



EVALUACIÓN DE LA RED SESMAF Y CONTAMINACIÓN EN PINARES

MEDICIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE
DOSÍMETROS PASIVOS EN PINARES

Año 2017



CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE,
ADMINISTRACIÓN LOCAL
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Comunidad de Madrid

Dirección General del Medio Ambiente
Sección de Defensa Fitosanitaria



ÍNDICE

1. Introducción	1
2. Material y Métodos	
2.1 Localización	6
2.2 Parámetros fisiográficos.....	8
2.3 Análisis de O ₃	10
2.4 Análisis de NO ₂	11
2.5 Análisis de Deposición	11
2.6 Análisis foliares	12
3. Resultados analíticos de las muestras de deposición	
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 Acidez (pH).....	21
3.3.3 Conductividad	26
3.3.4 Cloruros	30
3.3.5 Nitratos	34
3.3.6 Sulfatos.....	38
4. Daños por Ozono	
4.1 Introducción	52
4.2 El ozono troposférico	52
4.3 Efectos del ozono sobre la vegetación	53
4.4 Resultados	54
5. Medición de niveles de contaminación mediante dosímetros pasivos	
5.1 Niveles de O ₃ en la Comunidad de Madrid	63
5.2 Niveles de No ₂ en la Comunidad de Madrid.....	66
5.3 Niveles de contaminantes atmosféricos por muestreo	
5.3.1 Ozono	69
5.3.2 Dióxido de nitrógeno.....	85
5.4 Niveles de contaminantes atmosféricos por parcela	
5.4.1 Ozono	101
5.4.2 Dióxido de nitrógeno.....	121



6. Resultados analíticos foliares	
6.1 Introducción	141
6.2 Afección por azufre	141
6.3 Toma de muestras y procedimiento analítico	141
6.4 Resultados para el azufre hidrosoluble (S_{Hid})	142
6.5 Resultados para el azufre total (S_{Tot})	144
6.6 Resultados para el azufre orgánico (S_{Org})	145
6.7 Relación S_{Hid}/S_{Tot}	147
6.8 Comparación de los resultados con los valores patrón	148
7. Conclusiones.....	152



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).

1.1. 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.

1.2. 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).

1.3. 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,	50 mg/l
Sulfatos	contaminante secundario en forma de aerosol.	250 mg/l





2. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 LOCALIZACIÓN

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:

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

- Huir de aquellos parajes en los que la presencia humana pudiera influir directamente en los resultados obtenidos.
- 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.
- Tomar representación de las diferentes zonas de la Comunidad de Madrid
- 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-ETRS89	Y-ETRS89	
021-01	San Lorenzo de El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	401.090	4.495.384	400.966	4.495.211	533
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	411.335	4.513.773	411.236	4.513.531	508
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	425.045	4.523.561	424.938	4.523.356	483
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	434.834	4.526.259	434.731	4.526.062	484
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	443.515	4.547.275	443.427	4.547.061	458
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	459.044	4.549.235	458.940	4.549.032	459
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	390.069	4.472.814	389.962	4.472.616	557
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	466.399	4.479.010	466.278	4.478.810	560
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	486.939	4.443.190	486.814	4.443.001	607
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	393.632	4.484.931	393.501	4.484.670	532

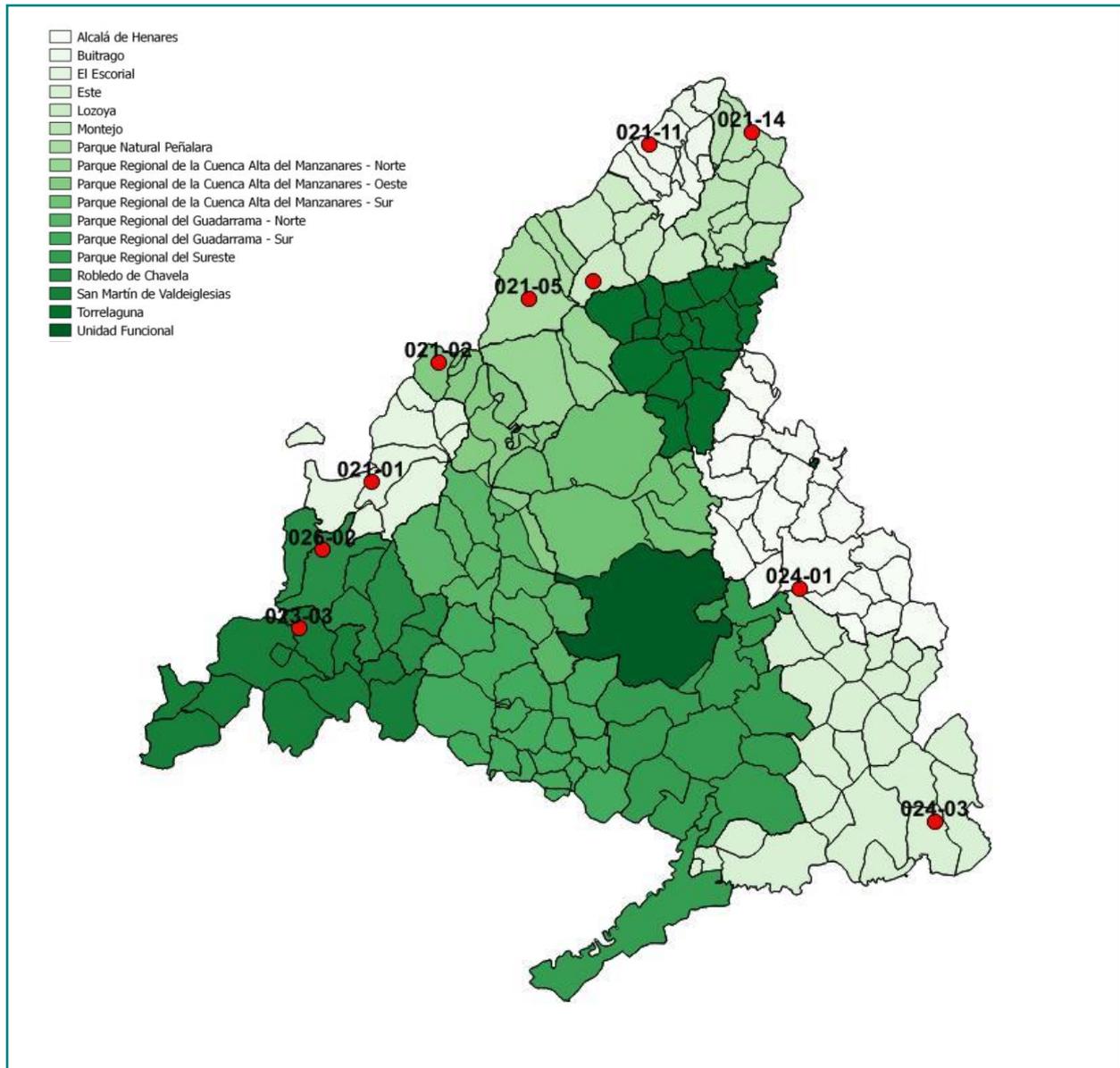


Figura 2.1 Localización de las estaciones de muestreo.



