares. A medida que se incrementa su concentración genera irritación nasal, incomodidad respiratoria, dolores respiratorios agudos, edema pulmonar y, finalmente, la muerte.

De acuerdo con la nueva directiva comunitaria 1999/30 CE y el Real Decreto 102/2011 (Tabla 1.III), el valor límite anual para la protección de la salud humana se ha fijado en 40 µg/m³ de NO₂.

Tabla 1.III. Valores límite para NO₂ (dir. 1999/30/CE y Real Decreto 102/2011).

Real Decreto 102/2011	Periodo de promedio	Valor límite
Umbral de alerta	1 hora, durante tres horas consecutivas	400 µg/m ³
Protección de la salud humana	Media anual	40 µg/m ³
Protección de la salud humana	1 hora. No podrá superarse en más de 18 ocasiones por año civil	200 µg/m ³
Protección de la vegetación	Media anual	30 µg/m ³

Cabe indicar, en relación con el valor límite anual de NO₂ que, de acuerdo con lo previsto en el art. 22 de la Directiva 2008/50/CE, el Reino de España solicitó a la Comisión Europea una prórroga de los valores límite para diversas zonas, entre ellas ES1308 (Corredor del Henares) y ES1309 (Zona Urbana Sur), permitiéndose un margen de tolerancia del 50% del valor límite establecido en la legislación hasta el 31 de diciembre de 2013; estableciéndose así en 60 µg/m³ (40+20).

• Deposición atmosférica

La **deposición atmosférica** es un conjunto de procesos que conducen al depósito de materiales ajenos (a través de hidrometeoros, aerosoles o movimientos de gases) sobre la superficie descubierta del suelo o sobre la superficie exterior de árboles y plantas (troncos, ramas y hojas). La deposición depende de la concentración de contaminantes en una estación y momento determinados, lo que a su vez es función de la situación y actividad de las fuentes de emisión (grandes núcleos urbanos o industrias) así como de las condiciones atmosféricas, que determinan no sólo el movimiento de los contaminantes sino la reactividad entre los mismos.

La deposición atmosférica total consta de tres componentes:

- ✓ **Deposición seca:** depósito directo de los contaminantes sobre la superficie del suelo, el agua y la vegetación. Es el tipo de deposición más abundante en las zonas próximas a los focos de emisión.
- ✓ **Deposición húmeda:** depósito arrastrado hacia el ecosistema por la lluvia o la nieve. Previa unión de los contaminantes a las nubes o gotas de precipitación. Es el tipo de deposición más abundante en las zonas alejadas de los focos de emisión.
- ✓ **Deposición por nubes, niebla y oculta:** la vegetación intercepta directamente el agua y los contaminantes de las nubes, niebla, rocío y escarcha.

Para desarrollar un programa de seguimiento de los efectos de la contaminación atmosférica sobre la salud de los bosques, uno de los objetivos principales del programa, es necesario disponer de una estimación de la cantidad de contaminantes que entran periódicamente por unidad de superficie. Como sistema de medición más económico y eficaz se ha desarrollado el **método de trascolación**, empleado en todo el sistema ICP-Forests, que permite la estimación de las deposiciones total y seca, el cálculo de la deposición húmeda y la caracterización de los procesos de

interacción entre los contaminantes que tienen lugar dentro del arbolado, aplicado a las condiciones del área de Madrid y centrado en los principales contaminantes de origen antropógeno.

Para su caracterización se ha considerado el Reglamento Técnico Sanitario de Aguas Potables (RTSAP, 2003, desarrollado por el Real Decreto 140/2003) vigente.

Variable	Descripción	Valores de referencia RTSAP
pH	Medida de la acidez o basicidad. Se considera lluvia ácida con valores $\leq 5,65$.	6,5 – 9,5
Conductividad	Índice de la presencia general de solutos en el agua.	$\leq 2.500\mu\text{S/cm}$
Cloro		250 mg/l
Nitratos	Producidos por la actividad industrial, doméstica y de transporte, ligados a procesos de combustión y responsables de la acidificación de la deposición que llega a los ecosistemas forestales. Papel precursor (N) en la formación de ozono, contaminante secundario en forma de aerosol.	50 mg/l
Sulfatos		250 mg/l



2. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1. LOCALIZACION.

Los dosímetros pasivos y captadores de recogida de agua de deposición se han repartido por toda la Comunidad de Madrid, sobre todo por la zona más al norte, ya que como se verá en los resultados de los análisis, es donde suele haber mayor concentración de contaminantes. Los criterios que se han considerado han sido los siguientes:

1. Dar preferencia a aquellas zonas que presentaban síntomas de decaimiento.
2. Escoger aquellas masas que por su situación y orientación respecto a los vientos dominantes pudieran verse expuestas con mayor frecuencia a los contaminantes.

3. Huir de aquellos parajes en los que la presencia humana pudiera influir directamente en los resultados obtenidos.
4. Procurar que los puntos se encontraran en lugares de no muy difícil accesibilidad, para de esta forma permitir que las revisiones no se prolongaran excesivamente.
5. Tomar representación de las diferentes zonas de la Comunidad de Madrid
6. Que hubiera cerca un punto de la Red de Seguimiento de Evolución de las Masas Forestales de la Comunidad de Madrid (Red SESMAF)

De acuerdo con estas premisas, y bajo la supervisión de la Sección de Defensa Fitosanitaria, del Servicio de Protección y Gestión de Flora y Fauna, de la Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio de la Comunidad de Madrid, se han colocado diez estaciones de muestreo, diseminadas por los pinares de la Comunidad de Madrid, cuya localización queda reflejada en la figura 2.1.

En la tabla 2.1 aparecen los datos de localización y geográficos de cada una de las estaciones donde se han puesto los dosímetros pasivos y captadores de recogida de agua de deposición, determinadas mediante GPS. De acuerdo con los criterios empleados en la cartografía española, hemos reflejado las coordenadas UTM con los Datum ED50 y ETRS89.

Tabla 2.1. Datos geográficos de las estaciones de muestreo.

ESTACIÓN N°	TÉRMINO MUNICIPAL	ESPECIE	COORDENADAS UTM-HUSO 30				HOJA N° 1:50000
			X-ED50	Y-ED50	X-EIRS89	Y-EIRS89	
021-01	San Lorenzo de El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	401.090	4.495.384	401.090	4.495.384	533
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	411.335	4.513.773	411.335	4.513.773	508
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	425.045	4.523.561	424.936	4.523.353	483
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	434.834	4.526.259	434.834	4.526.259	484
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	443.515	4.547.275	443.515	4.547.275	458
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	459.044	4.549.235	459.044	4.549.235	459
021-15	Puebla de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	460.126	4.540.100	460.126	4.540.100	459
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	390.069	4.472.814	390.069	4.472.814	557
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	466.399	4.479.010	466.399	4.479.010	560
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	486.939	4.443.190	486.939	4.443.190	607
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	393.632	4.484.931	393.632	4.484.931	532

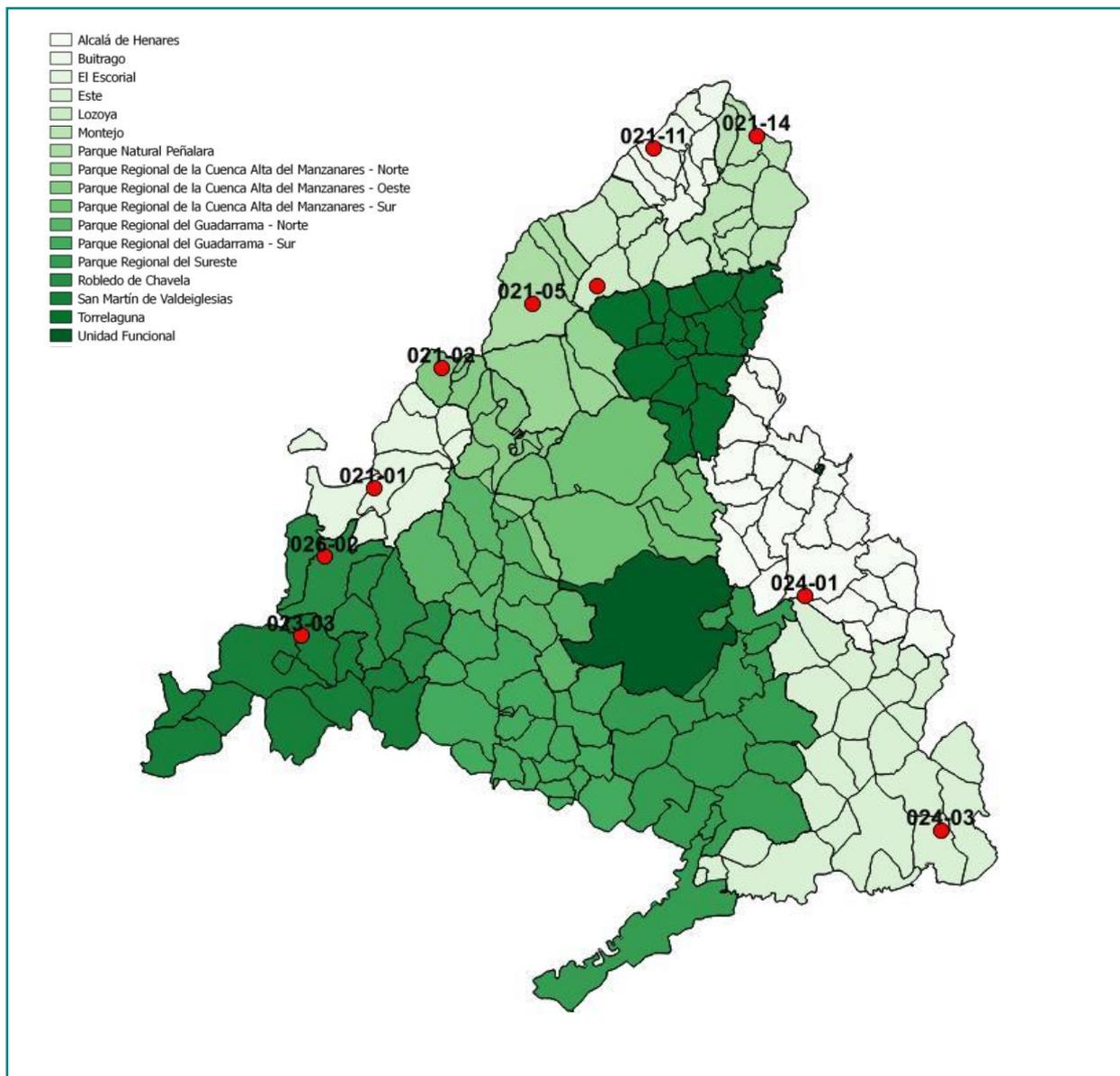


Fig. 2.I. Posición de las estaciones de muestreo.

2.2. PARAMETROS FISIOGRAFICOS.

Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 2.II.

Se han considerado los principales parámetros fisiográficos de cada estación de seguimiento.



ESTACIÓN N°	ALTITUD (m)	PENDIENTE %		ORIENTACIÓN	ÍNDICE DE INSOLACIÓN PUNTUAL	ÍNDICE DE INSOLACIÓN GENERAL
		Estación	Ladera			
021-01	1.471	33	33	S	1,26	1,26
021-02	1.675	4	16	S	1,04	1,15
021-05	1.336	4	8	N	0,96	0,94
021-07	1.299	53	68	SE	1,21	1,22
021-11	1.566	49	50	SW	1,21	1,21
021-14	1.362	58	58	N	0,36	0,36
023-03	854	22	27	SW	1,13	1,15
024-01	715	7	37	N	0,93	0,59
024-03	628	27	45	NE	0,78	0,63
026-02	852	20	50	N	0,78	0,41

Tabla 2.II. Parámetros fisiográficos de las estaciones de muestreo.

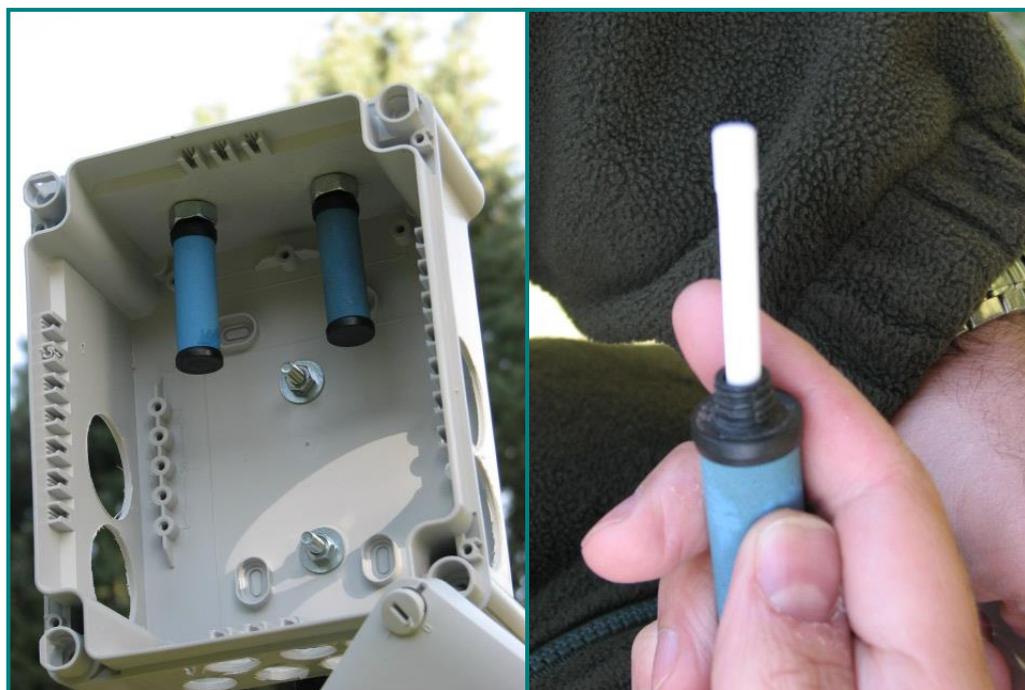


Figura 2.II. Carcasa soporte de dosímetros pasivos y dosímetro dentro del cuerpo difusor (azul).

Las principales características de los puntos de muestreo se describen a continuación:

- **021-01 San Lorenzo de El Escorial:** Punto muy transitado tanto por vehículos como por excursionistas. Está situado en las inmediaciones de una carretera, en el ascenso al Puerto de Malagón.
- **021-02 Cercedilla:** Muy transitado por excursionistas. Los únicos vehículos que circulan son los pertenecientes a la guardería forestal. Situado en las inmediaciones del Reloj de Cela.
- **021-05 Rascafría:** Punto situado a unos 300 m al sur de la base de incendios, próximo a uno de los aparcamientos y visible desde la carretera de acceso al Monumento al Guarda Forestal. Afluencia considerable de público.
- **021-07 Canencia de la Sierra:** Situado al borde de una carretera bastante transitada, en el camino de acceso de Canencia al Puerto del mismo nombre.
- **021-11 Braojos:** Ubicación poco transitada, tanto por vehículos (los de la guardería forestal y alguno privado),



como por excursionistas.

- **021-14 Montejo de la Sierra:** Zona transitada por paseantes. Hay una cancela que impide el tráfico rodado, salvo los de los servicios forestales. Situado en las inmediaciones del Puerto del Cardoso.
- **023-03 Navas del Rey:** Zona poco transitada, tanto por excursionistas como por vehículos.
- **024-01 Alcalá de Henares:** Punto poco transitado por el que solo circulan los coches de la guardería forestal, en el interior de un monte público cerrado con una cancela.
- **024-03 Fuentidueña de Tajo:** Localización poco transitada. Solo pasan vehículos de la guardería forestal y esporádicamente algún coche privado. Situado en un monte cerrado con una cancela.

- **026-02 Robledo de Chavela:** Situado al lado de una carretera con bastante tráfico.

Para realizar este estudio se han empleado captadores pasivos y captadores de recogida de agua de deposición, que presentan diversas ventajas frente a los monitores automáticos. Los captadores pasivos y captadores de recogida de agua de deposición son más baratos, de empleo y transporte más sencillos, y no requieren electricidad; características que los convierten en el método más adecuado para medir la calidad del aire en amplias extensiones geográficas.

Con objeto de proteger a los dosímetros de las malas condiciones meteorológicas y de una insolación excesiva, éstos se han colocado en el interior de carcasas de protección perforadas para la circulación de aire y cerradas para evitar su manipulación por personal ajeno a los trabajos. (Fig. 2.III).



Figura 2.III. Carcasa de protección de los dosímetros pasivos y agujeros para la circulación del aire.

El periodo de estudio se ha extendido durante los meses de marzo a noviembre de 2016, exponiendo los captadores durante 16 muestreos de periodicidad quincenal. Una vez transcurrido este periodo, los captadores son retirados y trasladados al laboratorio en nevera para su análisis.

Con el conjunto de los datos se han desarrollado mapas de contornos para ilustrar la distribución espacial de los contaminantes, utilizando para ello programas SIG

2.3. ANALISIS DE O₃.

Los captadores de ozono utilizados están constituidos por un tubo de polietileno relleno con silica gel impregnado en 4,4'-dipiridiletileno. Durante el periodo de exposición tiene lugar la ozonólisis de dicho compuesto, que se convierte en 4-piridilaldehído (Fig. 2.IV). La presencia de agua (necesaria en la reacción) en el silica gel asegura la completa ozonólisis.

Una vez en el laboratorio, el 4-piridilaldehído es condensado con 3-metil-2-benzotiazolinona hidrazona (MBTH) para producir un compuesto de color amarillo (Fig. 2.IV). La absorbancia de la solución obtenida se mide a 430 nm mediante espectroscopía ultravioleta-visible.

Finalmente, se calcula la concentración media de O₃ para todo el periodo de exposición según la ecuación:

$$C[\mu\text{g} \cdot \text{m}^{-3}] = \frac{m[\mu\text{g}]}{24.6 \cdot t[\text{min}]}$$

donde **m** es la masa de O₃ y **t** es el tiempo de exposición.

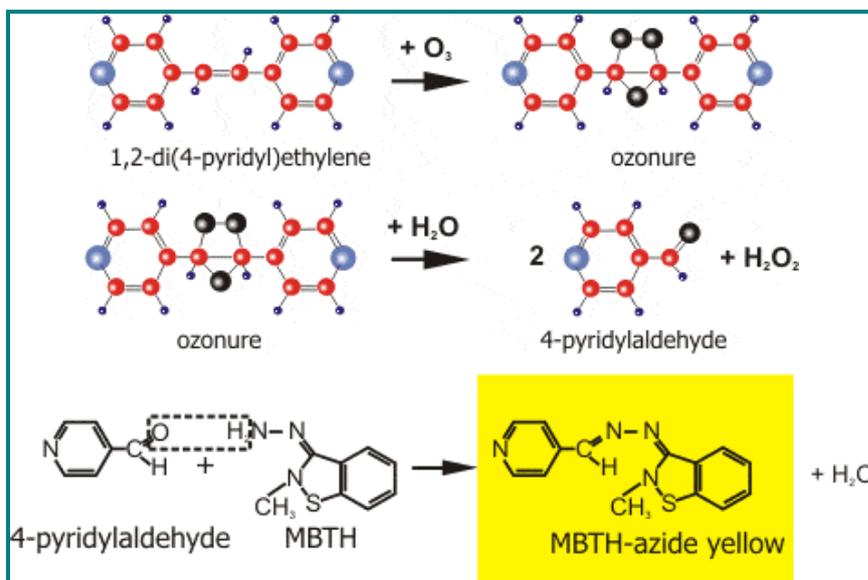


Figura 2.IV. Reacciones involucradas en la determinación de O₃.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA), perteneciente al Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra, dirigidos por el Dr. Jesus Miguel Santamaría.

2.4. ANÁLISIS DE NO₂.

Para la determinación de NO₂ se ha utilizado un captador microporoso de polietileno impregnado de trietanolamina (TEA), sobre el cual es adsorbido químicamente el dióxido de nitrógeno, presente en el aire, en forma de nitrito. En el laboratorio se extrae el nitrito con agua ultrapura y se hace reaccionar con sulfanilamida, obteniéndose un compuesto diazónico que, a su vez, se compleja con NEDA, formándose un compuesto morado que posteriormente es cuantificado a 537 nm mediante espectroscopía ultravioleta-visible.

La concentración de NO₂ se calcula de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C(\text{ppb}) = \frac{m(\text{ng})}{Q \cdot t(\text{min})}$$

siendo **m** la masa de nitrito, **t** el tiempo de exposición y **Q**

la tasa de muestreo.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA), perteneciente al Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra, dirigidos por el Dr. Jesus Miguel Santamaría.

2.5. ANÁLISIS DEL AGUA DE DEPOSICIÓN.

Los métodos analíticos empleados en el análisis de las muestras de agua de deposición son los siguientes:

Determinación del pH

Potenciométricamente con pH-metro (Thermo Orion 4-Star plus) con sonda de temperatura. Análisis en los tres días posteriores a la entrada de muestra en el laboratorio, de acuerdo con sus procedimientos de control de calidad. Pretratamiento con filtrado de membrana de 0,45 μm

Determinación de la Conductividad

Potenciométricamente con conductímetro (Thermo Orion 4-Star plus). Análisis en los tres días posteriores a la entrada de muestra en el laboratorio, de acuerdo con sus



procedimientos de control de calidad. Pretratamiento con filtrado de membrana de 0,45 μm y medición a 25°C estándar

Medida del Volumen

Por pesada con un granatario de precisión 0,00 g (Gibertini mod. Europe 1700).

Determinación de la concentración de nitratos, cloruros y sulfatos

Mediante la técnica de cromática iónica, con supresión química de eluentes. Se empleó un cromatógrafo de iones. DIONEX ICS-2000 con columna separadora de aniones. Pretratamiento con filtrado de membrana de 0,45 μm

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA), perteneciente al Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra, dirigidos por el Dr. David Elustondo.



Figura 2.V. Detalle de un captador de recogida de agua de deposición.

2.6. ANÁLISIS FOLIARES.

Para la realización de los **análisis foliares** se tomaron varios ramillos del tercio superior de la copa de cada uno de los árboles evaluados. En cada uno de los ramillos se separaron los crecimientos o metidas del año en curso y los del año anterior; pues las concentraciones de un contaminante en hojas depende de su tiempo de exposición al mismo.

Antes de la realización de los análisis se procedió a la preparación de las muestras foliares. Para ello se separaron las hojas y acículas de los ramillos y, sin lavarlas, se secaron en estufa a 70°C durante 24 horas. Posteriormente se trituraron e introdujeron en frascos de plástico para su conservación hasta el momento de los análisis.

Azufre hidrosoluble

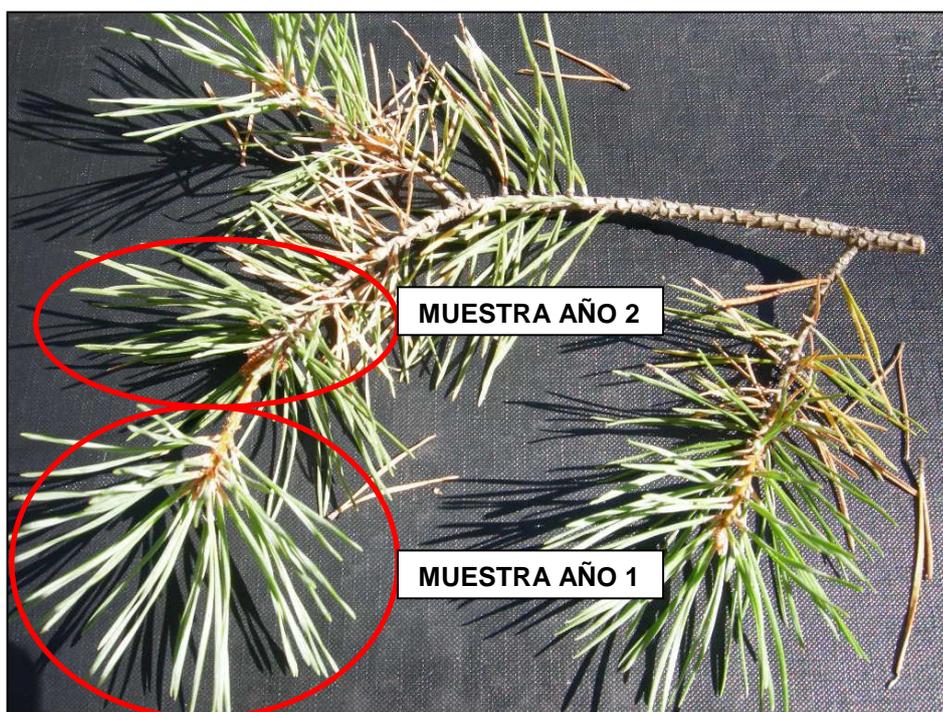
- Extracción del azufre hidrosoluble por agitación continua durante 30 minutos con agua destilada.
- Filtración del extracto y determinación de los sulfatos mediante cromatografía iónica, previa purificación en Sep-Pack c-18.
 - Columna ICPACK-aniónica.
 - Fase móvil borato-gluconato pH: 8,5.
 - Detector de conductividad.

Azufre total

- Determinación automática en celda de infrarrojos con espectroscopio de emisión atómica ICP-MS Agilent 7500, previa preparación con digestor de microondas HNO₃.

La determinación del azufre total se basa en la absorción IR por el SO₂. La muestra se quema en un tubo de combustión operando a una temperatura de 1400°C en corriente de O₂ que oxida el S a SO₂. La humedad y las partículas son retenidas por perclorato de magnesio antes de pasar a un detector. Este sensor recibe una intensidad de radiación proporcional a la cantidad de SO₂. El equipo se calibra diariamente con un estándar de carbón cuyo contenido en azufre es de 0,58%±0,03. Las medidas se controlan con una muestra certificada por el CBR (*Community Bureau of Reference* de la Comisión de la Unión Europea) de *Picea abies*. La muestra de referencia es la CRM-101 cuyo contenido certificado es del 0,17%.

Los análisis se realizaron en el Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental (LICA), perteneciente al Departamento de Química y Edafología de la Universidad de Navarra, dirigidos por el Dr. David Elustondo.





3. RESULTADOS ANALÍTICOS DE LAS MUESTRAS DE DEPOSICIÓN

3.1. INTRODUCCIÓN

Para el estudio de los parámetros que indican el nivel de contaminación atmosférica se colocaron once captadores de agua de lluvia en los emplazamientos indicados en la Figura 3.1. Estos lugares se encuentran cerca de las estaciones de seguimiento, lo más escondidos al público que es posible, para evitar alteraciones debidas a la curiosidad o vandalismo.

Los captadores o acumuladores se encuentran situados bajo el dosel arbóreo para recoger el agua de lluvia una vez haya "lavado" el follaje, donde quedan depositados los contaminantes arrastrados por el viento. Las características de estos captadores de agua se adaptan a la normativa europea.

3.2. TRATAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS

El protocolo seguido para el tratamiento y conservación de las muestras es el siguiente:

- Las muestras, una vez registradas, se trasvasan a botes de polietileno y son pesadas para la medida del volumen de muestra.
- En estas muestras sin tratamiento previo se mide el pH y la conductividad.
- Una vez realizadas estas dos mediciones, las muestras se filtran al vacío con filtros de membrana de 0,45 µm de diámetro de poro.
- Una vez filtradas, las muestras se conservan en nevera a una temperatura inferior a 5 °C para su posterior análisis.
- Los análisis se llevan a cabo en un plazo de 15 días a contar desde la fecha de recepción en el laboratorio de referencia.

3.3. RESULTADOS

Durante 2016 se realizaron 17 visitas (incluyendo la realizada para la instalación de los acumuladores) a los puntos de muestreo de agua, recogiendo las muestras indicadas en la Tabla 3.1. En las muestras recogidas se encontraron diversas partículas en suspensión y restos vegetales en los filtros de los embudos superiores de los acumuladores.

En la Tabla 3.VIII adjunta al final del presente epígrafe se recogen los resultados de los análisis anteriormente citados, agrupándolos según fechas. También se adjuntan varias gráficas, con los datos obtenidos en cada estación y su evolución a lo largo de la campaña de recogida.



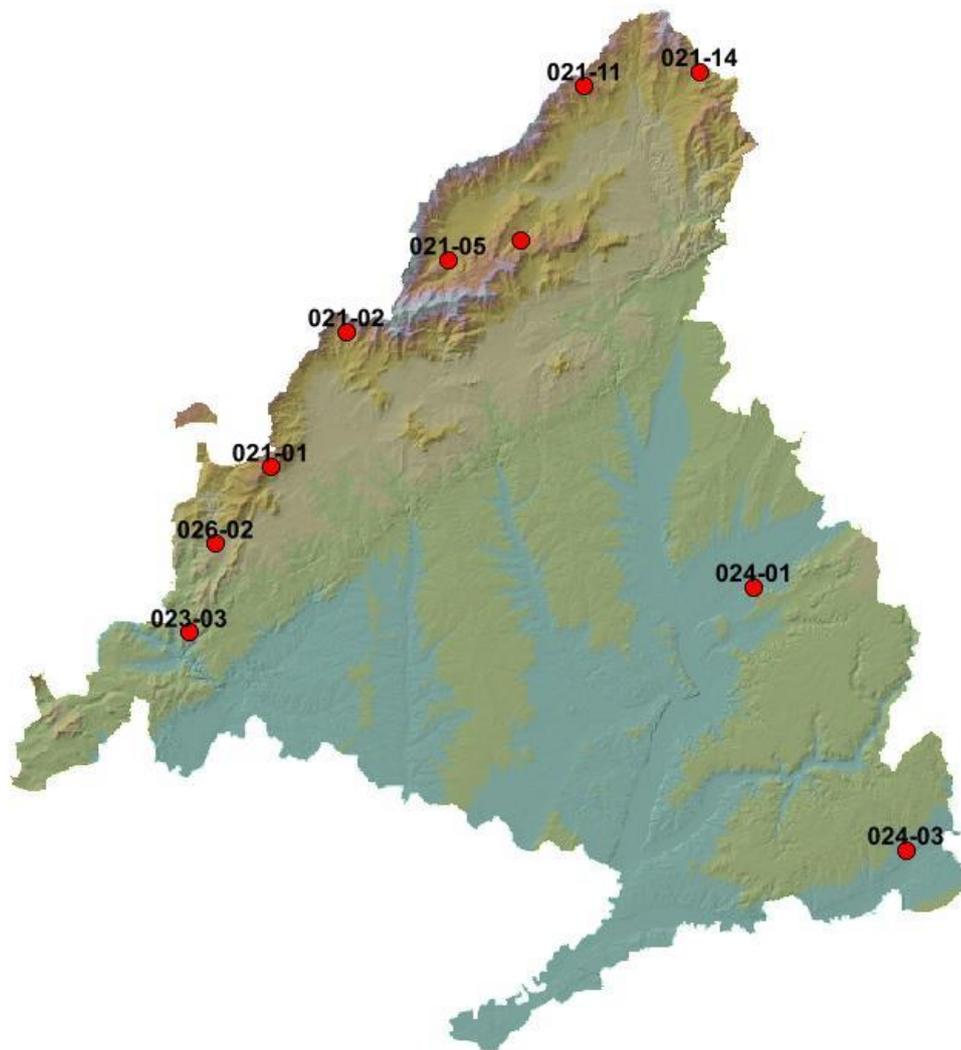
Tabla 3.I Fechas de recogida de muestras de deposición

Nº Viaje	Fecha	Observaciones
1	10/03/2016	Se instalan los captadores. No se recoge muestra
2	31/03/2016	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones.
3	14/04/2016	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones
4	28/04/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
5	10/05/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
6	24/05/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
7	07/06/2016	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones.
8	23/06/2016	Se recoge muestra en 6 de 10 estaciones.
9	14/07/2016	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones.
10	05/08/2016	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
11	18/08/2016	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra
12	05/09/2016	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
13	20/09/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones
14	07/10/2016	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
15	21/10/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
16	03/11/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
17	17/11/2016	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones



Figura 3.1

Situación de las estaciones de muestreo de deposición



3.3.1. Volumen recogido

Primeramente se ha considerado interesante incluir el volumen medio recogido en cada captador como indicador de la precipitación habida en cada parcela, junto con el porcentaje del total de muestreos en los que se ha recogido muestra, como índice de la sequía de cada estación. En las Figuras 3.II, 3.II y 3.IV puede apreciarse la distribución en las precipitaciones.

Por un lado, en la Figura 3.II se observa cómo la cantidad de muestreos en los que se tomó muestra de agua fue semejante en todas las localizaciones. En El Escorial, Canencia y Braojos se tomó muestra en 12 de las 16 visitas realizadas, mientras que en Cercedilla tan sólo en 10 ocasiones. En el resto de emplazamientos se tomaron muestra en 11 de los 16 viajes.

En la Figura 3.III se aprecia cómo destacaron los emplazamientos de Rascafría y en menor medida Fuentidueña con la menor cantidad de precipitaciones, mientras que por el contrario las de El Escorial y Canencia lo hicieron por la mayor cantidad de agua recogida. En el resto de localizaciones se recogieron cantidades de agua semejantes cercanas a la media del año, de 584.2 ml.

A lo largo del año es manifiesta la estacionalidad en las precipitaciones, relativamente abundantes en la primera mitad del año, con un máximo en la primera quincena de mayo, para descender drásticamente y tener un prolongado periodo de ausencia de precipitaciones hasta el mes de octubre, cuando se recuperaron notablemente. En la primera quincena de septiembre destacó sin embargo la recogida de algunas pequeñas muestras de agua tras dos meses de completa carestía.

Tabla 3.II Volumen (ml) recogido en las estaciones

ESTACIÓN	2016		
	%	V.medio	V.max
021-01 El Escorial	75,0	808,75	2375
021-02 Cercedilla	62,5	644,06	2330
021-05 Rascafría	68,8	374,69	1185
021-07 Canencia	75,0	759,06	2425
021-11 Braojos	75,0	647,50	1995
021-14 Montejo	68,8	562,50	1655
023-03 Navas del Rey	68,8	529,06	2245
024-01 Alcalá de Henares	68,8	492,81	1560
024-03 Fuentidueña	68,8	393,44	1200
026-02 Robledo de Chavela	68,8	630,31	2380

Figura 3.II

Porcentaje de muestreos en los que se ha recogido precipitación (2016)

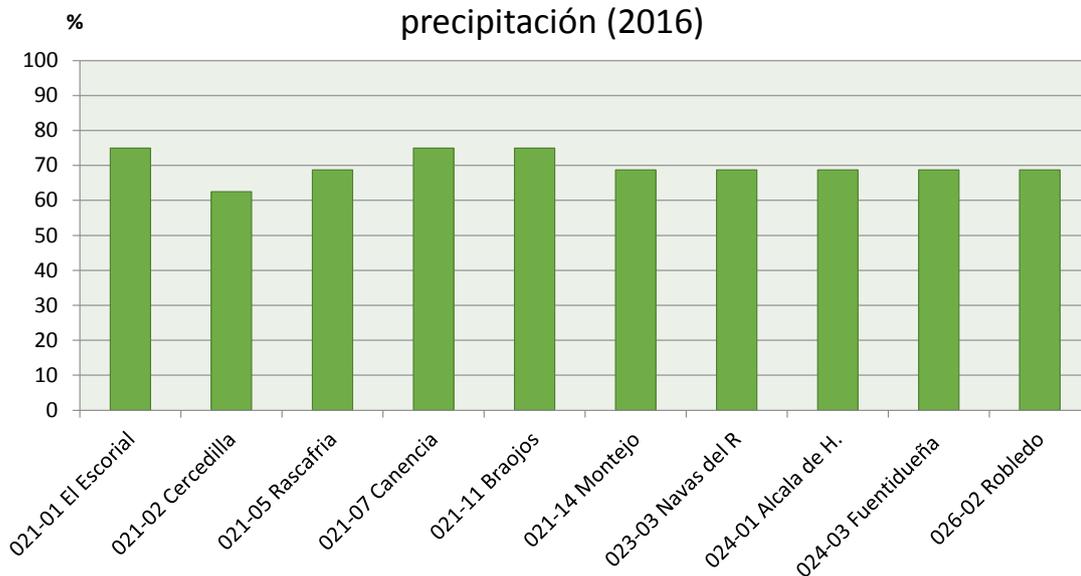




Figura 3.III

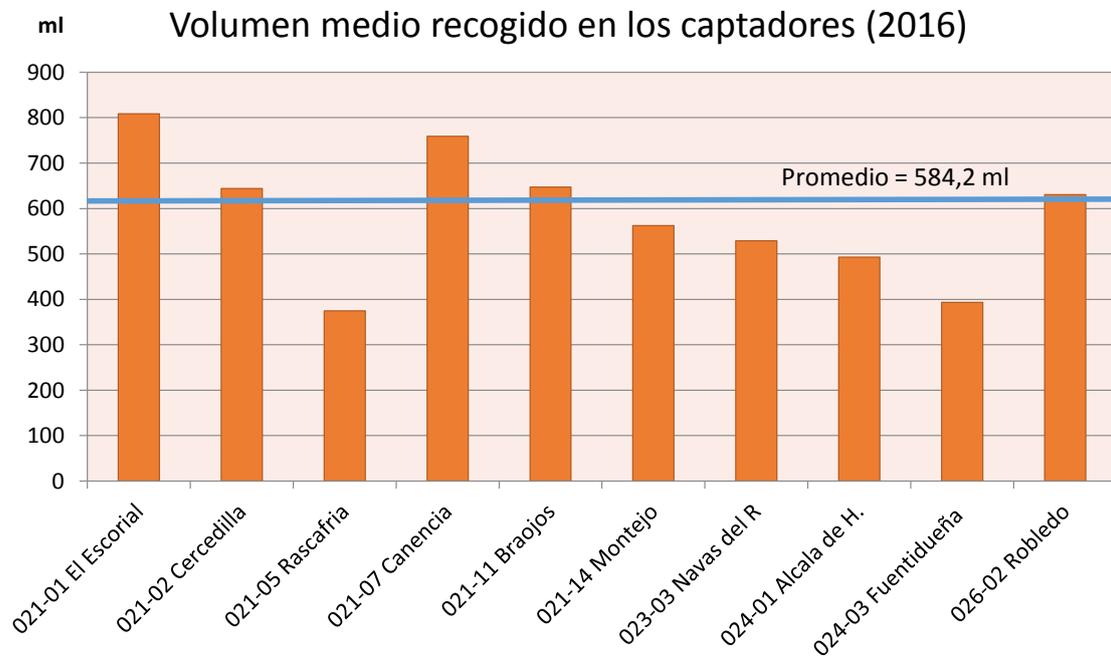


Figura 3.IV

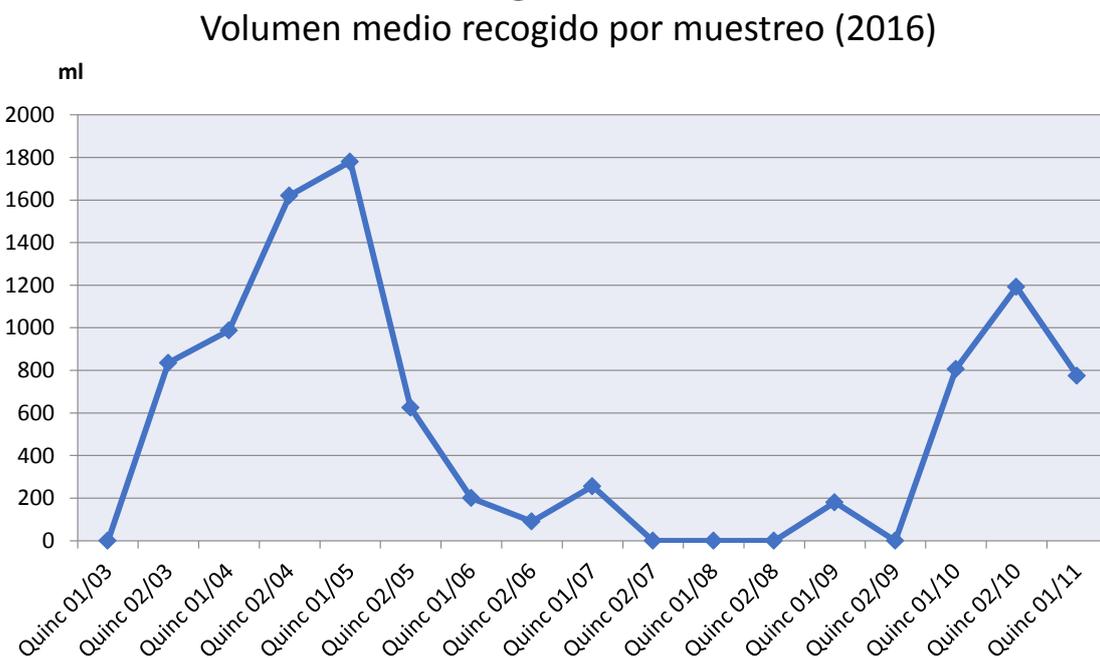




Figura 3.V

Porcentaje de días de lluvia según estación de deposición
(2016)

% Días Precipitación

- 0 - 20 %
- 20.1 - 40 %
- 40.1 - 60 %
- 60.1 - 80 %
- 80.1 - 100 %

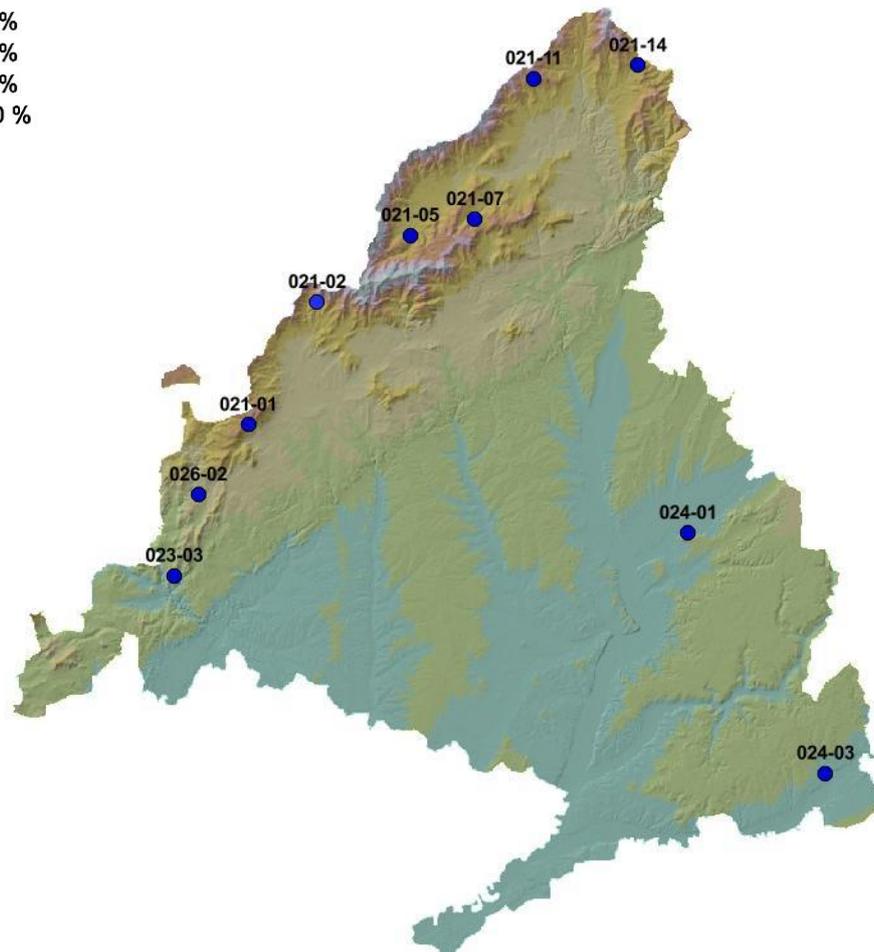
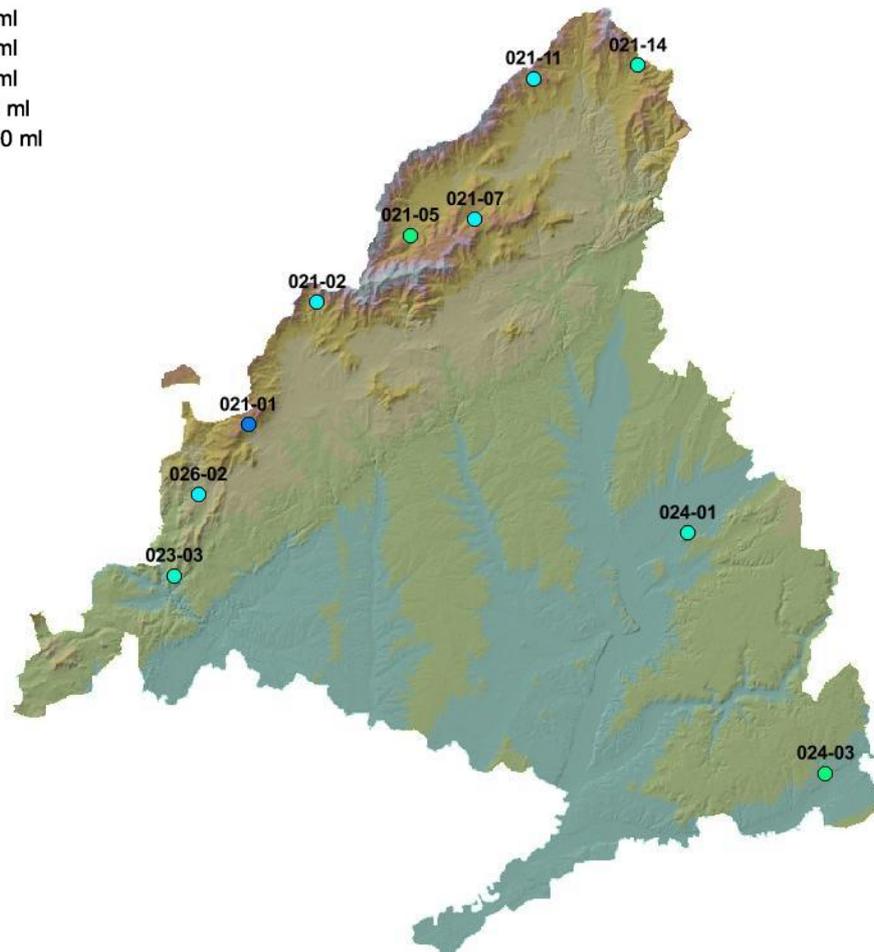




Figura 3.VI
Volumen recogido según estación de deposición
(2016)

- Volumen recogido
- 0 - 200 ml
 - 200 - 400 ml
 - 400 - 600 ml
 - 600 - 800 ml
 - 800 - 1000 ml
 - 1000 - 2000 ml





3.3.2. Acidez (pH)

Los niveles de pH obtenidos para las muestras de agua obtenidas en 2016 fueron relativamente bajos, pues la mayor parte de ellos no superaron los 6 puntos de pH. Oscilaron entre los 3.79 obtenidos en la muestra de Cercedilla en la primera quincena de septiembre (viaje nº13) y los 7.96 obtenidos en la muestra de Navas del Rey en la primera quincena de julio (viaje nº9).