2.2 PARÁMETROS FISIAGRÁFICOS

Se han considerado los principales parámetros fisiográficos de cada estación de seguimiento. Los resultados obtenidos aparecen en la Tabla 2.II.

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 (véanse Figura 2.II y Figura 2.III).

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

ESTACIÓN N°	ALITUD (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	1.288	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

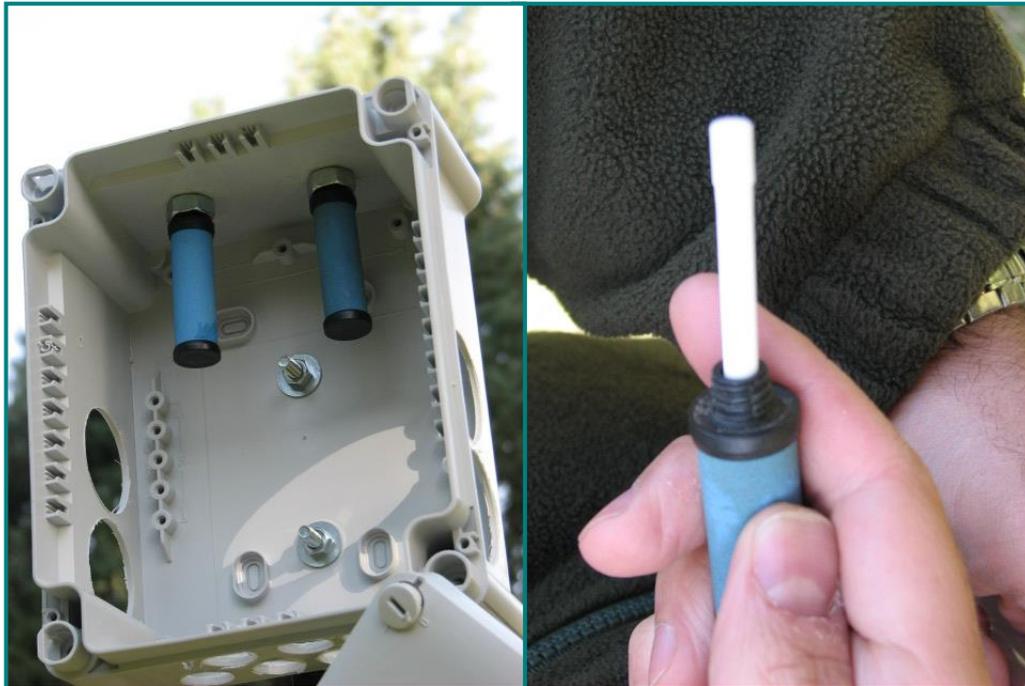


Figura 2.II Carcasa soporte de dosímetros pasivos y dosímetro dentro del cuerpo difusor (azul).



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 2017, exponiendo los captadores durante 17 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 ANÁLISIS DE O₃

Los captadores de ozono utilizados están constituidos por un tubo de polietileno relleno con silica gel impregnado en 4,4'-dipiridiletieno. Durante el periodo de exposición tiene lugar la ozonólisis de dicho compuesto, que se convierte en 4-piridilaldehído (Figura 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 (Figura 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.

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.

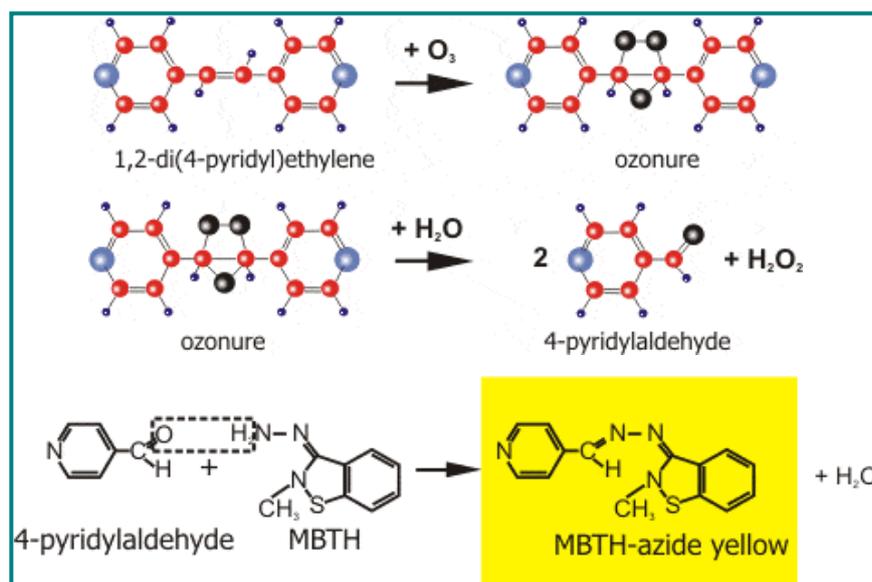


Figura 2.IV Reacciones involucradas en la determinación de O₃.



2.4 ANALISIS 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:

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

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 dependen 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