En la Figura 3.VII se observa como abundaron las muestras por debajo de los 5.65 puntos de pH, nivel que marca la presencia de "lluvia ácida" (Erismán, J.W., y Draaijers, G.P.J., 1995). Salvo en las estaciones de Fuentidueña y Robledo, en el resto las ocasiones en las que se recogieron muestras de lluvia ácida superaron el 40%, destacando la de Braojos con más del 80% y Cercedilla con el 70%.

Atendiendo a los valores medios por estación, tal y como se recoge en la Figura 3.VIII, solo cuatro de las estaciones obtuvieron registros superiores a los de la lluvia ácida: Rascafría (por escasas décimas), Navas del Rey, Fuentidueña y Robledo. Destacó el mínimo nivel de las muestras en Cercedilla. En todo caso el promedio de pH en todos los emplazamientos estuvo por debajo de los 5.90 puntos.

Atendiendo a la distribución temporal de las precipitaciones (véase Figura 3.IX) tan solo en los meses de junio y julio, coincidiendo con las máximas precipitaciones del año, se superaron con cierta holgura el nivel de la lluvia ácida, quedando el resto de quincenas con precipitaciones por debajo de los 5,65 puntos de pH o mínimamente por encima.

Es de destacar que más del 95% de las muestras obtenidas están fuera del marco de referencia del RTSAP-2003 en lo que a este parámetro se refiere.

Tabla 3.III Acidez (ph) de las muestras de agua recogidas.

ESTACIÓN	2016		
	% <5,65	pH medio	pH min
021-01 El Escorial	58,33	5,64	5,22
021-02 Cercedilla	70,00	5,33	3,79
021-05 Rascafría	54,55	5,68	5,04
021-07 Canencia	58,33	5,53	4,87
021-11 Braojos	83,33	5,43	5,09
021-14 Montejo	45,45	5,53	4,64
023-03 Navas del Rey	54,55	5,86	5,15
024-01 Alcalá de Henares	45,45	5,64	5,20
024-03 Fuentidueña	27,27	5,80	5,03
026-02 Robledo de Chavela	27,27	5,86	5,27

Figura 3.VII

Porcentaje de muestras con pH<5,65 o "lluvia ácida" (2016)

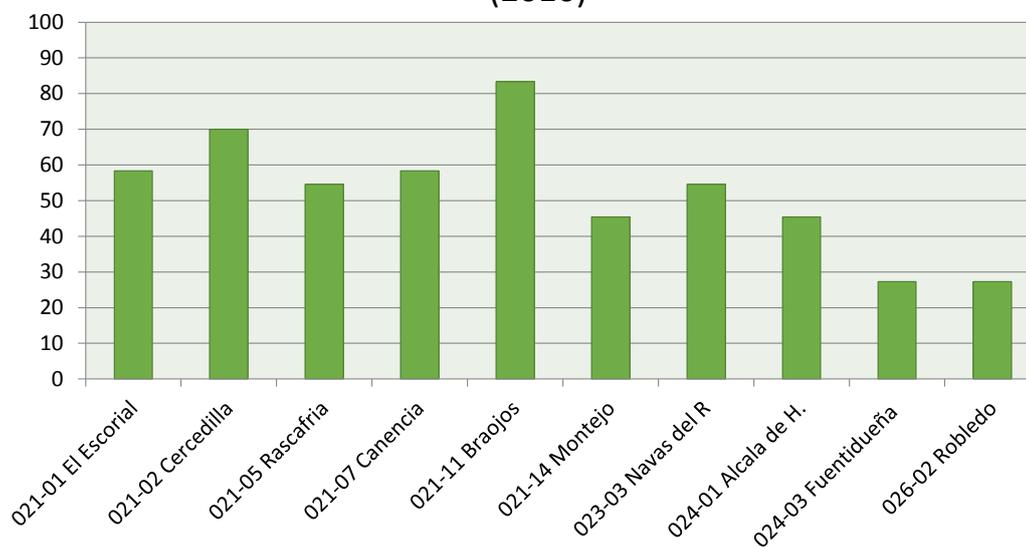




Figura 3.VIII
pH medio en las muestras de agua (2016)

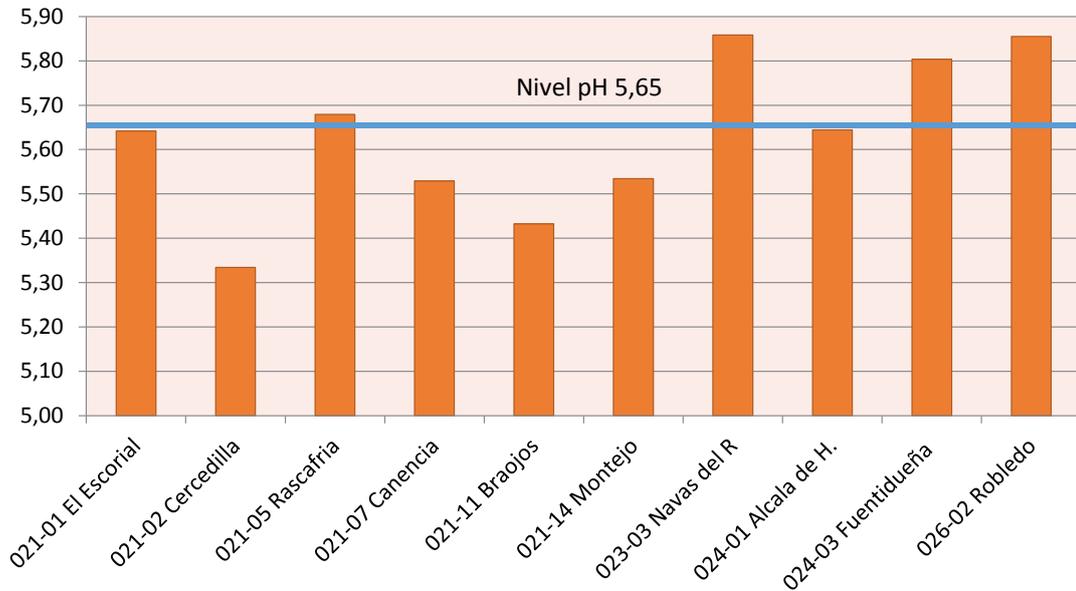


Figura 3.IX
pH medio por muestreo (2016)

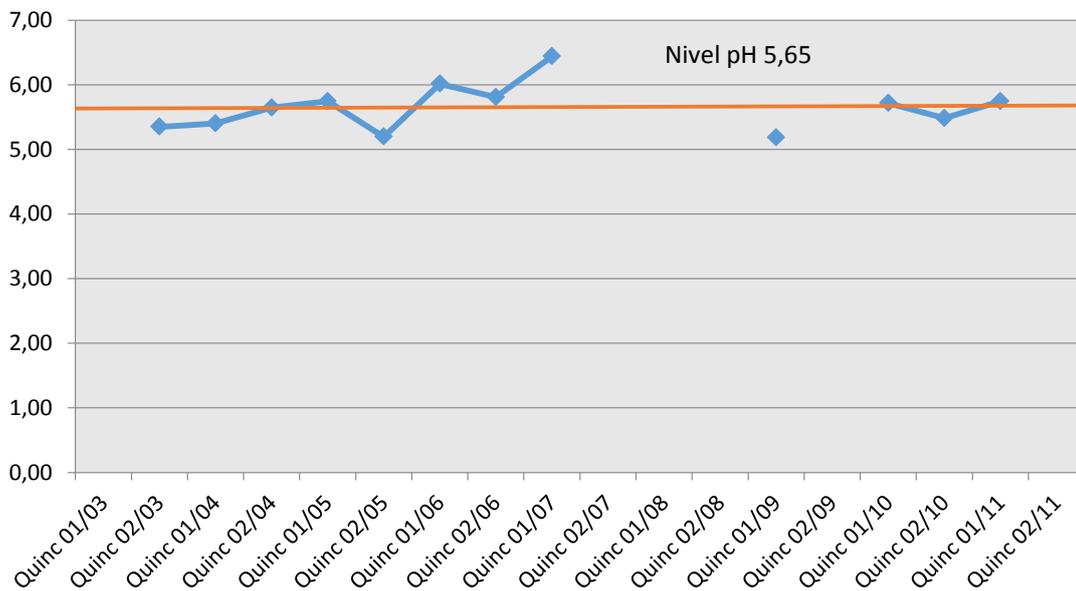




Figura 3.X
Porcentaje de días con lluvia ácida
(2016)

% Lluvia ácida

- 0 - 20
- 20.01 - 40
- 40.01 - 60
- 60.01 - 80
- 80.01 - 100

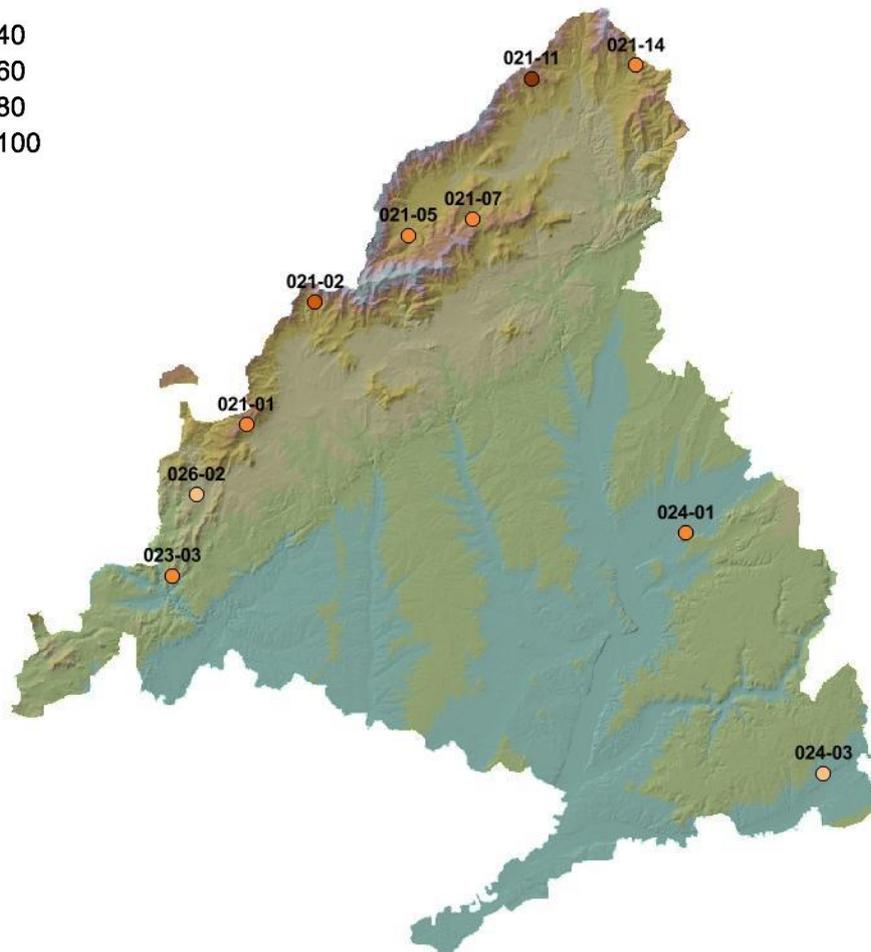
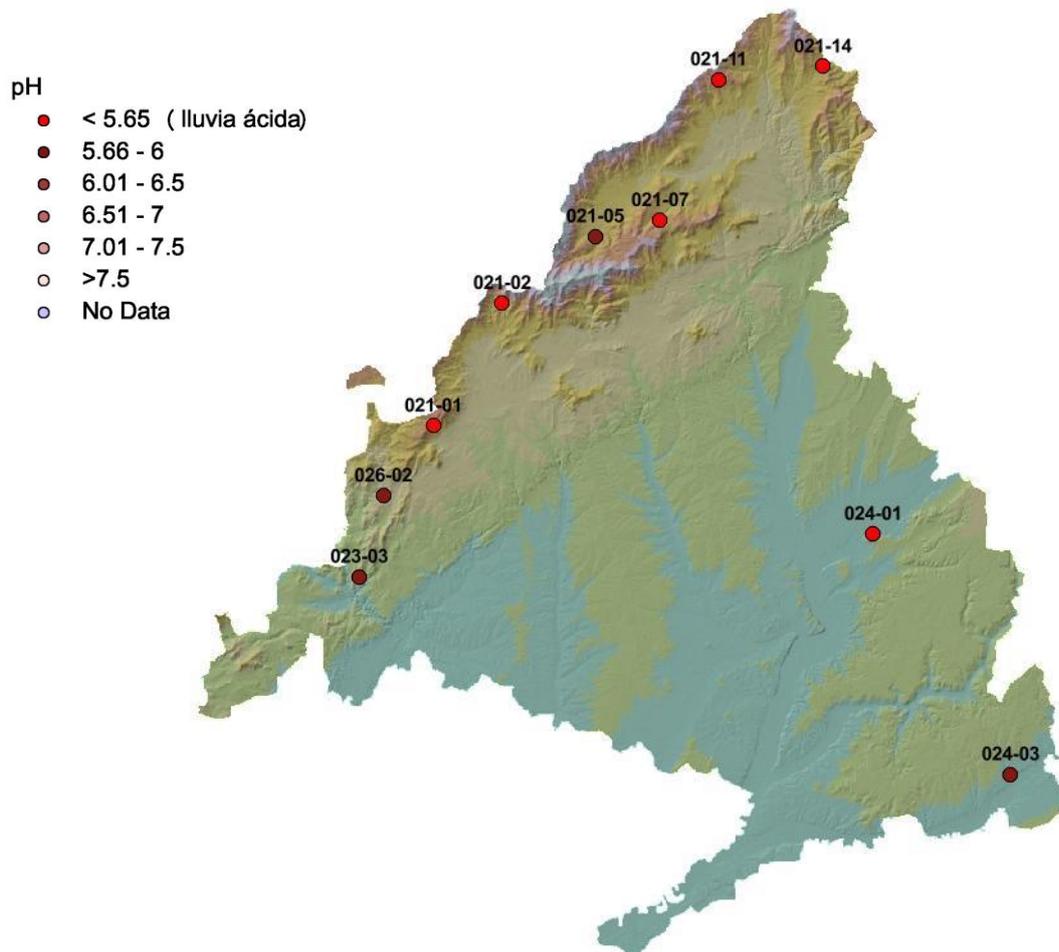




Figura 3.XI
pH medio según estación de deposición
(2016)





3.3.3. Conductividad

Este parámetro indica el nivel de minerales disueltos que contiene el agua, pudiéndose considerar de esta forma un agua "limpia" o de buena calidad aquella cuya conductividad sea baja.

El valor promedio de las muestras analizadas durante la presente campaña se situó en 90 $\mu\text{S}/\text{cm}$, situándose los extremos entre 1 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en El Escorial en la segunda quincena de mayo (viaje nº6) y 726 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Cercedilla en la primera quincena de septiembre (viaje nº13).

En la Figura 3.XII, con los registros medios por estación de deposición, destacó la ubicación de Cercedilla con el agua menos "limpia", seguida de las de Alcalá de Henares y Navas del Rey, claramente por encima de la media, y con el agua más "limpia" la de Montejo, Canencia, Robledo y Braojos.

En cuanto al comportamiento de la serie anual de datos (véase Figura 3.XIII), los valores mayores se registraron tras periodos de escasez o ausencia de precipitaciones, de tal forma que la precipitación tras sequías arrastra una buena cantidad de solutos provenientes de la deposición seca (aquella que se deposita y no es arrastrada por el agua), comportamiento ya observado en anteriores revisiones. Es por ello que a partir del mes de junio los valores crecen parejos a un descenso de las precipitaciones, siendo máximo en la primera quincena de septiembre tras varios meses sin caer una sola gota de lluvia; posteriormente vuelven a descender.

En cuanto al parámetro conductividad, todas las muestras analizadas se encuentran dentro de los valores marco del RTSAP-2003.

Tabla 3.IV Conductividad ($\mu\text{S}/\text{cm}$) de las muestras de agua recogidas.

ESTACIÓN	2016		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	99,42	582	1
021-02 Cercedilla	153,30	726	3
021-05 Rascafría	89,36	284	20
021-07 Canencia	57,17	167	2
021-11 Braojos	63,50	166	4
021-14 Montejo	42,27	150	2
023-03 Navas del Rey	124,27	606	18
024-01 Alcalá de Henares	132,27	396	10
024-03 Fuentidueña	91,00	343	9
026-02 Robledo de Chavela	59,36	177	4



Figura 3.XII

Conductividad media de las muestras recogidas (2016)

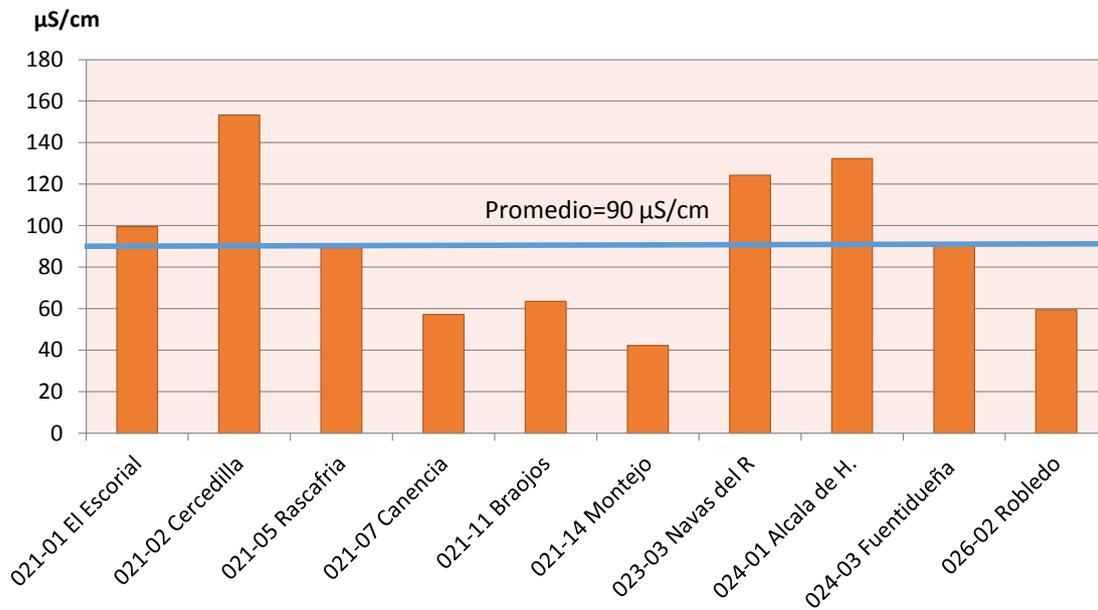


Figura 3.XIII

Conductividad media por muestreo (2016)

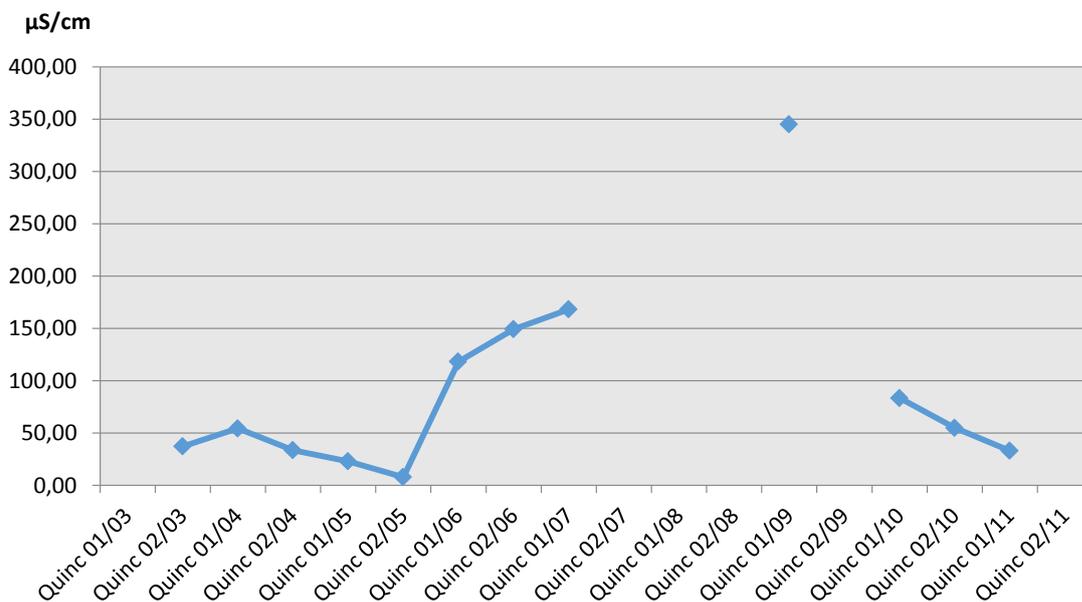
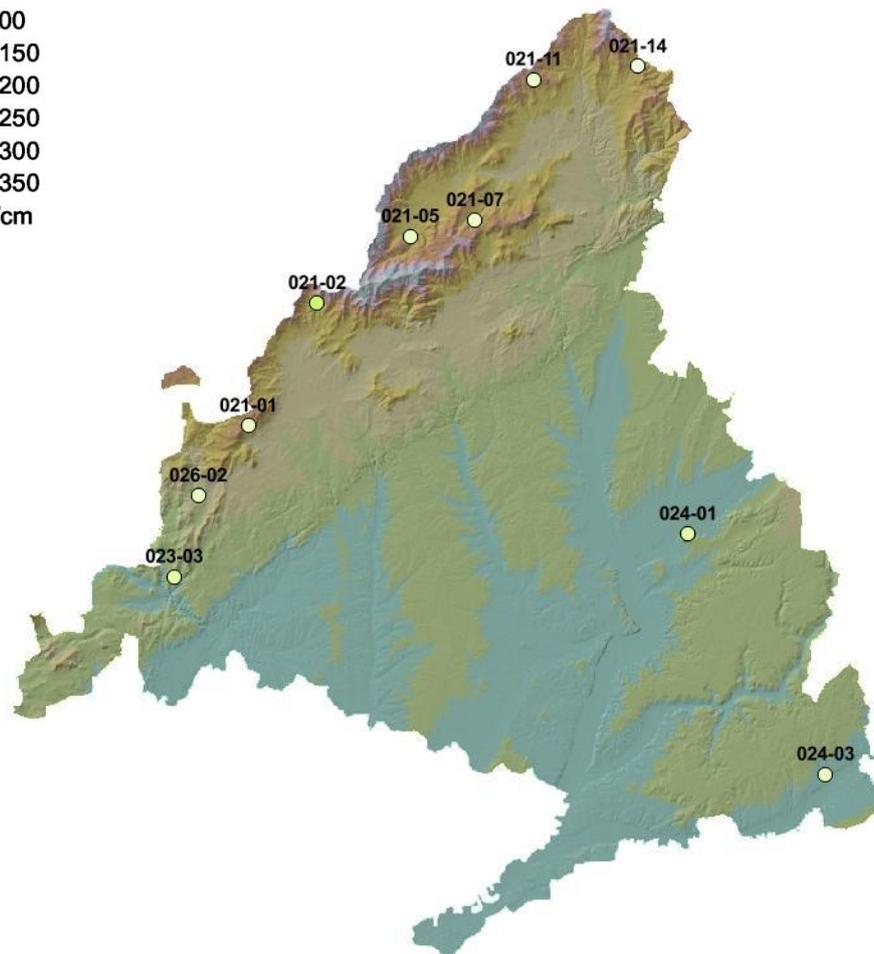




Figura 3.XIV
Conductividad media por estación de deposición
(2016)

Conductividad

- 1 - 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$
- 50.01 - 100
- 100.01 - 150
- 150.01 - 200
- 200.01 - 250
- 250.01 - 300
- 300.01 - 350
- $>350 \mu\text{S}/\text{cm}$
- No Data





3.3.4. Cloruros

La concentración media de cloruros en la revisión del año en curso mostró una ligera reducción respecto 2015, con 3.96 mg/l, oscilando los extremos de la serie entre las frecuentes “concentraciones traza” inferiores a 5 mg/l registradas con mayor o menor frecuencia en todas las estaciones y los 25.40 mg/l de máxima obtenidos Cercedilla en la primera quincena de septiembre (viaje nº13).

Según las concentraciones medias por estaciones de deposición (véase Figura 3.XV) destacaron las localizaciones de Cercedilla, Navas del Rey y Alcalá de Henares con los promedios más elevados. Por el contrario las de Canencia, Montejo, Fuentidueña y Robledo se mantuvieron en niveles inferiores a los 3 mg/l.

En lo que respecta a la serie anual, se observa al igual que ocurría con la conductividad, un incremento del parámetro tras un periodo de escasez o ausencia de precipitaciones, particularmente marcado a partir del mes de junio, al incorporar el aporte correspondiente a la deposición seca, junto con una disminución de los valores a finales del otoño, en un comportamiento ya observado en revisiones

anteriores. Se observa también en general que tras un periodo sin lluvias los valores obtenidos tienden a ser mayores que los valores usuales en la estación, mientras que si el periodo lluvioso es más prolongado, los valores se mantienen en umbrales más bajos, posiblemente debido a un efecto de lavado. En este sentido destaca el elevado registro de la primera quincena de septiembre tras varios meses de lluvias, y los escasos niveles de los meses de abril y mayo coincidentes con el periodo de máxima precipitación.

Cabe hacer constar también que en lo referente a este soluto y habida cuenta de la lejanía de la comunidad al mar, no se considera el aporte de sal marina –usual responsable de los picos obtenidos en España- sino que se trata de un aporte de naturaleza más antrópica, salvo algún episodio atmosférico extraordinario. Se advierte también un comportamiento en “V” invertida muy característico, con un incremento constante a lo largo de la primavera que, alcanzado un máximo en verano, decae a lo largo del otoño y que podría explicar en parte la naturaleza de la fuente; comportamiento ya observado el año anteriores.

Todas las muestras analizadas cumplían con el estándar RTSAP-2003.

Tabla 3.V Concentración de cloruros (mg/l) de las muestras de agua recogidas.

ESTACIÓN	2016		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	3,52	17,89	0,36
021-02 Cercedilla	7,06	25,40	0,40
021-05 Rascafría	3,91	13,06	0,70
021-07 Canencia	2,31	7,14	0,40
021-11 Brajos	2,74	5,99	0,53
021-14 Montejo	2,39	4,82	0,59
023-03 Navas del Rey	7,43	20,51	0,75
024-01 Alcalá de Henares	6,01	14,26	1,04
024-03 Fuentidueña	2,58	11,11	0,58
026-02 Robledo de Chavela	2,26	4,13	0,84



Figura 3.XV

Concentración media de cloruros por estación (2016)

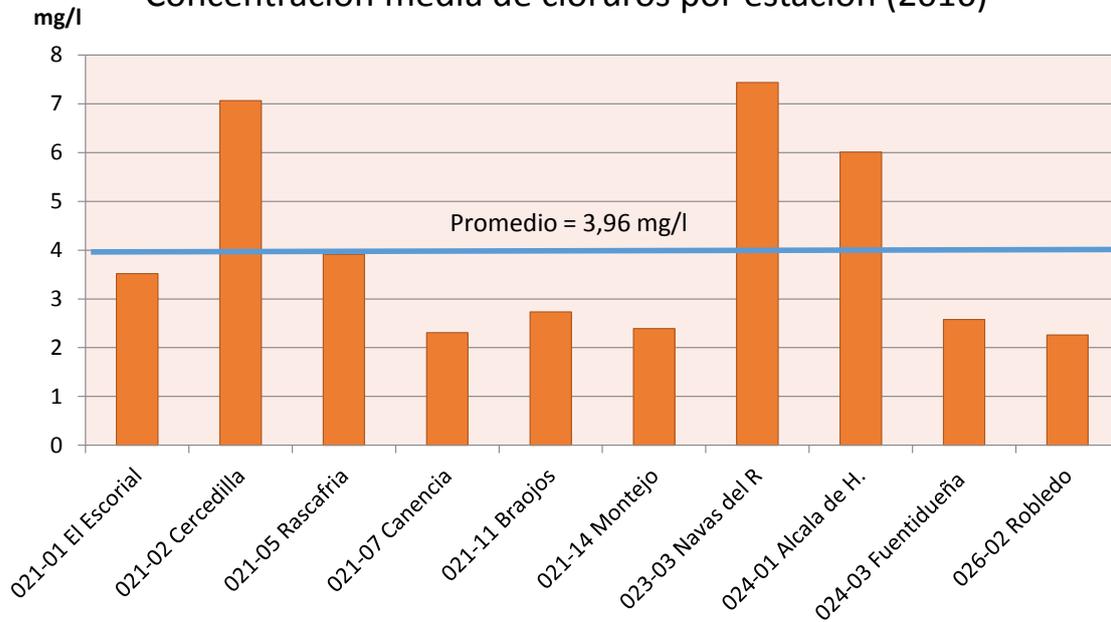


Figura 3.XV

Concentración de cloruros por muestreo (2016)



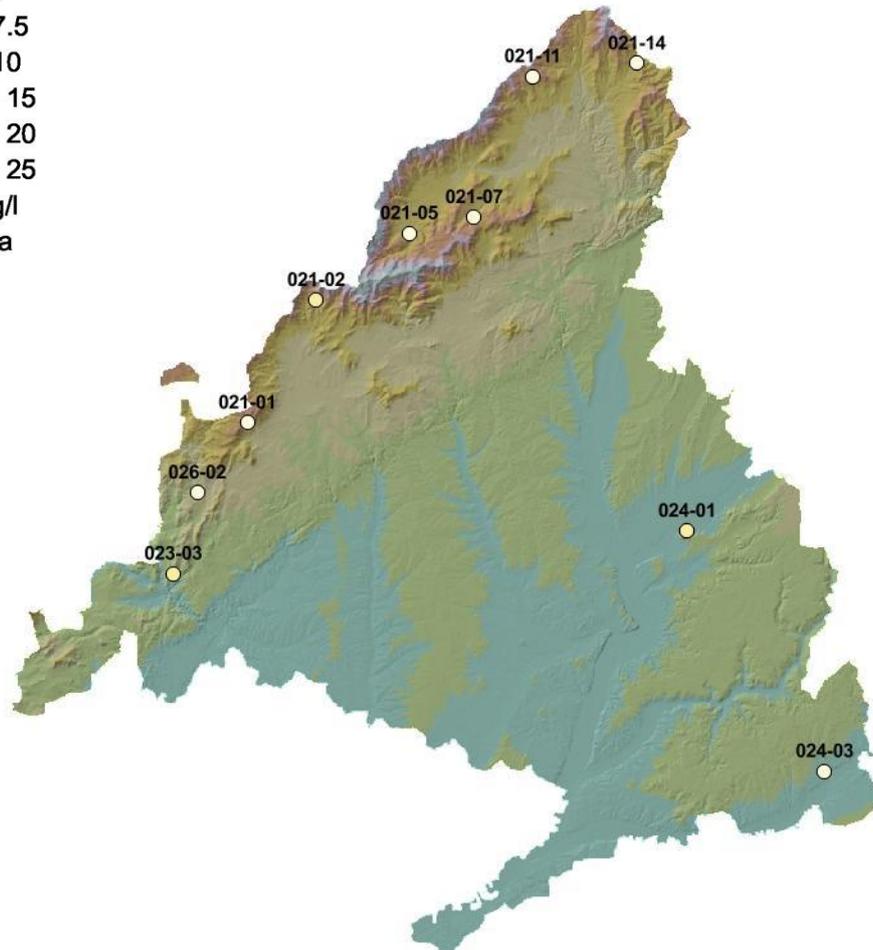


Figura 3.XVI

Concentración media de cloruros por estación de deposición
(2016)

Cloruros

- <5 mg/l
- 5.01 - 7.5
- 7.51 - 10
- 10.01 - 15
- 15.01 - 20
- 20.01 - 25
- >25 mg/l
- No Data





3.3.5. Nitratos

La concentración media de nitratos en la presente revisión se situó en 11.48 mg/l, registrándose extremos de la serie de 0,01 mg/l en Canencia de la Sierra en la primera quincena de noviembre (viaje nº17), y 173.87 mg/l en Navas del Rey en la primera quincena de septiembre (viaje nº13). En un 13% de las ocasiones se registraron además concentraciones traza inferiores a 0,5 mg/l, muchas de ellas en el arco norte de la comunidad principalmente en la segunda quincena de mayo y primera de noviembre.

Por estaciones (véase Figura 3.XVIII), las mayores concentraciones medias se registraron en las ubicaciones de

Cercedilla, Navas del Rey y Alcalá de Henares, mientras que las menores se dieron principalmente en Rascafría.

En la evolución temporal de las concentraciones destacó, al igual que ocurría con la conductividad y los cloruros, el pico registrado en la segunda quincena de septiembre (69.65 mg/l) tras varios meses sin precipitaciones debido posiblemente al lavado e incorporación de la deposición seca. Se superaron con creces los 50 mg/l definidos por el estándar RTSAP-20033, límite por debajo del cual se mantuvieron la casi totalidad de las muestras en el resto de viajes.

Tabla 3.VI Concentración de nitratos (mg/l) de las muestras de agua recogidas.

ESTACIÓN	2016		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	10,49	111,87	0,06
021-02 Cercedilla	21,76	125,37	0,07
021-05 Rascafría	0,87	1,79	0,02
021-07 Canencia	4,57	26,83	0,01
021-11 Braojos	7,08	40,01	0,53
021-14 Montejo	6,77	24,83	0,03
023-03 Navas del Rey	22,62	173,87	0,16
024-01 Alcalá de Henares	21,83	94,74	0,96
024-03 Fuentidueña	13,34	72,12	0,96
026-02 Robledo de Chavela	6,41	25,52	0,99



Figura 3.XVII

Concentración media de nitratos por estación (2016)

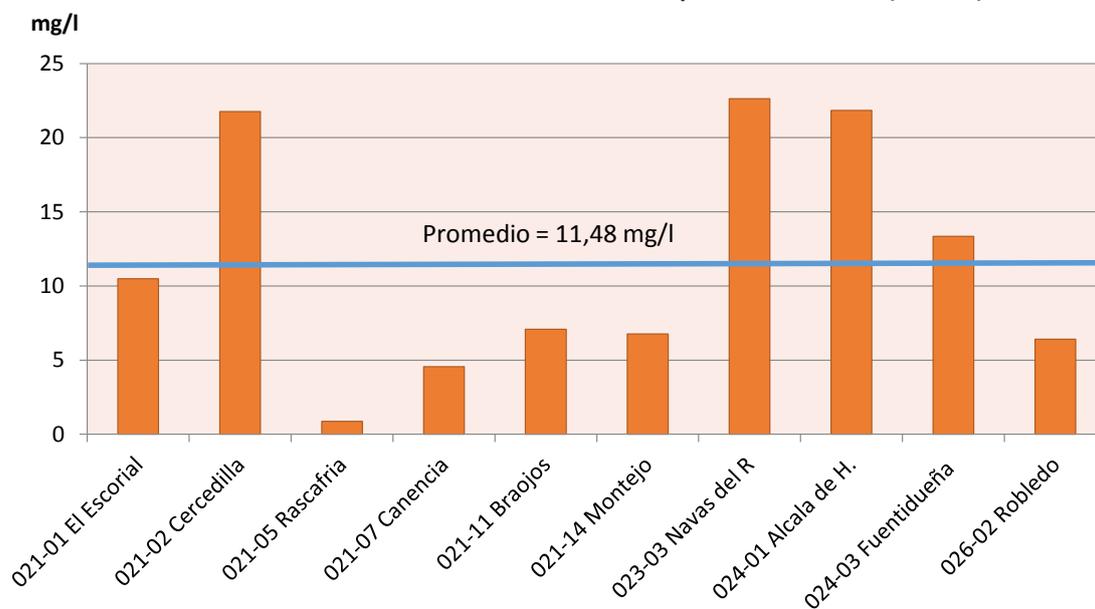


Figura 3.XVIII

Concentración de nitratos por muestreo (2016)

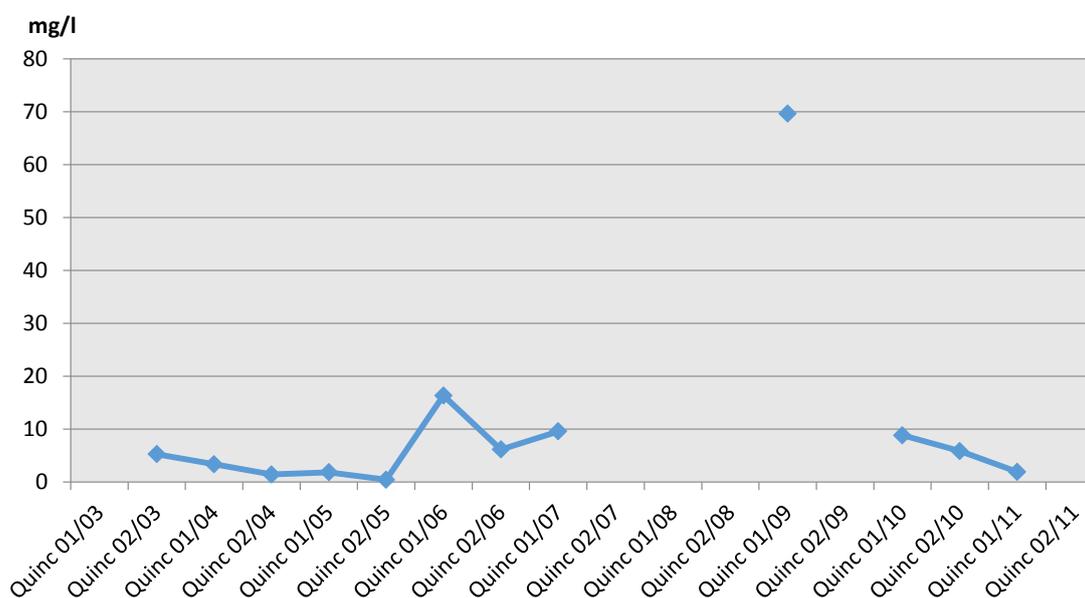


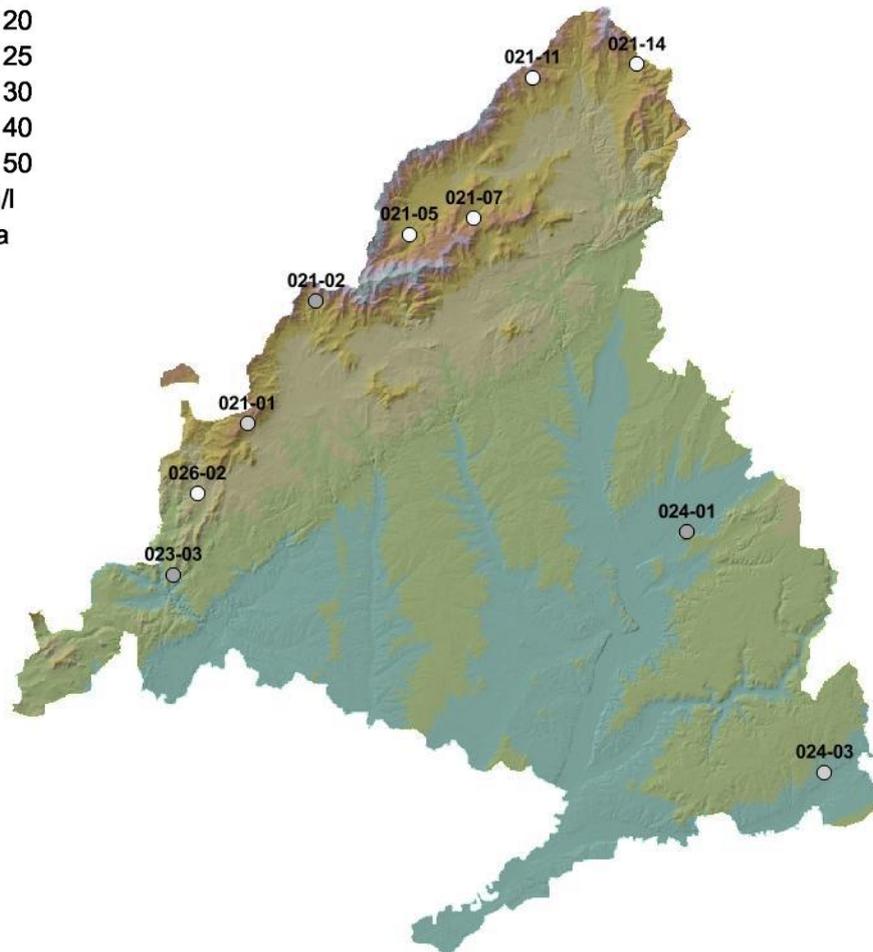


Figura 3.XIX

Concentración media de nitratos por estación de deposición
(2016)

Nitratos

- <10 mg/l
- 10.01 - 20
- 20.01 - 25
- 25.01 - 30
- 30.01 - 40
- 40.01 - 50
- >50 mg/l
- No Data





3.3.6. Sulfatos

La concentración media de sulfatos en la serie analizada es de 2,26 mg/l; oscilando entre un valor mínimo de 0,17 mg/l en Cercedilla en la primera quincena de noviembre (viaje nº17) y un máximo de 36.56 mg/l en Navas del Rey en la primera quincena de Septiembre (viaje nº13). La presencia de valores traza de sulfatos, con concentraciones inferiores a 0,5 mg/l, resultó abundante, suponía el 38% de las muestras.

Según estaciones de muestreo destacaron con registros que doblaban la media, los emplazamientos de Navas del Rey, Alcalá de Henares y Fuentidueña; los promedios de concentración oscilaban alrededor de los 5mg/l. Por el contrario, con el promedio de concentración

más reducida destacó Rascafría, si bien las concentraciones medias del resto de estaciones se movieron en torno a 1mg/l.

El comportamiento de la variable a lo largo del año (véase Figura 3.XXI) seguía la pauta marcada por los nitratos, con registros bastante reducidos a lo largo del año que se elevaron notablemente tras periodos de carencia o escasez de lluvias, tal y como ocurrió en la primera quincena de septiembre alcanzándose los 14,61 mg/l, y en menor medida en la primera quincena de octubre, con un registro de 4,19 mg/l. De nuevo aparecía la deposición seca como factor que explicaría el incremento observado.

En todo caso, todas las muestras analizadas cumplieron con el estándar RTSAP-2004.

Tabla 3.VII Concentración de sulfatos (mg/l) de las muestras de agua recogidas.

ESTACIÓN	2016		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	0,86	3,19	0,26
021-02 Cercedilla	0,94	2,22	0,17
021-05 Rascafría	0,38	0,89	0,18
021-07 Canencia	0,95	2,59	0,23
021-11 Braojos	1,27	4,46	0,32
021-14 Montejo	1,18	3,83	0,24
023-03 Navas del Rey	5,47	36,56	0,44
024-01 Alcalá de Henares	5,17	20,06	0,47
024-03 Fuentidueña	4,82	30,89	0,43
026-02 Robledo de Chavela	1,18	3,87	0,28



Figura 3.XX

Concentración media de sulfatos por estación (2016)

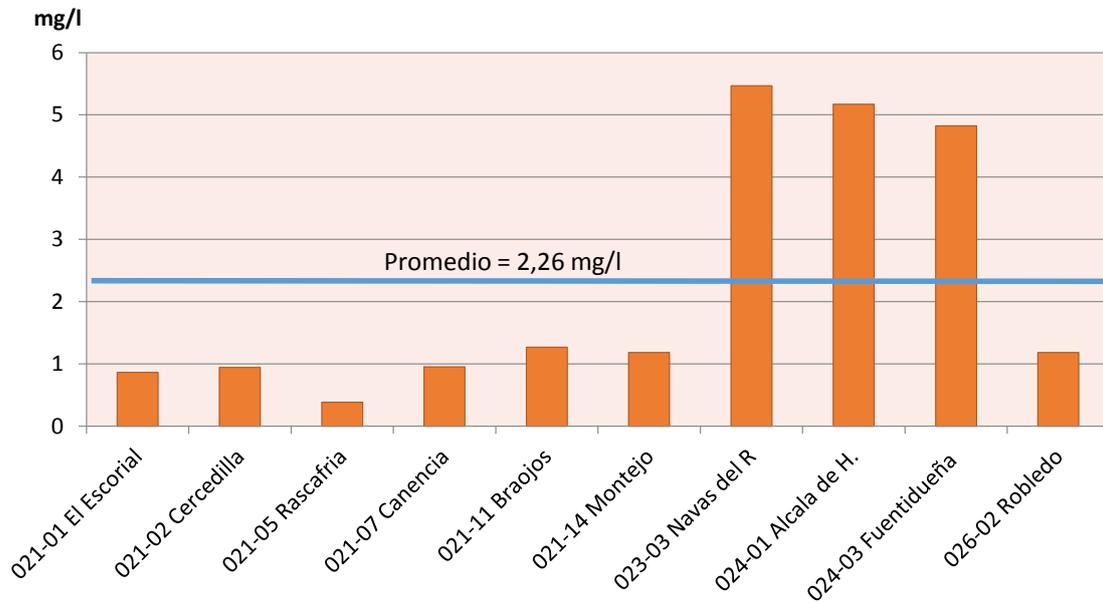


Figura 3.XXI

Concentración de sulfatos por muestreo (2016)

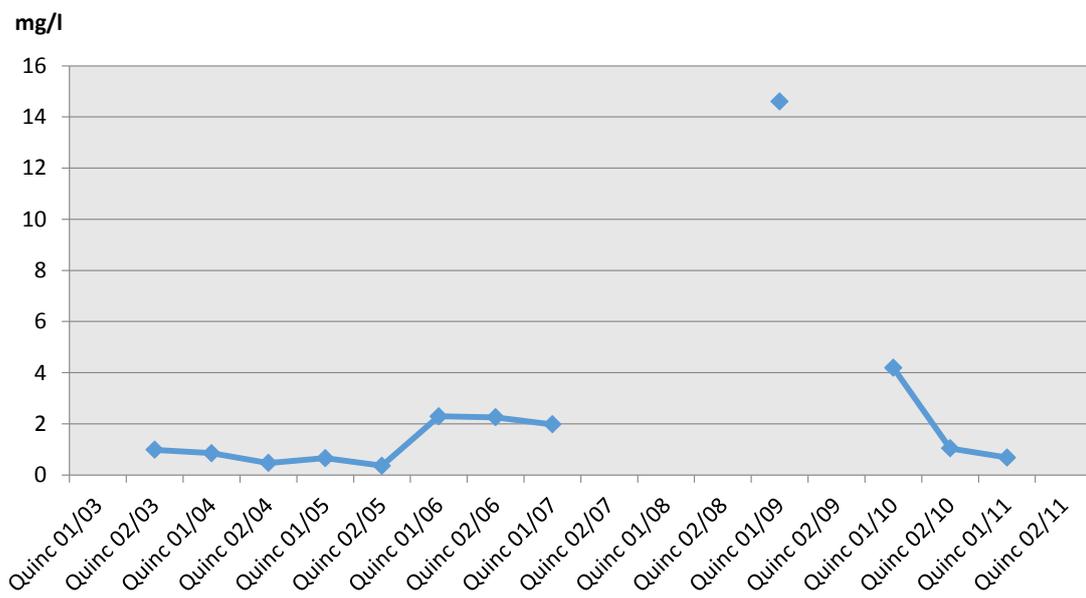




Figura 3.XXII

Concentración media de sulfatos por estación de deposición
(2016)

Sulfatos

- <5 mg/l
- 5.01 - 7.5
- 7.51 - 10
- 10.01 - 15
- 15.01 - 20
- 20.01 - 25
- >25 mg/l
- No Data

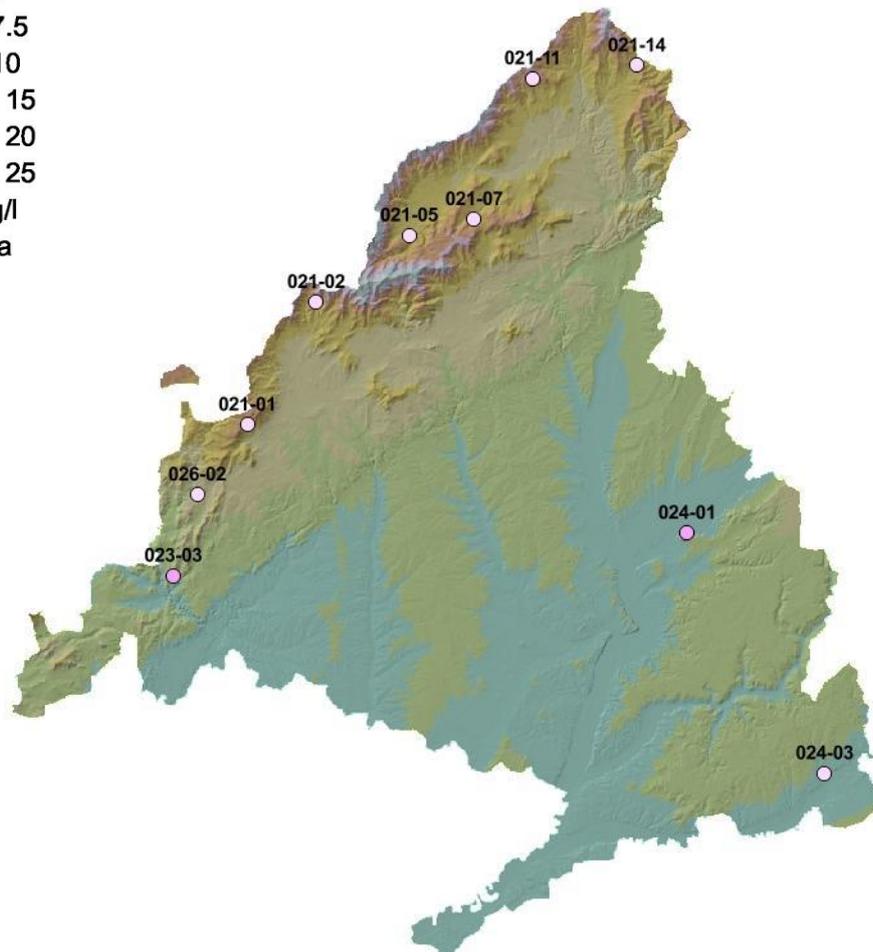




Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2016 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4	
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	
1	E-021-01	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-02	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-05	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-07	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-11	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-14	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-023-03	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-024-01	18/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-024-03	18/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-026-02	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
2	E-021-01	31/03/2016	5,45	12	1,14	1,99	0,34	
	E-021-02	31/03/2016	S/A					
	E-021-05	31/03/2016	5,24	21	1,88	1,79	0,23	
	E-021-07	31/03/2016	5,18	19	2,09	1,50	0,23	
	E-021-11	31/03/2016	5,54	24	1,76	2,64	0,42	
	E-021-14	31/03/2016	5,36	40	3,77	5,21	0,99	
	E-023-03	31/03/2016	5,27	99	11,33	15,49	1,98	
	E-024-01	30/03/2016	5,26	55	1,87	8,32	2,75	
	E-024-03	30/03/2016	5,43	21	0,90	3,96	0,99	
	E-026-02	31/03/2016	5,40	43	4,13	6,60	0,92	
3	E-021-01	14/04/2016	5,24	21	2,05	1,30	0,50	
	E-021-02	14/04/2016	S/A					
	E-021-05	14/04/2016	5,70	22	2,44	1,45	0,24	
	E-021-07	14/04/2016	5,37	23	1,41	0,76	0,30	
	E-021-11	14/04/2016	5,71	46	1,97	1,94	0,58	
	E-021-14	14/04/2016	5,18	10	1,44	1,46	0,45	
	E-023-03	15/04/2016	5,17	73	8,17	9,33	1,22	
	E-024-01	15/04/2016	5,28	209	14,26	9,31	2,83	
	E-024-03	15/04/2016	5,03	23	0,81	1,53	0,77	
	E-026-02	15/04/2016	5,93	61	3,88	3,23	0,79	
4	E-021-01	29/04/2016	5,80	25	0,63	0,72	0,35	
	E-021-02	28/04/2016	5,32	22	0,73	1,04	0,37	
	E-021-05	28/04/2016	5,32	48	1,40	0,84	0,26	
	E-021-07	28/04/2016	5,73	31	0,54	0,57	0,26	
	E-021-11	28/04/2016	5,60	31	0,80	1,54	0,41	
	E-021-14	28/04/2016	5,80	27	2,06	0,82	0,32	
	E-023-03	29/04/2016	5,71	31	0,75	1,77	0,69	
	E-024-01	29/04/2016	5,43	40	1,28	3,92	1,16	



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2016 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-024-03	29/04/2016	5,78	17	1,35	2,04	0,51
	E-026-02	29/04/2016	5,96	63	1,13	0,99	0,36
5	E-021-01	10/05/2016	5,94	12	0,39	1,38	0,64
	E-021-02	10/05/2016	5,69	15	0,78	2,45	0,49
	E-021-05	10/05/2016	5,65	20	0,70	0,37	0,21
	E-021-07	10/05/2016	5,81	16	0,40	0,62	0,42
	E-021-11	10/05/2016	5,56	20	0,87	1,44	0,61
	E-021-14	10/05/2016	5,78	18	0,59	1,00	0,35
	E-023-03	11/05/2016	5,85	18	1,23	2,39	0,75
	E-024-01	09/05/2016	5,73	76	1,17	4,84	1,68
	E-024-03	09/05/2016	5,70	18	0,58	2,35	0,86
	E-026-02	11/05/2016	5,73	16	0,96	1,72	0,50
	6	E-021-01	25/05/2016	5,22	1	0,36	0,25
E-021-02		25/05/2016	5,32	3	0,40	0,35	0,30
E-021-05		24/05/2016	5,04	20	1,80	0,22	0,23
E-021-07		24/05/2016	5,12	2	0,41	0,28	0,27
E-021-11		24/05/2016	5,18	4	0,53	0,53	0,32
E-021-14		24/05/2016	5,14	2	0,74	0,34	0,26
E-023-03		25/05/2016	5,15	22	11,71	0,16	0,44
E-024-01		24/05/2016	5,20	10	1,04	0,96	0,47
E-024-03		24/05/2016	5,31	9	0,83	0,96	0,75
E-026-02		25/05/2016	5,27	4	0,84	n.a.	0,28
7	E-021-01	07/06/2016	5,69	137	3,12	3,87	0,56
	E-021-02	07/06/2016	5,33	136	8,63	18,22	2,22
	E-021-05	07/06/2016	S/A				
	E-021-07	07/06/2016	6,25	57	3,41	7,48	0,91
	E-021-11	07/06/2016	5,57	60	3,37	11,09	0,71
	E-021-14	07/06/2016	5,67	74	4,15	16,60	1,75
	E-023-03	07/06/2016	6,75	144	5,87	10,95	3,95
	E-024-01	08/06/2016	5,82	267	13,19	58,99	9,67
	E-024-03	08/06/2016	6,42	170	2,78	17,97	0,43
	E-026-02	07/06/2016	6,62	18	1,04	1,89	0,46
8	E-021-01	23/06/2016	6,08	156	6,90	1,95	3,19
	E-021-02	23/06/2016	5,63	139	8,94	n.a.	1,14
	E-021-05	23/06/2016	6,17	165	8,00	n.a.	0,89
	E-021-07	23/06/2016	5,81	167	7,14	n.a.	2,04
	E-021-11	23/06/2016	5,35	128	4,90	9,66	1,79
	E-021-14	23/06/2016	S/A				
	E-023-03	23/06/2016	S/A				



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2016 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-024-01	22/06/2016	5,81	140	4,78	6,88	4,47
	E-024-03	22/06/2016	S/A				
	E-026-02	23/06/2016	S/A				
9	E-021-01	14/07/2016	6,42	147	5,75	2,15	2,25
	E-021-02	14/07/2016	6,43	234	7,56	21,34	1,26
	E-021-05	14/07/2016	6,87	284	5,27	0,84	0,86
	E-021-07	14/07/2016	5,93	153	4,38	5,87	1,94
	E-021-11	14/07/2016	6,05	151	3,61	8,29	1,82
	E-021-14	14/07/2016	6,34	75	4,35	17,24	2,23
	E-023-03	14/07/2016	7,96	86	5,23	9,91	3,87
	E-024-01	13/07/2016	S/A				
	E-024-03	13/07/2016	6,02	207	3,45	15,94	2,36
	E-026-02	14/07/2016	5,93	177	2,15	4,58	1,22
10	E-021-01	05/08/2016	S/A				
	E-021-02	05/08/2016	S/A				
	E-021-05	05/08/2016	S/A				
	E-021-07	05/08/2016	S/A				
	E-021-11	05/08/2016	S/A				
	E-021-14	05/08/2016	S/A				
	E-023-03	04/08/2016	S/A				
	E-024-01	04/08/2016	S/A				
	E-024-03	04/08/2016	S/A				
	E-026-02	04/08/2016	S/A				
11	E-021-01	18/08/2016	S/A				
	E-021-02	18/08/2016	S/A				
	E-021-05	18/08/2016	S/A				
	E-021-07	18/08/2016	S/A				
	E-021-11	18/08/2016	S/A				
	E-021-14	18/08/2016	S/A				
	E-023-03	18/08/2016	S/A				
	E-024-01	17/08/2016	S/A				
	E-024-03	17/08/2016	S/A				
	E-026-02	18/08/2016	S/A				
12	E-021-01	06/09/2016	S/A				
	E-021-02	06/09/2016	S/A				
	E-021-05	05/09/2016	S/A				
	E-021-07	05/09/2016	S/A				
	E-021-11	05/09/2016	S/A				
	E-021-14	05/09/2016	S/A				



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2016 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-023-03	06/09/2016	S/A				
	E-024-01	05/09/2016	S/A				
	E-024-03	05/09/2016	S/A				
	E-026-02	06/09/2016	S/A				
13	E-021-01	20/09/2016	5,35	582	17,89	111,87	n.a.
	E-021-02	20/09/2016	3,79	726	25,40	125,37	n.a.
	E-021-05	20/09/2016	5,51	239	13,06	1,32	n.a.
	E-021-07	20/09/2016	4,87	136	5,15	26,83	2,59
	E-021-11	20/09/2016	5,09	166	5,49	40,01	4,46
	E-021-14	19/09/2016	4,64	150	4,82	24,83	3,83
	E-023-03	20/09/2016	5,51	606	20,51	173,87	36,56
	E-024-01	19/09/2016	5,35	396	12,65	94,74	20,06
	E-024-03	19/09/2016	5,84	343	11,11	72,12	30,89
	E-026-02	20/09/2016	5,86	108	3,47	25,52	3,87
14	E-021-01	06/10/2016	S/A				
	E-021-02	07/10/2016	S/A				
	E-021-05	07/10/2016	S/A				
	E-021-07	07/10/2016	S/A				
	E-021-11	07/10/2016	S/A				
	E-021-14	07/10/2016	S/A				
	E-023-03	07/10/2016	S/A				
	E-024-01	04/10/2016	S/A				
	E-024-03	04/10/2016	S/A				
	E-026-02	07/10/2016	S/A				
15	E-021-01	21/10/2016	5,41	50	1,54	0,16	0,55
	E-021-02	21/10/2016	5,82	61	9,7	5,26	1,6
	E-021-05	21/10/2016	5,73	62	2,3	0,98	0,52
	E-021-07	21/10/2016	5,63	43	1,25	5,23	1,84
	E-021-11	21/10/2016	5,16	26	2,7	5,1	3,28
	E-021-14	21/10/2016	5,70	31	2,3	3,52	2,26
	E-023-03	21/10/2016	5,55	211	13,8	8,95	8,24
	E-024-01	20/10/2016	6,37	183	12,3	28,5	9,12
	E-024-03	20/10/2016	6,23	128	2,98	20,8	12,21
	E-026-02	21/10/2016	5,54	38	2,87	9,9	2,28
16	E-021-01	03/11/2016	5,54	36	1,68	0,06	0,57
	E-021-02	03/11/2016	4,70	180	7,49	n.a.	n.a.
	E-021-05	03/11/2016	5,56	75	4,81	n.a.	0,18
	E-021-07	03/11/2016	5,17	27	0,84	1,07	0,34
	E-021-11	03/11/2016	5,20	31	0,85	1,74	0,35



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2016 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-021-14	03/11/2016	5,56	26	1,51	3,40	0,32
	E-023-03	04/11/2016	5,87	58	2,35	10,52	1,57
	E-024-01	02/11/2016	5,72	46	2,49	17,73	3,34
	E-024-03	02/11/2016	5,70	34	0,88	6,28	2,26
	E-026-02	04/11/2016	5,80	36	1,76	6,01	0,42
17	E-021-01	17/11/2016	5,56	14	0,75	0,21	0,29
	E-021-02	17/11/2016	5,31	17	0,99	0,07	0,17
	E-021-05	17/11/2016	5,68	27	1,39	0,02	0,22
	E-021-07	17/11/2016	5,48	12	0,64	0,01	0,25
	E-021-11	17/11/2016	5,18	75	5,99	0,93	0,49
	E-021-14	17/11/2016	5,71	12	0,61	0,03	0,24
	E-023-03	17/11/2016	5,65	19	0,83	5,47	0,88
	E-024-01	18/11/2016	6,12	33	1,07	5,93	1,30
	E-024-03	18/11/2016	6,38	31	2,64	2,83	1,05
	E-026-02	17/11/2016	6,37	89	2,62	3,68	1,87



Figura 3.XXIII
pH Throughfall - 2016

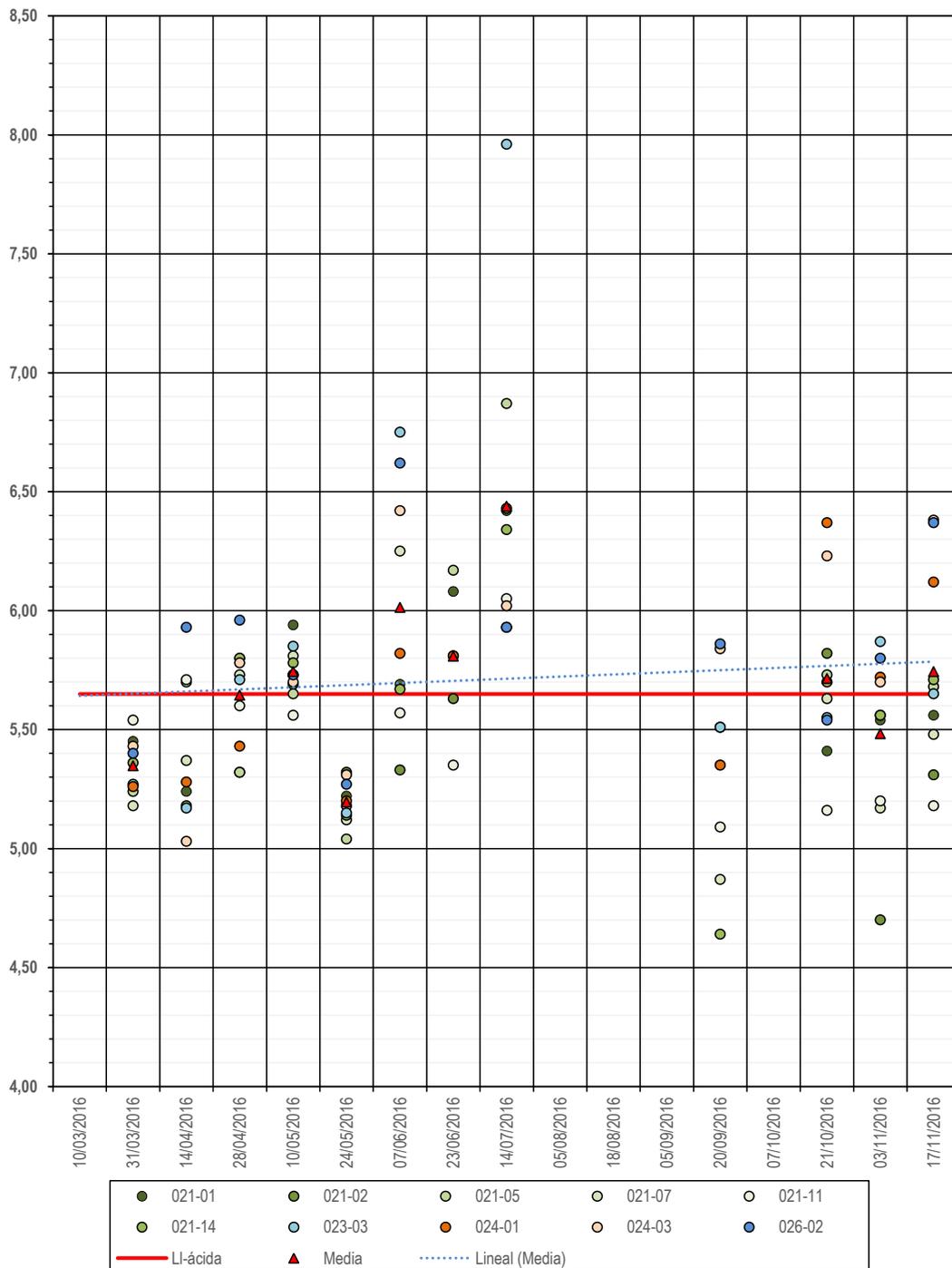




Figura 3.XXIV
Conductividad (uS/cm) Throughfall - 2016

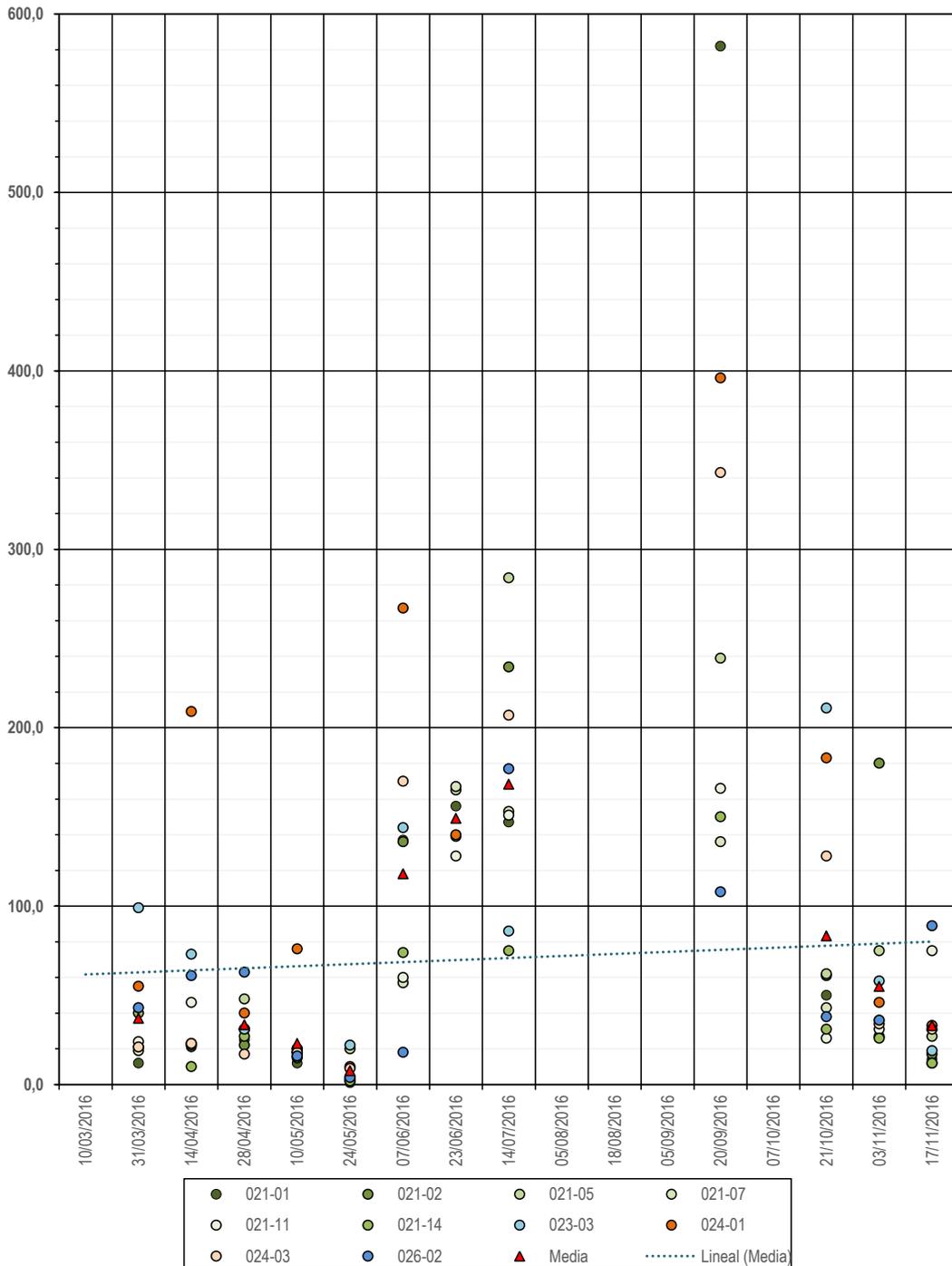




Figura 3.XXV
Cloruros (mg/l) Throughfall - 2016

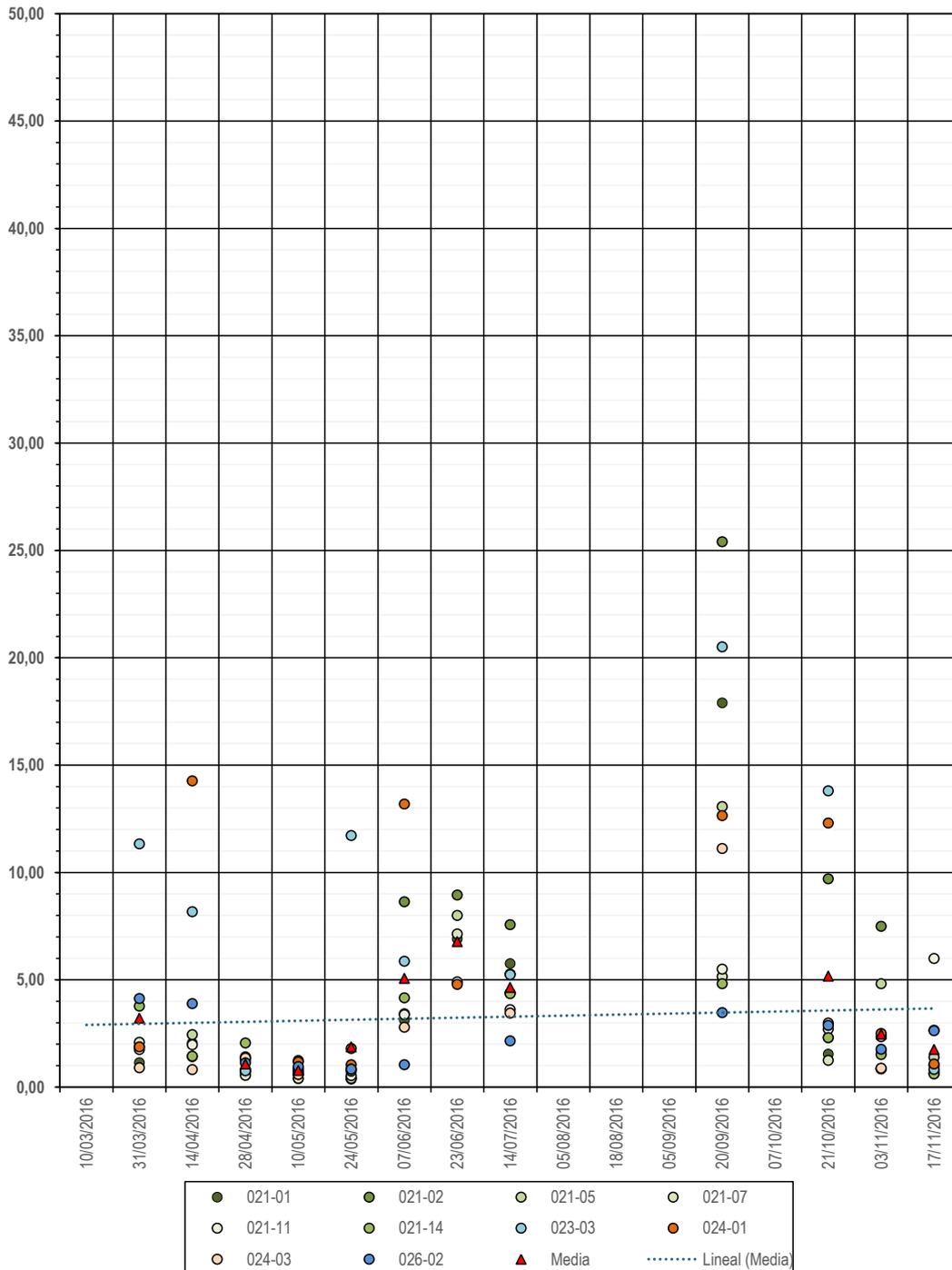




Figura 3.XXVI
Nitratos (mg/l) Throughfall - 2016

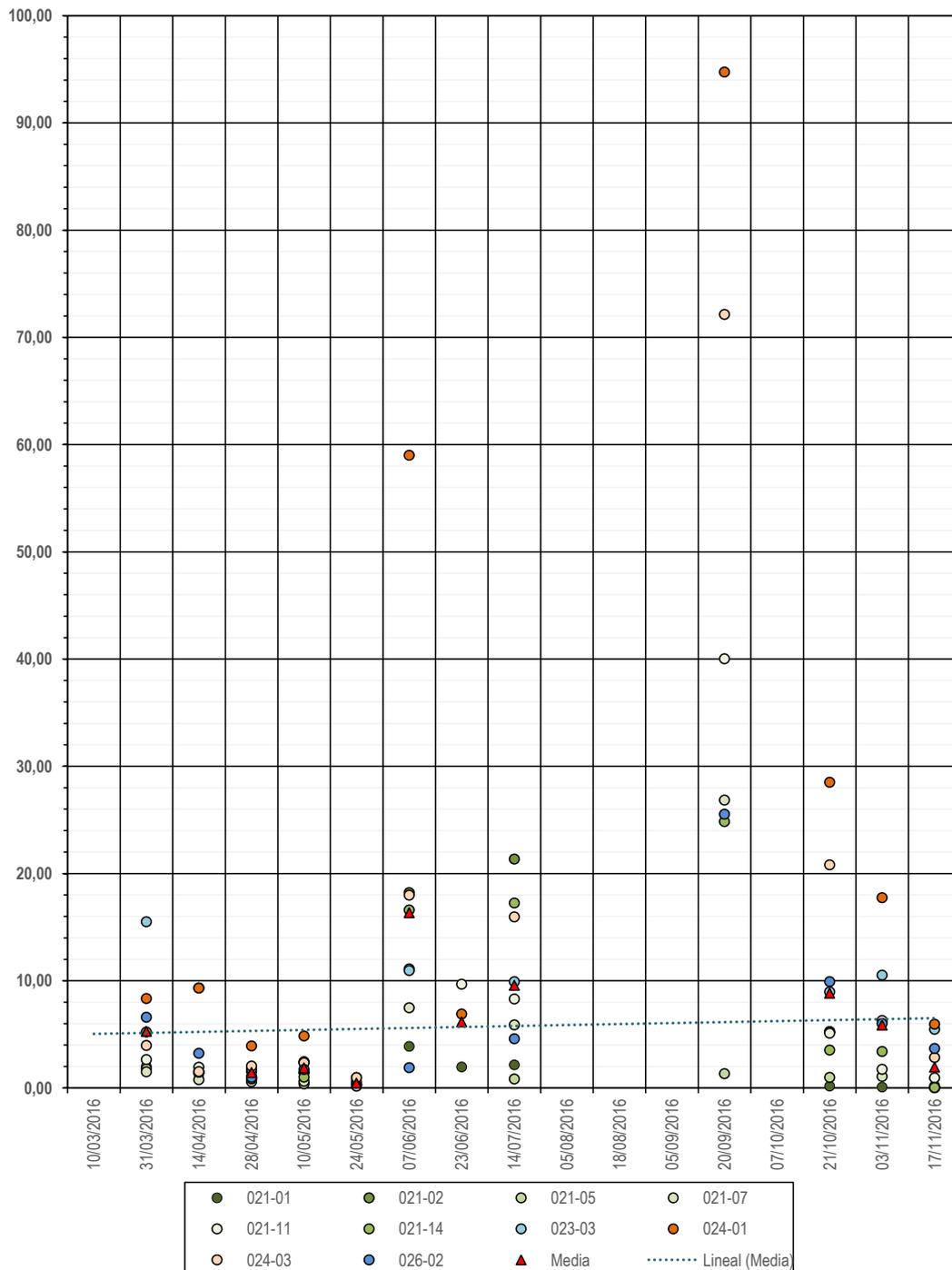
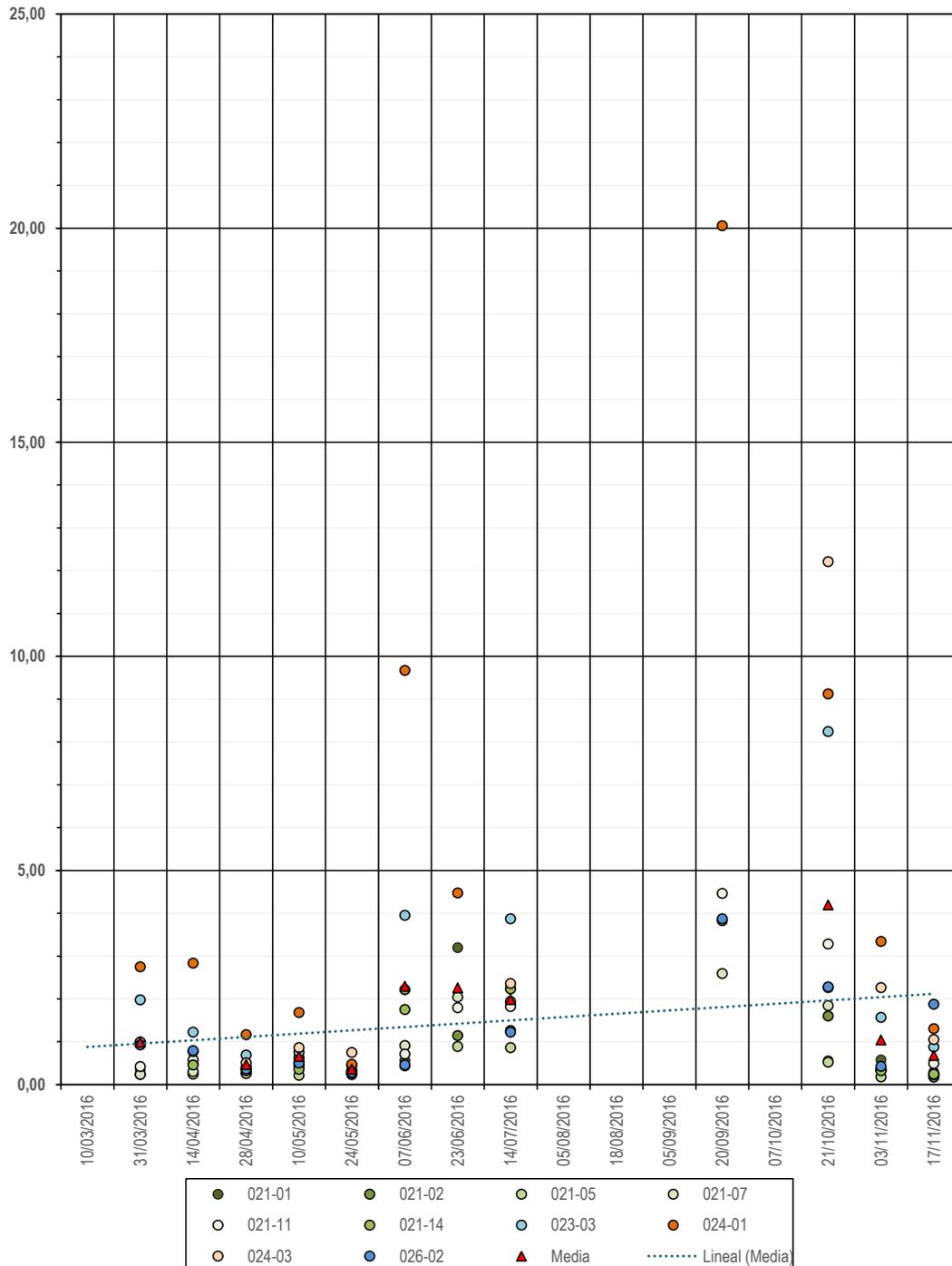




Figura 3.XXVII
Sulfatos (mg/l) Throughfall - 2016





4. DAÑOS POR OZONO.

4.1. INTRODUCCIÓN

Los efectos de la contaminación atmosférica sobre la vegetación se conocen ya desde el siglo pasado, sin embargo, ha sido en las últimas décadas cuando se han intensificado las investigaciones para evaluar la extensión, las causas y las posibles consecuencias ecológicas y económicas que puede provocar este fenómeno. Los primeros estudios se realizaron alrededor de fuentes puntuales de contaminantes como el dióxido de azufre, fluoruro de hidrógeno, metales pesados, etc, observando los cambios que se producían en la vitalidad de las plantas y en la composición de los bosques según aumentaba la distancia desde el foco emisor. Pero en los últimos años se ha visto que el problema es más complejo, adquiriendo gran importancia los contaminantes secundarios, tales como el ozono, que se forman a partir de los contaminantes primarios cuando se dan unas condiciones atmosféricas adecuadas. Estos compuestos gaseosos pueden desplazarse a grandes distancias afectando a zonas rurales alejadas de las áreas urbanas e industriales. De esta manera, los bosques se encuentran expuestos a múltiples contaminantes procedentes de diversas fuentes durante largos períodos de tiempo, por lo que la calidad de aire debe afrontarse ahora desde una perspectiva a nivel regional.

Las primeras evidencias del efecto fitotóxico del ozono fueron documentadas en California (EE.UU.) en los años 50 (Middleton, 1956). En la actualidad el ozono troposférico está considerado como el principal contaminante gaseoso en EE.UU. (US EPA, 1993; Chappelka y Samuelson, 1998) y recientemente se le ha asociado a los graves problemas de deterioro observados en los bosques europeos (Ashmore *et al.*, 1985; McLaughlin, 1985; Skärby *et al.*, 1998). No ha sido posible hasta el momento establecer una relación directa entre los daños observados en los árboles en Europa y las concentraciones de ozono, admitiéndose que no existe una causa única sino que se trata de un conjunto de factores que interaccionan entre sí

dependiendo de las distintas especies y de las características de la zona (Taylor *et al.*, 1994; Kandler e Innes, 1995; Skärby *et al.*, 1998). La relación entre la contaminación atmosférica y el estado de salud de los bosques se complica por el hecho de que el ozono, al igual que otros contaminantes atmosféricos, no sólo produce efectos directos sobre el metabolismo de las plantas, sino que también puede alterar su capacidad de respuesta frente a otros tipos de estrés tanto bióticos como abióticos.

4.2. EL OZONO TROPOSFÉRICO

El ozono (O_3) es una forma alotrópica del oxígeno localizada principalmente en la estratosfera y en menor proporción en la troposfera. El ozono troposférico representa aproximadamente un 5-10% del total de la capa de ozono y procede tanto del transporte desde la estratosfera, como de la propia formación fotoquímica que ocurre en la troposfera (Lefthom *et al.*, 1990; Chameides y Lodge, 1992). La producción de este contaminante implica la oxidación de hidrocarburos y monóxido de carbono en presencia de óxidos de nitrógeno y radiación solar, a través de una serie de reacciones complejas (Wayne, 1987; Finlayson-Pitts, 1993). En una atmósfera que no está alterada, estos procesos forman parte del ciclo del carbono, al transformar los compuestos orgánicos en dióxido de carbono y vapor de agua. Pero en las regiones influenciadas directamente por las emisiones antropogénicas, los altos niveles de óxidos de nitrógeno actúan como catalizadores para la formación de ozono a partir de hidrocarburos. De esta manera, las concentraciones de O_3 pueden alcanzar valores elevados que pueden resultar peligrosos tanto para la salud humana como para la vegetación, especialmente en los meses de verano en los que se dan las mayores irradiaciones solares que favorecen estas reacciones.

Los niveles de O_3 registrados en una localidad son el resultado de un equilibrio entre los procesos de formación, transporte y destrucción, que vienen determinados por una combinación de factores meteorológicos y fotoquímicos. No existe, por tanto, una relación lineal entre las concentraciones de hidrocarburos y óxidos de nitrógeno (NO_x) y la formación de ozono (Chameides y Lodge, 1992). Así, en zonas con niveles bajos de NO_x , son estos compuestos los que controlan la fotoquímica del ozono, mientras que en las regiones con altas concentraciones de NO_x , son los niveles de hidrocarburos los que aumentan significativamente la formación de NO_x , son estos compuestos los que controlan la fotoquímica del ozono, mientras que en las regiones con altas concentraciones de NO_x , son los niveles de hidrocarburos los que aumentan significativamente la formación de O_3 (Chameides y Lodge, 1992; Simpson, 1995). Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles en las atmósferas



contaminadas cada uno de los cuales presenta distintas tasas de reactividad, por lo que resulta extremadamente complejo caracterizar estos procesos y desarrollar una estrategia de control de los niveles de ozono. Además, otro factor importante a tener en cuenta es la emisión natural de hidrocarburos por parte de la vegetación, que en ocasiones puede resultar comparable o incluso superior a las emisiones provocadas por las actividades humanas (Kotzias *et al.*, 1989; Finlayson-Pitts y Pitts, 1993). Algunos de estos compuestos son altamente reactivos por lo que pueden actuar eficazmente como precursores de formación de ozono.

Analizando los registros de ozono más antiguos, se ha encontrado que las concentraciones de O₃ en las zonas rurales han aumentado a más del doble en el último siglo y que estos incrementos están relacionados con la producción fotoquímica debida a los niveles crecientes de óxidos de nitrógeno (Volz y Kley, 1988; Cartalis y Varotsos, 1994). Los modelos elaborados para simular la química atmosférica se han ajustado bien a esta evolución y predicen unos aumentos en las concentraciones de O₃ en los próximos años aún más rápidos que los registrados hasta ahora (Hough y Derwent, 1990; Chameides *et al.*, 1994), lo que podría tener graves consecuencias ecológicas y económicas.

Debido a que el ozono es un contaminante secundario y sus niveles dependen de las condiciones climáticas, existe una gran variación espacial y temporal en sus concentraciones, detectándose cambios en función de la latitud, la altitud, la época del año y el momento del día (Manning y Krupa, 1992). Por esta razón, los estudios de las relaciones causa-efecto en la vegetación precisan de un análisis de los niveles de ozono durante largos períodos de tiempo, con el fin de poder detectar si existen patrones de oscilación diaria y estacional en una localidad determinada que nos permitan sintetizar las variaciones en el tiempo de las concentraciones de ozono.

4.3. EFECTOS DEL OZONO SOBRE LA VEGETACIÓN

Los efectos del ozono en las plantas pueden observarse en los distintos niveles de organización biológica: citología y bioquímica, fisiología, crecimiento y a nivel de población y ecosistemas. De forma general el ozono provoca dos tipos de alteraciones en función de las características de la exposición:

- **Efectos agudos**, producidos por altas concentraciones de O₃ durante cortos períodos de tiempo, que generalmente se observan como síntomas visibles. En las especies de hoja ancha, estos síntomas se caracterizan por una

pigmentación en forma de punteaduras de color marrón, rojizo o púrpura. Se trata de una respuesta fotosensible que afecta a las células más superficiales del parénquima en empalizada mientras que las nervaduras permanecen intactas. Cuando los daños se extienden se puede detectar una necrosis bifacial. En las coníferas, estos efectos se observan como un bandeo clorótico difuso y la aparición de puntas quemadas, observándose una defoliación que evoluciona desde la base de la copa hacia la parte superior (Guderian *et al.*, 1985; Manning y Krupa, 1992). La aparición de estos síntomas visibles se debe a cambios a nivel bioquímico y no siempre está relacionada con reducciones en el crecimiento o en la producción de biomasa (Schraudner *et al.*, 1997; Chappelka y Samuelson, 1998; Davison y Barnes, 1998), por lo que sería necesario desarrollar modelos más detallados para poder evaluar cuál es la relación entre los efectos a nivel celular y las respuestas a nivel de organismo.

- **Efectos crónicos**, provocados por concentraciones de O₃ pequeñas durante largos períodos de tiempo que ocasionalmente pueden presentar incrementos puntuales de ozono. En estos casos se registran alteraciones a nivel metabólico, a menudo sin que se observen síntomas visibles, que conducen a una senescencia prematura de las hojas y a cambios en el crecimiento y la productividad de las plantas. Este tipo de exposiciones pueden inducir otro tipo de respuestas más difíciles de apreciar como son una mayor sensibilidad frente a otros factores de estrés tanto bióticos como abióticos (Sandermann, 1996; Schraudner *et al.*, 1997; Pell *et al.*, 1997). Además, en las plantas perennes pueden aparecer efectos memoria que integran las exposiciones acumuladas durante varios períodos de crecimiento (Manning y Krupa, 1992).