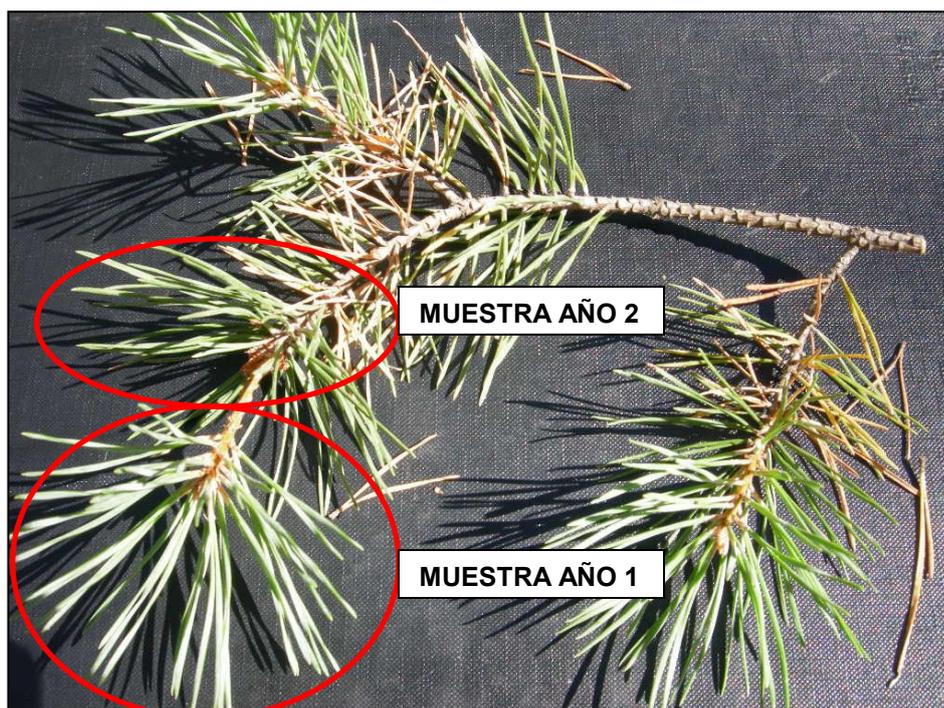
- Extracción del azufre hidrosoluble por agitación continua durante 30 minutos con agua destilada.
- Filtración del extracto y determinación de los sulfatos mediante cromatografía iónica, previa purificación en Sep-Pack c-18.
 - Columna ICPACK-aniónica.
 - Fase móvil borato-gluconato pH: 8,5.
 - Detector 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 2017 se realizaron 17 visitas 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.

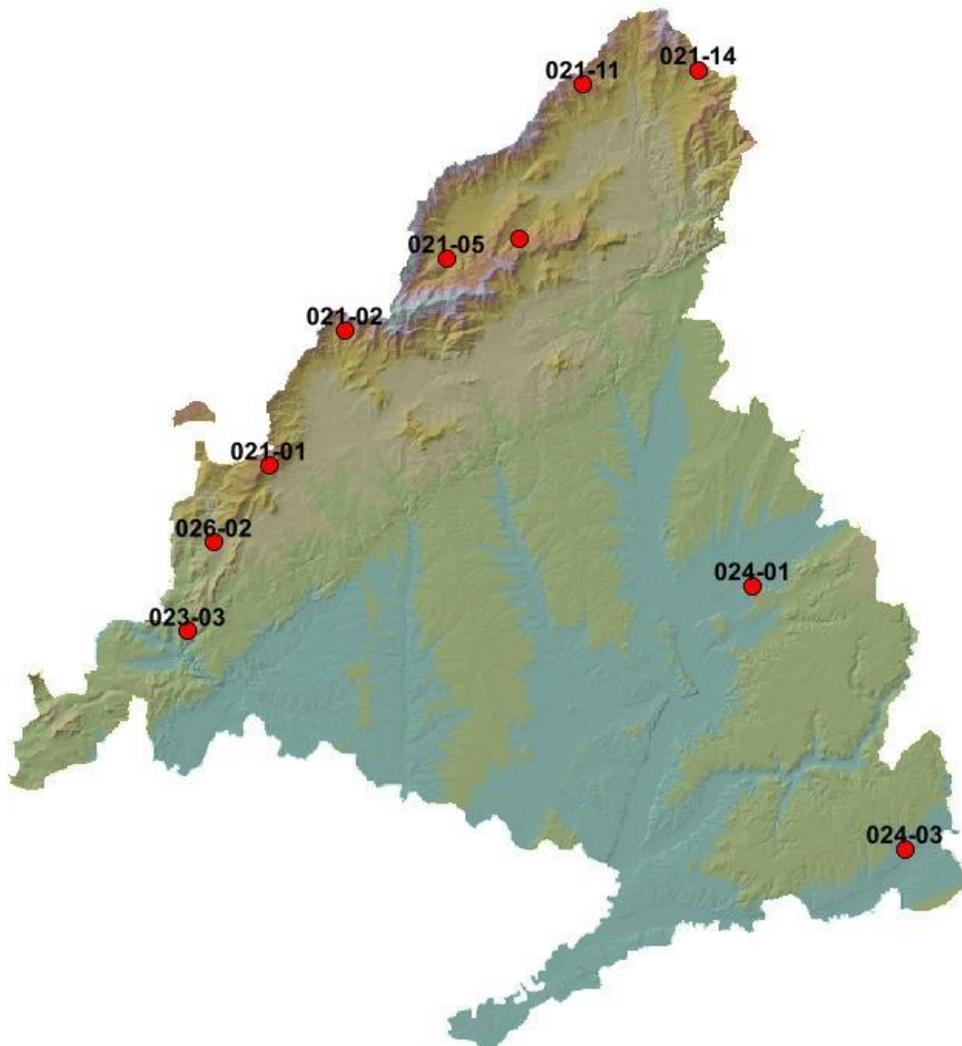


Tabla 3.I Fechas de recogida de muestras de deposición

Nº Viaje	Fecha	Observaciones
1	15/03/2017	Se instalan los captadores. No se recoge muestra.
2	06/04/2017	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
3	25/04/2017	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
4	12/05/2017	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
5	29/05/2017	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
6	16/06/2017	Se recoge muestra en 8 de 10 estaciones.
7	30/06/2017	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones.
8	18/07/2017	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
9	29/07/2017	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
10	07/08/2017	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
11	24/08/2017	Se recoge muestra en 1 de 10 estaciones.
12	12/09/2017	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
13	25/09/2017	Se recoge muestra en 1 de 10 estaciones.
14	13/10/2017	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
15	23/10/2017	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
16	08/11/2017	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones.
17	23/11/2017	Se recoge muestra en 3 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.III y 3.IV puede apreciarse la distribución en las precipitaciones.

Por un lado destacaron las estaciones de Cercedilla y Braojos con el mayor número de muestreos en los que se recogieron muestra, 10, mientras que en la de El Escorial se obtuvieron muestra en tan sólo seis de las visitas. Fue también en las estaciones de Cercedilla y Braojos en las que se obtuvieron los mayores volúmenes medios de muestras, que rondaron los 500 ml, mientras que en la de Fuentidueña del Tajo se obtuvieron apenas los 140 ml. También las estaciones de Alcalá de Henares y Rascafría destacaron por el reducido volumen de agua

recogida bastante por debajo de la media, que se situó en casi los 340,9 ml.

Sin que se apreciara una marcada estacionalidad en las precipitaciones, sí que se recogió un mayor volumen de agua en la primera mitad del año, con un máximo en la segunda quincena del mes de junio (muestreo nº8) alcanzándose los 1.294 ml de agua. En los muestreos nº11 (primera quincena de agosto) y nº13 (segunda quincena de septiembre) se recogieron volúmenes muy reducidos de agua (15ml).

En la Figura 3.VII y 3.VIII se aporta el volumen de agua recogida desde el año 2014 para cada una de las estaciones así como la tendencia general apreciada desde entonces. En ellas se aprecia como el volumen de muestras fue mayor en 2016, siendo además marcada la estacionalidad de las precipitaciones. Por el contrario en 2017, año con menor volumen de agua recogido, la estacionalidad en las lluvias fue difusa.

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

ESTACIÓN	2017		
	%	V.medio	V.max
021-01 El Escorial	37,5	353,13	1.330
021-02 Cercedilla	62,5	490,94	1.970
021-05 Rascafría	50,0	221,25	1.200
021-07 Canencia de la Sierra	50,0	448,75	1.560
021-11 Braojos	62,5	521,88	2.030
021-14 Montejo de la Sierra	56,3	346,25	1.275
023-03 Navas del Rey	50,0	363,75	1.745
024-01 Alcalá de Henares	43,8	198,13	1.560
024-03 Fuentidueña del Tajo	43,8	139,06	735
026-02 Robledo de Chavela	50,0	325,63	2.300

Figura 3.II

Porcentaje de muestreos en los que se ha recogido precipitación (2017)

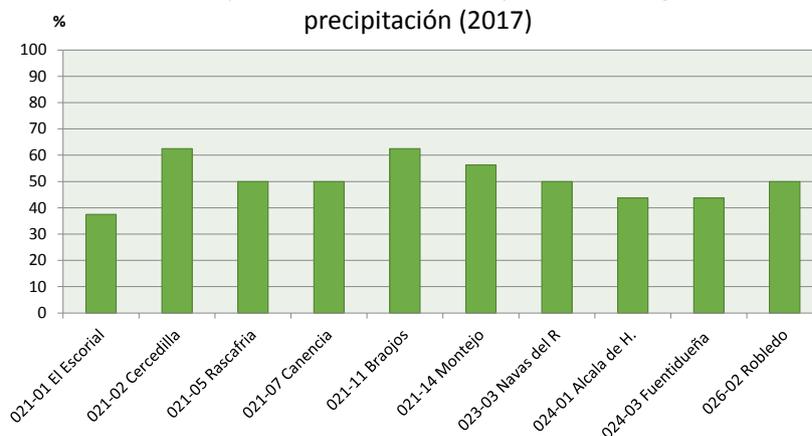




Figura 3.III

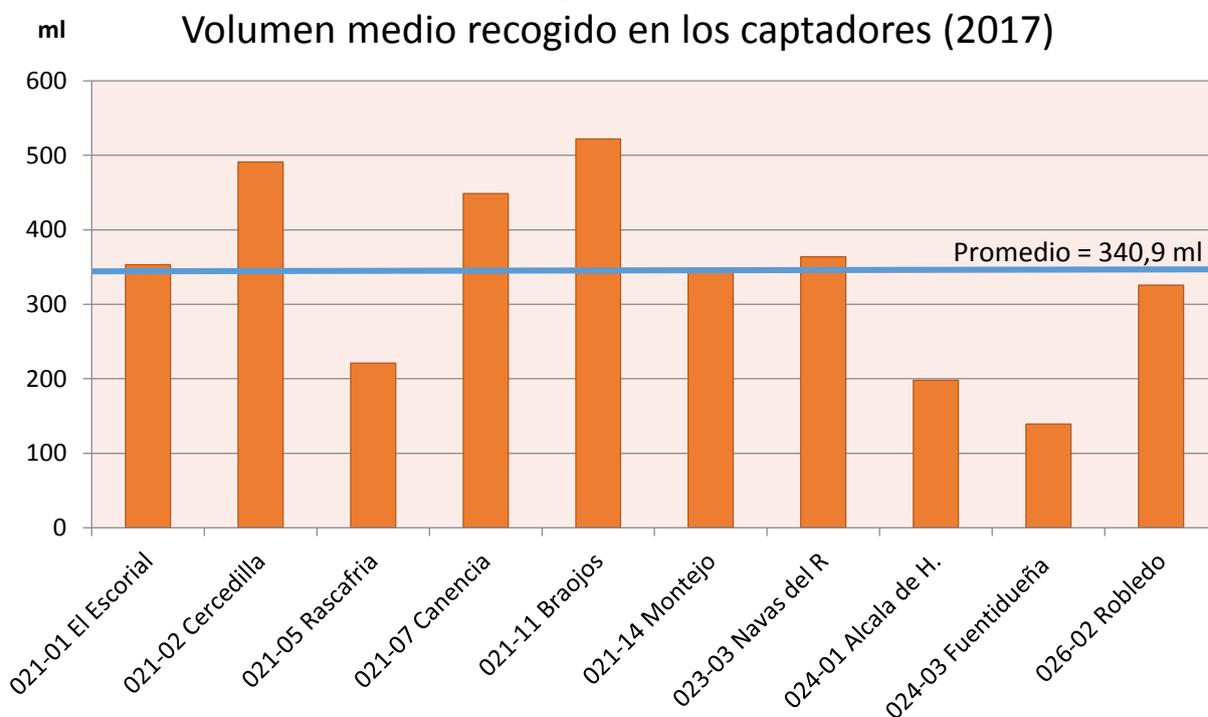


Figura 3.IV





Figura 3.V

Porcentaje de días de lluvia según estación de deposición
(2017)