La fitotoxicidad de un contaminante está determinada principalmente por tres procesos: su absorción, las reacciones químicas que induce en los lugares concretos donde actúa y la capacidad de la planta para activar los mecanismos de defensa (Mehlhorn, 1992). Estos mecanismos de defensa pueden actuar limitando la absorción del contaminante, evitando la formación de productos tóxicos o destruyendo los ya generados. La resistencia de las plantas a su vez depende de la especie considerada, de su estado de desarrollo y de la estrategia que desarrolle frente a situaciones de estrés (Guderian *et al.*, 1985; Sellén y Pleijel, 1995; Davison y Barnes, 1998; Skårby *et al.*, 1998). Pero además existen múltiples



factores externos que influyen en la respuesta de las plantas como son las condiciones climáticas y nutricionales o los posibles cambios en las relaciones intra e interespecificas dentro del ecosistema.

4.4. RESULTADOS

El moteado clorótico difuso en hojas de pino es un daño que ha sido reproducido mediante fumigaciones con Ozono por numerosos autores (Marien, Velissarion, Sánchez Gimeno, etc.), confirmando que este síntoma es característico de ese contaminante. Estudios más detallados han demostrado que existe una buena correlación entre la aparición de este síntoma y la dinámica del ozono en la atmósfera.

Aprovechando esta sintomatología se ha estimado el valor máximo de daños por Ozono en cada estación, empleando para ello la plantilla que se adjunta, desarrollada por el programa ICP-Forests de las Naciones Unidas para la Protección de los Bosques.

Las observaciones se han hecho mediante técnicas ópticas, basadas en el porcentaje de punteaduras sobre las acículas afectadas.

Estas observaciones se deben realizar siempre, por expertos, con experiencia en este tipo de investigaciones, ya que, se puede producir un moteado clorótico parecido al que ocasiona el Ozono por otras causas, por ejemplo determinados ácaros y hongos. En este caso las manchas amarillentas suelen presentar un borde más delimitado, mientras que en las producidas por Ozono las bandas son más difusas. Las punteaduras o necrosis provocadas por este contaminante no afectan además a los tejidos conductores de la planta.

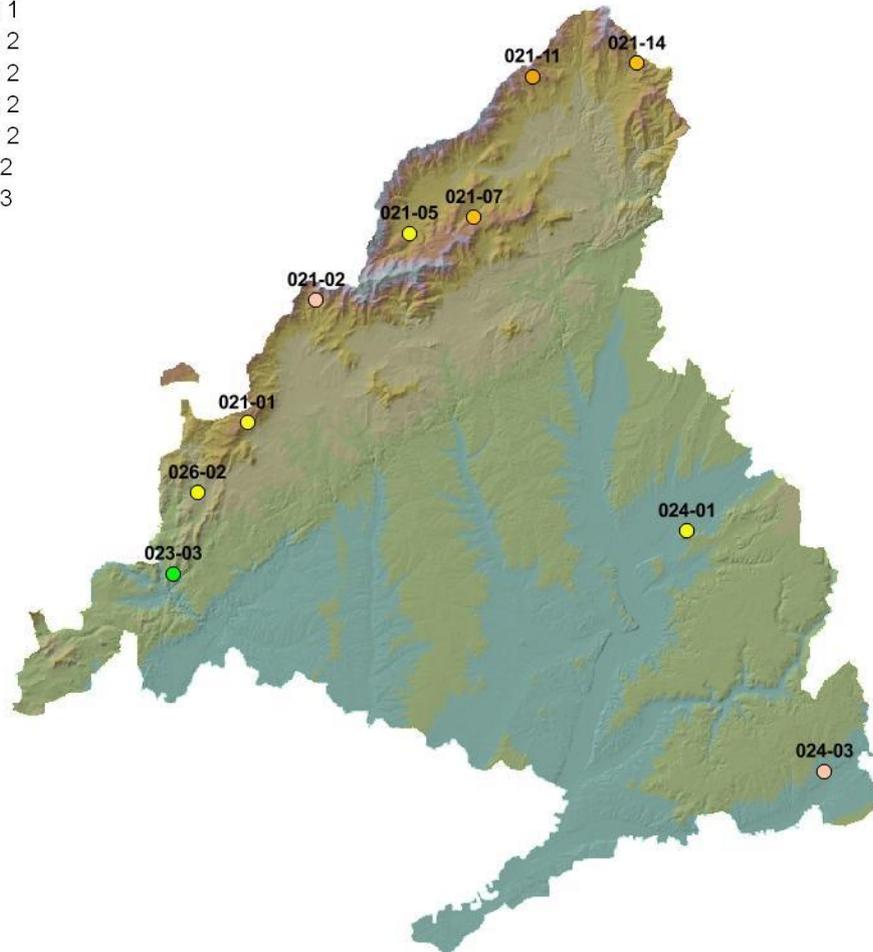
Como resumen de los resultados obtenidos en cada estación, reflejados en las fichas correspondientes, se adjunta un gráfico donde se puede observar el porcentaje de moteado clorótico en el conjunto de las 10 estaciones consideradas. También se adjunta un mapa con la distribución de las estaciones según sus daños.



Figura 5.1
Punteaduras necróticas atribuidas a la acción del ozono
(2016)

Punteaduras Ozono

- 10 Clase 1
- 20 Clase 1
- 30 Clase 2
- 40 Clase 2
- 50 Clase 2
- 60 Clase 2
- 70 Clase 2
- 80 Clase 3



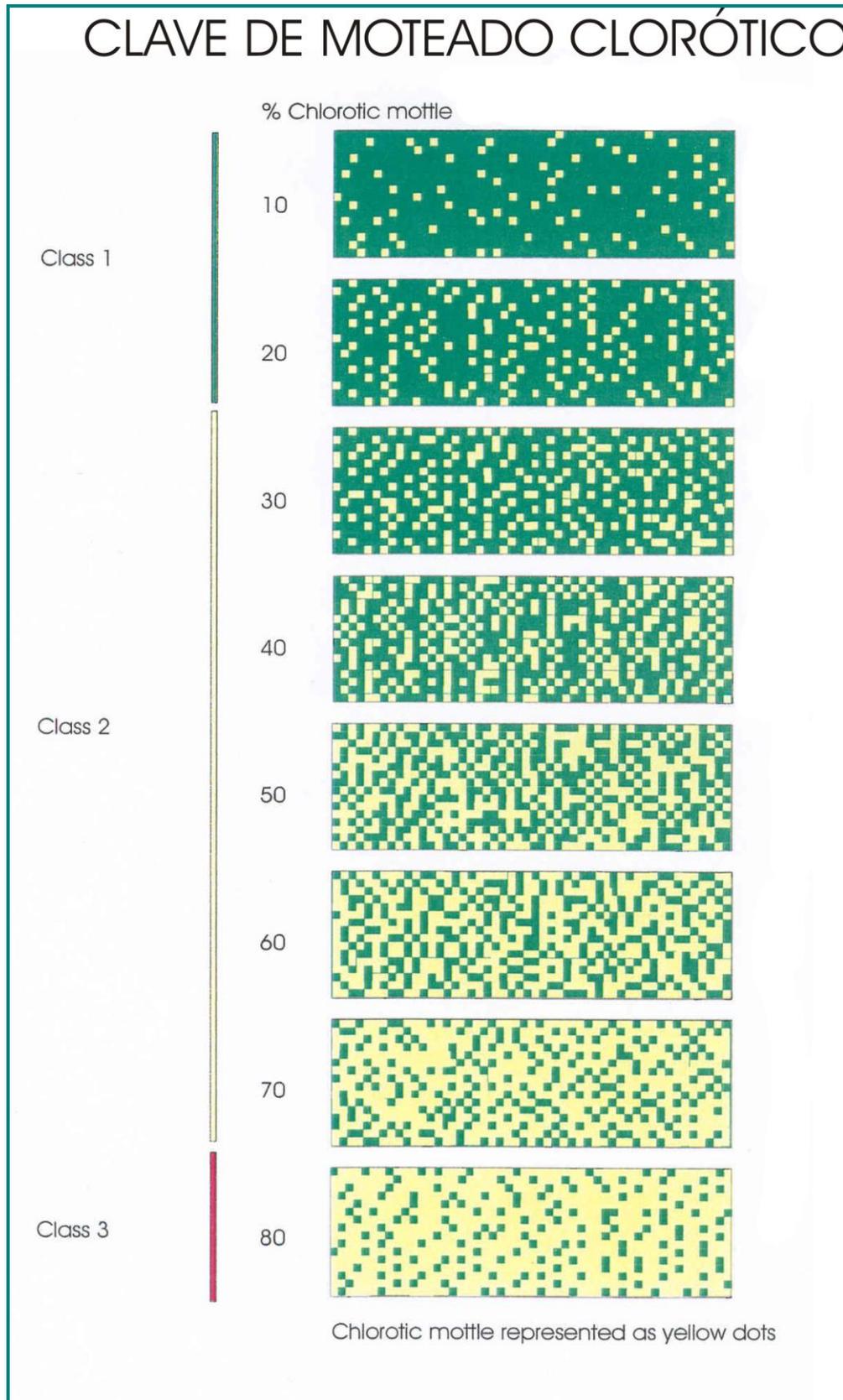


Figura 5.II. Clave de moteado clorótico.

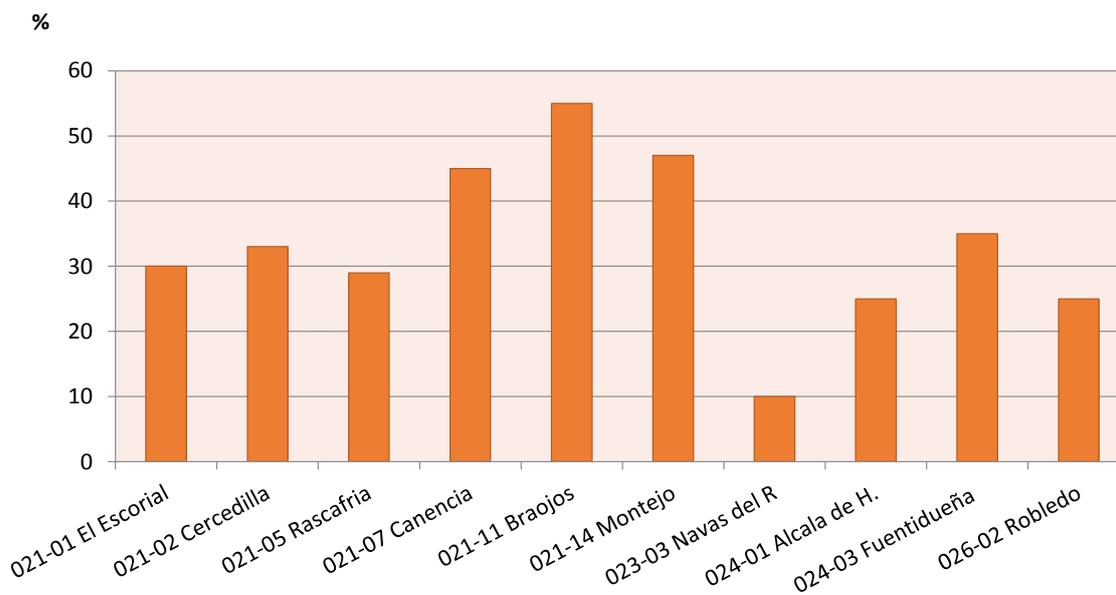


Tabla 5.I Punteaduras necróticas asociadas al ozono en cada estación (2016)

EST	TERMINO MUNICIPAL	ESPECIE	% de superficie
021-01	San Lorenzo de El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	30
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	33
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	29
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	45
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	55
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	47
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	10
024-01	Alcala de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	25
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	35
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	25

Figura 5.III

Porcentaje de punteaduras necróticas en acículas (2016)



Como puede verse en la gráfica anterior, y en lo que se refiere a las punteaduras necróticas atribuidas a la acción del ozono, destacan en primer lugar las estaciones de Canencia, Braojos y Montejo de la Sierra, todas ellas con porcentajes de afección entre el 40-60% de la

superficie foliar, y situadas en el arco norte de la Sierra. Por el contrario, la zona sur de la Comunidad presenta afecciones notablemente inferiores, destacando la parcela de Navas del Rey con el porcentaje foliar menos afectado.

5. MEDICIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE DOSÍMETROS PASIVOS

5.1. NIVELES DE O₃ EN LA COMUNIDAD DE MADRID

Las concentraciones medias quincenales de ozono troposférico registrados en la Comunidad de Madrid durante el periodo comprendido entre mediados de marzo y mediados de noviembre de 2016 oscilaron entre los 0,05 µg/m³ registrados en Montejo de la Sierra en la segunda quincena de marzo (viaje nº2) y 81,36 µg/m³ de El Escorial en la primera quincena de agosto (viaje nº11), tal y como recoge la Tabla 5.I. En la Figura 5.I se recogen los valores medios, máximos y mínimos obtenidos en cada estación.

La Figura 5.II ilustra la evolución de la concentración media del contaminante durante la presente campaña. Las variaciones estacionales de los niveles de ozono concuerdan nuevamente con las observadas en años anteriores en la zona. En líneas generales su evolución anual viene definida por un amplio máximo primaveral y eminentemente estival en la presente campaña, seguido de una reducción progresiva de sus niveles durante los meses de otoño para ser mínimos en invierno. Como es bien sabido, en zonas remotas del hemisferio norte es frecuente observar un máximo anual muy definido en las concentraciones de ozono durante primavera que se ha relacionado con la acumulación de los óxidos de nitrógeno precursores durante el invierno y principio de la primavera facilitada por la menor intensidad de la radiación solar. En ausencia de fuentes emisoras de precursores de importancia, como pueden ser áreas

rurales no contaminadas, los niveles del contaminante deberían reducirse paulatinamente hasta alcanzar un mínimo invernal. En caso contrario, es decir, en presencia de fuentes emisoras de precursores de importancia, es habitual la documentación de un segundo máximo anual durante el verano, periodo de máxima intensidad de la radiación solar y por ende de mayor producción del contaminante, e incluso una prolongación del máximo primaveral a los meses de verano, fenómeno que parece concordar con lo registrado en el área de estudio sobre todo en 2017. Una vez más, al igual de lo registrado previamente, los datos parecen revelar la presencia de masas de aire contaminadas en la zona, que bien podrían tratarse de precursores o de masas de aire envejecidas y transportadas desde áreas netamente emisoras, aspectos que requerirían estudios de mayor envergadura. En todo caso, y por las características de la cuenca aérea de Madrid, se apunta a las emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes de la circulación rodada como la principal fuente de emisión de este contaminante.

Los valores medios registrados durante el periodo de junio a septiembre (muestreros del nº7 al nº14), momento considerado más sensible para las cosechas por coincidir con el periodo de crecimiento, han oscilado entre los 40,76 µg/m³ registrados en Fuentidueña en la primera quincena de septiembre, 81,36 µg/m³ de El Escorial en la primera quincena de agosto.

El periodo con mayores niveles de ozono se registró en pleno mes de agosto, al igual que ocurriera el año pasado. De igual modo se advierte también unos mayores niveles de concentración a lo largo del arco norte de la Sierra de Madrid, en la alineación Montejo-El Escorial, en un patrón ya advertido en revisiones anteriores, donde se advierten mayores tasas a mayores altitudes, lo que indicaría un patrón de acción muy condicionado por el viento.

Tabla 5.I Concentraciones medias quincenales de O₃ (µg/m³) obtenidas mediante dosímetros pasivos

Localización	Muestreo																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Med
El Escorial	48,51	60,74	61,70	70,30	67,04	67,54	65,67	69,87	75,82	81,36	67,17	64,96	70,90	46,24	48,05	45,33	63,20
Cercedilla			51,94	72,79	61,14	69,08	62,78	70,86	69,77	80,39	70,07	65,83	64,61	47,11	49,01	44,26	62,83
Rascafría	0,19		56,52	71,95	59,70	60,27	57,45	62,03	62,21	68,78	60,98	58,12	62,55	35,57	38,67	43,20	53,21
Canencia	0,14		50,66	66,95	55,82	59,55	57,39	51,74	58,89	66,97	60,15	56,02	58,64	36,15	34,98	39,01	50,20
Braojos	53,61	58,74	52,16	71,62	63,36	60,06	57,95	66,42	68,46	75,24	65,69	59,64	65,75	49,14	47,72	36,45	59,50
Montejo	0,05		53,09	80,39	60,92	67,73	70,19	65,56	69,77	71,07	66,76	64,96	60,29	42,87	44,38	40,26	57,22
Navas del R	61,15	62,37	70,90	74,29	74,48	69,39	64,54	66,04	71,25	77,36	70,53	68,27	71,46	46,99	44,48	57,23	65,67
Alcalá de H	23,15	35,00	50,16	65,61	49,76	51,43	58,84	58,76	64,56	56,75	52,15	53,83	50,12	36,87	34,89	35,61	48,59
Fuentidueña	26,27	42,88	65,25	66,71	49,96	50,23	62,35	65,99	65,42	71,35	57,63	40,76	48,84	35,16	30,33	35,89	50,94
Robledo	47,75	51,55	62,03	68,87	62,78	60,81	63,41	65,31	70,86	78,13	61,96	66,40	62,61	39,17	41,51	50,63	59,61
Media	28,98	51,88	57,44	70,95	60,50	61,61	62,06	64,26	67,70	72,74	63,31	59,88	61,58	41,53	41,40	42,79	48,59

Figura 5.I

Valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de O₃ por estación (2016)

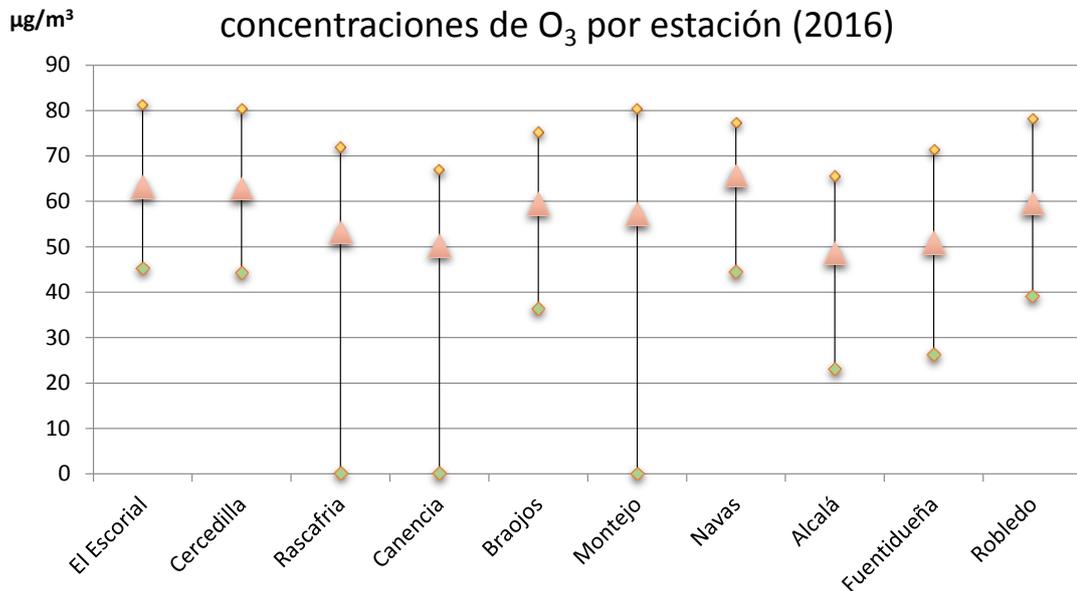
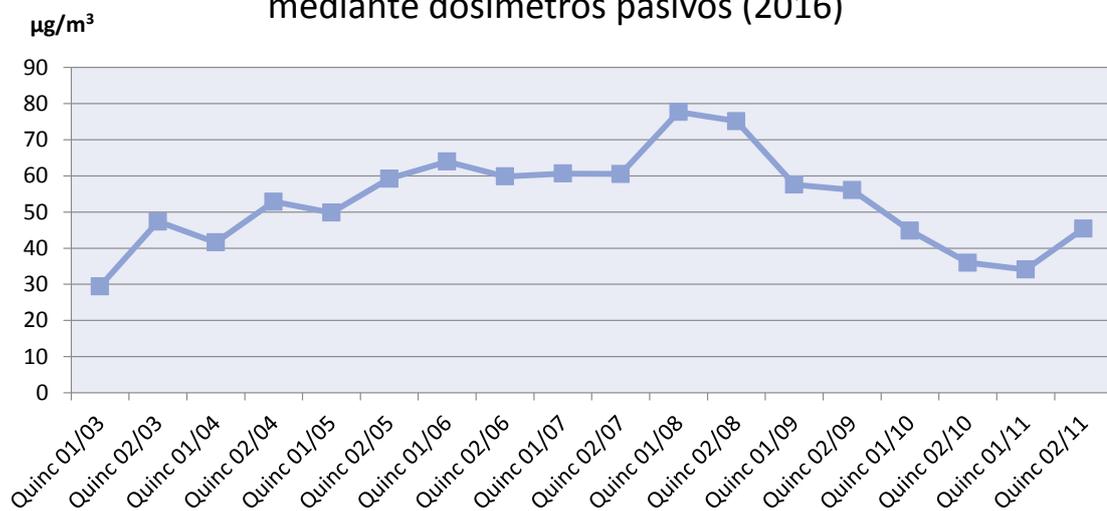


Figura 5.II

Promedio de las concentraciones de O₃ obtenidas mediante dosímetros pasivos (2016)





5.2. NIVELES DE NO₂ EN LA COMUNIDAD DE MADRID

La concentración media obtenida para el NO₂ durante la campaña de 2016 fue de 2,04 µg/m³. Los registros oscilaron entre los 0,22 µg/m³ registrados en Braojos la segunda quincena de marzo (muestreo nº2); y los 11,02 µg/m³ obtenidos en Alcalá de Henares en la segunda quincena de septiembre. En este último emplazamiento, al igual que ocurriera en años anteriores, se registró en todos los muestreos del año los registros más elevados de cada serie tal y como puede apreciarse en la Tabla 5.II. Esta estación se localiza en una zona de habitual concentración industrial en la que incluso la UE permitió un área con mayor tolerancia a los máximos permitidos. En términos globales y siguiendo la pauta del año anterior, las estaciones de Alcalá de Henares, Fuentidueña y Robledo fueron las que obtuvieron mayores registros (véase Figura 5.III). En el resto de estaciones los registros fueron bastante reducidos, si bien podrían destacarse con mínimos más frecuentes las de Cercedilla, Montejo de la Sierra y quizás Braojos, donde los valores se situaron preferentemente entre los 1-2 µg/m³. Los

valores obtenidos en 2016 quedaron en todo caso muy por debajo de los umbrales de protección de la vegetación y de la salud humana.

Al contrario que en el caso del ozono, se observa una mayor acumulación de estos contaminantes a lo largo de sus fuentes de emisión, no tan influenciados por el movimiento de vientos, y presentando una mayor concentración en el entorno de los núcleos urbanos y a menores cotas. La principal fuente de estos contaminantes son las emisiones provenientes del tráfico rodado, con lo que reducciones en la IMD del tráfico se traducirían en reducciones de su tasa de inmisión.

En la evolución de las concentraciones era de destacar el leve repunte registrado a partir de la segunda quincena de agosto con registros superiores a los 3 µg/m³ y que se mantuvieron en el entorno hasta prácticamente el final de año, tal y como puede apreciarse en la Figura 5.IV. Este repunte coincidiría en el tiempo con el apreciado en el ozono, pues las concentraciones de este último tienden a ser más elevadas en zonas con presencia significativa de precursores, como es el caso del NO₂.

Tabla 5.II Concentraciones medias quincenales de NO₃ (µg/m³) obtenidas mediante dosímetros pasivos

Localización	Muestreo																
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Med
El Escorial	0,37	0,30	0,80	1,38	0,79	0,87	0,98	1,28	1,04	1,34	2,15	2,35	1,89	2,25	2,41	1,41	1,35
Cercedilla			0,56	1,22	0,72	0,72	0,65	1,24	1,00	1,57	1,98	1,71	1,66	0,98	0,57	0,42	1,07
Rascafría	0,25	0,53	0,60	1,27	0,74	0,77	0,98	1,14	0,81	1,11	2,15	1,74	1,56	1,25	0,94	0,57	1,03
Canencia	0,45		0,94	1,22	0,84	0,91	0,95	1,77	1,37	1,80	3,33	2,62	2,34	1,92	1,59	0,80	1,52
Braojos	0,22		0,45	0,96	0,70	0,70	0,80	0,89	0,81	1,17	1,98	1,52	1,69	1,89	2,28	1,82	1,19
Montejo	1,74	1,79	0,53	0,83	0,84	0,84	0,74	1,03	0,75	1,04	1,71	1,82	1,57	1,36	1,00	0,91	1,16
Navas del R	0,40	0,63	1,60	1,09	1,09	0,95	1,10	1,49	1,23	1,09	2,63	2,47	2,31	2,19	1,71	1,35	1,46
Alcalá de H	5,72	4,07	6,99	3,18	4,30	6,61	6,24	7,04	4,29	4,02	8,50	10,25	11,02	8,34	6,34	10,43	6,71
Fuentidueña	1,79	2,44	2,27	1,88	1,24	2,28	2,31	2,61	1,58	1,63	3,61	5,81	3,33	3,69	3,89	2,92	2,71
Robledo	1,29	1,22	1,94	1,44	1,33	1,24	1,41	2,09	1,84	1,63	3,13	2,96	3,56	3,48	3,11	3,43	2,20
Media	1,36	1,57	1,67	1,45	1,26	1,59	1,62	2,06	1,47	1,64	3,12	3,32	3,09	2,74	2,39	2,41	2,04



Figura 5.III

Valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de NO₂ por estación (2016)

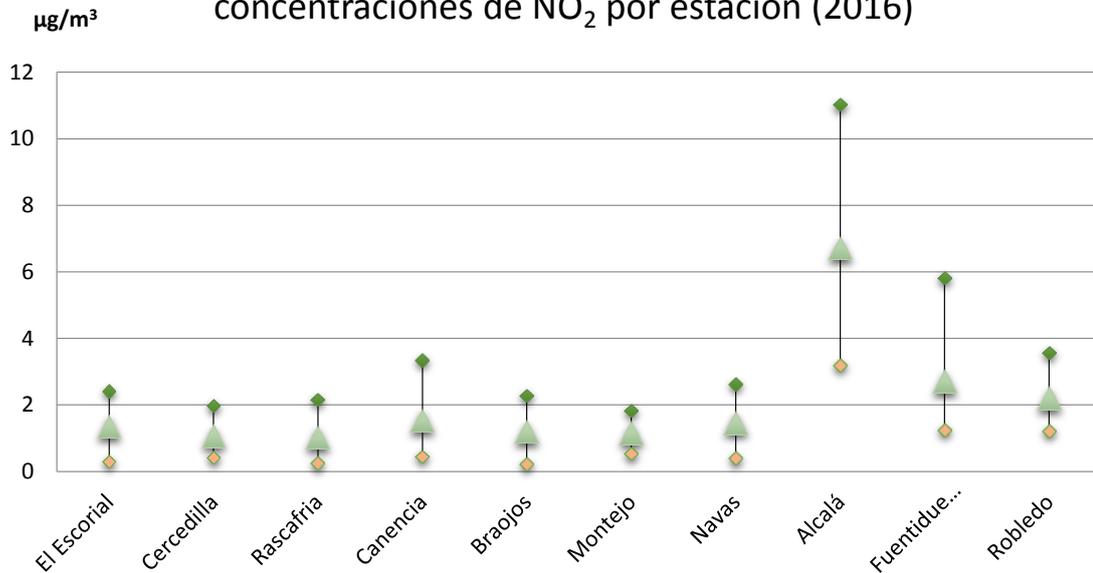
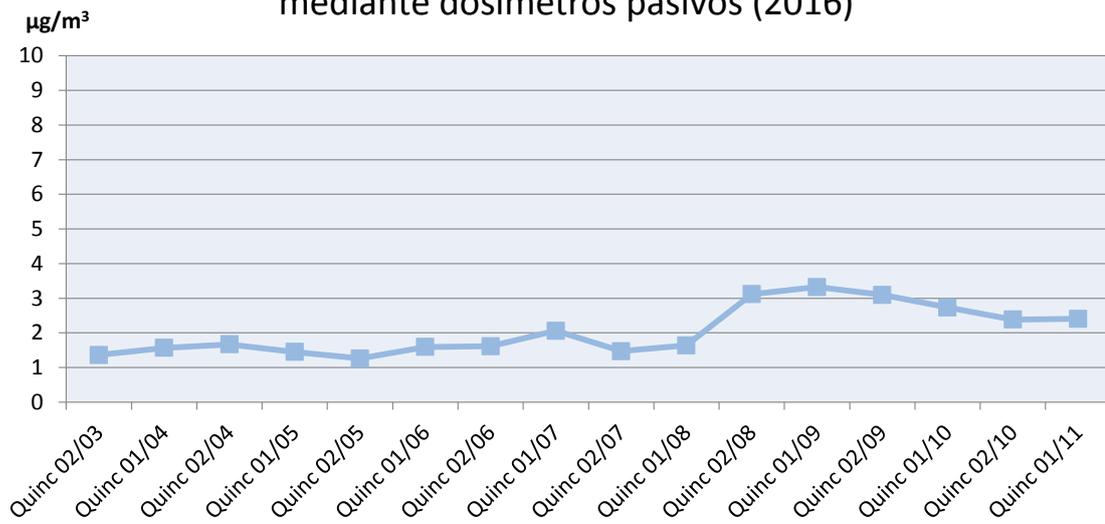


Figura 5.IV

Promedio de las concentraciones de NO₂ obtenidas mediante dosímetros pasivos (2016)





5.3. NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR MUESTREOS

5.3.1. Ozono

Muestreo 2 (30-31/03/2016)

Tabla MO2 Concentración de O₃ en el muestreo n°2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	23,15
E-021-02	Cercedilla	53,61
E-021-05	Rascafría	0,14
E-021-07	Canencia	
E-021-11	Braojos	48,51
E-021-14	Montejo de la Sierra	26,27
E-023-03	Navas del Rey	0,05
E-024-01	Alcalá de Henares	61,15
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	0,19
E-026-02	Robledo de Chavela	47,75
Media		28,98

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

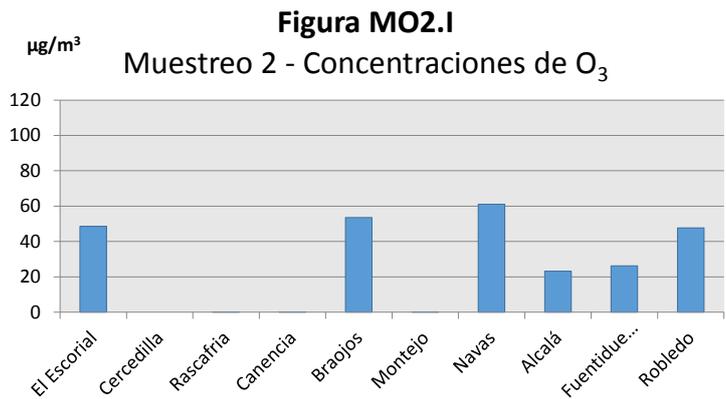
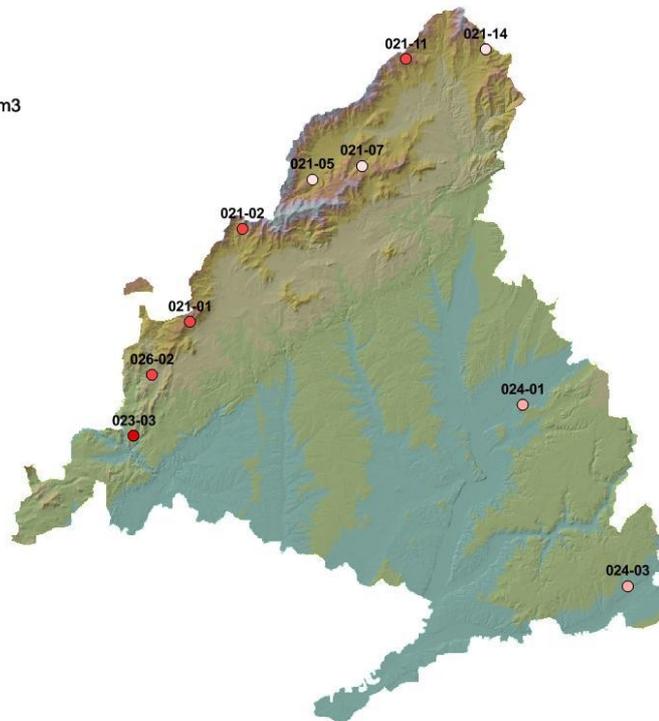


Figura MO2.II

Muestreo 2 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O3

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 3 (14-15/03/2016)

Tabla MO3 Concentración de O₃ en el muestreo nº3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	60,74
E-021-02	Cercedilla	
E-021-05	Rascafría	
E-021-07	Canencia	
E-021-11	Braojos	58,74
E-021-14	Montejo de la Sierra	
E-023-03	Navas del Rey	62,37
E-024-01	Alcalá de Henares	35,00
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	42,88
E-026-02	Robledo de Chavela	51,55
Media		51,88

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

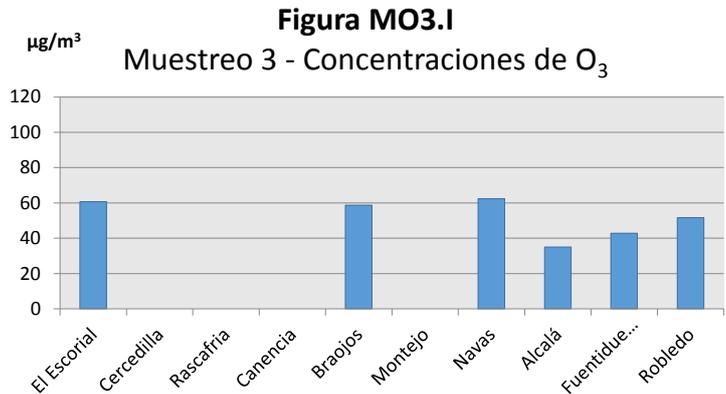
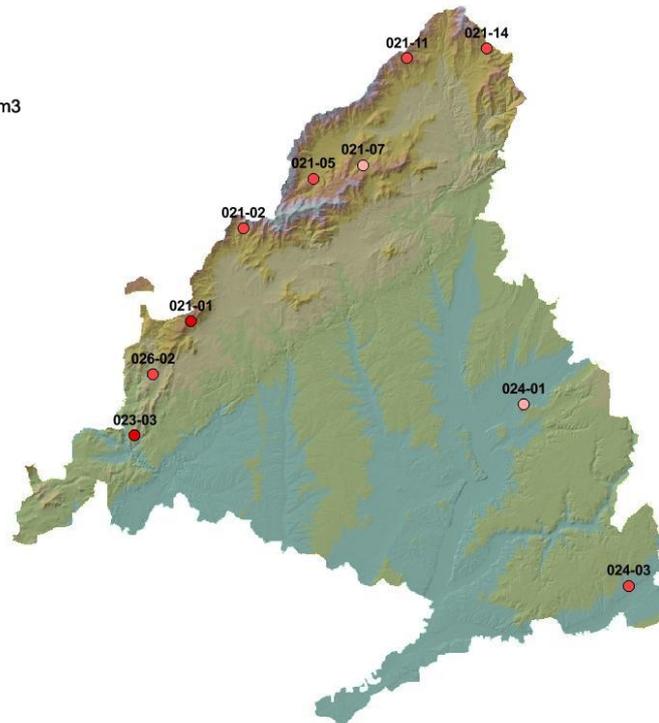


Figura MO3.II

Muestreo 3 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O3

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 4 (28-29/04/2016)

Tabla MO4 Concentración de O₃ en el muestreo nº4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	61,70
E-021-02	Cercedilla	51,94
E-021-05	Rascafría	56,52
E-021-07	Canencia	50,66
E-021-11	Braojos	52,16
E-021-14	Montejo de la Sierra	53,09
E-023-03	Navas del Rey	70,90
E-024-01	Alcalá de Henares	50,16
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	65,25
E-026-02	Robledo de Chavela	62,03
Media		57,44

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

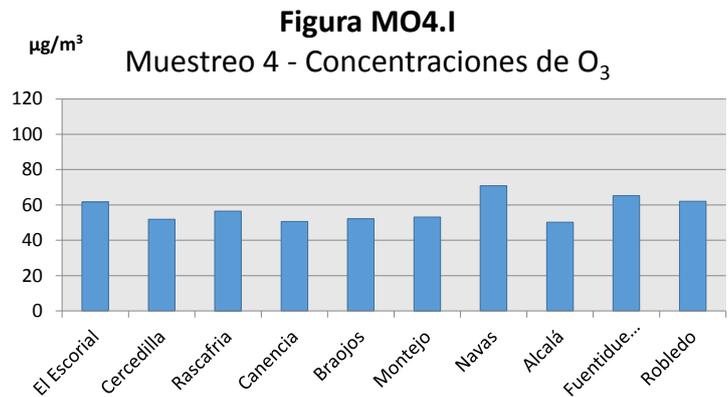
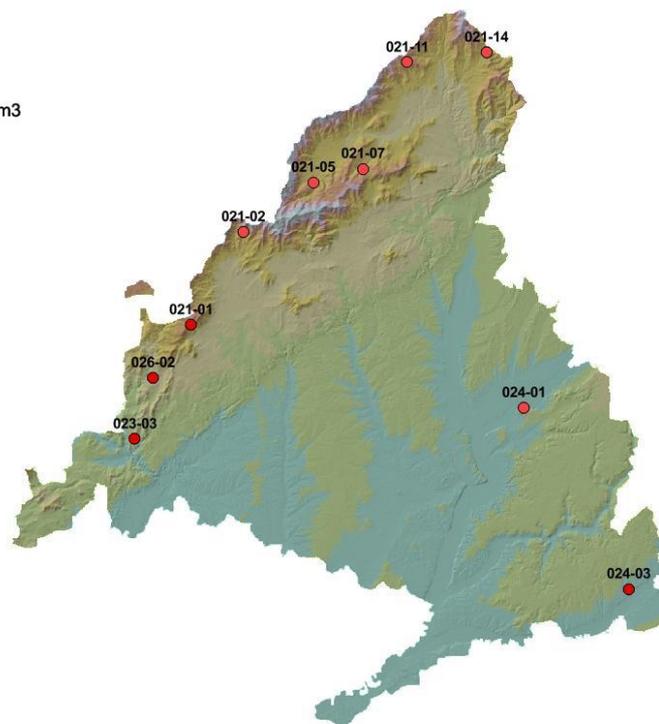


Figura MO4.II

Muestreo 4 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

- Dosim O3
- 0 - 20 ug/m3
 - 20 - 40
 - 40 - 60
 - 60 - 80
 - 80 - 100
 - >100 ug/m3
 - No Data





Muestreo 5 (9-11/05/2016)

Tabla MO5 Concentración de O₃ en el muestreo nº5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	70,30
E-021-02	Cercedilla	72,79
E-021-05	Rascafría	71,95
E-021-07	Canencia	66,95
E-021-11	Braojos	71,62
E-021-14	Montejo de la Sierra	80,39
E-023-03	Navas del Rey	74,29
E-024-01	Alcalá de Henares	65,61
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	66,71
E-026-02	Robledo de Chavela	68,87
Media		70,95

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

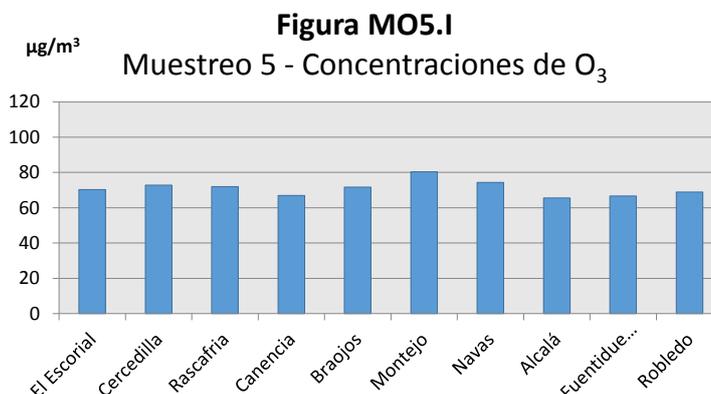
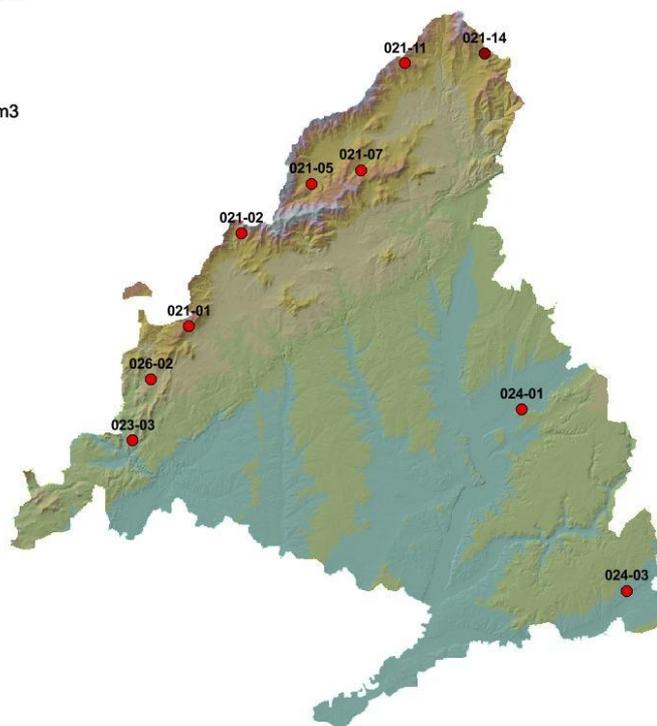


Figura MO5.II

Muestreo 5 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O3

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 6 (24-25/05/2016)

Tabla MO6 Concentración de O₃ en el muestreo nº6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	67,04
E-021-02	Cercedilla	61,14
E-021-05	Rascafría	59,70
E-021-07	Canencia	55,82
E-021-11	Braojos	63,36
E-021-14	Montejo de la Sierra	60,92
E-023-03	Navas del Rey	74,48
E-024-01	Alcalá de Henares	49,76
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	49,96
E-026-02	Robledo de Chavela	62,78
Media		60,50

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

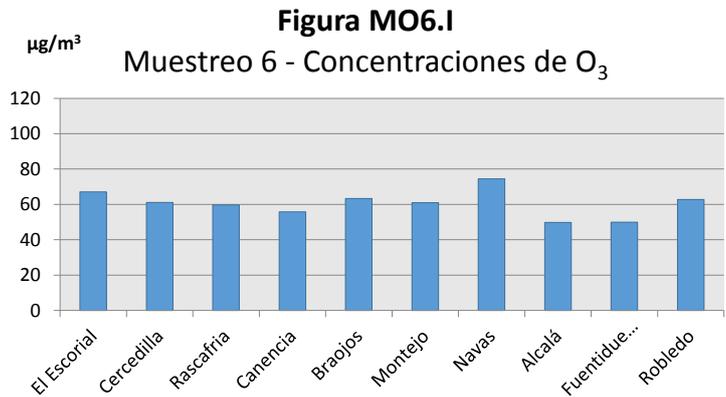
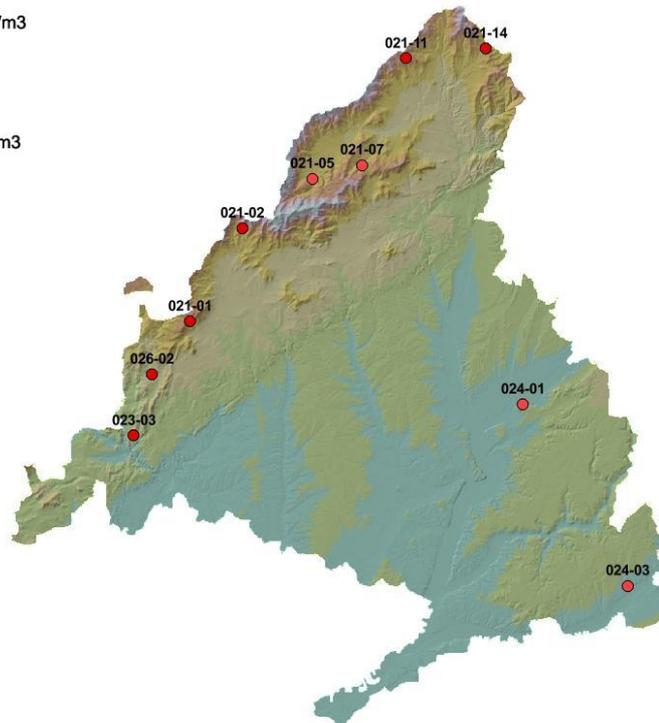


Figura MO6.II

Muestreo 6 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O3

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 7 (7-8/06/2016)

Tabla MO7 Concentración de O₃ en el muestreo nº7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	67,54
E-021-02	Cercedilla	69,08
E-021-05	Rascafría	60,27
E-021-07	Canencia	59,55
E-021-11	Braojos	60,06
E-021-14	Montejo de la Sierra	67,73
E-023-03	Navas del Rey	69,39
E-024-01	Alcalá de Henares	51,43
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	50,23
E-026-02	Robledo de Chavela	60,81
Media		61,61