% Días Precipitación

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

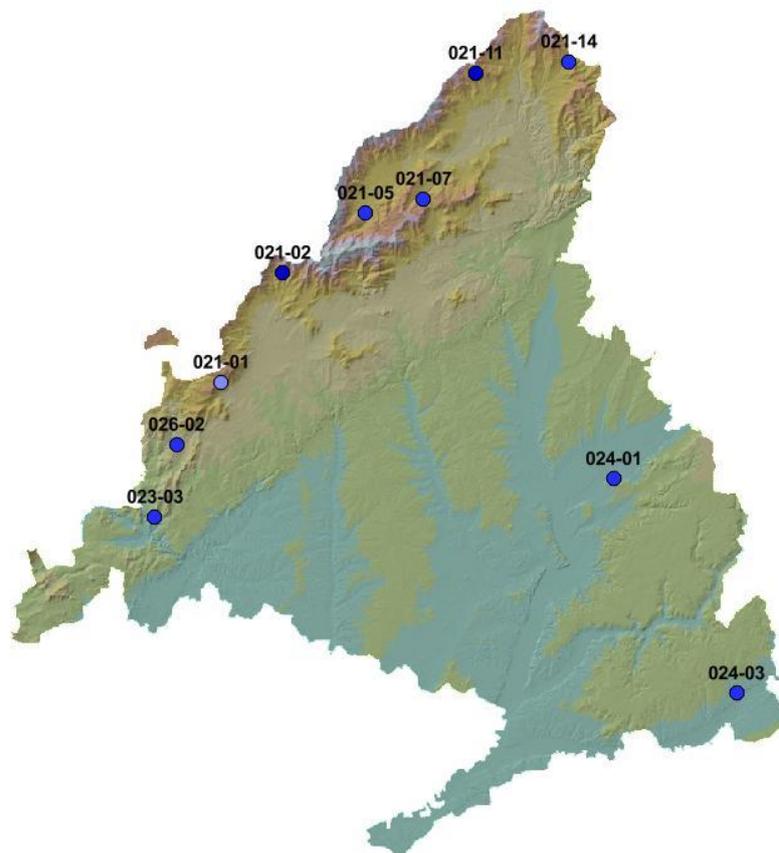
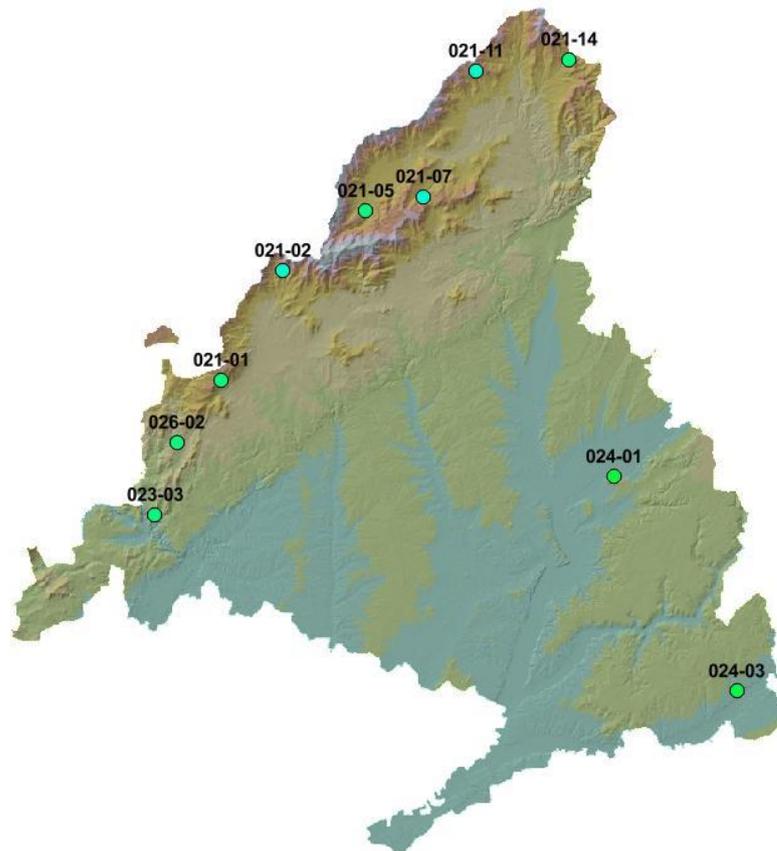
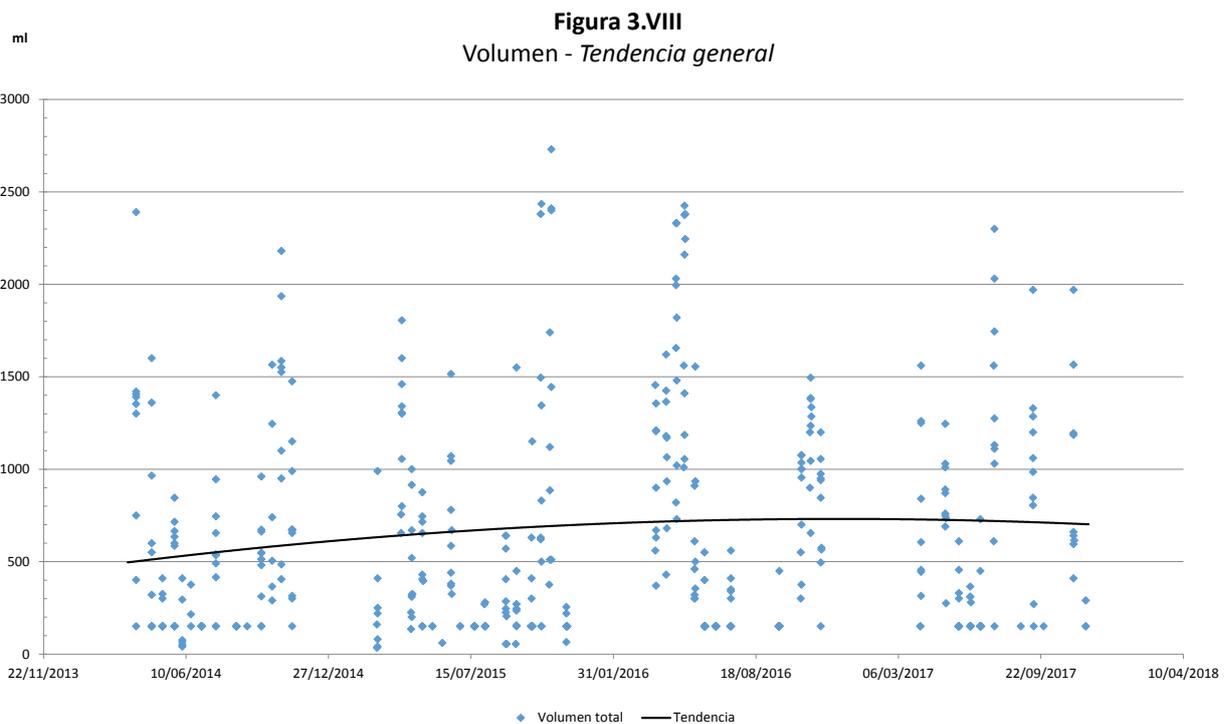
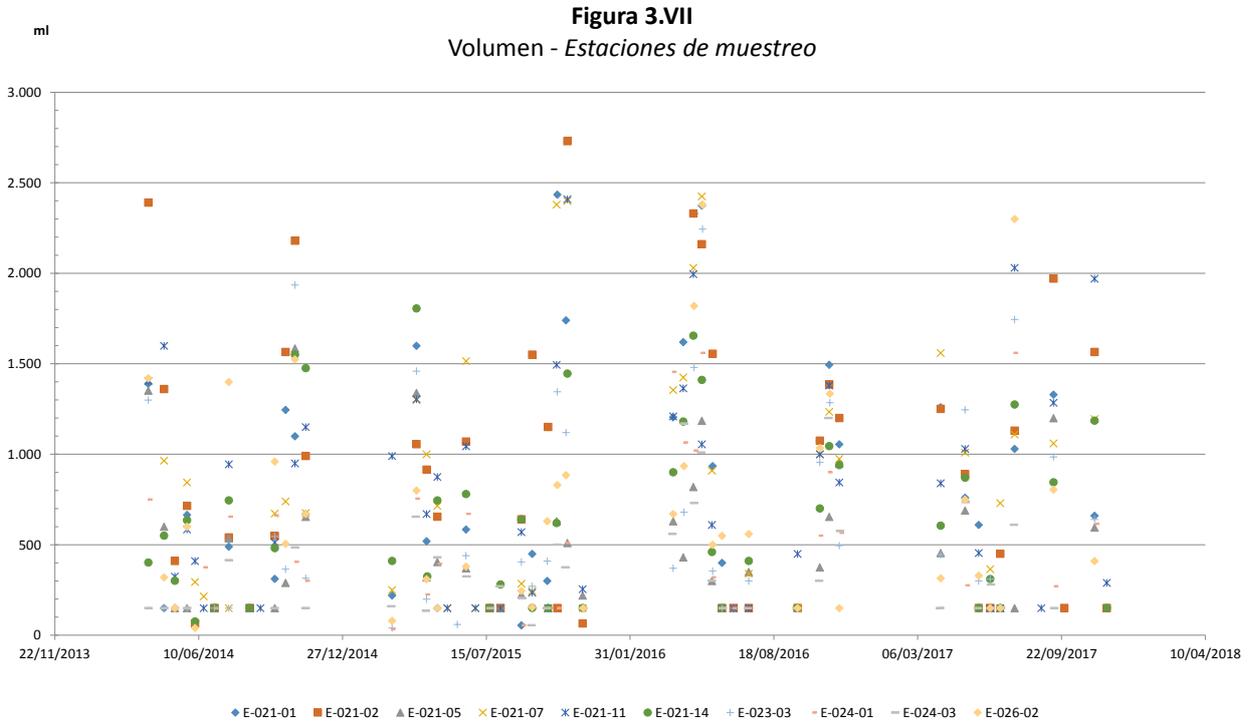