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

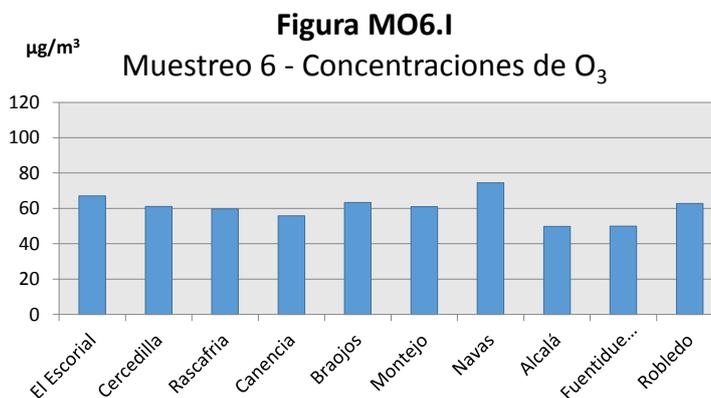
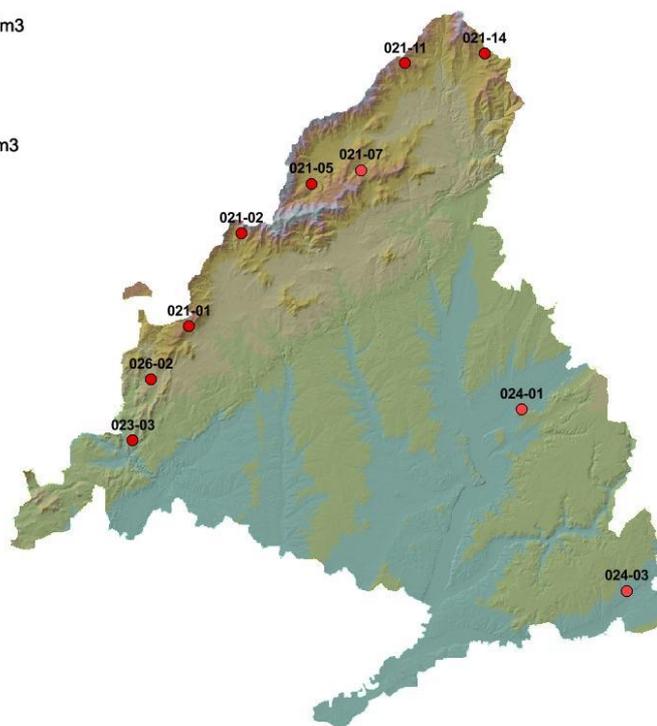


Figura MO7.II

Muestreo 7 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O3

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 8 (22-23/06/2016)

Tabla MO8 Concentración de O₃ en el muestreo n°8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	65,67
E-021-02	Cercedilla	62,78
E-021-05	Rascafría	57,45
E-021-07	Canencia	57,39
E-021-11	Braojos	57,95
E-021-14	Montejo de la Sierra	70,19
E-023-03	Navas del Rey	64,54
E-024-01	Alcalá de Henares	58,84
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	62,35
E-026-02	Robledo de Chavela	63,41
Media		62,06

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

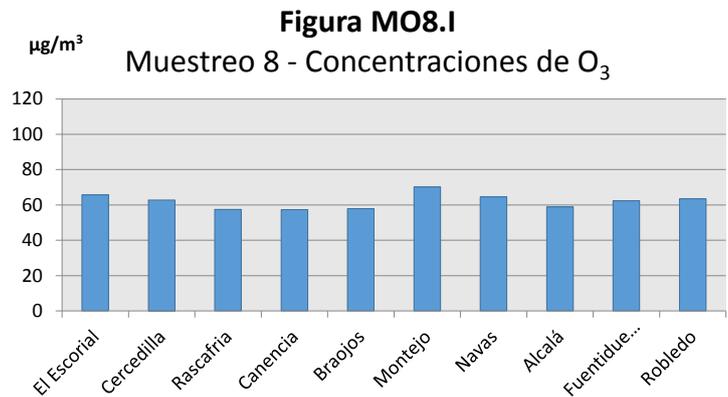
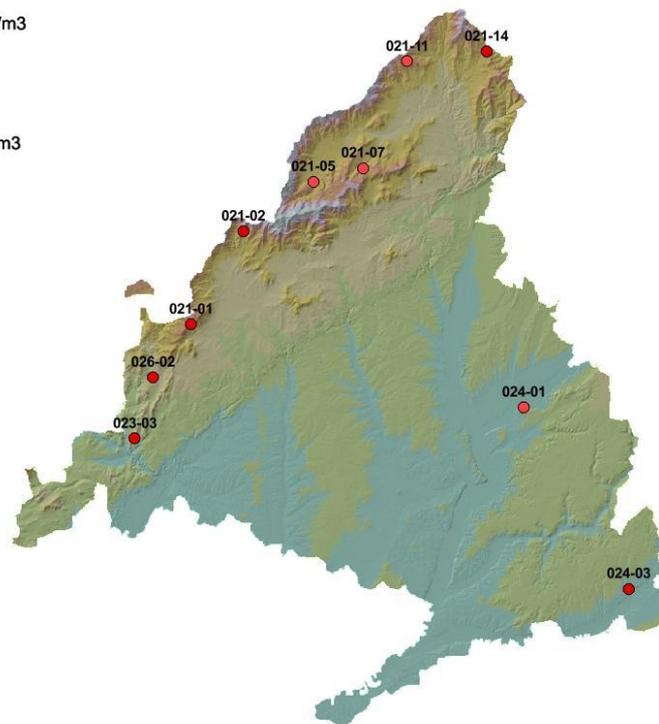


Figura MO8.II

Muestreo 8 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O3

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 9 (13-14/07/2016)

Tabla MO9 Concentración de O₃ en el muestreo nº9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	69,87
E-021-02	Cercedilla	70,86
E-021-05	Rascafría	62,03
E-021-07	Canencia	51,74
E-021-11	Braojos	66,42
E-021-14	Montejo de la Sierra	65,56
E-023-03	Navas del Rey	66,04
E-024-01	Alcalá de Henares	58,76
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	65,99
E-026-02	Robledo de Chavela	65,31
Media		64,26

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

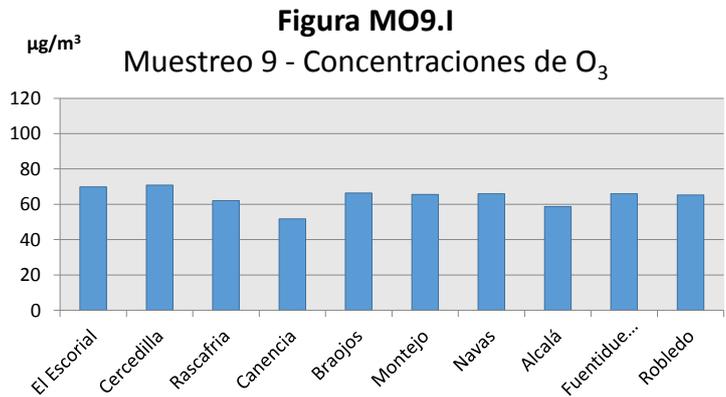
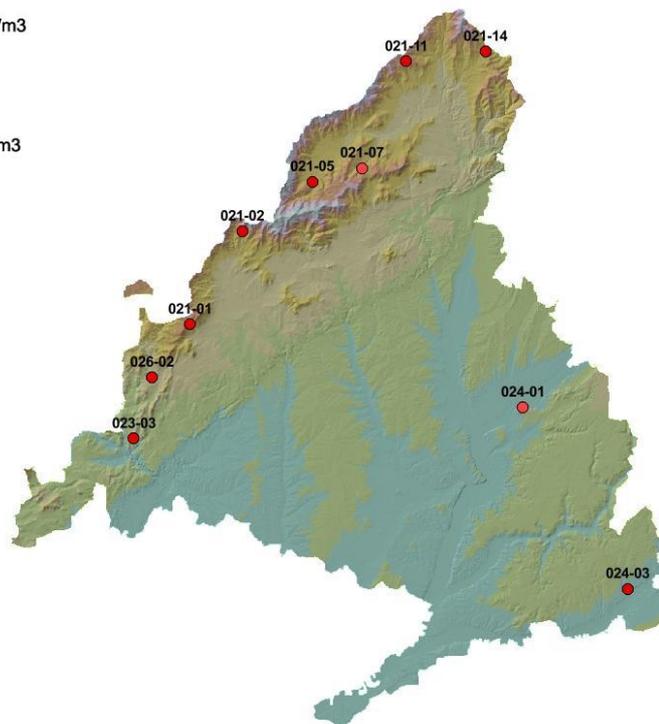


Figura MO9.II

Muestreo 9 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m³
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m³
- No Data





Muestreo 10 (4-5/08/2016)

Tabla MO10 Concentración de O₃ en el muestreo nº10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	75,82
E-021-02	Cercedilla	69,77
E-021-05	Rascafría	62,21
E-021-07	Canencia	58,89
E-021-11	Braojos	68,46
E-021-14	Montejo de la Sierra	69,77
E-023-03	Navas del Rey	71,25
E-024-01	Alcalá de Henares	64,56
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	65,42
E-026-02	Robledo de Chavela	70,86
Media		67,70

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

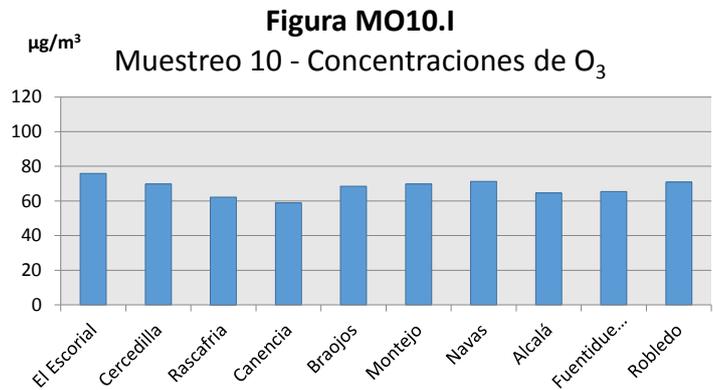
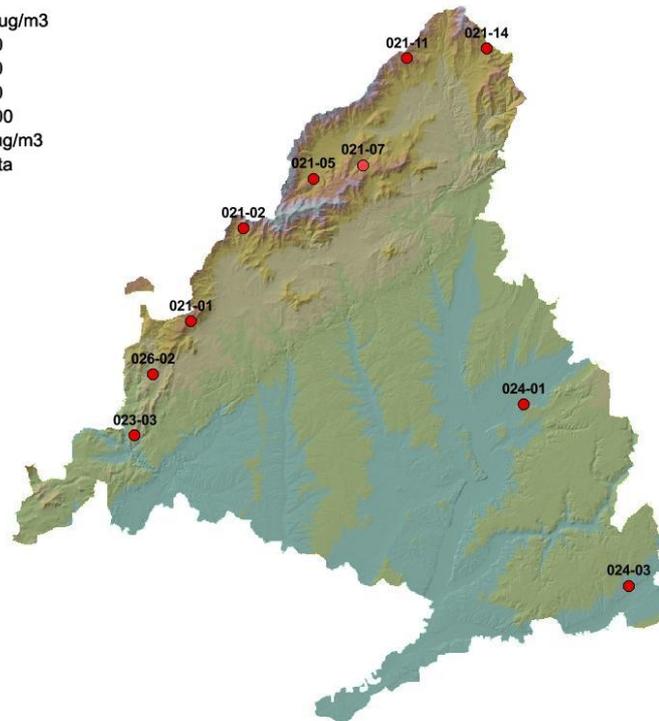


Figura MO10.II

Muestreo 10 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 11 (17-18/08/2016)

Tabla MO11 Concentración de O₃ en el muestreo nº11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	81,36
E-021-02	Cercedilla	80,39
E-021-05	Rascafría	68,78
E-021-07	Canencia	66,97
E-021-11	Braojos	75,24
E-021-14	Montejo de la Sierra	71,07
E-023-03	Navas del Rey	77,36
E-024-01	Alcalá de Henares	56,75
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	71,35
E-026-02	Robledo de Chavela	78,13
Media		72,74

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

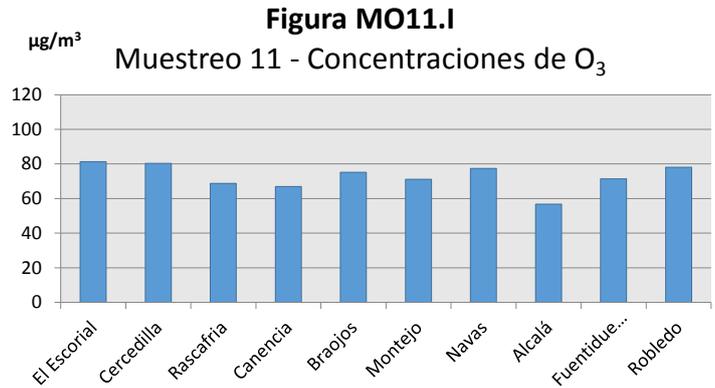
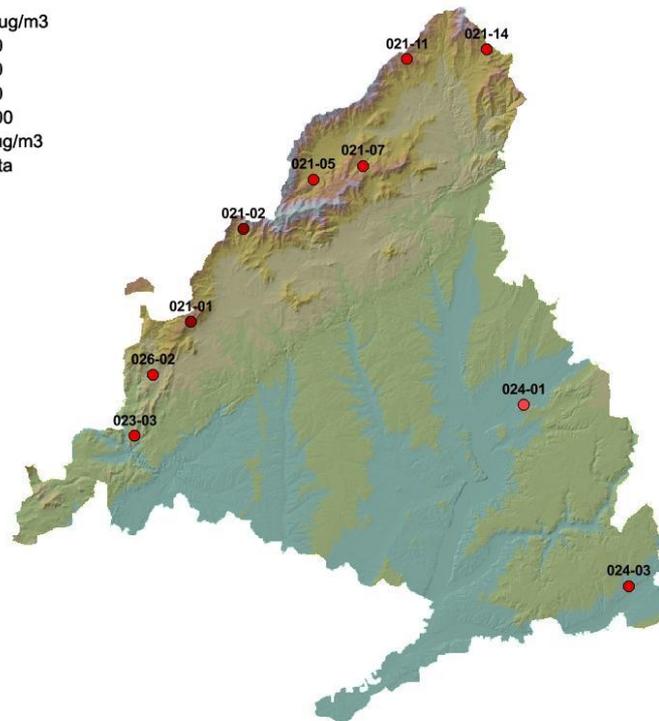


Figura MO11.II

Muestreo 11 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m³
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m³
- No Data





Muestreo 12 (5-6/09/2016)

Tabla MO12 Concentración de O₃ en el muestreo nº12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	67,17
E-021-02	Cercedilla	70,07
E-021-05	Rascafría	60,98
E-021-07	Canencia	60,15
E-021-11	Braojos	65,69
E-021-14	Montejo de la Sierra	66,76
E-023-03	Navas del Rey	70,53
E-024-01	Alcalá de Henares	52,15
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	57,63
E-026-02	Robledo de Chavela	61,96
Media		63,31

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

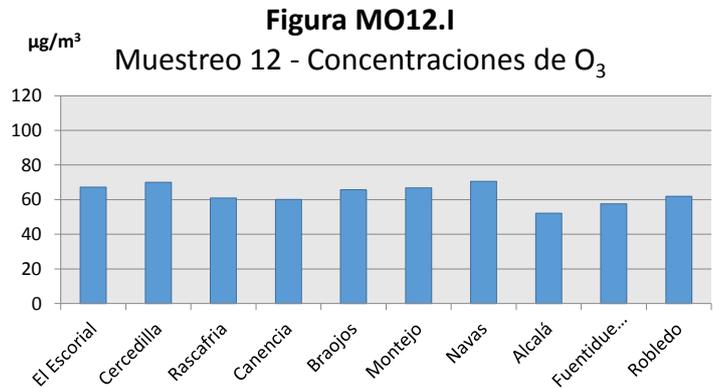
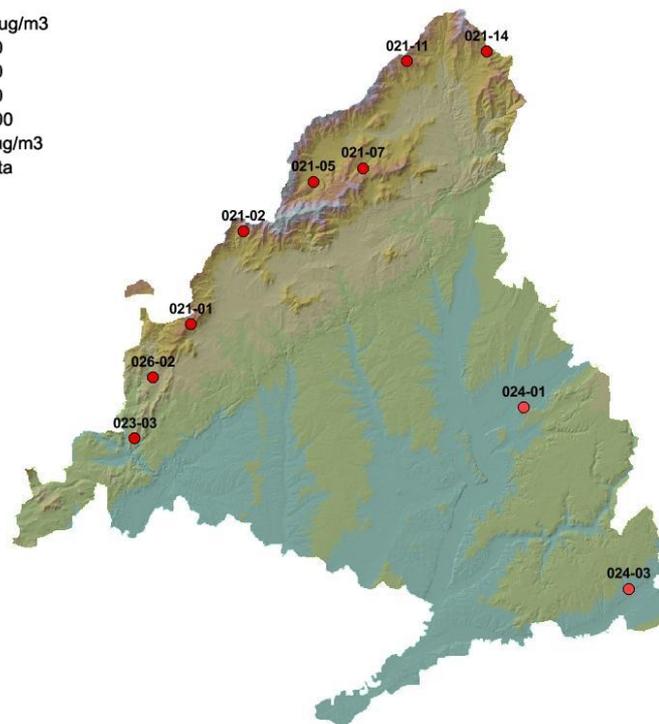


Figura MO12.II

Muestreo 12 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m³
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m³
- No Data





Muestreo 13 (19-20/09/2016)

Tabla MO13 Concentración de O₃ en el muestreo nº13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	64,96
E-021-02	Cercedilla	65,83
E-021-05	Rascafría	58,12
E-021-07	Canencia	56,02
E-021-11	Braojos	59,64
E-021-14	Montejo de la Sierra	64,96
E-023-03	Navas del Rey	68,27
E-024-01	Alcalá de Henares	53,83
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	40,76
E-026-02	Robledo de Chavela	66,40
Media		59,88

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

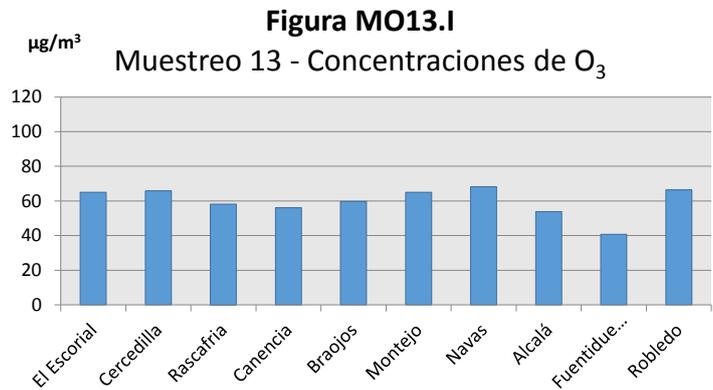
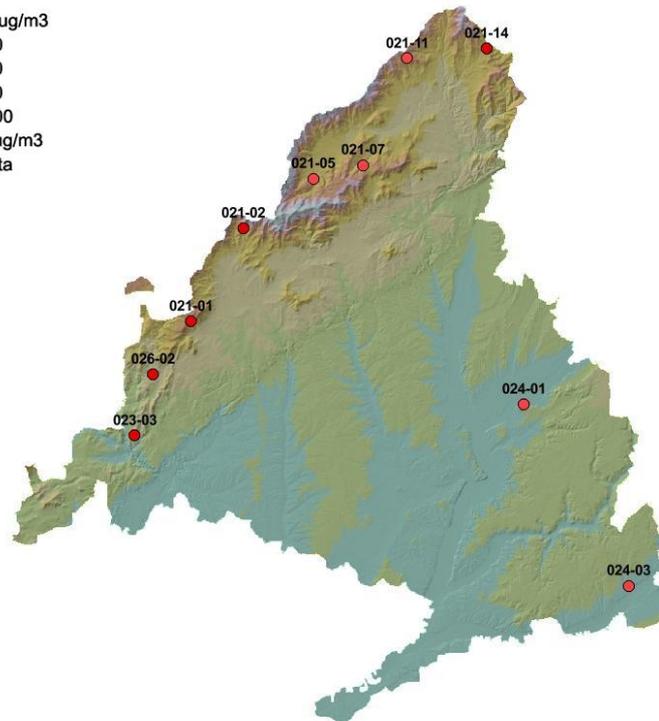


Figura MO13.II

Muestreo 13 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m³
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m³
- No Data





Muestreo 14 (4-7/10/2016)

Tabla MO14 Concentración de O₃ en el muestreo nº14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	70,90
E-021-02	Cercedilla	64,61
E-021-05	Rascafría	62,55
E-021-07	Canencia	58,64
E-021-11	Braojos	65,75
E-021-14	Montejo de la Sierra	60,29
E-023-03	Navas del Rey	71,46
E-024-01	Alcalá de Henares	50,12
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	48,84
E-026-02	Robledo de Chavela	62,61
Media		61,58

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

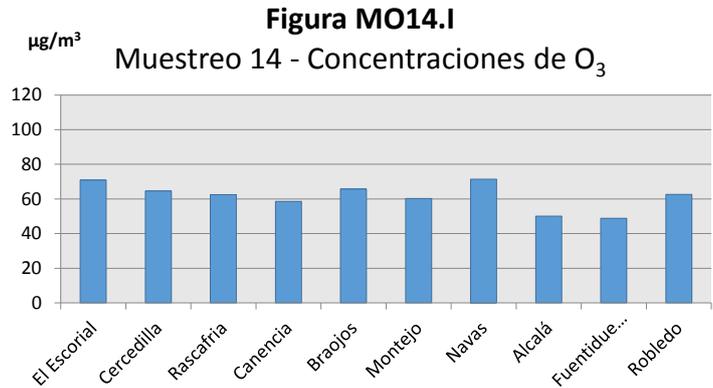
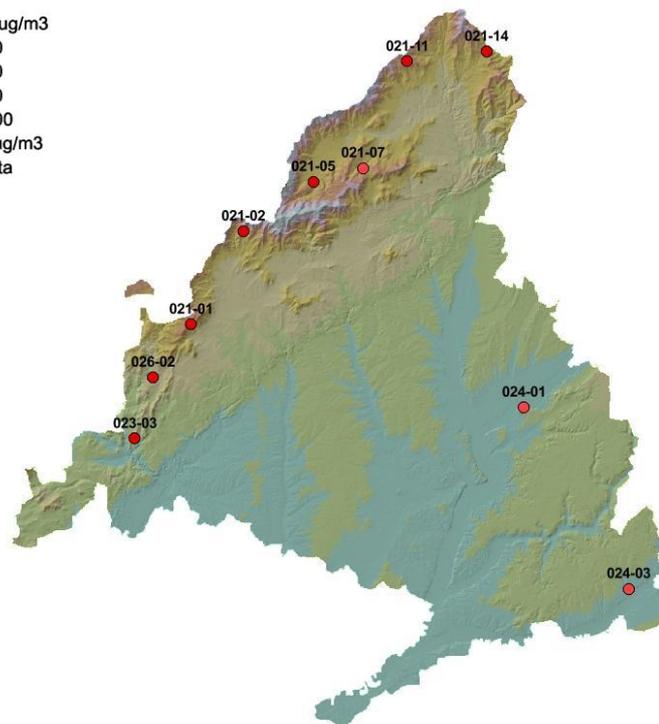


Figura MO14.II

Muestreo 14 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m³
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m³
- No Data





Muestreo 15 (20-21/10/2016)

Tabla MO15 Concentración de O₃ en el muestreo nº15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	46,24
E-021-02	Cercedilla	47,11
E-021-05	Rascafría	35,57
E-021-07	Canencia	36,15
E-021-11	Braojos	49,14
E-021-14	Montejo de la Sierra	42,87
E-023-03	Navas del Rey	46,99
E-024-01	Alcalá de Henares	36,87
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	35,16
E-026-02	Robledo de Chavela	39,17
Media		41,53

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

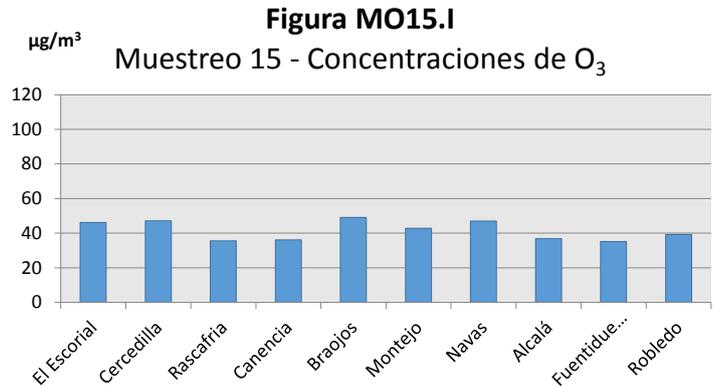
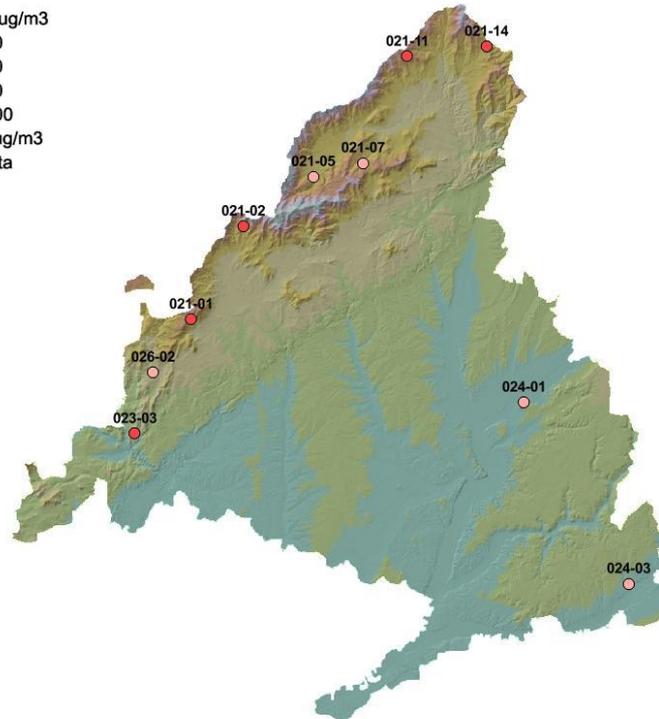


Figura MO15.II

Muestreo 15 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





Muestreo 16 (2-4/11/2016)

Tabla MO16 Concentración de O₃ en el muestreo n°16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	48,05
E-021-02	Cercedilla	49,01
E-021-05	Rascafría	38,67
E-021-07	Canencia	34,98
E-021-11	Braojos	47,72
E-021-14	Montejo de la Sierra	44,38
E-023-03	Navas del Rey	44,48
E-024-01	Alcalá de Henares	34,89
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	30,33
E-026-02	Robledo de Chavela	41,51
Media		41,40

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

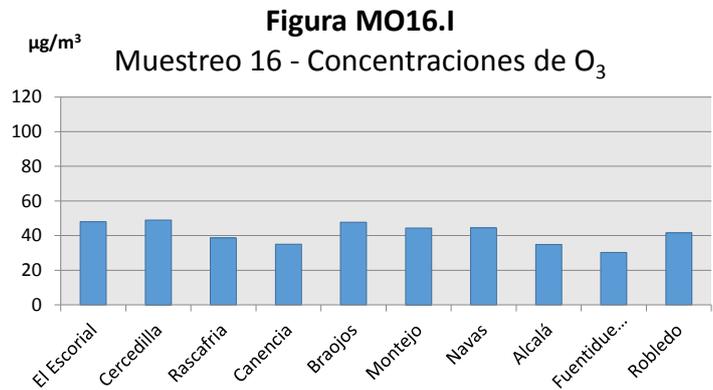
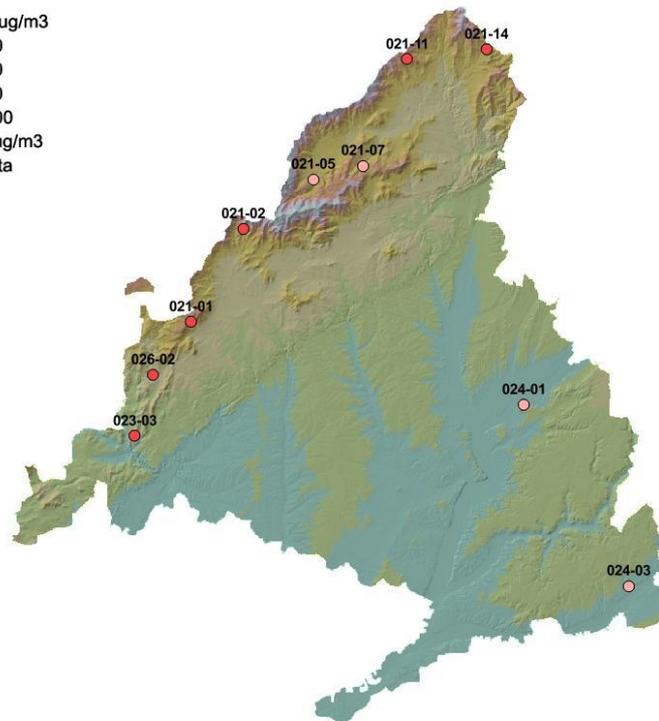


Figura MO16.II

Muestreo 16 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m³
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m³
- No Data





Muestreo 17 (17-18/11/2016)

Tabla MO17 Concentración de O₃ en el muestreo n°17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	45,33
E-021-02	Cercedilla	44,26
E-021-05	Rascafría	43,20
E-021-07	Canencia	39,01
E-021-11	Braojos	36,45
E-021-14	Montejo de la Sierra	40,26
E-023-03	Navas del Rey	57,23
E-024-01	Alcalá de Henares	35,61
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	35,89
E-026-02	Robledo de Chavela	50,63
Media		42,79

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

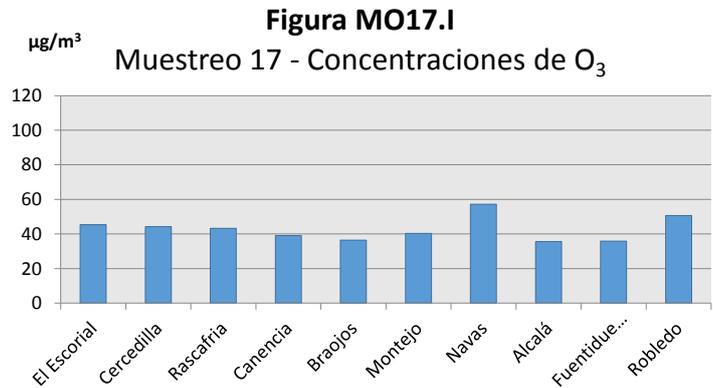
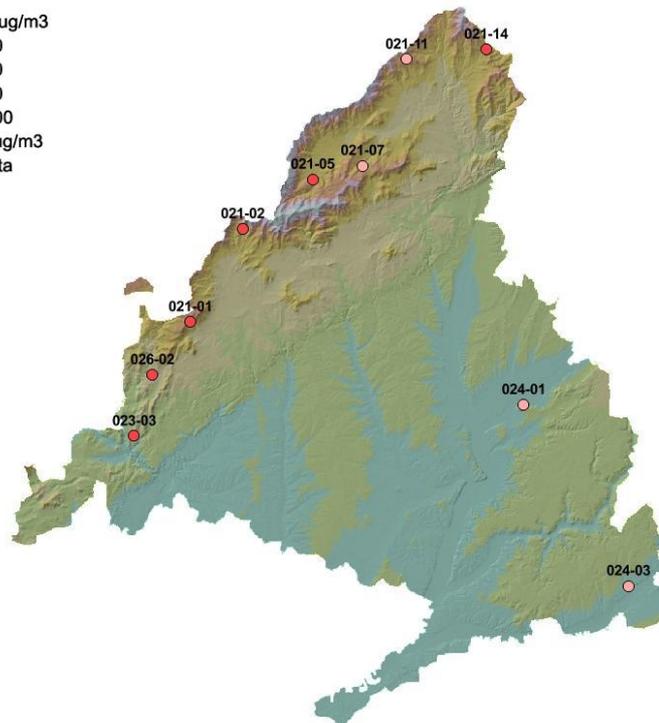


Figura MO17.II

Muestreo 17 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

Dosim O₃

- 0 - 20 ug/m3
- 20 - 40
- 40 - 60
- 60 - 80
- 80 - 100
- >100 ug/m3
- No Data





5.3.2. Dióxido de nitrógeno

Muestreo 2 (30-31/03/2016)

Tabla MNO2 Concentración de NO₂ en el muestreo nº2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,37
E-021-02	Cercedilla	
E-021-05	Rascafría	0,25
E-021-07	Canencia	0,45
E-021-11	Braojos	0,22
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,74
E-023-03	Navas del Rey	0,40
E-024-01	Alcalá de Henares	5,72
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,79
E-026-02	Robledo de Chavela	1,29
Media		1,36

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

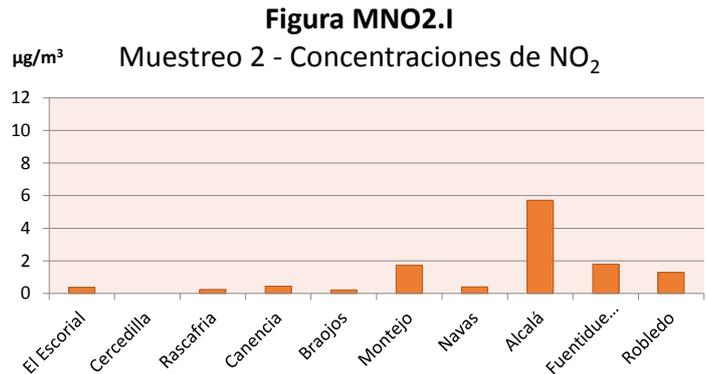
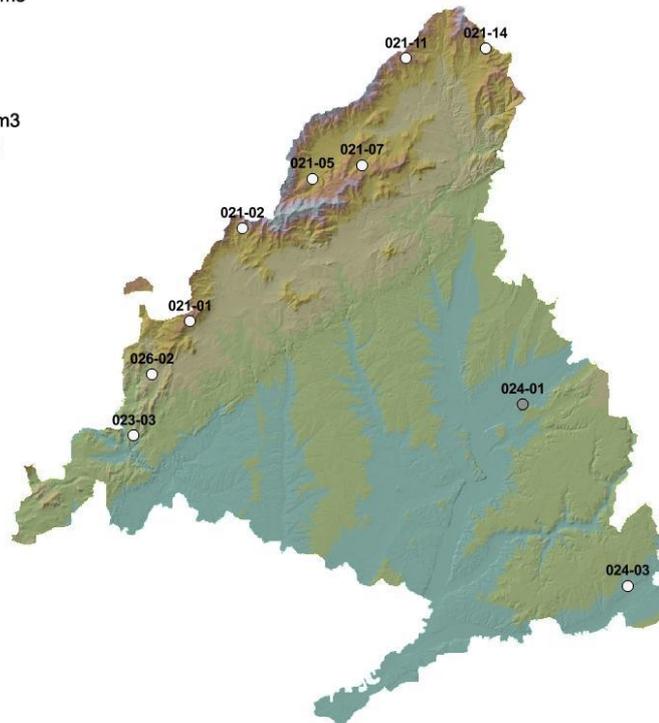


Figura MNO2.II

Muestreo 2 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 3 (14-15/04/2016)

Tabla MNO3 Concentración de NO₂ en el muestreo n°3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,30
E-021-02	Cercedilla	
E-021-05	Rascafría	0,53
E-021-07	Canencia	
E-021-11	Braojos	
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,79
E-023-03	Navas del Rey	0,63
E-024-01	Alcalá de Henares	4,07
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,44
E-026-02	Robledo de Chavela	1,22
Media		1,57

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

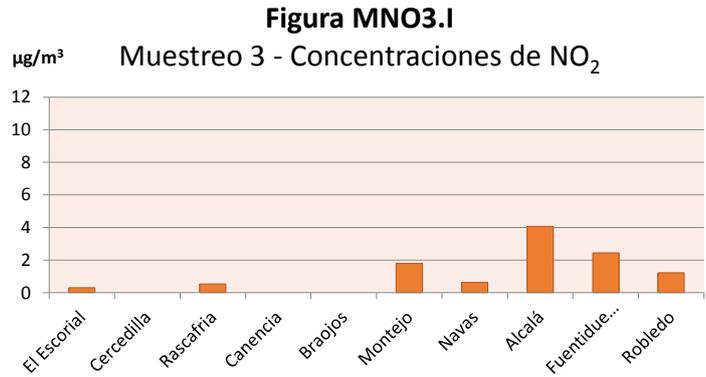
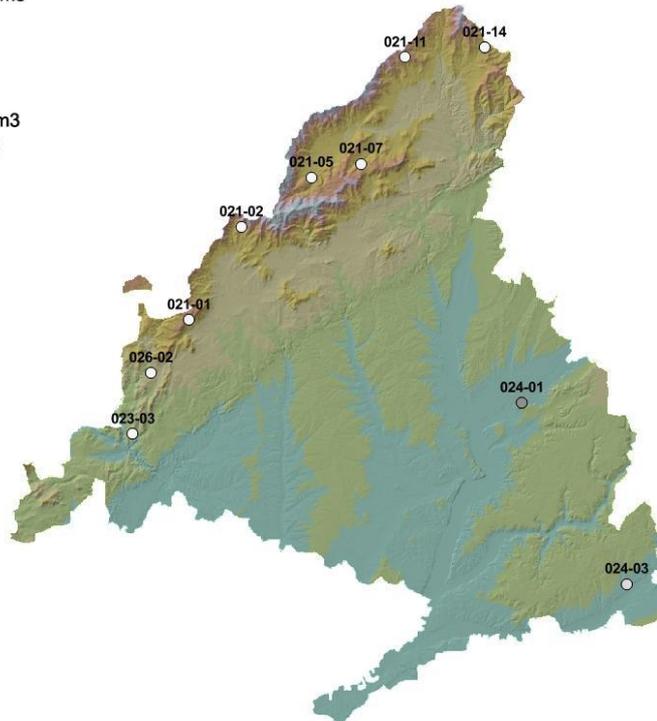


Figura MNO3.II

Muestreo 3 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 4 (14-15/04/2016)

Tabla MNO4 Concentración de NO₂ en el muestreo n°4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,80
E-021-02	Cercedilla	0,56
E-021-05	Rascafría	0,60
E-021-07	Canencia	0,94
E-021-11	Braojos	0,45
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,53
E-023-03	Navas del Rey	1,60
E-024-01	Alcalá de Henares	6,99
E-024-03	Fuendidueña de Tajo	2,27
E-026-02	Robledo de Chavela	1,94
Media		1,67

En *rojo, valor máximo; en *azul, valor mínimo.

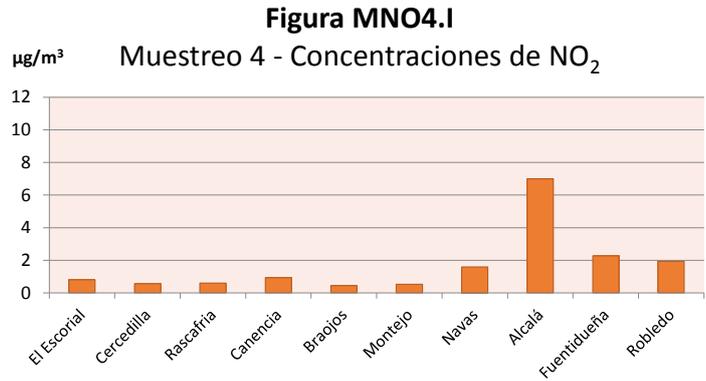
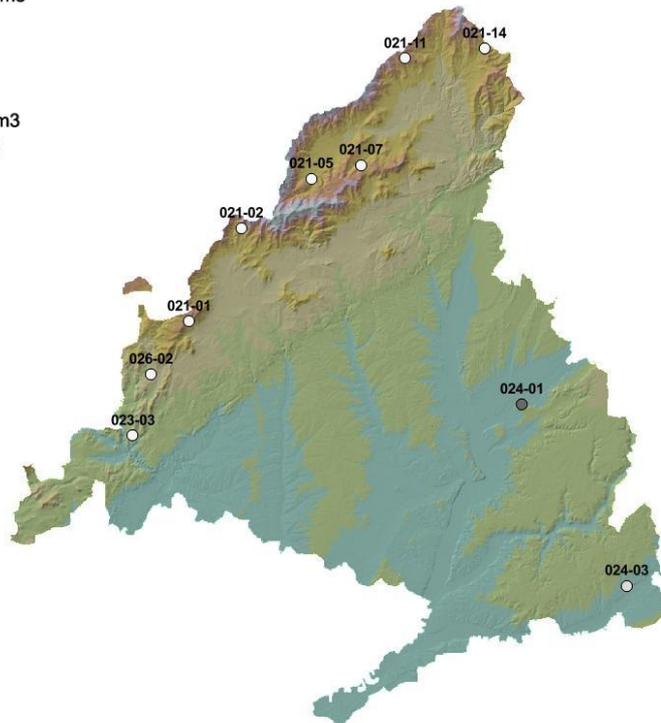


Figura MNO4.II

Muestreo 4 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 5 (9-11/05/2016)

Tabla MNO5 Concentración de NO₂ en el muestreo n°5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,38
E-021-02	Cercedilla	1,22
E-021-05	Rascafría	1,27
E-021-07	Canencia	1,22
E-021-11	Braojos	0,96
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,83
E-023-03	Navas del Rey	1,09
E-024-01	Alcalá de Henares	3,18
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,88
E-026-02	Robledo de Chavela	1,44
Media		1,45

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

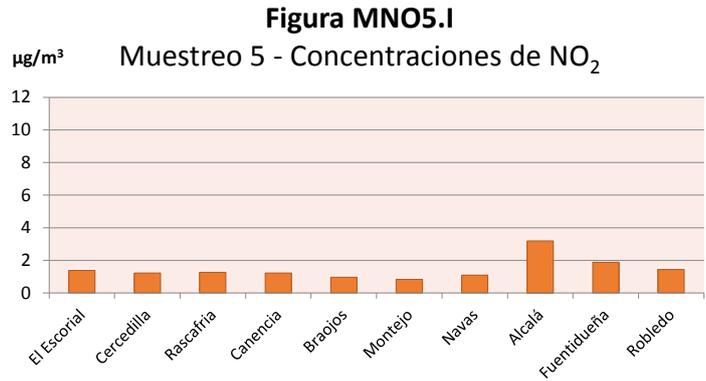
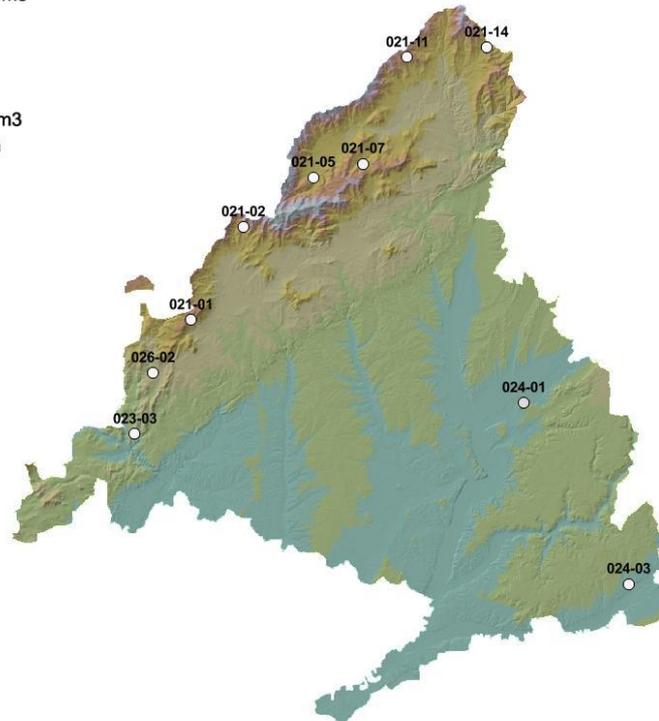


Figura MNO5.II

Muestreo 5 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 6 (24-25/05/2016)

Tabla MNO6 Concentración de NO₂ en el muestreo n°6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,79
E-021-02	Cercedilla	0,72
E-021-05	Rascafría	0,74
E-021-07	Canencia	0,84
E-021-11	Braojos	0,70
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,84
E-023-03	Navas del Rey	1,09
E-024-01	Alcalá de Henares	4,30
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,24
E-026-02	Robledo de Chavela	1,33
Media		1,26

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

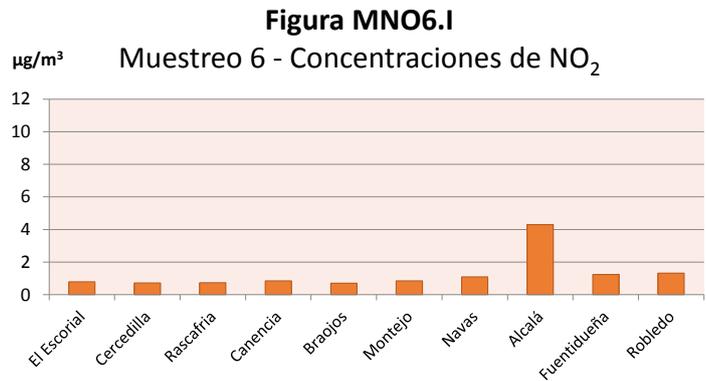
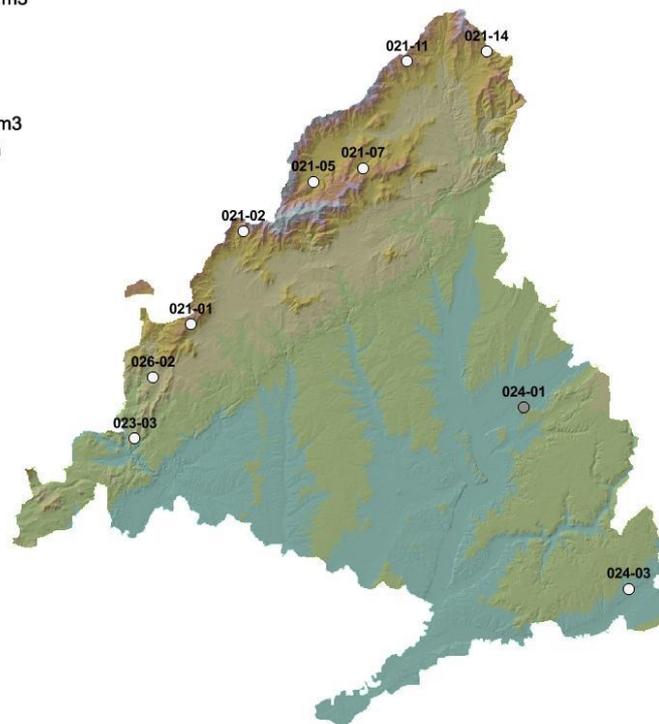


Figura MNO6.II

Muestreo 6 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 7 (7-8/06/2016)

Tabla MNO7 Concentración de NO₂ en el muestreo n°7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,87
E-021-02	Cercedilla	0,72
E-021-05	Rascafría	0,77
E-021-07	Canencia	0,91
E-021-11	Braojos	0,70
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,84
E-023-03	Navas del Rey	0,95
E-024-01	Alcalá de Henares	6,61
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	2,28
E-026-02	Robledo de Chavela	1,24
Media		1,59

En *rojo, valor máximo; en *azul, valor mínimo.

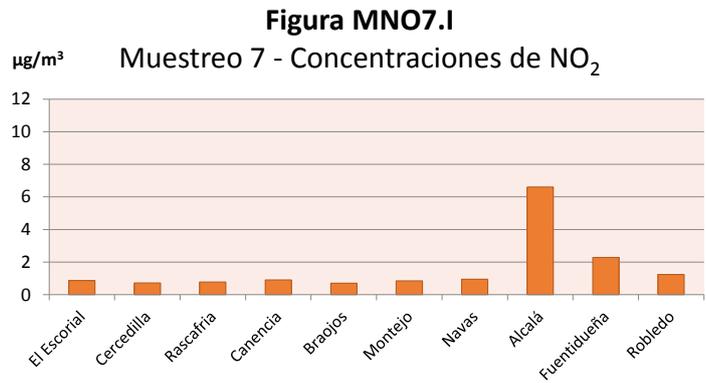
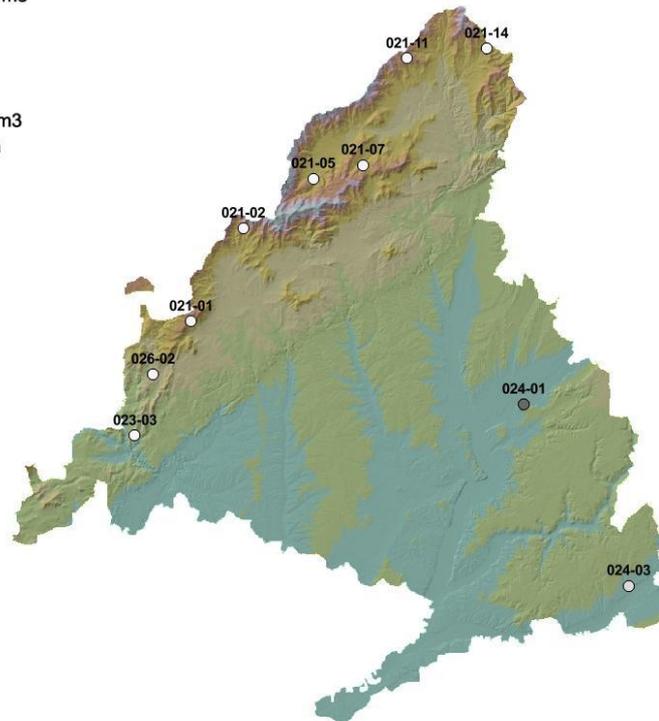


Figura MNO7.II

Muestreo 7 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 8 (22-23/06/2016)

Tabla MNO8 Concentración de NO₂ en el muestreo n°8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,98
E-021-02	Cercedilla	0,65
E-021-05	Rascafría	0,98
E-021-07	Canencia	0,95
E-021-11	Braojos	0,80
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,74
E-023-03	Navas del Rey	1,10
E-024-01	Alcalá de Henares	6,24
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,31
E-026-02	Robledo de Chavela	1,41
Media		1,62

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

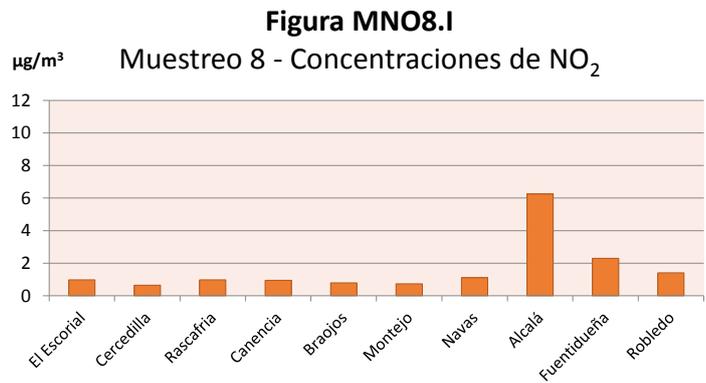
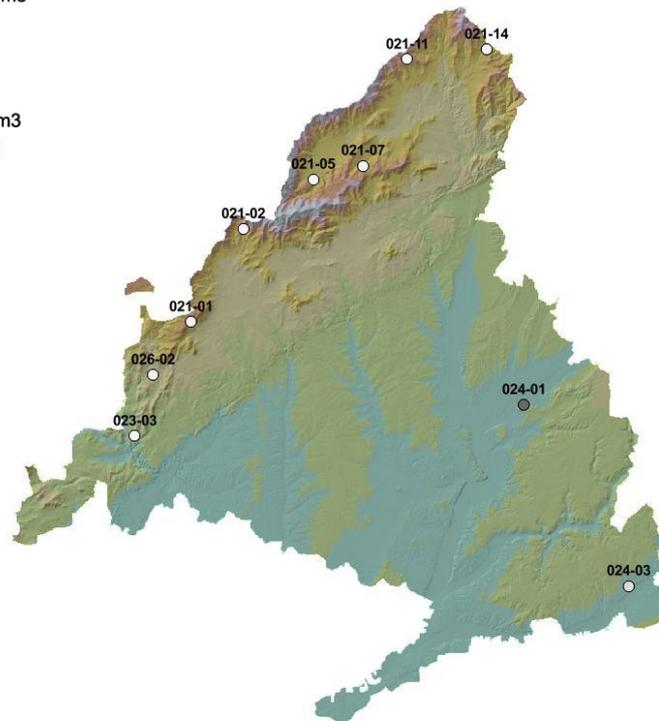


Figura MNO8.II

Muestreo 8 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 9 (13-14/07/2016)

Tabla MNO9 Concentración de NO₂ en el muestreo n°9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,28
E-021-02	Cercedilla	1,24
E-021-05	Rascafría	1,14
E-021-07	Canencia	1,77
E-021-11	Braojos	0,89
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,03
E-023-03	Navas del Rey	1,49
E-024-01	Alcalá de Henares	7,04
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,61
E-026-02	Robledo de Chavela	2,09
Media		2,06

En *rojo, valor máximo; en *azul, valor mínimo.

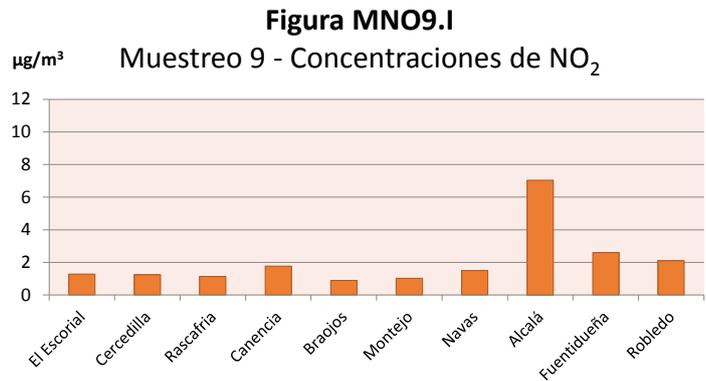
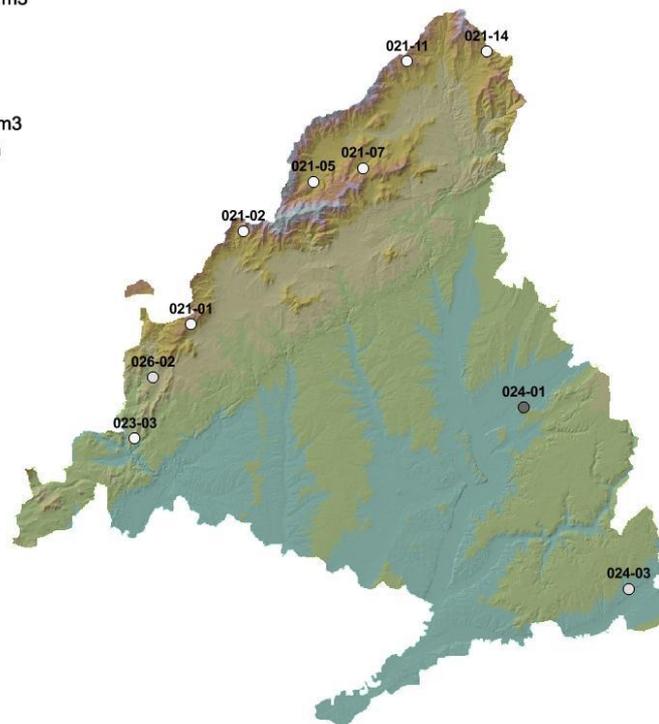


Figura MNO9.II

Muestreo 9 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 10 (4-5/08/2016)

Tabla MNO10 Concentración de NO₂ en el muestreo n°10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,04
E-021-02	Cercedilla	1,00
E-021-05	Rascafría	0,81
E-021-07	Canencia	1,37
E-021-11	Braojos	0,81
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,75
E-023-03	Navas del Rey	1,23
E-024-01	Alcalá de Henares	4,29
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,58
E-026-02	Robledo de Chavela	1,84
Media		

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

Figura MNO10.I

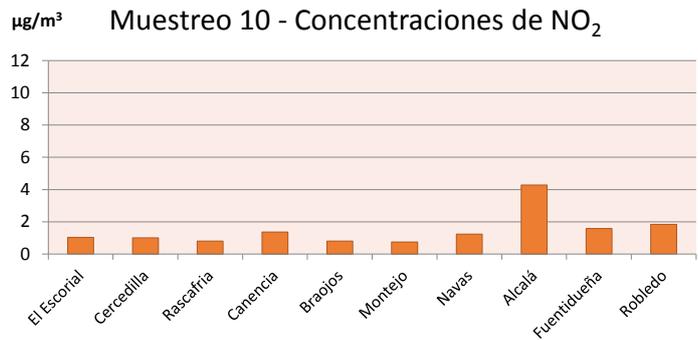
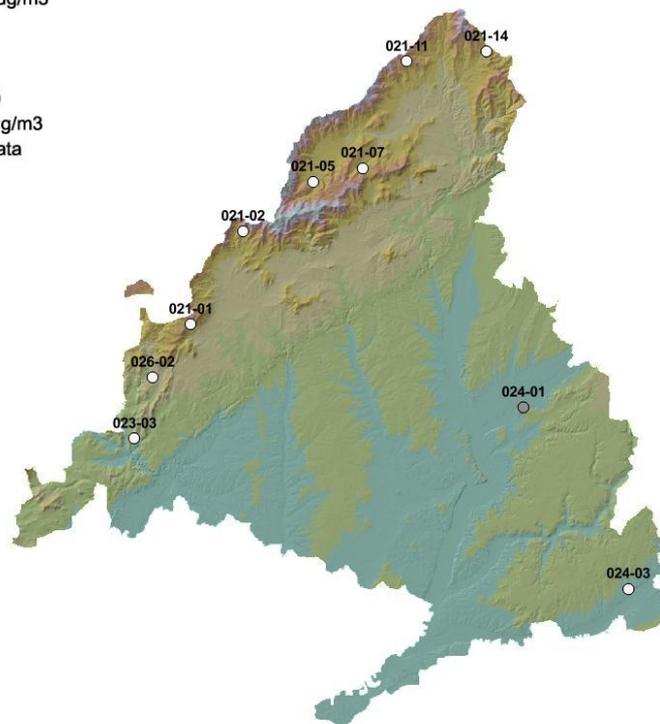


Figura MNO10.II

Muestreo 10 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

Dosim NOX

- 0 - 2 ug/m3
- 2 - 4
- 4 - 6
- 6 - 8
- 8 - 10
- >10 ug/m3
- No Data





Muestreo 11 (17-18/08/2016)

Tabla MNO11 Concentración de NO₂ en el muestreo n°11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,34
E-021-02	Cercedilla	1,57
E-021-05	Rascafría	1,11
E-021-07	Canencia	1,80
E-021-11	Brajos	1,17
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,04
E-023-03	Navas del Rey	1,09
E-024-01	Alcalá de Henares	4,02
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,63
E-026-02	Robledo de Chavela	1,63
Media		1,64

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

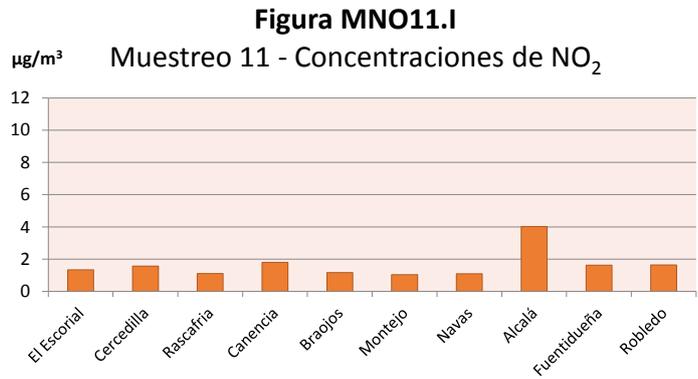
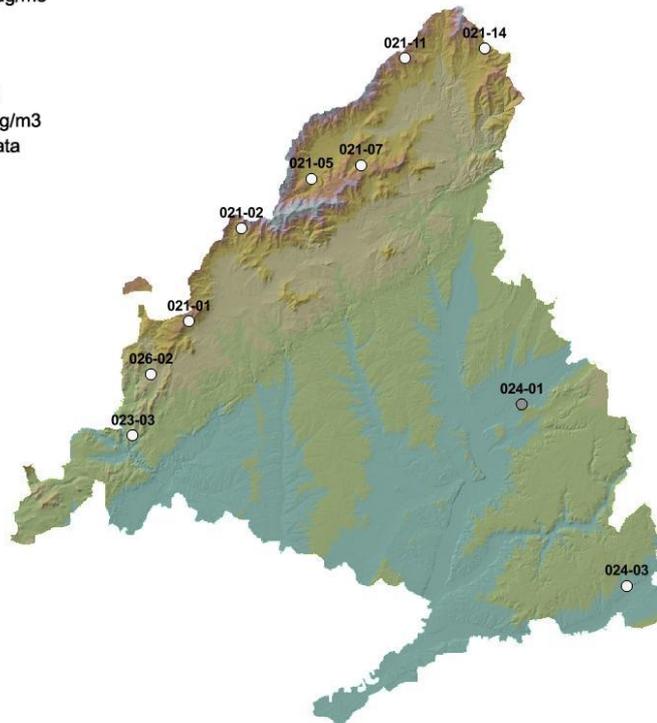


Figura MNO11.II

Muestreo 11 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 12 (5-6/09/2016)

Tabla MNO12 Concentración de NO₂ en el muestreo n°12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,15
E-021-02	Cercedilla	1,98
E-021-05	Rascafría	2,15
E-021-07	Canencia	3,33
E-021-11	Braojos	1,98
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,71
E-023-03	Navas del Rey	2,63
E-024-01	Alcalá de Henares	8,50
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,61
E-026-02	Robledo de Chavela	3,13
Media		3,12

En *rojo, valor máximo; en *azul, valor mínimo.

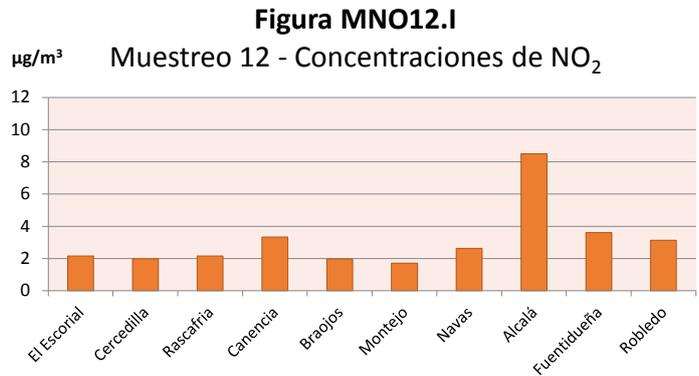
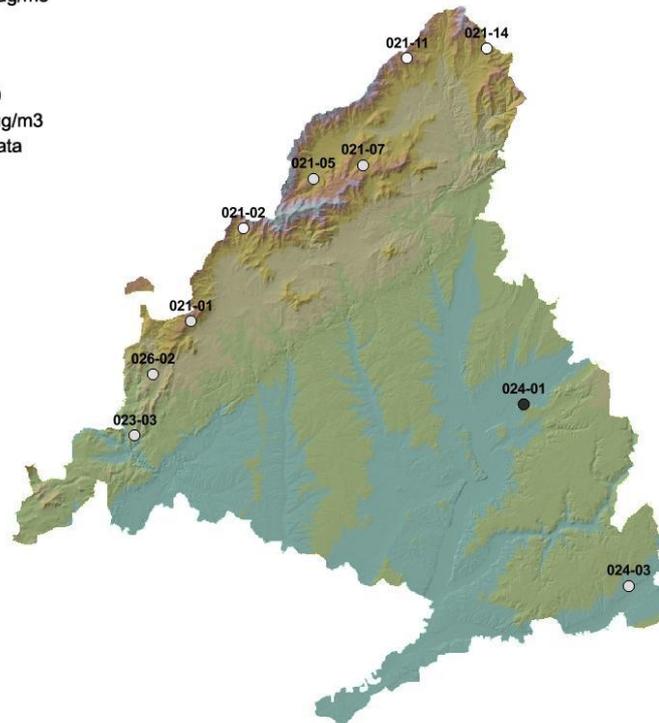


Figura MNO12.II

Muestreo 12 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 13 (19-20/09/2016)

Tabla MNO13 Concentración de NO₂ en el muestreo n°13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,35
E-021-02	Cercedilla	1,71
E-021-05	Rascafría	1,74
E-021-07	Canencia	2,62
E-021-11	Braojos	1,52
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,82
E-023-03	Navas del Rey	2,47
E-024-01	Alcalá de Henares	10,25
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	5,81
E-026-02	Robledo de Chavela	2,96
Media		3,32

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

Figura MNO13.I

Muestreo 13 - Concentraciones de NO₂

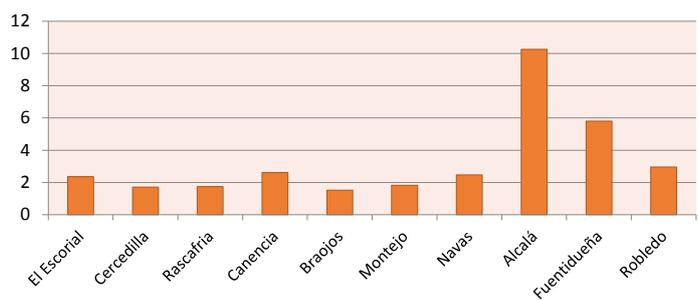
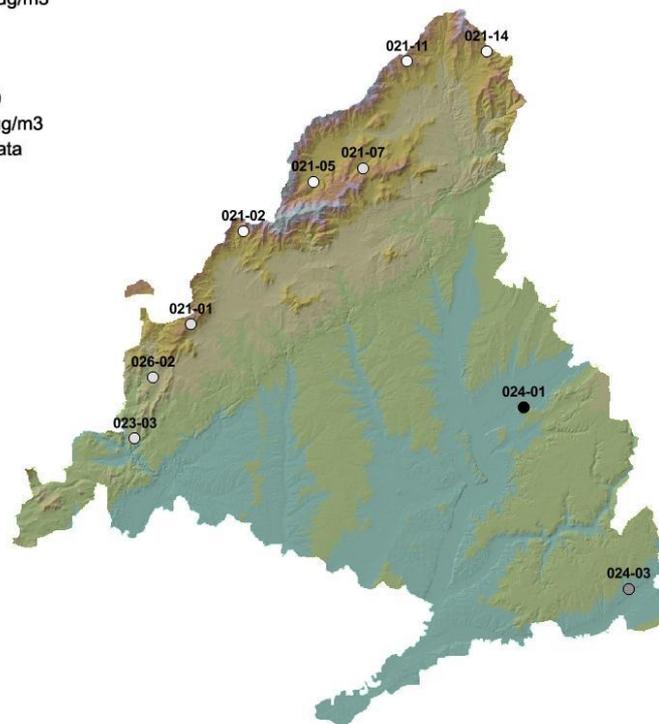


Figura MNO13.II

Muestreo 13 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 14 (4-7/10/2016)

Tabla MNO14 Concentración de NO₂ en el muestreo n°14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,89
E-021-02	Cercedilla	1,66
E-021-05	Rascafría	1,56
E-021-07	Canencia	2,34
E-021-11	Brajos	1,69
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,57
E-023-03	Navas del Rey	2,31
E-024-01	Alcalá de Henares	11,02
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,33
E-026-02	Robledo de Chavela	3,56
Media		3,09

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

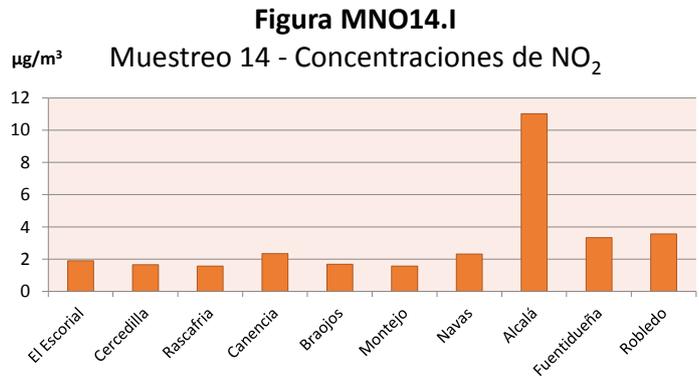
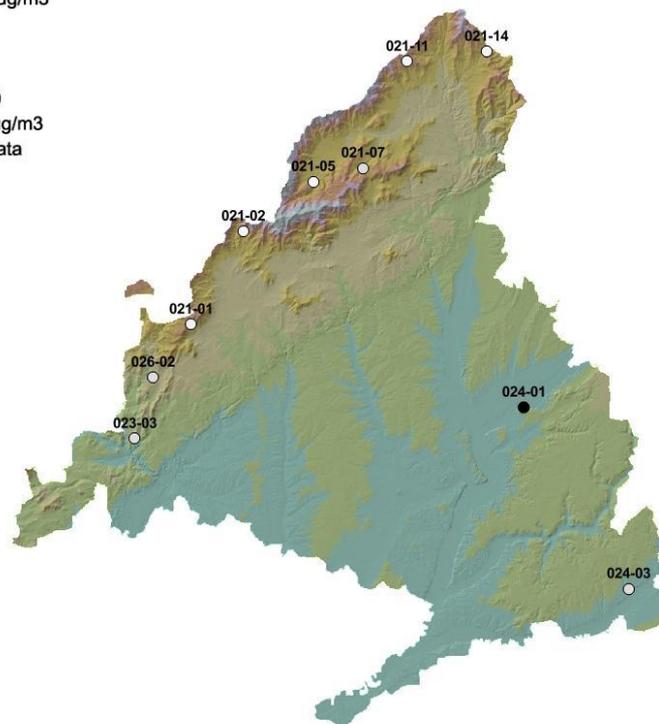


Figura MNO14.II

Muestreo 14 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 15 (20-21/10/2016)

Tabla MNO15 Concentración de NO₂ en el muestreo n°15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,25
E-021-02	Cercedilla	0,98
E-021-05	Rascafría	1,25
E-021-07	Canencia	1,92
E-021-11	Brajos	1,89
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,36
E-023-03	Navas del Rey	2,19
E-024-01	Alcalá de Henares	8,34
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,69
E-026-02	Robledo de Chavela	3,48
Media		2,74

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

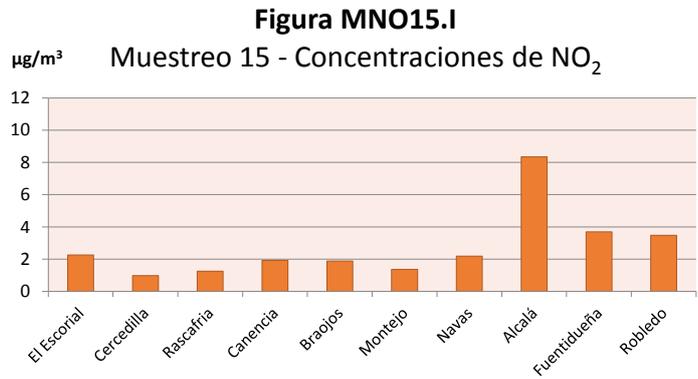
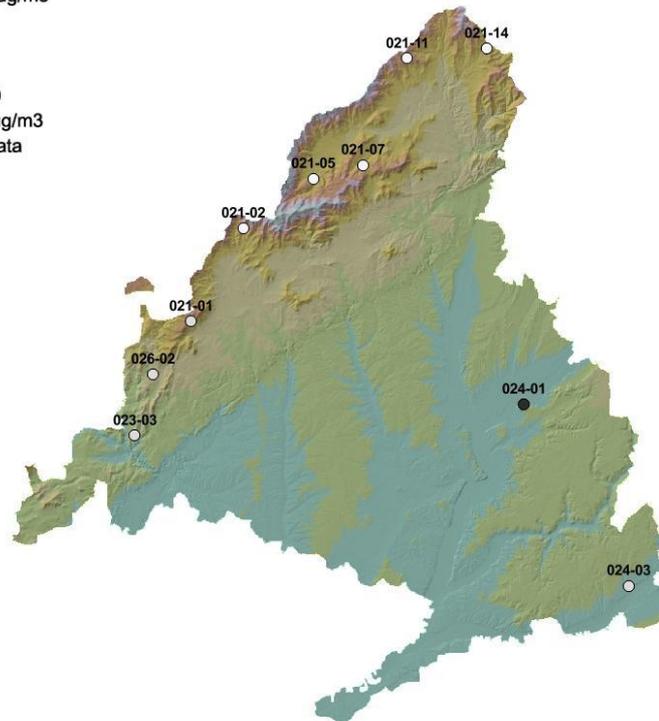


Figura MNO15.II

Muestreo 15 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data



Muestreo 16 (2-4/11/2016)

Tabla MNO16 Concentración de NO₂ en el muestreo n°16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,41
E-021-02	Cercedilla	0,57
E-021-05	Rascafría	0,94
E-021-07	Canencia	1,59
E-021-11	Braojos	2,28
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,00
E-023-03	Navas del Rey	1,71
E-024-01	Alcalá de Henares	6,34
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,89
E-026-02	Robledo de Chavela	3,11
Media		2,39

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

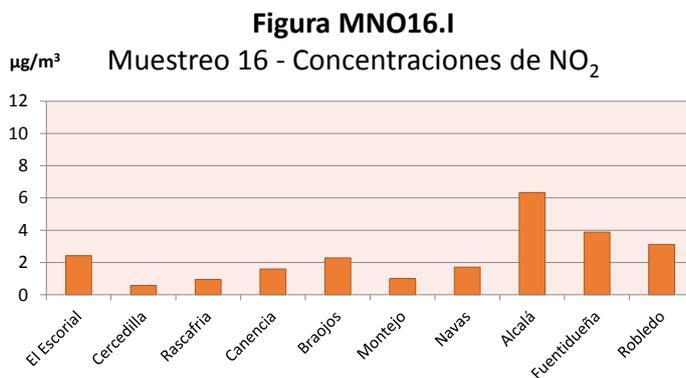
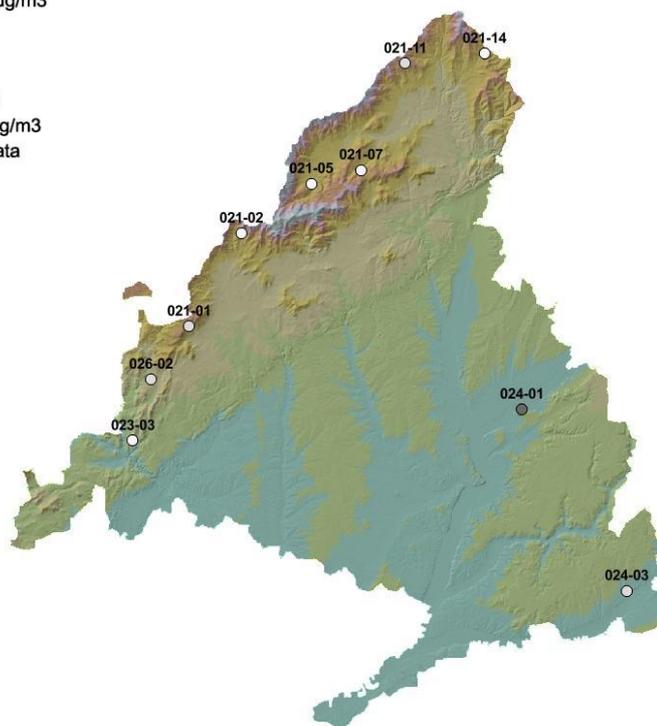


Figura MNO16.II

Muestreo 16 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data





Muestreo 17 (17-18/11/2016)

Tabla MNO17 Concentración de NO₂ en el muestreo n°17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,41
E-021-02	Cercedilla	0,42
E-021-05	Rascafría	0,57
E-021-07	Canencia	0,80
E-021-11	Brajos	1,82
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,91
E-023-03	Navas del Rey	1,35
E-024-01	Alcalá de Henares	10,43
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,92
E-026-02	Robledo de Chavela	3,43
Media		2,41

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

Figura MNO17.I

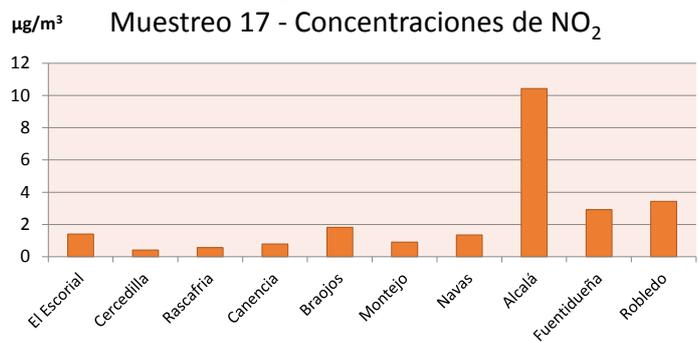
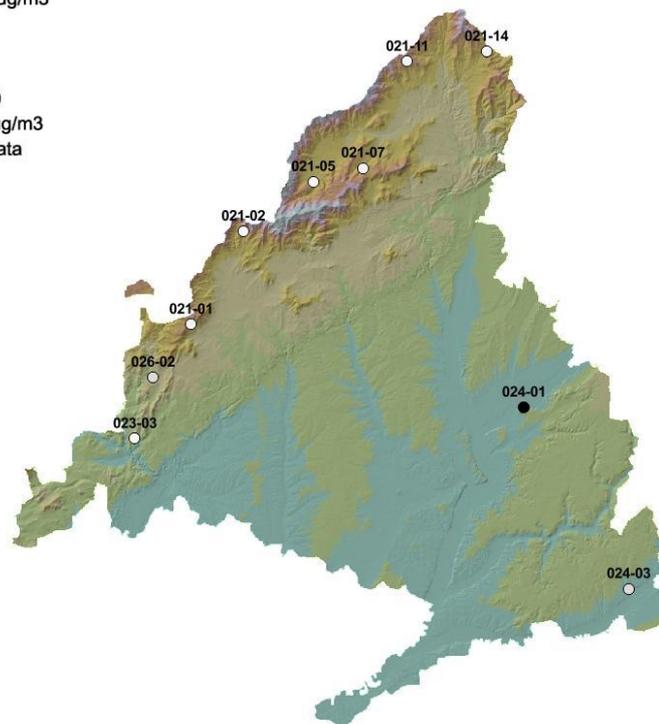


Figura MNO17.II

Muestreo 17 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- Dosim NOX
- 0 - 2 ug/m3
 - 2 - 4
 - 4 - 6
 - 6 - 8
 - 8 - 10
 - >10 ug/m3
 - No Data



5.4. NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR PARCELAS

5.4.1. Ozono

E-021-01 - San Lorenzo de El Escorial

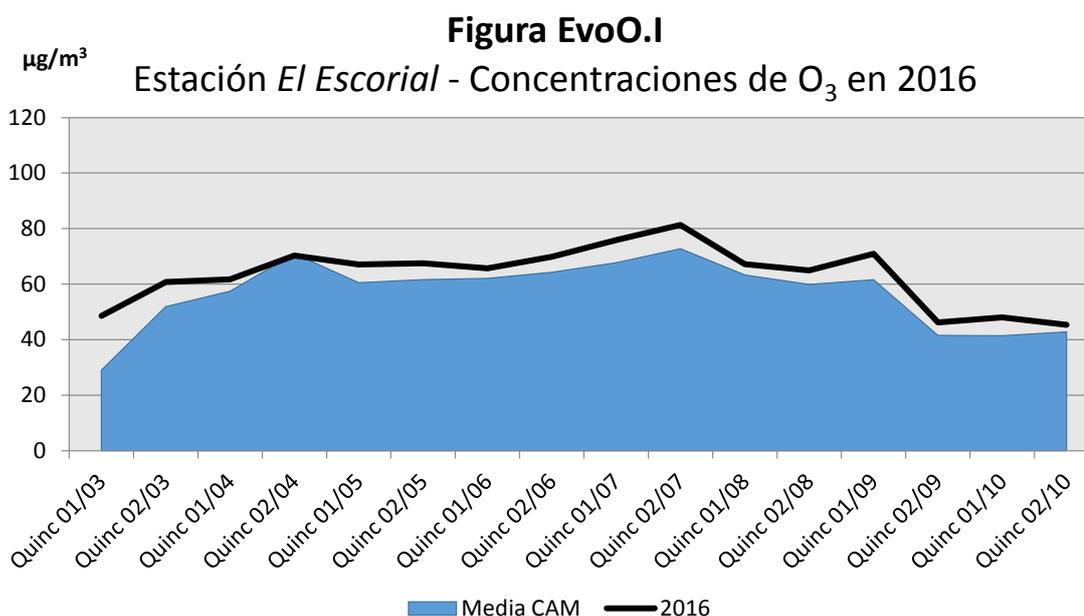
En la presente revisión destaca en primer lugar unos niveles de inmisión muy similares a los obtenidos en la campaña anterior, en torno a 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayoría de los registros se ha movido en la banda de los 40-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, excepto en las colas de la distribución, al inicio y final de la campaña, y destacando los elevados valores obtenidos a comienzos de agosto, cuando se superan los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las bajas tasas obtenidas al comienzo y final del año, cuando la radiación solar y temperatura que necesita para su formación disminuye y se sitúa en el

entorno de los 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En general, y como suele ser habitual en esta estación, las concentraciones correspondientes se han situado por encima de la media de la comunidad. Cabe hacer constar también que el modelo general de circulación del aire en la comunidad de Madrid considera esta zona como una de las de mayor incidencia, de forma que contaminantes emitidos en otras zonas tienden a dispersarse e impactar en esta zona de la sierra, en la que no hay además grandes barreras que la protejan de los núcleos urbanos más importantes.

Tabla EvoO.I Evolución en 2016 de las concentraciones de O₃ en la estación de *San Lorenzo de El Escorial*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	48,51	10	2ª de julio	05/08/2016	75,82	
3	1ª de abril	14/04/2016	60,74	11	1ª de agosto	18/08/2016	81,36	
4	2ª de abril	29/04/2016	61,70	12	2ª de agosto	06/09/2016	67,17	
5	1ª de mayo	10/05/2016	70,30	13	1ª de septiembre	20/09/2016	64,96	
6	2ª de mayo	25/05/2016	67,04	14	2ª de septiembre	06/10/2016	70,90	
7	1ª de junio	07/06/2016	67,54	15	1ª de octubre	21/10/2016	46,24	
8	2ª de junio	23/06/2016	65,67	16	2ª de octubre	03/11/2016	48,05	
9	1ª de julio	14/07/2016	69,87	17	1ª de noviembre	17/11/2016	45,33	
							Media	63,20

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.



E-021-02 - Cercedilla

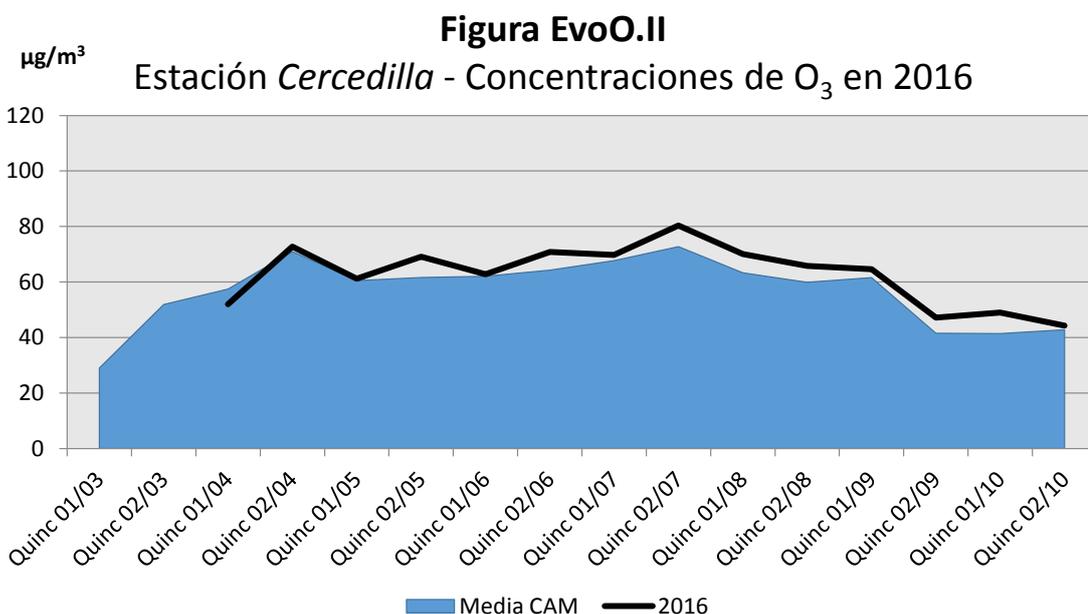
Al igual que en el caso anterior, los niveles de la concentración por ozono se han situado en niveles muy similares a los del año anterior, en torno a los 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al igual que en el caso anterior, la estación se dispone en una zona de cota elevada, no protegida frente a vientos aunque no tan directamente orientada sobre los núcleos urbanos de Madrid, por lo que no es de extrañar tampoco la aparición de niveles altos de este contaminante. Como es habitual, y debido al incremento de la radiación solar y

la temperatura, los mayores niveles se han registrado a mediados del verano, cuando se superan ligeramente los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los menores, del orden de 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se han registrado a finales de la campaña, con tasas también relativamente elevadas a lo largo del primer tramo de muestreo. Como en el caso de El Escorial, los valores se han situado por encima de la media de la comunidad en casi todos los meses muestreados.

Tabla EvoO.II Evolución en 2016 de las concentraciones de O₃ en la estación de Cercedilla

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo			10	2ª de julio	05/08/2016	69,77	
3	1ª de abril			11	1ª de agosto	18/08/2016	80,39	
4	2ª de abril	14/04/2016	51,94	12	2ª de agosto	06/09/2016	70,07	
5	1ª de mayo	28/04/2016	72,79	13	1ª de septiembre	20/09/2016	65,83	
6	2ª de mayo	10/05/2016	61,14	14	2ª de septiembre	07/10/2016	64,61	
7	1ª de junio	25/05/2016	69,08	15	1ª de octubre	21/10/2016	47,11	
8	2ª de junio	07/06/2016	62,78	16	2ª de octubre	03/11/2016	49,01	
9	1ª de julio	23/06/2016	70,86	17	1ª de noviembre	17/11/2016	44,26	
							Media	62,83

En *rojo, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.





E-021-05 - Rascafría

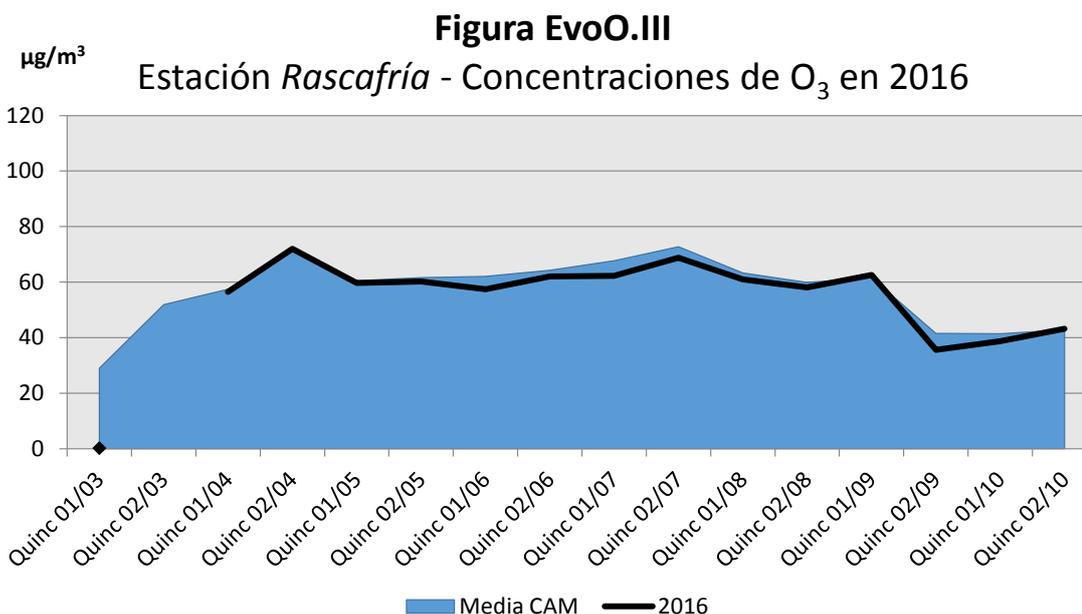
En la presente campaña y al igual que en las estaciones anteriores, se observan niveles de ozono muy similares a los observados el año pasado ligeramente por debajo de los 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ aunque registrándose una disminución de las tasas máximas, que se reducen de 81 a 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Si bien se registran valores comparativamente

altos a mediados del verano, en coincidencia con la mayor radiación solar y temperatura que favorecen la formación del contaminante, el máximo absoluto de la serie se ha obtenido a comienzos de la primavera. En general los valores observados tienden a situarse ligeramente por debajo de los valores medios de la Red.

Tabla EvoO.III Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de Rascafría

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,19	10	2ª de julio	05/08/2016	62,21
3	1ª de abril	14/04/2016		11	1ª de agosto	18/08/2016	68,78
4	2ª de abril	28/04/2016	56,52	12	2ª de agosto	05/09/2016	60,98
5	1ª de mayo	10/05/2016	71,95	13	1ª de septiembre	20/09/2016	58,12
6	2ª de mayo	24/05/2016	59,70	14	2ª de septiembre	07/10/2016	62,55
7	1ª de junio	07/06/2016	60,27	15	1ª de octubre	21/10/2016	35,57
8	2ª de junio	23/06/2016	57,45	16	2ª de octubre	03/11/2016	38,67
9	1ª de julio	14/07/2016	62,03	17	1ª de noviembre	17/11/2016	43,20
Media							53,21

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.