Figura 3.VI
Volumen recogido según estación de deposición
(2017)

- 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 recogidas en 2017 fueron relativamente bajos, pues la mayor parte de ellos (más del 70%) no superaron los 6 puntos de pH. Oscilaron entre los 2,74 obtenidos en la muestra de Rascafría en la primera quincena de junio (muestreo o viaje nº6) y los 6,83 obtenidos en la muestra de Fuentidueña del Tajo en la segunda quincena de agosto (muestreo nº12).

En la Figura 3.IX se observa por estaciones cómo abundaron las muestras de agua con pH inferiores a los 5,65 puntos, nivel por debajo del cual se define o establece la "lluvia ácida" (Erisman, J.W., y Draaijers, G.P.J., 1995). Destacaron las estaciones de Fuentidueña del Tajo y Robledo de Chavela con la menor cantidad de muestras de lluvia ácida, seguidas por las de Alcalá de Henares y Navas del Rey. En el resto la frecuencia de episodios de lluvia ácida se situó por encima del 40%, destacando la de Braojos con el 80%.

Atendiendo a los valores medios por estación, tal y como se recoge en la Figura 3.X, solo cuatro de las estaciones obtuvieron registros superiores a los de la lluvia ácida: Navas del Rey (por escasas centésimas), Alcalá de Henares, Fuentidueña del Tajo y Robledo de Chavela. El

registro de la estación de Montejo de la Sierra fue, por una centésima, inferior al de la lluvia ácida. En el lado opuesto destacó la estación de Rascafría con un pH medio de tan solo 4,56 puntos. El pH medio de todas las localizaciones fue bastante reducido, con 5,43 puntos.

Atendiendo a la distribución temporal de las precipitaciones en 2017 (véase Figura 3.XI) tan solo en el mes de junio y principios de julio 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. Destacaron los registros obtenidos en la segunda quincena de mayo y primera de septiembre con los niveles de pH más reducidos, con 5,20 y 5,18 puntos respectivamente.

Es de destacar que más del 90% de las muestras obtenidas en 2017 están fuera del marco de referencia del RTSAP-2003 en lo que a este parámetro se refiere.

En las Figuras 3.XIV y 3.XV se aportan los datos obtenidos desde el año 2014 para cada una de las estaciones así como la tendencia general apreciada desde entonces. En ellas puede apreciarse como en estos últimos años se ha producido una disminución clara en el pH de las muestras.

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

ESTACIÓN	2017		
	% <5,65	pH medio	pH min
021-01 El Escorial	66,67	5,44	4,64
021-02 Cercedilla	66,67	5,31	4,34
021-05 Rascafría	62,50	4,56	2,74
021-07 Canencia de la Sierra	62,50	5,05	3,07
021-11 Braojos	80,00	4,91	3,29
021-14 Montejo de la Sierra	55,56	5,64	4,65
023-03 Navas del Rey	37,50	5,73	5,34
024-01 Alcalá de Henares	28,57	5,89	5,57
024-03 Fuentidueña del Tajo	14,29	5,99	5,65
026-02 Robledo de Chavela	12,50	6,03	5,04

Figura 3.IX
Porcentaje de muestras con pH<5,65 o "lluvia ácida"
(2017)

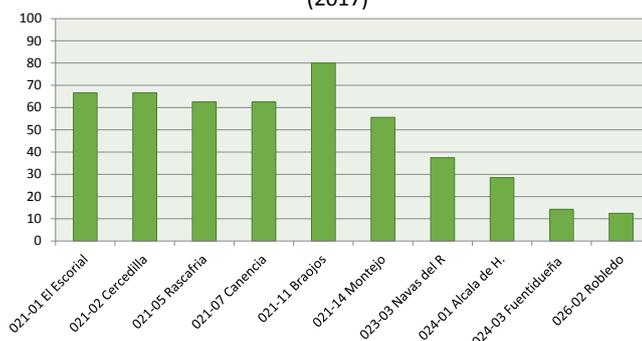




Figura 3.X

pH medio en las muestras de agua (2017)