E-021-07 – Canencia de la Sierra

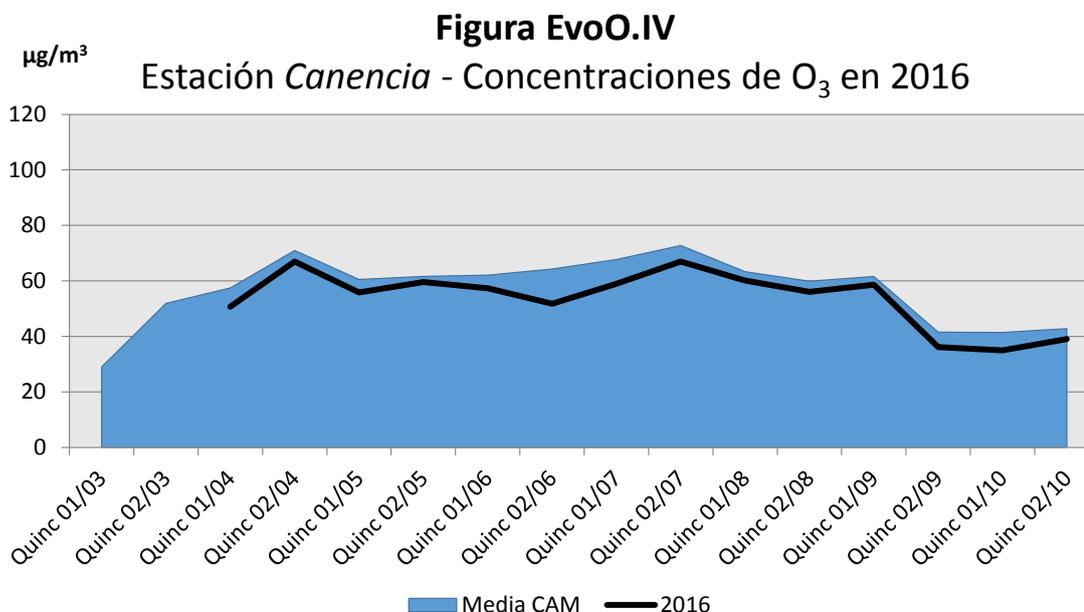
En la estación de Canencia de la Sierra, próxima a la anterior de Rascafría se ha registrado un comportamiento similar: ligera reducción de los niveles respecto al año pasado, que disminuyen desde los 56 a los 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registrándose los mayores valores en coincidencia con la elevación general de las temperaturas registradas de mediados de julio a mediados de agosto; y

las menores tasas a medida que va progresando el otoño y se reducen temperatura y radiación solar necesarias para la transformación de los precursores en ozono troposférico. En la presente revisión Canencia se ha mantenido en niveles inferiores a los valores medios de la comunidad.

Tabla EvoO.IV Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Canencia de la Sierra*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	31/03/2016		10	2ª de julio	05/08/2016	58,89
3	1ª de abril	14/04/2016		11	1ª de agosto	18/08/2016	66,97
4	2ª de abril	28/04/2016	50,66	12	2ª de agosto	05/09/2016	60,15
5	1ª de mayo	10/05/2016	66,95	13	1ª de septiembre	20/09/2016	56,02
6	2ª de mayo	24/05/2016	55,82	14	2ª de septiembre	07/10/2016	58,64
7	1ª de junio	07/06/2016	59,55	15	1ª de octubre	21/10/2016	36,15
8	2ª de junio	23/06/2016	57,39	16	2ª de octubre	03/11/2016	34,98
9	1ª de julio	14/07/2016	51,74	17	1ª de noviembre	17/11/2016	39,01
Media							53,78

En *rojo, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.



E-021-11 – Braojos

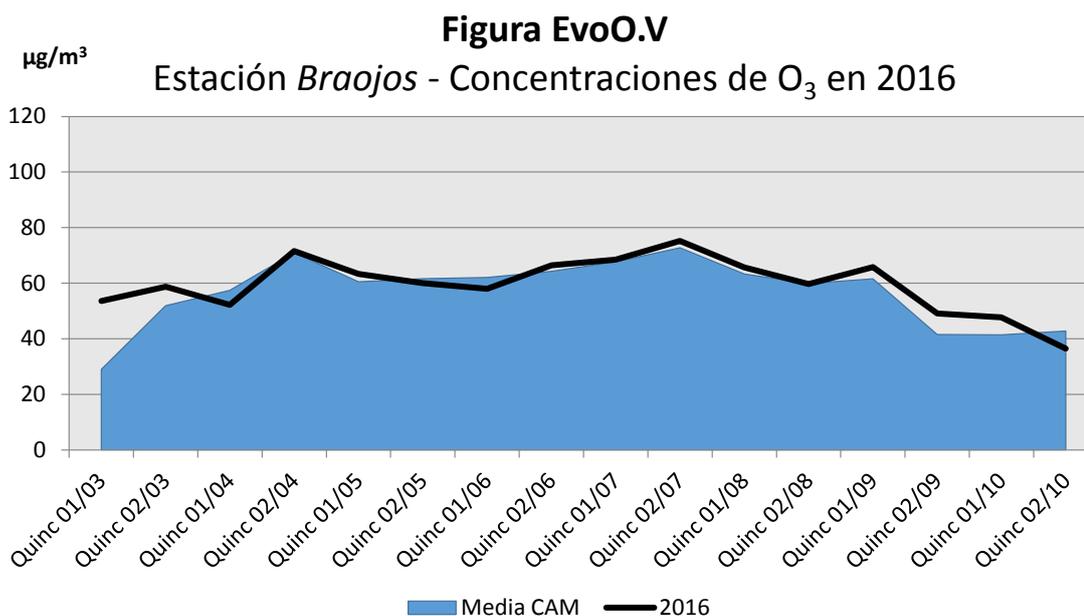
En la estación de Braojos, y con respecto al año anterior, se ha obtenido sin embargo un ligero aumento de las tasas de inmisión de ozono, pasando de 56 a 59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ si bien se ha registrado una reducción en el valor de los máximos locales, al pasar de 89 a 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tasas obtenidas siempre a comienzos del mes de agosto, en el que se alcanzan las temperaturas más elevadas del

año. A medida que va avanzando el otoño, se van obteniendo valores menores de concentración del contaminante; si bien en términos generales se han obtenido concentraciones ligeramente superiores a los valores medios de la comunidad, tal y como ya se observara el año pasado.

Tabla EvoO.V Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de Braojos

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	53,61	10	2ª de julio	05/08/2016	68,46	
3	1ª de abril	14/04/2016	58,74	11	1ª de agosto	18/08/2016	75,24	
4	2ª de abril	28/04/2016	52,16	12	2ª de agosto	05/09/2016	65,69	
5	1ª de mayo	10/05/2016	71,62	13	1ª de septiembre	20/09/2016	59,64	
6	2ª de mayo	24/05/2016	63,36	14	2ª de septiembre	07/10/2016	65,75	
7	1ª de junio	07/06/2016	60,06	15	1ª de octubre	21/10/2016	49,14	
8	2ª de junio	23/06/2016	57,95	16	2ª de octubre	03/11/2016	47,72	
9	1ª de julio	14/07/2016	66,42	17	1ª de noviembre	17/11/2016	36,45	
							Media	59,50

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.





E-021-14 – Montejo de la Sierra

En Montejo de la Sierra se ha registrado un considerable incremento en los niveles de ozono, que con una concentración media de 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ supone más del doble de los registros obtenidos en la pasada revisión, en niveles superiores además a los valores medios obtenidos en la comunidad, presentando el habitual pico a

comienzos de agosto, precedido de otro máximo a comienzos del verano y un incremento considerable a comienzos de mayo, comportamiento este que ya se ha observado años atrás, y que rompe la tendencia que se observara en 2015.

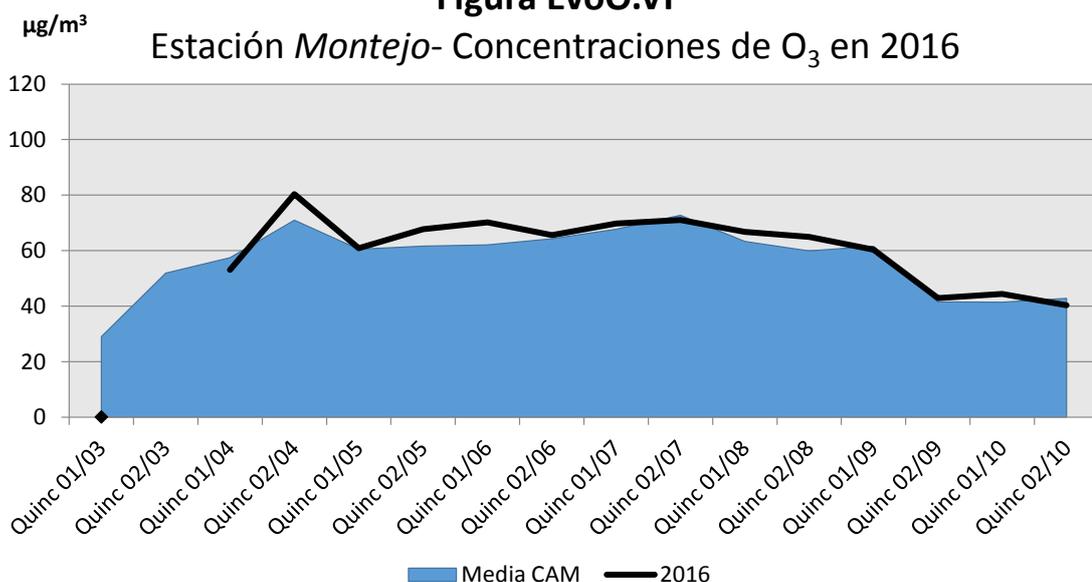
Tabla EvoO.VI Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Montejo de la Sierra*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,05	10	2ª de julio	05/08/2016	69,77	
3	1ª de abril	14/04/2016		11	1ª de agosto	18/08/2016	71,07	
4	2ª de abril	28/04/2016	53,09	12	2ª de agosto	05/09/2016	66,76	
5	1ª de mayo	10/05/2016	80,39	13	1ª de septiembre	20/09/2016	64,96	
6	2ª de mayo	24/05/2016	60,92	14	2ª de septiembre	07/10/2016	60,29	
7	1ª de junio	07/06/2016	67,73	15	1ª de octubre	21/10/2016	42,87	
8	2ª de junio	23/06/2016	70,19	16	2ª de octubre	03/11/2016	44,38	
9	1ª de julio	14/07/2016	65,56	17	1ª de noviembre	17/11/2016	40,26	
							Media	57,22

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoO.VI

Estación *Montejo*- Concentraciones de O_3 en 2016



E-023-03 – Navas del Rey

En lo que respecta a Navas del Rey, y tal como ya se ha observado en la mayoría de las parcelas de la Red, se ha observado una ligera reducción de los niveles de inmisión observados, que pasan de 72 a 66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la presente revisión, obteniéndose los mayores valores a lo largo del tramo final del verano y observándose también un cierto incremento del valor a

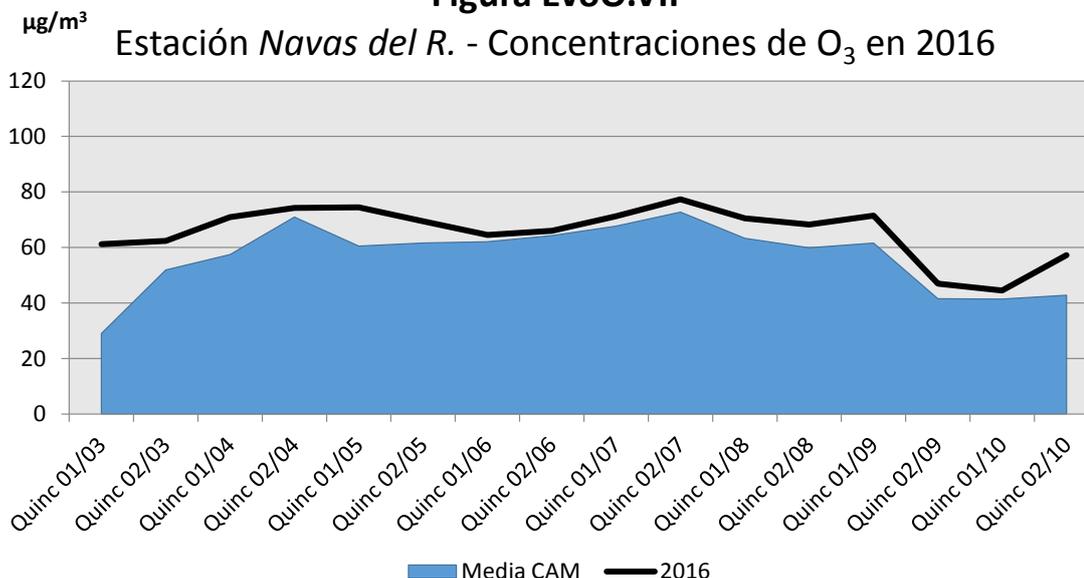
finales de abril, si bien no de forma tan acusada como en la estación anterior. Por regla general, los valores observados han sido superiores a los niveles medios de la comunidad, lo que suele ser habitual en el cuadrante suroccidental de Madrid, y donde tras la reducción otoñal del contaminante, se observa un cierto incremento en el último muestreo efectuado hacia el final de noviembre.

Tabla EvoO.VII Evolución en 2016 de las concentraciones de O₃ en la estación de Navas del Rey

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	31/03/2016	61,15	10	2ª de julio	04/08/2016	71,25
3	1ª de abril	15/04/2016	62,37	11	1ª de agosto	18/08/2016	77,36
4	2ª de abril	29/04/2016	70,90	12	2ª de agosto	06/09/2016	70,53
5	1ª de mayo	11/05/2016	74,29	13	1ª de septiembre	20/09/2016	68,27
6	2ª de mayo	25/05/2016	74,48	14	2ª de septiembre	07/10/2016	71,46
7	1ª de junio	07/06/2016	69,39	15	1ª de octubre	21/10/2016	46,99
8	2ª de junio	23/06/2016	64,54	16	2ª de octubre	04/11/2016	44,48
9	1ª de julio	14/07/2016	66,04	17	1ª de noviembre	17/11/2016	57,23
Media							65,67

En *rojo, valor máximo; en *azul, valor mínimo.

Figura EvoO.VII





E-024-01 – Alcalá de Henares

Contrariamente, en la estación de Alcalá de Henares se han obtenido niveles considerablemente superiores al pasar la inmisión media de 33 a 49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en lo que supone un notable incremento respecto al año pasado, si bien los valores obtenidos han tendido a situarse por debajo de los valores medios de la comunidad en el último año. En cuanto al comportamiento anual,

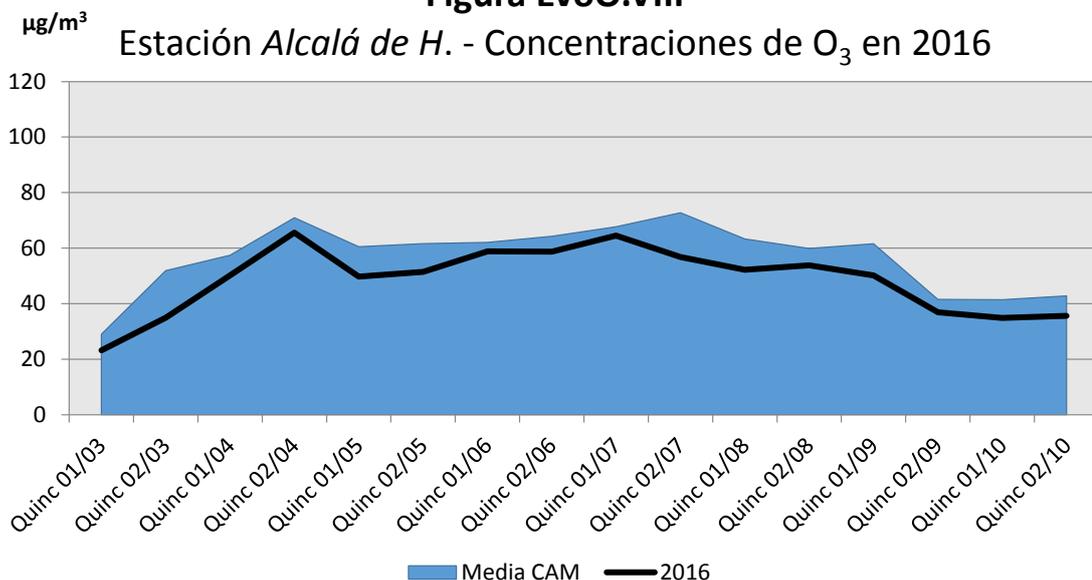
como suele ser habitual, se han obtenido valores mayores a lo largo del verano, cuando las mayores temperaturas y la radiación solar favorecen la conversión de los elementos precursores en ozono troposférico, con una reducción a medida que va avanzando el año y destacando, como en buena parte de las parcelas anteriores, el máximo local obtenido a finales de abril.

Tabla EvoO.VIII Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de Alcalá de Henares

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	30/03/2016	23,15	10	2ª de julio	04/08/2016	64,56
3	1ª de abril	15/04/2016	35,00	11	1ª de agosto	17/08/2016	56,75
4	2ª de abril	29/04/2016	50,16	12	2ª de agosto	05/09/2016	52,15
5	1ª de mayo	09/05/2016	65,61	13	1ª de septiembre	19/09/2016	53,83
6	2ª de mayo	24/05/2016	49,76	14	2ª de septiembre	04/10/2016	50,12
7	1ª de junio	08/06/2016	51,43	15	1ª de octubre	20/10/2016	36,87
8	2ª de junio	22/06/2016	58,84	16	2ª de octubre	02/11/2016	34,89
9	1ª de julio	13/07/2016	58,76	17	1ª de noviembre	18/11/2016	35,61
Media							48,59

En *rojo*, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

Figura EvoO.VIII





E-024-03 – Fuentidueña del Tajo

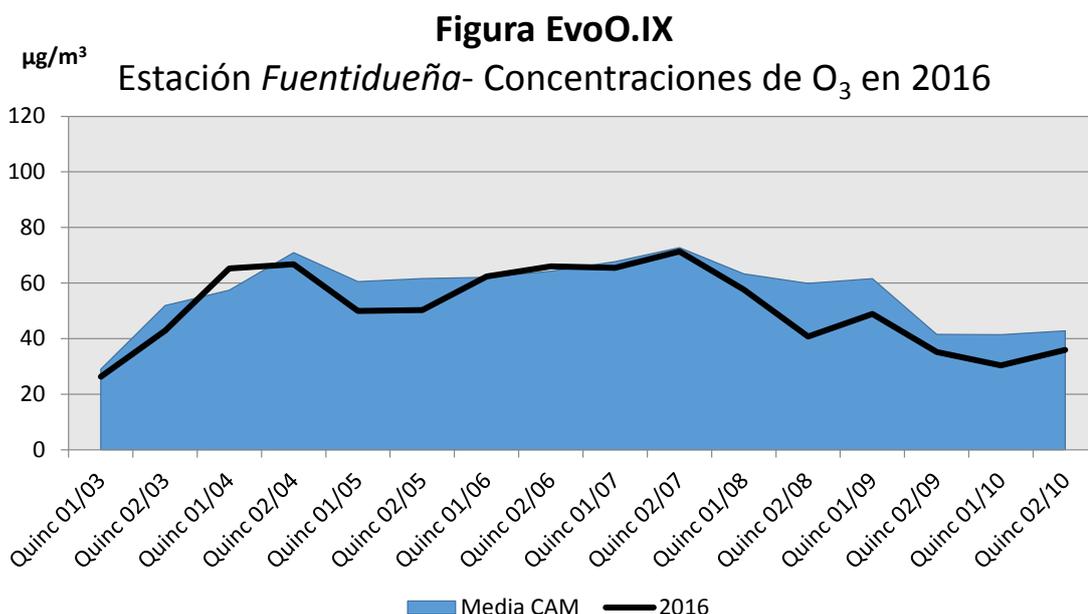
En Fuentidueña de Tajo, y tal y como ocurriera en Alcalá de Henares –estación con la que habitualmente mantiene semejanzas de comportamiento-, se registra también un incremento en los niveles del contaminante, al pasar de 38 a 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con una evolución temporal similar: máximos a mediados del verano, reducción a

medida que va entrando el otoño y el mencionado aumento o pico local observado a finales de abril y que se ha configurado como un rasgo particular de la presente revisión. Por regla general, las concentraciones observadas en Fuentidueña han tendido a ser inferiores a las registradas en el conjunto de la comunidad.

Tabla EvoO.IX Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Fuentidueña del Tajo*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	30/03/2016	26,27	10	2ª de julio	04/08/2016	65,42
3	1ª de abril	15/04/2016	42,88	11	1ª de agosto	17/08/2016	71,35
4	2ª de abril	29/04/2016	65,25	12	2ª de agosto	05/09/2016	57,63
5	1ª de mayo	09/05/2016	66,71	13	1ª de septiembre	19/09/2016	40,76
6	2ª de mayo	24/05/2016	49,96	14	2ª de septiembre	04/10/2016	48,84
7	1ª de junio	08/06/2016	50,23	15	1ª de octubre	20/10/2016	35,16
8	2ª de junio	22/06/2016	62,35	16	2ª de octubre	02/11/2016	30,33
9	1ª de julio	13/07/2016	65,99	17	1ª de noviembre	18/11/2016	35,89
Media							50,94

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.





E-026-02 – Robledo de Chavela

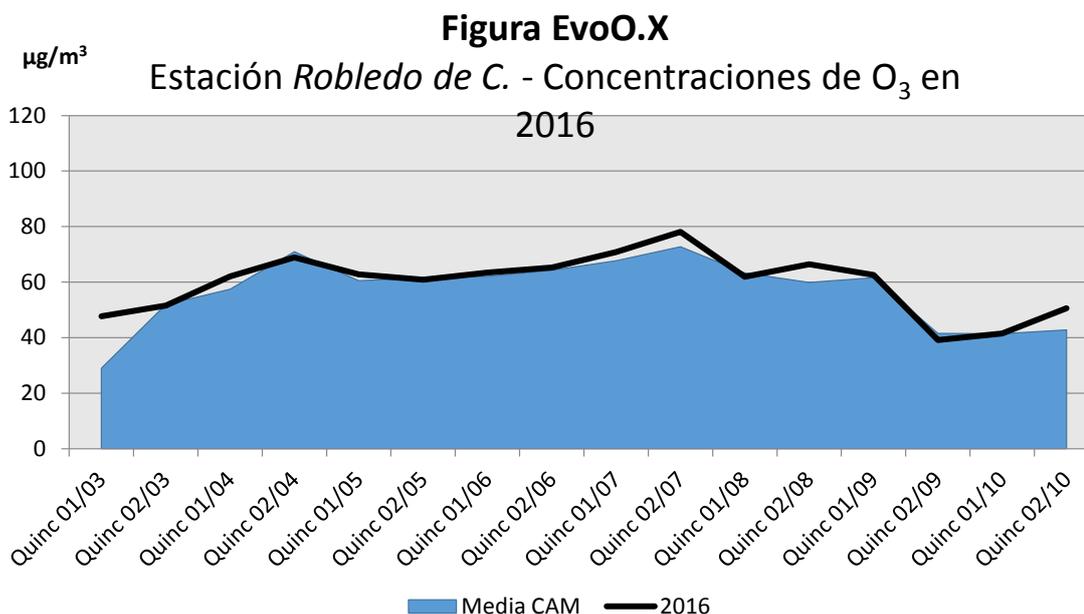
En la presente revisión, y tal y como ha sucedido en la mayoría de las estaciones, se registra una ligera reducción en la concentración media de ozono con respecto a 2015, pasando de 63 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nuevamente se repite el patrón de distribución temporal

de la red, con máximos en agosto y decaimiento de los valores a comienzos y final del muestreo, cuando se reducen la temperatura y la radiación solar, y situándose los valores medios por encima de la media de la comunidad, como ya ocurriera el año pasado.

Tabla EvoO.X Evolución en 2016 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Robledo de Chavela*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	31/03/2016	47,75	10	2ª de julio	04/08/2016	70,86
3	1ª de abril	15/04/2016	51,55	11	1ª de agosto	18/08/2016	78,13
4	2ª de abril	29/04/2016	62,03	12	2ª de agosto	06/09/2016	61,96
5	1ª de mayo	11/05/2016	68,87	13	1ª de septiembre	20/09/2016	66,40
6	2ª de mayo	25/05/2016	62,78	14	2ª de septiembre	07/10/2016	62,61
7	1ª de junio	07/06/2016	60,81	15	1ª de octubre	21/10/2016	39,17
8	2ª de junio	23/06/2016	63,41	16	2ª de octubre	04/11/2016	41,51
9	1ª de julio	14/07/2016	65,31	17	1ª de noviembre	17/11/2016	50,63
Media							59,61

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.





5.4.2. Dióxido de nitrógeno

E-021-01 - San Lorenzo de El Escorial

En lo que respecta los óxidos de nitrógeno en El Escorial, se ha registrado un apreciable incremento en la presente revisión, al pasarse de 0,86 a 1,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la presente revisión, advirtiéndose un incremento más o menos lineal de la variable a medida que ha ido avanzando el año, y con las mayores tasas concentradas en agosto y septiembre, con una ligera reducción en el

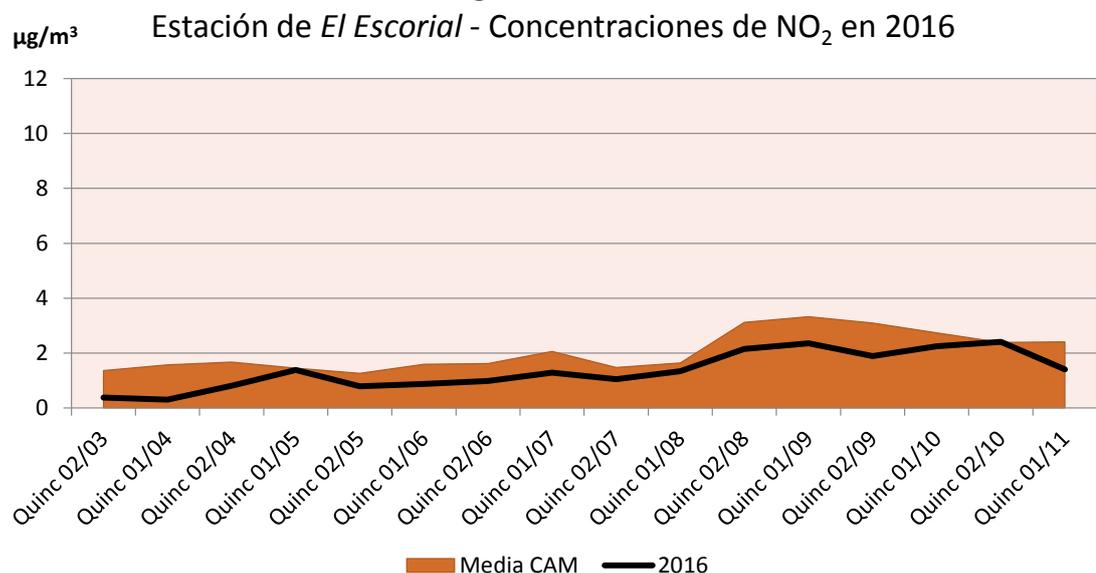
mes de noviembre. Cabe hacer constar también que este contaminante está menos influido por el movimiento de las masas de aire que el ozono, de forma que tiende a concentrarse en las inmediaciones de los núcleos de emisión y a baja altitud, al contrario que el O_3 . Los niveles observados así en El Escorial se disponen por debajo de las concentraciones media de la comunidad.

Tabla EvoNO.I Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *San Lorenzo de El Escorial*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,37	10	2ª de julio	05/08/2016	1,04	
3	1ª de abril	14/04/2016	0,30	11	1ª de agosto	18/08/2016	1,34	
4	2ª de abril	29/04/2016	0,80	12	2ª de agosto	06/09/2016	2,15	
5	1ª de mayo	10/05/2016	1,38	13	1ª de septiembre	20/09/2016	2,35	
6	2ª de mayo	25/05/2016	0,79	14	2ª de septiembre	06/10/2016	1,89	
7	1ª de junio	07/06/2016	0,87	15	1ª de octubre	21/10/2016	2,25	
8	2ª de junio	23/06/2016	0,98	16	2ª de octubre	03/11/2016	2,41	
9	1ª de julio	14/07/2016	1,28	17	1ª de noviembre	17/11/2016	1,41	
							Media	1,35

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.I





E-021-02 - Cercedilla

En cuanto a los niveles de óxidos de nitrógeno en Cercedilla, se observa también un ligero aumento en los niveles de inmisión, no tan acusado como en la estación anterior, al pasar de 0,83 a 1,07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la revisión del año en curso, presentando los mayores valores un comportamiento marcadamente estacional, concentrados a lo largo de agosto-septiembre, siempre en niveles de concentración bajos, y por las mismas razones

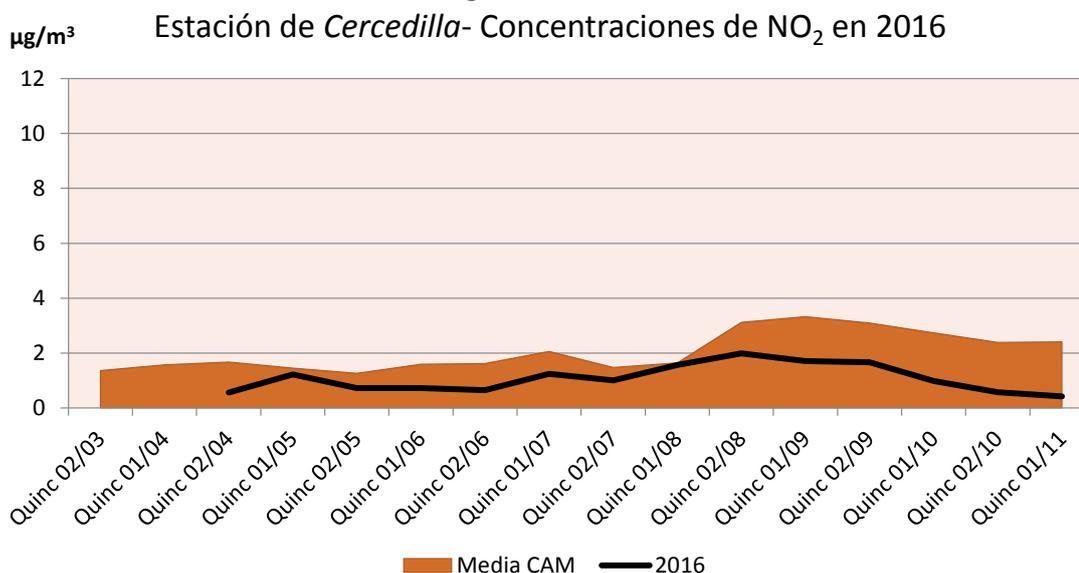
que en el caso de El Escorial: elevada altitud y lejanía a los focos de emisión (fundamentalmente el tráfico rodado, responsable del cerca del 80% de las emisiones según la información CORINE). Al igual que en el caso anterior, la inmisión en Cercedilla ha tendido a situarse en valores inferiores a las concentraciones medias de la comunidad a lo largo de todos los muestreos efectuados.

Tabla EvoNO.II Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *Cercedilla*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo			10	2ª de julio	05/08/2016	1,00	
3	1ª de abril			11	1ª de agosto	18/08/2016	1,57	
4	2ª de abril	14/04/2016	0,56	12	2ª de agosto	06/09/2016	1,98	
5	1ª de mayo	28/04/2016	1,22	13	1ª de septiembre	20/09/2016	1,71	
6	2ª de mayo	10/05/2016	0,72	14	2ª de septiembre	07/10/2016	1,66	
7	1ª de junio	25/05/2016	0,72	15	1ª de octubre	21/10/2016	0,98	
8	2ª de junio	07/06/2016	0,65	16	2ª de octubre	03/11/2016	0,57	
9	1ª de julio	23/06/2016	1,24	17	1ª de noviembre	17/11/2016	0,42	
							Media	1,07

En *rojo, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

Figura EvoNO.II





E-021-05 - Rascafría

En lo que respecta a la estación de Rascafría, y tal como ya se observara el año pasado, se advierte un ligero aumento en los niveles de concentración media con respecto a 2015, pasándose de 0,86 a 1,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al igual que en estaciones anteriores, los máximos se han observado a partir de la segunda mitad de agosto,

momento a partir del cual han ido disminuyendo progresivamente a medida que iba avanzando el otoño. Se advierte también un ligero incremento puntual a finales de abril mientras que el nivel medio observado es en términos generales inferior a la media de la comunidad.

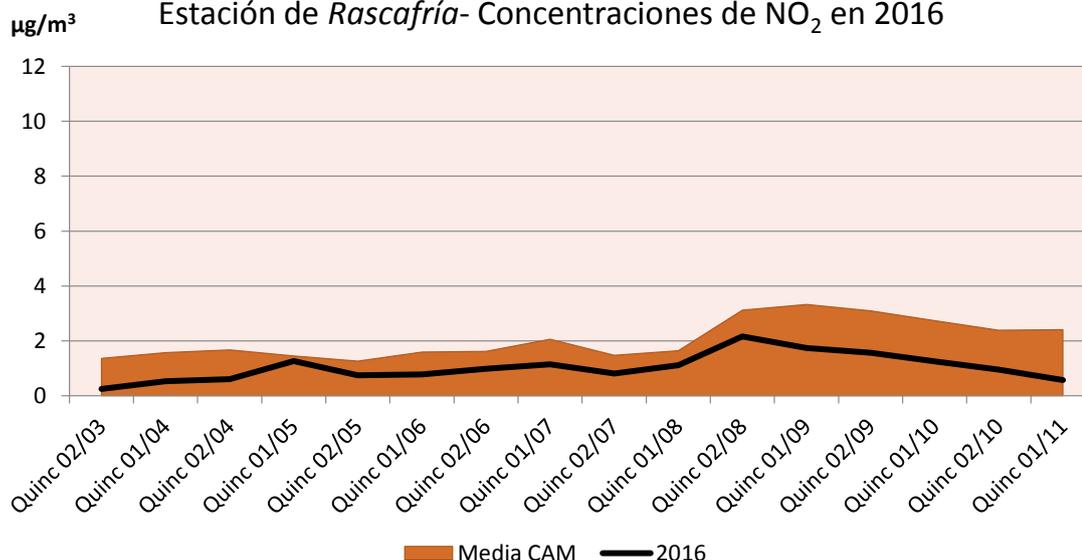
Tabla EvoNO.III Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de Rascafría

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,25	10	2ª de julio	05/08/2016	0,81	
3	1ª de abril	14/04/2016	0,53	11	1ª de agosto	18/08/2016	1,11	
4	2ª de abril	28/04/2016	0,60	12	2ª de agosto	05/09/2016	2,15	
5	1ª de mayo	10/05/2016	1,27	13	1ª de septiembre	20/09/2016	1,74	
6	2ª de mayo	24/05/2016	0,74	14	2ª de septiembre	07/10/2016	1,56	
7	1ª de junio	07/06/2016	0,77	15	1ª de octubre	21/10/2016	1,25	
8	2ª de junio	23/06/2016	0,98	16	2ª de octubre	03/11/2016	0,94	
9	1ª de julio	14/07/2016	1,14	17	1ª de noviembre	17/11/2016	0,57	
							Media	1,03

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.III

Estación de Rascafría- Concentraciones de NO_2 en 2016





E-021-07 – Canencia de la Sierra

En Canencia de la Sierra se registra, al igual que en otras estaciones, un incremento en el nivel de los óxidos de nitrógeno, que pasan de 1,20 a 1,52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pese a lo cual se mantiene en tasas en general reducidas, debido también a su posición geográfica, en la ladera de

un valle, y donde se advierten los mayores niveles en el mes de agosto, momento a partir del cual comienza a reducirse a medida que avanza el otoño, y situándose por regla general por debajo de las concentraciones medias de la comunidad.

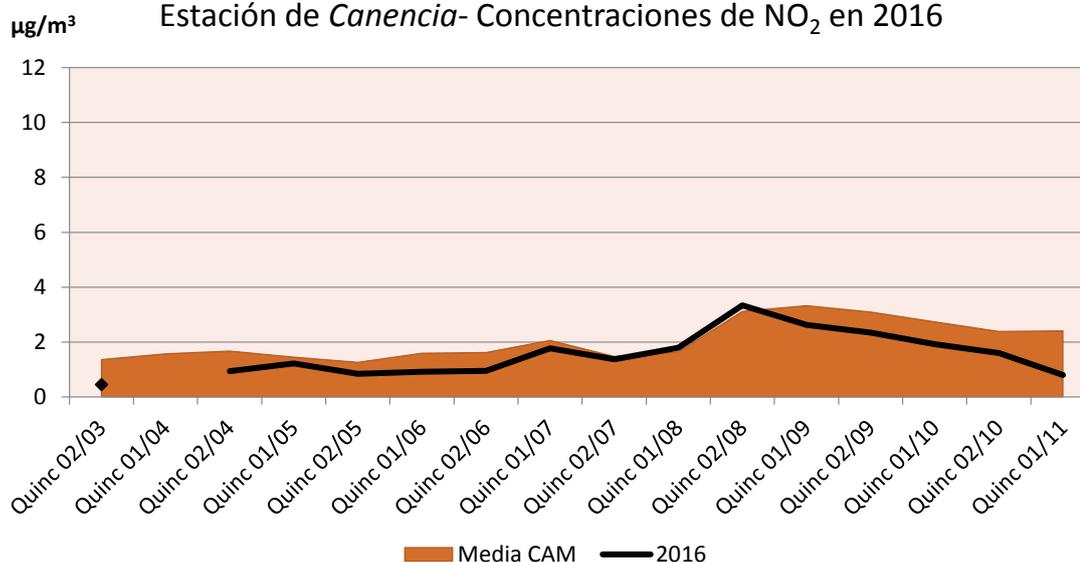
Tabla EvoNO.IV Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *Canencia de la Sierra*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,45	10	2ª de julio	05/08/2016	1,37	
3	1ª de abril	14/04/2016		11	1ª de agosto	18/08/2016	1,80	
4	2ª de abril	28/04/2016	0,94	12	2ª de agosto	05/09/2016	3,33	
5	1ª de mayo	10/05/2016	1,22	13	1ª de septiembre	20/09/2016	2,62	
6	2ª de mayo	24/05/2016	0,84	14	2ª de septiembre	07/10/2016	2,34	
7	1ª de junio	07/06/2016	0,91	15	1ª de octubre	21/10/2016	1,92	
8	2ª de junio	23/06/2016	0,95	16	2ª de octubre	03/11/2016	1,59	
9	1ª de julio	14/07/2016	1,77	17	1ª de noviembre	17/11/2016	0,80	
							Media	1,52

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.IV

Estación de *Canencia*- Concentraciones de NO_2 en 2016





E-021-11 – Braojos

En Braojos, se registran concentraciones comparativamente bajas de óxidos de nitrógeno, habida cuenta además de la posición de la parcela, en el extremo norte de la comunidad y alejada de los principales focos de emisión, registrándose sin embargo un incremento en

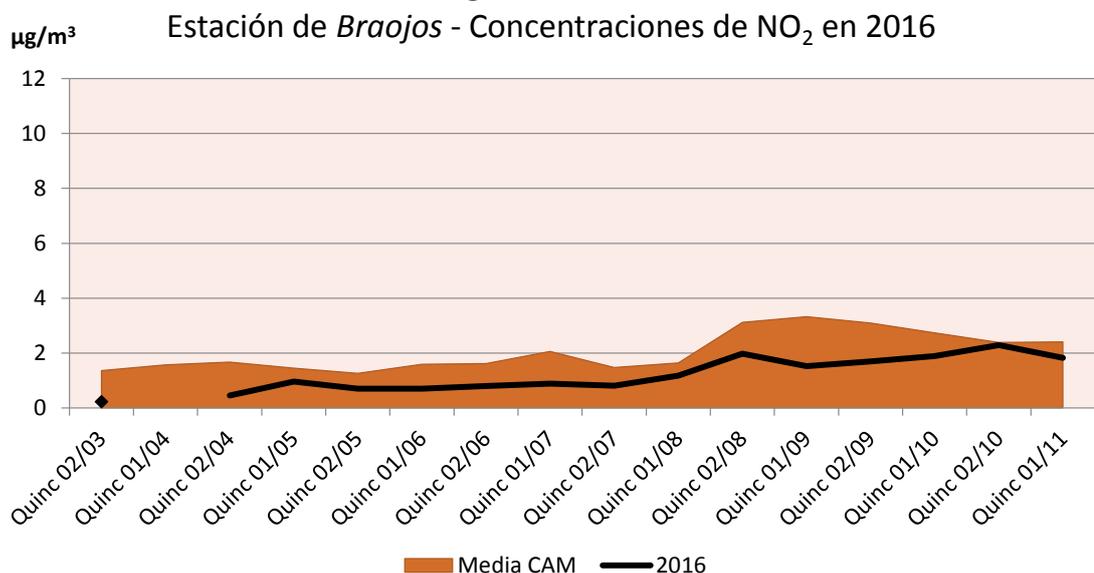
los niveles de inmisión, que pasan de 0,72 a 1,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y donde destaca, además del habitual máximo de comienzos de agosto, uno más marcado a fines de octubre, siempre por debajo de los valores medios de la comunidad, como ha solido ser la tónica en este punto.

Tabla EvoNO.V Evolución en 2016 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Braojos

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,22	10	2ª de julio	05/08/2016	0,81	
3	1ª de abril	14/04/2016		11	1ª de agosto	18/08/2016	1,17	
4	2ª de abril	28/04/2016	0,45	12	2ª de agosto	05/09/2016	1,98	
5	1ª de mayo	10/05/2016	0,96	13	1ª de septiembre	20/09/2016	1,52	
6	2ª de mayo	24/05/2016	0,70	14	2ª de septiembre	07/10/2016	1,69	
7	1ª de junio	07/06/2016	0,70	15	1ª de octubre	21/10/2016	1,89	
8	2ª de junio	23/06/2016	0,80	16	2ª de octubre	03/11/2016	2,28	
9	1ª de julio	14/07/2016	0,89	17	1ª de noviembre	17/11/2016	1,82	
							Media	1,19

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.V





E-021-14 – Montejo de la Sierra

Por lo que respecta a la estación de Montejo de la Sierra, y tal como ha ocurrido en otras estaciones, se advierte un incremento en los niveles de óxidos de nitrógeno, que pasan de 0,85 a 1,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lejos sin embargo de los 2,07 obtenidos en la evaluación de 2014. En cuanto al comportamiento del contaminante se advierte

el habitual máximo a finales de agosto, momento a partir del cual inicia su descenso a medida que avanza el otoño, siempre por debajo de los valores medios de la comunidad, excepción hecha del comienzo de la primavera, cuando las concentraciones son ligeramente superiores.

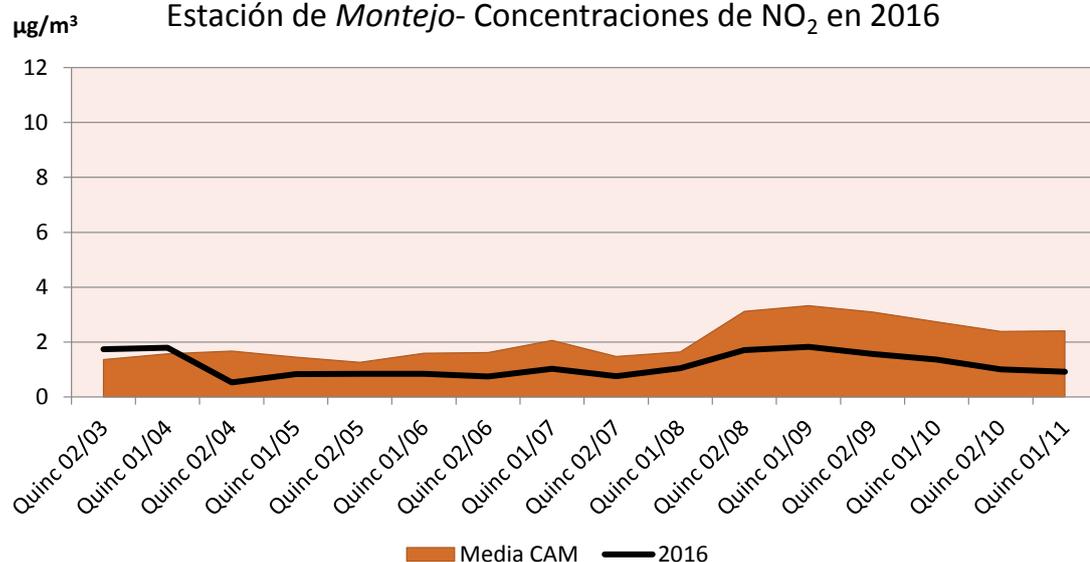
Tabla EvoNO.VI Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *Montejo de la Sierra*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	1,74	10	2ª de julio	05/08/2016	0,75	
3	1ª de abril	14/04/2016	1,79	11	1ª de agosto	18/08/2016	1,04	
4	2ª de abril	28/04/2016	0,53	12	2ª de agosto	05/09/2016	1,71	
5	1ª de mayo	10/05/2016	0,83	13	1ª de septiembre	20/09/2016	1,82	
6	2ª de mayo	24/05/2016	0,84	14	2ª de septiembre	07/10/2016	1,57	
7	1ª de junio	07/06/2016	0,84	15	1ª de octubre	21/10/2016	1,36	
8	2ª de junio	23/06/2016	0,74	16	2ª de octubre	03/11/2016	1,00	
9	1ª de julio	14/07/2016	1,03	17	1ª de noviembre	17/11/2016	0,91	
							Media	1,16

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.VI

Estación de *Montejo*- Concentraciones de NO_2 en 2016





E-023-03 – Navas del Rey

Los niveles medios de óxidos de nitrógeno en Navas del Rey experimentan, como otros puntos de la red, un incremento con respecto a la revisión anterior, pasando de 1,27 a 1,46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, destacando únicamente el periodo agosto-septiembre en que el nivel de fondo ha superado

los 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, momento a partir del cual las concentraciones han ido disminuyendo a medida que avanzaba el otoño, en lo que parece configurar una tendencia, y con niveles en general por debajo de las tasas medias de la comunidad.

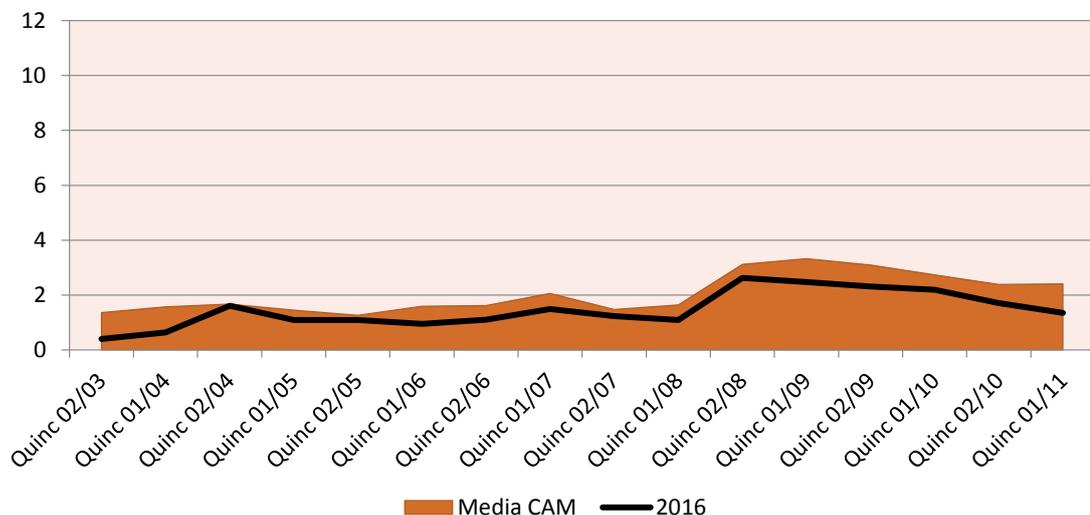
Tabla EvoNO.VII Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *Navas del Rey*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	0,40	10	2ª de julio	04/08/2016	1,23	
3	1ª de abril	15/04/2016	0,63	11	1ª de agosto	18/08/2016	1,09	
4	2ª de abril	29/04/2016	1,60	12	2ª de agosto	06/09/2016	2,63	
5	1ª de mayo	11/05/2016	1,09	13	1ª de septiembre	20/09/2016	2,47	
6	2ª de mayo	25/05/2016	1,09	14	2ª de septiembre	07/10/2016	2,31	
7	1ª de junio	07/06/2016	0,95	15	1ª de octubre	21/10/2016	2,19	
8	2ª de junio	23/06/2016	1,10	16	2ª de octubre	04/11/2016	1,71	
9	1ª de julio	14/07/2016	1,49	17	1ª de noviembre	17/11/2016	1,35	
							Media	1,46

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.VII

Estación de *Navas del R.*- Concentraciones de NO_2 en 2016





E-024-01 – Alcalá de Henares

Por lo que se refiere a los niveles encontrados en Alcalá de Henares, nos encontramos en la estación más afectada de toda la comunidad, lo que no resulta extraño conocida su ubicación, en lo alto de un monte en la industrializada zona del Corredor del Henares y próxima a la A-2, una de las vías de mayor intensidad de tráfico de la región; junto con el comportamiento de este contaminante, que tiende a disponerse en las inmediaciones de los focos de emisión, no resultando tan afectado por el movimiento de las masas de aire. Se registran así tasas elevadas en relación al resto de la red,

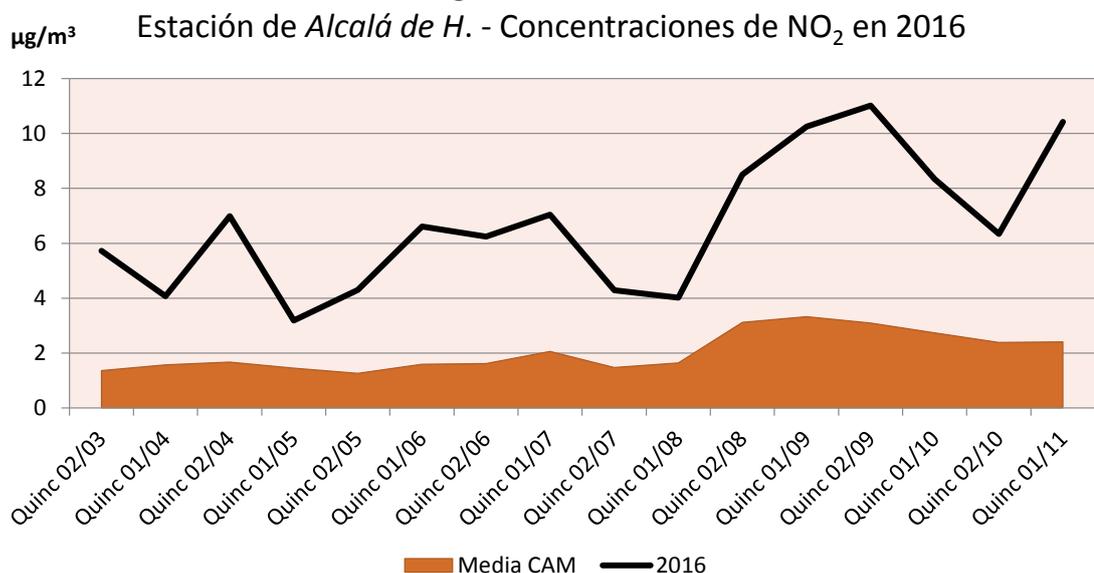
superándose en varias ocasiones el umbral de los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y resultando el punto con mayor nivel en prácticamente todas las revisiones efectuadas, tal como ya se advirtiera en años anteriores. Se observa también un incremento en el nivel medio del contaminante, que pasa de 4,29 a 6,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ con un claro máximo entre mediados de agosto y mediados de septiembre y un marcado repunte a comienzos de noviembre. Rara vez se han observado concentraciones por debajo del umbral de 4,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla EvoNO.VIII Evolución en 2016 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Alcalá de Henares

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	2ª de marzo	30/03/2016	5,72	10	2ª de julio	04/08/2016	4,29
3	1ª de abril	15/04/2016	4,07	11	1ª de agosto	17/08/2016	4,02
4	2ª de abril	29/04/2016	6,99	12	2ª de agosto	05/09/2016	8,50
5	1ª de mayo	09/05/2016	3,18	13	1ª de septiembre	19/09/2016	10,25
6	2ª de mayo	24/05/2016	4,30	14	2ª de septiembre	04/10/2016	11,02
7	1ª de junio	08/06/2016	6,61	15	1ª de octubre	20/10/2016	8,34
8	2ª de junio	22/06/2016	6,24	16	2ª de octubre	02/11/2016	6,34
9	1ª de julio	13/07/2016	7,04	17	1ª de noviembre	18/11/2016	10,43
Media							6,71

En *rojo, valor máximo; en *azul, valor mínimo.

Figura EvoNO.VIII





E-024-03 – Fuentidueña del Tajo

Por lo que se refiere a Fuentidueña de Tajo, se advierte en primer lugar –como ha sucedido en el punto anterior- un aumento en la concentración media de este contaminante con respecto a la revisión anterior, al pasar de 1,95 a 2,71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo así una estación con niveles comparativamente altos dentro de la red, y por las mismas razones que en el caso de Alcalá de Henares, aunque la

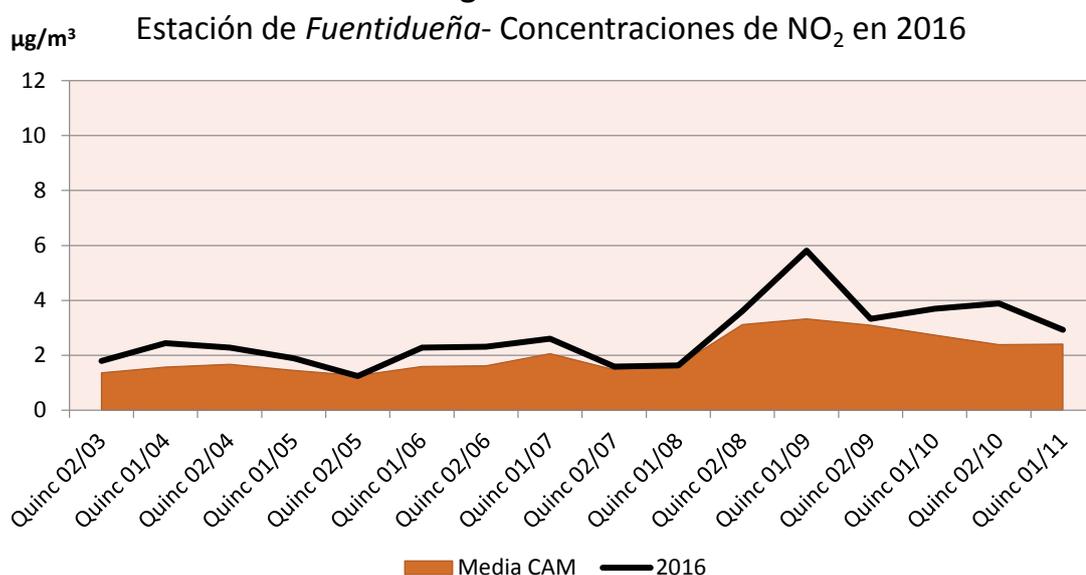
concentración industrial de la zona es mucho más reducida. Al igual que sucediera en años anteriores se advierte un cierto incremento de los niveles a lo largo del último trimestre, con un máximo muy marcado a comienzos de septiembre. El nivel de óxidos de nitrógeno se ha situado con carácter general por encima de los valores medios de la comunidad.

Tabla EvoNO.IX Evolución en 2016 de las concentraciones de NO₂ en la estación de *Fuentidueña del Tajo*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	30/03/2016	1,79	10	2ª de julio	04/08/2016	1,58	
3	1ª de abril	15/04/2016	2,44	11	1ª de agosto	17/08/2016	1,63	
4	2ª de abril	29/04/2016	2,27	12	2ª de agosto	05/09/2016	3,61	
5	1ª de mayo	09/05/2016	1,88	13	1ª de septiembre	19/09/2016	5,81	
6	2ª de mayo	24/05/2016	1,24	14	2ª de septiembre	04/10/2016	3,33	
7	1ª de junio	08/06/2016	2,28	15	1ª de octubre	20/10/2016	3,69	
8	2ª de junio	22/06/2016	2,31	16	2ª de octubre	02/11/2016	3,89	
9	1ª de julio	13/07/2016	2,61	17	1ª de noviembre	18/11/2016	2,92	
							Media	2,71

En *rojo, valor máximo; en *azul*, valor mínimo.

Figura EvoNO.IX





E-026-02 – Robledo de Chavela

En lo que respecta a los niveles en la estación de Robledo de Chavela, se advierte en primer lugar una ligera disminución del nivel medio del parámetro al pasar de 2,25 a 2,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la evaluación del año en curso, registrando un incremento notable a partir de mediados de agosto y hasta finales de la prospección, superándose los

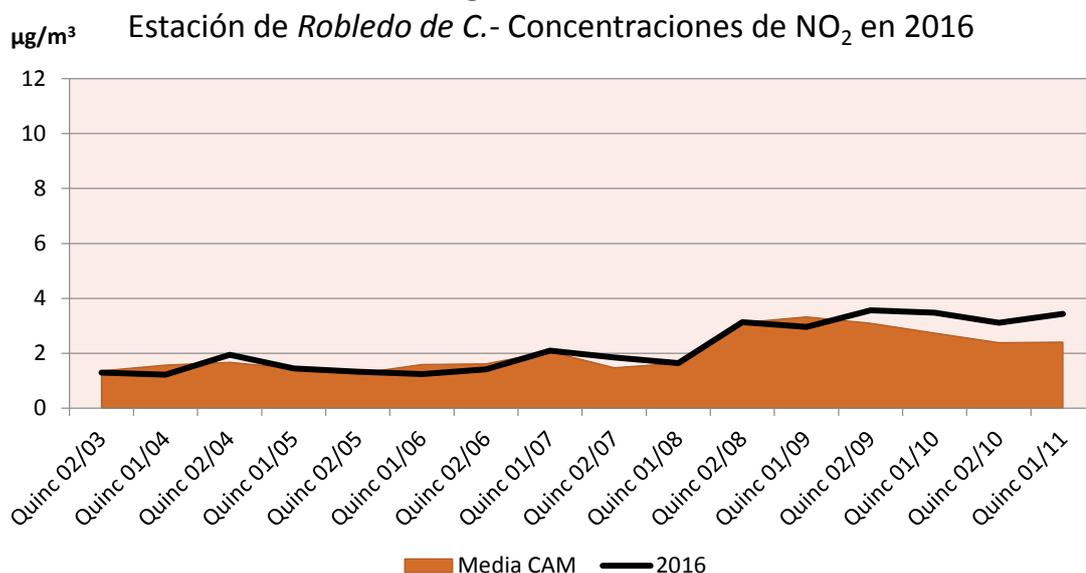
3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en todas las evaluaciones, tramo en el que se han superado claramente los niveles medios de la comunidad, lo que no ocurría en el periodo anterior, en el que concentración del punto y concentración media se situaron en valores similares.

Tabla EvoNO.X Evolución en 2016 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *Robledo de Chavela*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	2ª de marzo	31/03/2016	1,29	10	2ª de julio	04/08/2016	1,84	
3	1ª de abril	15/04/2016	1,22	11	1ª de agosto	18/08/2016	1,63	
4	2ª de abril	29/04/2016	1,94	12	2ª de agosto	06/09/2016	3,13	
5	1ª de mayo	11/05/2016	1,44	13	1ª de septiembre	20/09/2016	2,96	
6	2ª de mayo	25/05/2016	1,33	14	2ª de septiembre	07/10/2016	3,56	
7	1ª de junio	07/06/2016	1,24	15	1ª de octubre	21/10/2016	3,48	
8	2ª de junio	23/06/2016	1,41	16	2ª de octubre	04/11/2016	3,11	
9	1ª de julio	14/07/2016	2,09	17	1ª de noviembre	17/11/2016	3,43	
							Media	2,20

En "rojo", valor máximo; en "azul", valor mínimo.

Figura EvoNO.X





6. RESULTADOS ANALÍTICOS FOLIARES

6.1. INTRODUCCIÓN

Para realizar un estudio completo sobre el estado fitosanitario de una masa arbórea, no sólo basta con centrarse en los parámetros ya analizados, sino que además han de considerarse las posibles afecciones relacionadas con agentes contaminantes. Las sustancias que especialmente pueden incidir sobre el normal funcionamiento de los órganos de las plantas son, por un lado, el dióxido de azufre (SO_2) cuya determinación resulta relativamente sencilla mediante el análisis en laboratorio del contenido de azufre total, azufre hidrosoluble y azufre orgánico, y su posterior comparación con unos valores patrón de cada especie en lugares no contaminados. Por otro lado tenemos el complejo óxidos de nitrógeno-ozono, que provienen en un 80% de los motores de combustión, y cuya determinación es dificultosa ya que actúa como oxidante de otros compuestos sin acumularse en los tejidos; para valorar su posible afección hay que recurrir a una cuidadosa evaluación de la sintomatología, realizada por personal especializado.

6.2. AFECCIÓN POR AZUFRE

El azufre, junto con el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio, forman parte de los llamados elementos principales, indispensables e insustituibles en la vida de las plantas. Se encuentra en el suelo en forma de compuestos orgánicos, minerales sulfurosos y sulfatos de Ca, Mg y Na. Su disponibilidad es en forma de SO_4^{2-} muy soluble, pero también puede ser captado del SO_2 atmosférico.

La incorporación del azufre a la planta se hace como ión libre, en compuestos como SH o como éster en proteínas, coenzimas y metabolitos secundarios, pasando a formar parte del protoplasma celular y enzimas. Su acumulación preferencial tiene lugar en las hojas y semillas.

El impacto de la deposición del azufre atmosférico sobre los ecosistemas forestales ha sido, y es todavía, motivo de numerosas controversias entre los científicos (MILLER & McBRIDE, 1975; LINZON, 1978;

SMITH, 1981). Estas discusiones han proliferado en los últimos años como consecuencia del debilitamiento progresivo de los bosques en Europa y la parte este de Estados Unidos y Canadá (McLAUGHLIN, 1985). Sin embargo, no es fácil establecer valores límite debido a que tenemos un conocimiento muy elemental del funcionamiento de los ecosistemas forestales.

Cuando la planta está sometida a un aire contaminante con SO_2 se presenta un incremento del contenido foliar en azufre. Aunque el dióxido de azufre, después de su absorción a través de los estomas, puede satisfacer parte de las necesidades de azufre que tienen las plantas, existe un límite para la velocidad a la que pueden metabolizarlo, siendo el sulfito, producto intermedio en la oxidación del contaminante, el que ocasiona una mayor toxicidad. Ese límite, o nivel básico de concentración de azufre, es característico de cada especie y se denomina valor patrón de azufre para la misma.

Además del Azufre Total es importante conocer la fracción hidrosoluble y la orgánica. La primera representa la parte de azufre total que se encuentra en forma de sulfatos, mientras que la segunda se define como la proporción de azufre que está retenido en la planta en forma orgánica, formando parte, fundamentalmente, de las proteínas. Por último, se suele considerar también el valor del coeficiente entre el azufre hidrosoluble y el azufre orgánico, siguiendo las indicaciones de algunos autores (LEGGE & KRUPA, 1988), que lo consideran más significativo que la utilización de cada uno de esos valores por separado.



6.3. TOMA DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTO ANALÍTICO

Para la realización de los análisis foliares se tomaron varios ramillos del tercio superior de la copa de cada uno de los árboles evaluados. Estas muestras se enviaron para su análisis al Laboratorio Integrado de Calidad Ambiental de la Universidad de Navarra (LICA-UNAV), quedando a cargo del Dr. David Elustondo.

Antes de la realización de los análisis se procedió a la preparación de las muestras foliares. Para ello se separaron las hojas y acículas de los ramillos y, sin lavarlas, se secaron en estufa a 70 °C durante 24 horas. Posteriormente se trituraron e introdujeron en frascos de plástico para su conservación hasta el momento de los análisis.

Azufre hidrosoluble

- Extracción del azufre hidrosoluble por agitación continua durante 30 minutos con agua destilada.
 - Filtración del extracto y determinación de los sulfatos mediante cromatografía iónica, previa purificación en Sep-Pack c-18.
 - Columna ICPACK-aniónica.
 - Fase móvil borato-gluconato
- pH: 8,5.
- Detector de conductividad.

Azufre total

- Determinación automática en celda de infrarrojos con espectroscopio de emisión atómica ICP-MS Agilent 7500, previa preparación con digestor de microondas HNO₃.

La determinación del azufre total se basa en la absorción IR por el SO₂. La muestra se quema en un tubo de combustión operando a una temperatura de 1400°C en corriente de O₂ que oxida el S a SO₂. La humedad y las partículas son retenidas por perclorato de magnesio antes de pasar a un detector. Este sensor recibe una intensidad de radiación proporcional a la cantidad de SO₂. El equipo se calibra diariamente con un estándar de carbón cuyo contenido en azufre es de 0,58%±0,03. Las medidas se controlan con una muestra certificada por el CBR (*Community Bureau of Reference* de la Comisión de la Unión Europea) de *Picea abies*. La muestra de referencia es la CRM-101 cuyo contenido certificado es del 0,17%.

6.4. RESULTADOS PARA EL AZUFRE HIDROSOLUBLE

Como se puede apreciar en los resultados, hay una gran diferencia en contenido de esta fracción de azufre entre las diferentes estaciones. Esto es normal debido a la continua transformación de esta fracción según el estado del árbol y de la especie forestal de que se trate.

A grandes rasgos puede considerarse al azufre hidrosoluble como al proveniente de la entrada estomática, no radicular, y relacionada por tanto con los valores de inmisión contaminante en un determinado área

En los resultados estadísticos por especie se puede apreciar que los coeficientes de variación son altos, lo que indica que hay dispersión en los valores encontrados para cada estación. Destacan los comparativamente altos resultados de Fuentidueña y Alcalá de Henares, mencionados ya como puntos “calientes” de la red, mientras disminuye notablemente el valor observado en Cercedilla; Navas del Rey y Robledo de Chavela, en el cuadrante suroccidental de la comunidad, se configuran también como zonas en las que se registran valores comparativamente altos, mientras que el arco occidental de la sierra registra menores niveles.

Tabla 6.I Azufre hidrosoluble en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por estación (2016).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	63,0	67,0	65,0
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	83,0	51,0	67,0
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	50,0	40,0	45,0
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	73,0	98,0	85,5
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	44,0	90,0	67,0
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	115,0	81,0	98,0
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	132,0	77,0	104,5
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	515,0	285,0	400,0
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	826,0	1150,0	988,0
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	82,0	175,0	128,5

En “rojo”, valor más elevado; en “azul”, valor más bajo.

Tabla 6.II Resultados estadísticos para el azufre hidrosoluble.

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$\nu(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	670,5	219,9	155,5	32,8	826,0	515,0	311,0	1341,0
	Año previo	717,5	611,6	432,5	85,2	1150,0	285,0	865,0	1435,0
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	82,0				82,0	82,0	0,0	82,0
	Año previo	175,0				175,0	175,0	0,0	175,0
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	132,0				132,0	132,0	0,0	132,0
	Año previo	77,0				77,0	77,0	0,0	77,0
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	71,3	25,8	10,5	36,1	115,0	44,0	71,0	428,0
	Año previo	71,2	22,7	9,2	31,8	98,0	40,0	58,0	427,0

χ = valor medio; S= desviación estándar; $S\chi$ = error de la media; ν = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores.

6.5. RESULTADOS PARA EL AZUFRE TOTAL

Se observan valores altos en todos los casos, siendo siempre mayores los de las hojas del año previo. Los mayores niveles en las medidas más antiguas se

deben a su mayor exposición en zonas con SO₂ en el aire. Al igual que en el caso anterior, los mayores niveles de azufre total se han obtenido en Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo.

Tabla 6.III Azufre total en µg/g de materia seca. Valores medios por estación (2016)

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	998	1212	1105,0
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	1191	1296	1243,5
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	1098	1263	1180,5
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	1203	1244	1223,5
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	972	1216	1094,0
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1338	1147	1242,5
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	1090	1328	1209,0
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1470	1635	1552,5
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1921	2207	2064,0
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	962	989	975,5

En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Tabla 6.IV Resultados estadísticos para el azufre total.

Especie	Edad de las hojas	\bar{x}	S	S \bar{x}	v(%)	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1695,5	318,9	10,0	18,8	1921,0	1470,0	451,0	3391,0
	Año previo	1921,0	404,5	12,6	21,1	2207,0	1635,0	572,0	3842,0
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	962,0				962,0	962,0	0,0	962,0
	Año previo	989,0				989,0	989,0	0,0	989,0
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	1090,0				1090,0	1090,0	0,0	1090,0
	Año previo	1328,0				1328,0	1328,0	0,0	1328,0
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	1133,3	138,3	0,0	12,2	1338,0	972,0	366,0	6800,0
	Año previo	1229,7	51,1	0,0	4,2	1296,0	1147,0	149,0	7378,0

\bar{x} = valor medio; S= desviación estándar; S \bar{x} = error de la media; v= coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores.

6.6. RESULTADOS PARA EL AZUFRE ORGÁNICO

Se observa gran uniformidad en los resultados. Esto debe interpretarse en el sentido de que hay una transformación de las proteínas y que, por tanto, el exceso

de este elemento está fundamentalmente en forma soluble. Se advierte una reducción notable del parámetro en Fuentidueña de Tajo y un incremento a lo largo de toda la sierra, Cercedilla, Rascafría, Canencia, Braojos, Montejo y Navas, donde se han superado los 1000 µg/g.

Tabla 6.V Azufre orgánico en µg/g de materia seca. Valores medios por estación (2016)

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	935	1145	1040,0
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	1108	1245	1176,5
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	1048	1223	1135,5
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	1130	1146	1138,0
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	928	1126	1027,0
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1223	1066	1144,5
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	958	1251	1104,5
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	955	1350	1152,5
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1095	1057	1076,0
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	880	814	847,0

En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Tabla 6.VI Resultados estadísticos para el azufre orgánico.

Especie	Edad de las hojas	\bar{x}	S	$S_{\bar{x}}$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1025,0	99,0	70,0	9,7	1095,0	955,0	2,0	2050,0
	Año previo	1203,5	207,2	146,5	17,2	1350,0	1057,0	2,0	2407,0
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	880,0				880,0	880,0	1,0	880,0
	Año previo	814,0				814,0	814,0	1,0	814,0
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	958,0				958,0	958,0	1,0	958,0
	Año previo	1251,0				1251,0	1251,0	1,0	1251,0
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	1062,0	115,7	47,2	10,9	1223,0	928,0	6,0	6372,0
	Año previo	1158,5	65,7	26,8	5,7	1245,0	1066,0	6,0	6951,0

\bar{x} = valor medio; S= desviación estándar; $S_{\bar{x}}$ = error de la media; v = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores.

6.7. RELACIÓN AZUFRE HIDROSOLUBLE / AZUFRE ORGÁNICO

A grandes rasgos puede decirse que este cociente expresa la relación existente entre el azufre que la planta ha adquirido por vía estomática, procedente de la atmósfera, y la que se encuentra formando parte de los compuestos orgánicos que constituyen los tejidos vegetales, fundamentalmente proteínas; e indica asimismo la tasa de transformación y asimilación del azufre

atmosférico importada y su inclusión en las cadenas orgánicas del vegetal.

En la presente revisión los valores observados aumentan en general, lo que indicaría un empeoramiento, destacando los resultados obtenidos en Alcalá de Henares, Fuentidueña de Tajo y Robledo de Chavela, mientras se reducen los resultados habidos en Cercedilla, Braojos, Montejo y Rascafría.

Tabla 6.VII Relación azufre hidrosolubles /azufre orgánico (SH/SO). Valores medios por estación (2016)

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	0,067	0,059	0,063
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	0,075	0,041	0,058
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	0,048	0,033	0,040
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	0,065	0,086	0,075
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	0,047	0,080	0,064
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	0,094	0,076	0,085
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	0,138	0,062	0,100
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	0,539	0,211	0,375
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	0,754	1,088	0,921
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	0,093	0,215	0,154

En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Tabla 6.VIII Resultados estadísticos para la relación SH/SO.

Especie	Edad de las hojas	χ	S	S_{χ}	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	0,647	0,152	0,108	23,5	0,754	0,539	2,000	1,294
	Año previo	0,650	0,620	0,438	95,5	1,088	0,211	2,000	1,299
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	0,093				0,093	0,093	1,000	0,093
	Año previo	0,215				0,215	0,215	1,000	0,215
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	0,138				0,138	0,138	1,000	0,138
	Año previo	0,062				0,062	0,062	1,000	0,062
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	0,066	0,018	0,007	26,7	0,094	0,047	6,000	0,396
	Año previo	0,062	0,022	0,009	35,1	0,086	0,033	6,000	0,374

χ = valor medio; S= desviación estándar; S_{χ} = error de la media; v = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores.

6.8. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS VALORES PATRÓN

Como ya se indicó en la primera parte de este capítulo, no sirve de nada conocer la concentración foliar de azufre si no se tienen unos valores de referencia para cada especie que sirvan para saber el grado de contaminación en cada caso. Estos valores se han determinado para las principales especies forestales españolas (DGCN, 1992) y se denominan valores patrón.

A continuación se incluye un mapa con la distribución del exceso de azufre por estación de muestreo. Con respecto a los valores obtenidos el año pasado, se obtiene una distribución muy similar a la del año pasado, con un aumento generalizado del parámetro excepto en la estación de Fuentidueña de Tajo, donde los valores han disminuido ligeramente respecto al año

pasado.

Igualmente se muestran mapas con la evolución de la contaminación en la Comunidad de Madrid desde el año 2003 (Figuras 7.II a 7.X)

En los mapas anteriores, que muestran la evolución del exceso de azufre total respecto al patrón para las distintas zonas de la comunidad, puede verse cómo continúa configurándose una zona más contaminada en el extremo sureste, en la ya repetidamente mencionada alineación Alcalá de Henares-Fuentidueña de Tajo, y que siguiendo el sentido contrario al de las agujas del reloj va configurando una zona en el extremo sureste con mayor nivel de afección, lo que está en consonancia con el modelo general de circulación de vientos en la comunidad de Madrid. Se advierte también una mejoría en el extremo oriental de la comunidad.

Tabla 6.IX. Valores patrón. Contenidos foliares de azufre total (concentraciones en µg/g de materia seca y límites de confianza al 95% y 99%)

Especie	Lc (al 95%)	Lc (al 99%)
<i>Pinus sylvestris</i>	717,18 ± 38,84	717,18 ± 51,13
<i>Pinus pinea</i>	1059,23 ± 62,05	1059,23 ± 81,68
<i>Pinus halepensis</i>	937,85 ± 77,67	937,85 ± 102,24
<i>Pinus pinaster</i>	830,20 ± 51,55	830,20 ± 67,86

Tabla 6.X. Comparación de los resultados para los diversos azufres (µg/g de MS) con los valores patrón. Valores medios por estación (2016)

Estación	T.M	Especie	S hidro.	S total	S org.	Relación	% Exceso
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	65,0	1105,0	1040,0	0,063	54,1
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	67,0	1243,5	1176,5	0,058	73,4
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	45,0	1180,5	1135,5	0,040	64,6
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	85,5	1223,5	1138,0	0,075	70,6
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	67,0	1094,0	1027,0	0,064	52,5
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	98,0	1242,5	1144,5	0,085	73,2
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	104,5	1209,0	1104,5	0,100	14,1
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	400,0	1552,5	1152,5	0,375	65,5
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	988,0	2064,0	1076,0	0,921	120,1
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	128,5	975,5	847,0	0,154	17,5

En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.



Figura 6.I

Exceso de azufre respecto valores patrón según estación
(2016)

Exceso Azufre patrón

EXC-ST

- NO CONTAM.
- CONTAM. LIGERA
- CONTAM. MODERADA
- CONTAM. GRAVE

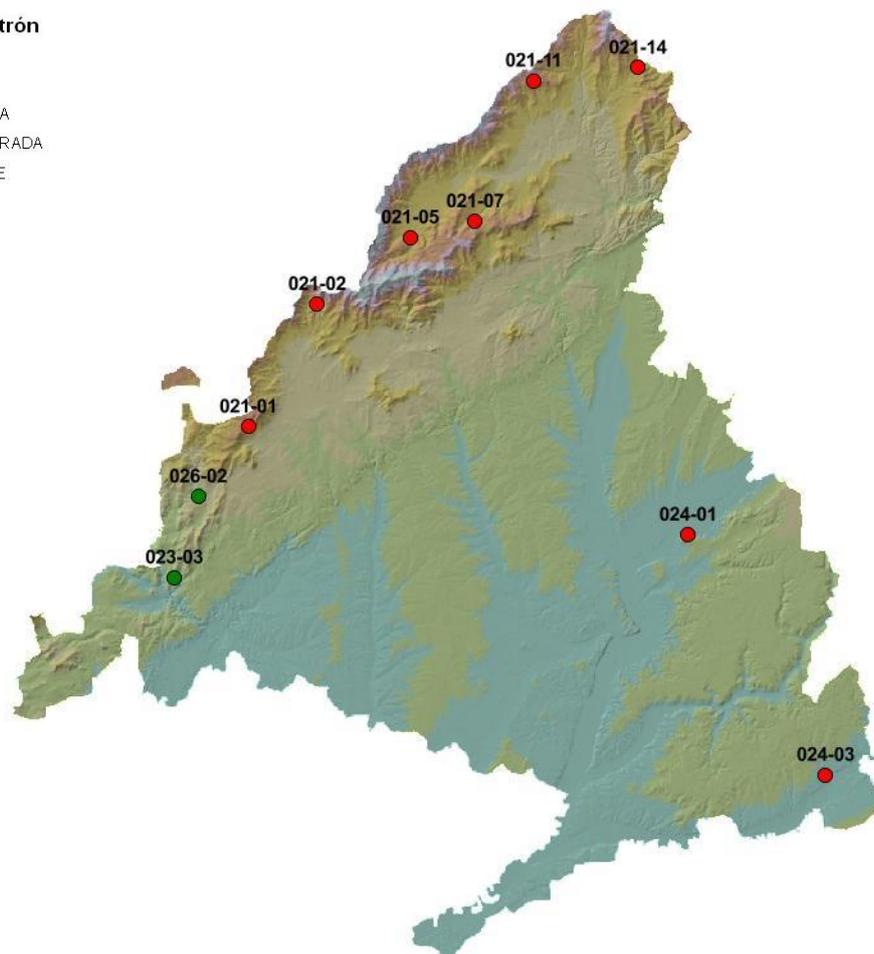
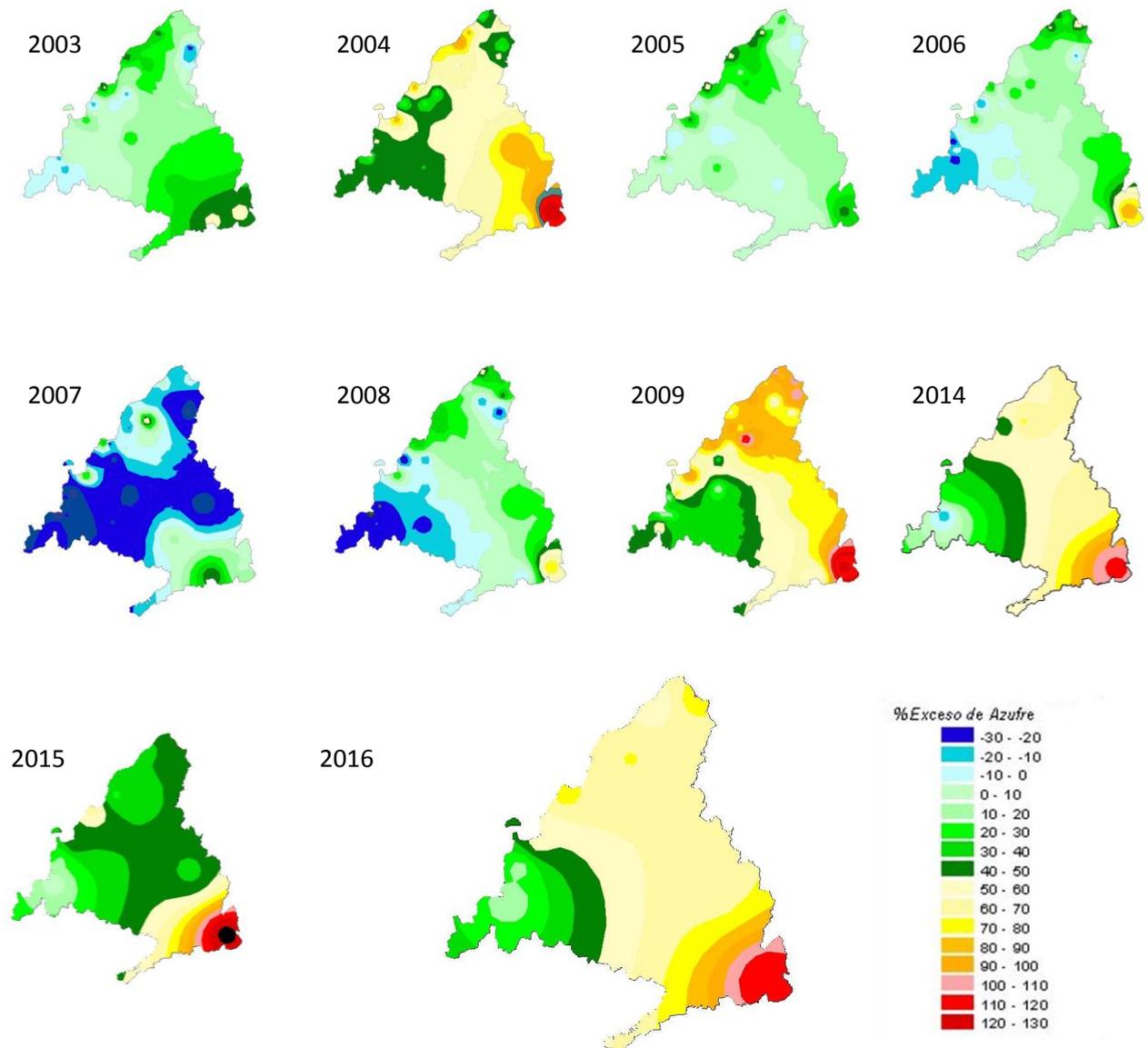




Figura 6.II

Evolución geográfico-temporal del exceso de azufre respecto
los valores patrón





7. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones del presente trabajo cabe apuntar:

1. En la presente revisión, y con respecto a la deposición o throughfall, se ha detectado una acidificación general de las muestras, con disminución de la conductividad, reducción de los niveles generales de cloruros, nitratos y sulfatos, salvo excepciones puntuales. Por lo que se refiere a la inmisión, se ha observado un incremento general de las tasas de óxidos de nitrógeno y una estabilización en los niveles de ozono, alcanzándose con carácter general los mayores niveles en el periodo de mediados de agosto a mediados de septiembre.
2. En cuanto a la climatología durante el periodo de referencia, ha destacado –como el año anterior– por las temperaturas anormalmente altas a lo largo del verano, sobre todo en la mitad sur de la comunidad y un periodo de marcada sequía estival entre mediados de julio y comienzos de septiembre en los que apenas se registraron precipitaciones en las áreas muestradas
3. El comportamiento de la precipitación y muy especialmente la amplitud y distribución de los periodos de sequía resultarán determinantes en el comportamiento de los contaminantes al regular el fenómeno de la deposición seca. Está ampliamente contrastado cómo, tras un periodo de sequía, las primeras lluvias contienen concentraciones anormalmente altas de solutos al arrastrar las deposiciones que han ido acumulándose en el follaje –bajo cubierta arbórea– o directamente en la atmósfera, en ausencia de vientos dispersantes.
4. En cuanto a la radiación solar, que junto con la temperatura, interviene directamente en la formación de ozono troposférico, ha sido superior a la normal durante buena parte del verano, superándose los valores estándar en torno a un 10-20%, según se desprende de las observaciones de la red AEMET, lo que podría explicar el incremento generalizado en su concentración a comienzos del mes de agosto, y su comportamiento marcadamente temporal.
5. En lo que respecta al **pH** de las precipitaciones obtenidas, se observa en general y como ya sucediera el año anterior un empeoramiento del parámetro en las distintas estaciones, obteniéndose –como ha venido siendo habitual– los peores resultados en las parcelas del arco norte de la comunidad, Cercedilla, Rascafría, Canencia y Braojos, junto con El Escorial y Navas del Rey, con más del 50% de los muestreos situados en niveles de “lluvia ácida”, así como una estabilización del arco sureste: Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, que registran también tasas elevadas pero muy similares a las del año pasado. Se advierte también que en ausencia de precipitaciones o tras periodos de sequía, el pH de la muestra obtenida es mayor, o más básico, que con un régimen de lluvias más normal, posiblemente relacionados con los efectos de la deposición seca que aumenta las concentraciones de sales en la muestra. Se advierte también una cierta acidificación de las muestras a lo largo del otoño, en contraposición con las recogidas en los meses precedentes, pero que con un aumento del valor medio del parámetro a medida que se va avanzando en la estación.
6. En cuanto a la **conductividad**, se advierte en general una disminución del parámetro con respecto a la pasada revisión, excepto en la estación de Cercedilla, donde se registra un incremento considerable al alcanzarse los 150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, y en menor medida Navas del Rey; y destacando la reducción notable observada en Alcalá de Henares donde se superaron los 200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ el año pasado. Como en años anteriores los mínimos de la serie se observan en Canencia y Montejo de la Sierra. Debido también al efecto de la deposición seca, es muy marcado el incremento del parámetro tras un periodo prolongado de sequía, tal y como ocurre a lo largo de la primera quincena de septiembre, cuando la conductividad media de la red alcanza los 350 $\mu\text{S}/\text{cm}$. A medida que va progresando el otoño, y con él las lluvias, y por efecto lavado, van disminuyendo considerablemente las conductividades de la distintas muestras.
7. En cuanto a los **cloruros** se observan valores inferiores a los de años anteriores, en una tendencia que ya se observó el año pasado, resultando la zona más afectada el sur de la comunidad, en la alineación Navas del Rey-Alcalá de Henares, mientras se reducen los niveles observados en Fuentidueña de Tajo y Robledo de Chavela y aumentan significativamente las concentraciones en Cercedilla, mientras que el núcleo de menos presencia es la alineación Canencia-Braojos-Montejo, tal y como ya se observara el año pasado. Al igual que en el caso



- de la conductividad y por idénticas razones, se observa un incremento en estos solutos tras un periodo de sequía prolongada, tal y como ha ocurrido en septiembre, alcanzándose los valores mínimos en épocas de precipitación abundante.
8. En lo que respecta a los **nitratos** se advierte una disminución en general de las tasas obtenidas, particularmente notable en el caso de Alcalá de Henares y Rascafría y un importante incremento en Cercedilla donde llegan casi a duplicarse los niveles observados el año anterior. Como en el caso de los solutos anteriores es notable el incremento en los niveles de deposición de los nitratos tras un periodo de sequía prolongada. Se advierten también tasas elevadas, por encima del umbral admisible de 50 mg/l marcado por el Reglamento Técnico Sanitario de Aguas Potables (RTSAP) a mediados de septiembre en El Escorial, Cercedilla, Navas del Rey Fuentidueña de Tajo y Alcalá. Como en casi todas las campañas evaluadas es en esta última estación donde se observa la mayor deposición de este contaminante, muy ligado a las emisiones del tráfico terrestre y que tiene su correlación en los niveles de óxidos de nitrógeno obtenidos mediante los dosímetros pasivos.
 9. En cuanto a los **sulfatos** se advierte un comportamiento similar al de los nitratos: ligera disminución de las tasas respecto al año pasado, excepto en Navas del Rey, donde se han incrementado los niveles respecto a 2015; repunte de la variable tras los periodos de sequía debido sobre todo a la influencia de la deposición seca y tasas notablemente superiores en la alineación Alcalá de Henares-Fuentidueña de Tajo-Navas del Rey, donde tienden a concentrarse los resultados más adversos que llegan a cuadruplicar los niveles obtenidos en el resto de estaciones, que se mantienen en el entorno de 1 mg/l. Al contrario de lo que sucedía en los nitratos, no se han sobrepasado los límites marcados por el RTSAP.
 10. En cuanto a los **daños por ozono** se advierte una estabilidad en lo que se refiere a la presencia de puntaduras necróticas con respecto a revisiones anteriores, destacando como parcelas más afectadas, Canencia, Braojos y Montejo de la Sierra, todas ellas en el arco norte de la sierra; una apreciable disminución en El Escorial, mientras que los menores niveles se han registrado en la zona sur de la comunidad, en el entorno de Navas del Rey, relacionado con el movimiento general de los vientos en Madrid.
 11. En lo que respecta a los **niveles de ozono obtenidos mediante dosímetros** se ha observado un ligero incremento de los valores medios obtenidos con respecto al año pasado, sin que se haya superado en ningún caso el nivel de 100 µg/m³ alejándose así de valores de umbral de protección o alerta. Se advierte la presencia del característico pico estival del contaminante, muy ligado a la acción de la radiación solar y la temperatura sobre los elementos precursores. Al igual que en revisiones anteriores, las mayores tasas se han observado en Navas del Rey, El Escorial y Cercedilla, muy relacionadas con el esquema general de vientos de la Comunidad de Madrid.
 12. En cuanto a los **niveles de óxidos de nitrógeno obtenidos mediante dosímetros**, destaca también un incremento del contaminante respecto al año anterior, superior al del ozono, de quien actúa como agente precursor, destacando los niveles obtenidos en Alcalá de Henares a lo largo de todo el año (y en menor medida Fuentidueña de Tajo, a lo largo del Corredor del Henares, en la zona más industrializada de Madrid y encajonada entre las autovías A-2 y A-3, de las de mayor intensidad de tráfico; y un cierto incremento en la zona de Braojos y Canencia, donde en momentos puntuales se han alcanzado los máximos de las series temporales desde 2006. Los mayores niveles se han observado también a lo largo de mitad de agosto a mitad de septiembre.
 13. Por lo que se refiere a los **análisis foliares** se advierte un incremento generalizado en los niveles de azufre total con respecto al patrón y a anteriores campañas, observándose valores superiores a los correspondientes a zonas contaminadas en todas las parcelas y destacando únicamente la reducción observada en Fuentidueña de Tajo, tradicionalmente las más afectada de la red. En cuanto a la distribución espacial del parámetro, destaca la mejoría observada en los cuadrantes suroriental y sudoccidental de la comunidad mientras empeora la zona centro-norte, en una situación muy similar a la observada en la revisión de 2014.
 14. Es interesante también reseñar, que en general, las muestras foliares tomadas en la Comunidad de Madrid tienden a presentar **valores mayores a los del patrón** de cada especie, lo que resulta lógico teniendo en cuenta lo fuertemente antropizado del medio, y la existencia de un factor desestabilizador de fondo de las masas de pinar relacionado con la contaminación atmosférica.



Este trabajo ha sido ejecutado por TECMENA, S.L para el Área de Defensa Fitosanitaria de la Dirección General del Medio Natural de la Comunidad de Madrid



Tecmena, S.L.

TECNICAS DEL MEDIO NATURAL

c/ Clara del Rey, 22

28002 Madrid

Tel. 91 413 70 07

Fax. 91 510 20 57

correo@tecmena.com

www.tecmena.com