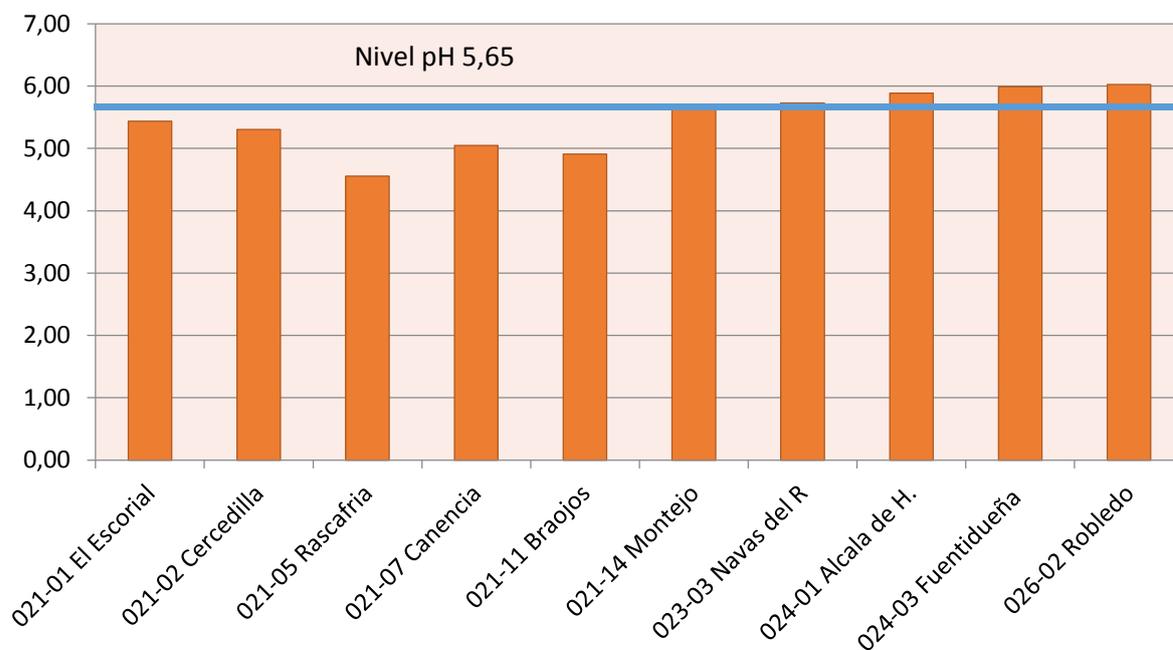


Figura 3.XI

pH medio por muestreo (2017)

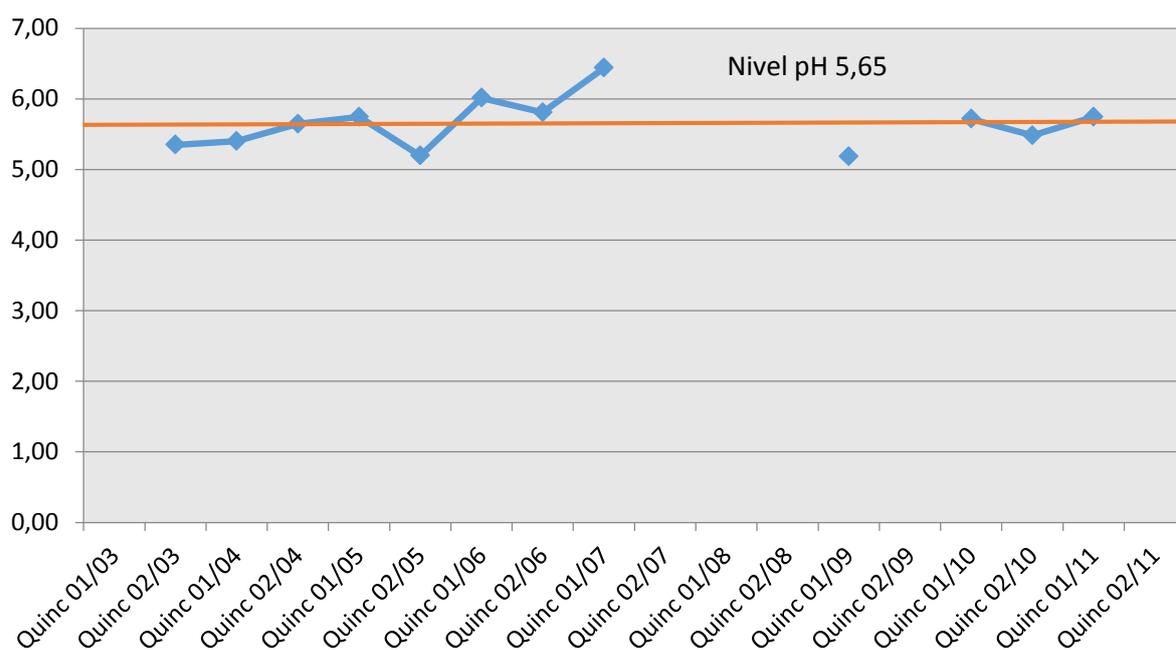




Figura 3.XII
Porcentaje de días con lluvia ácida
(2017)

% Lluvia ácida

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

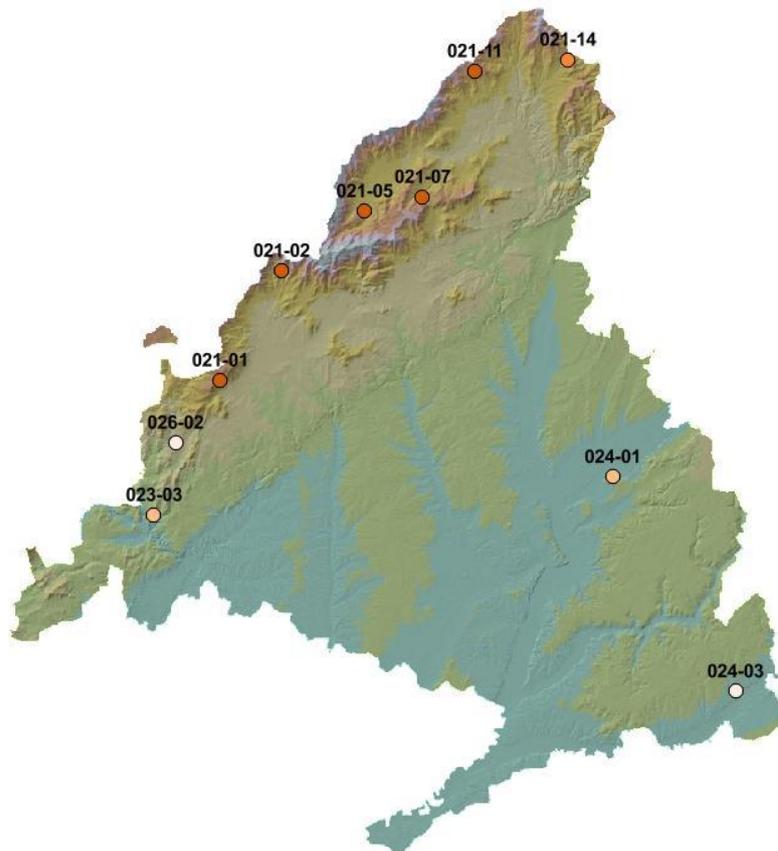




Figura 3.XIII
pH medio según estación de deposición
(2017)

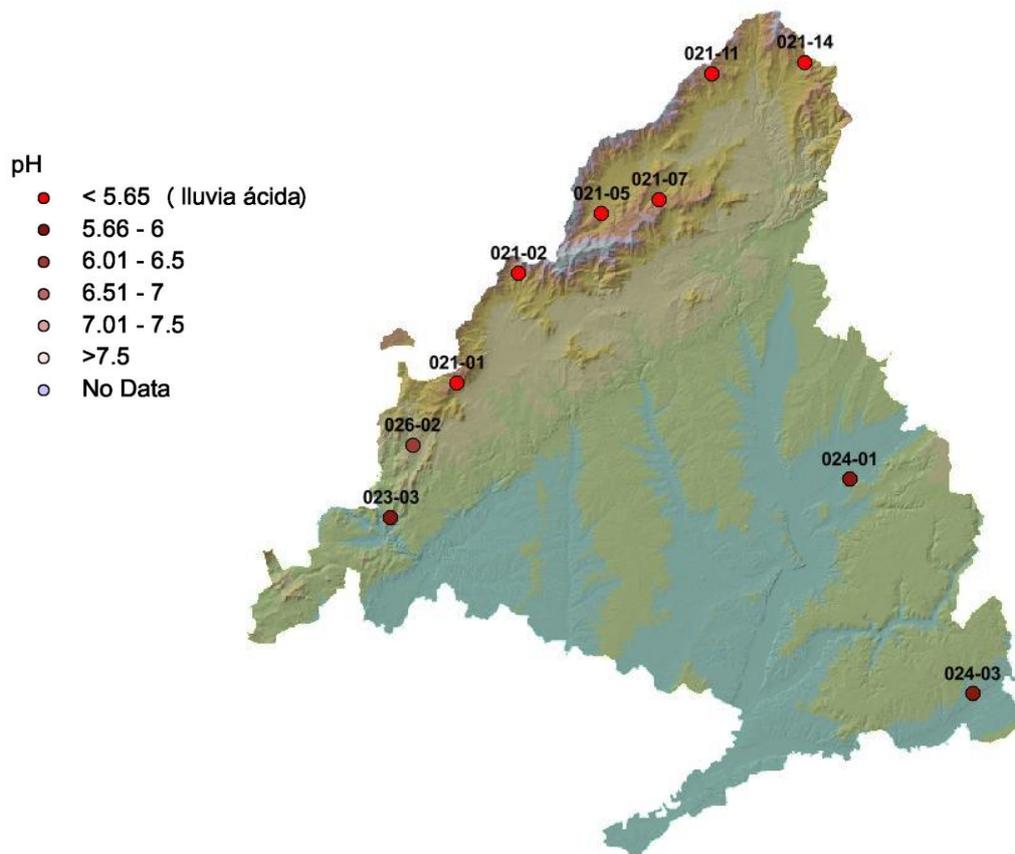




Figura 3.XIV
pH - Estaciones de muestreo

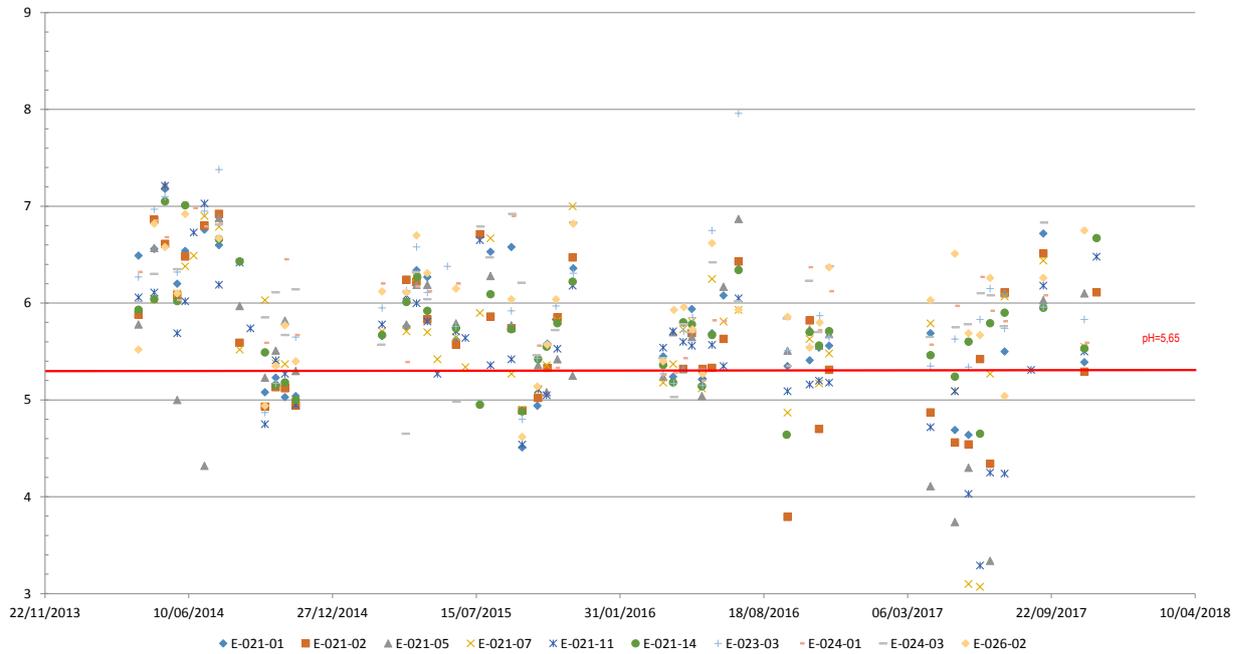
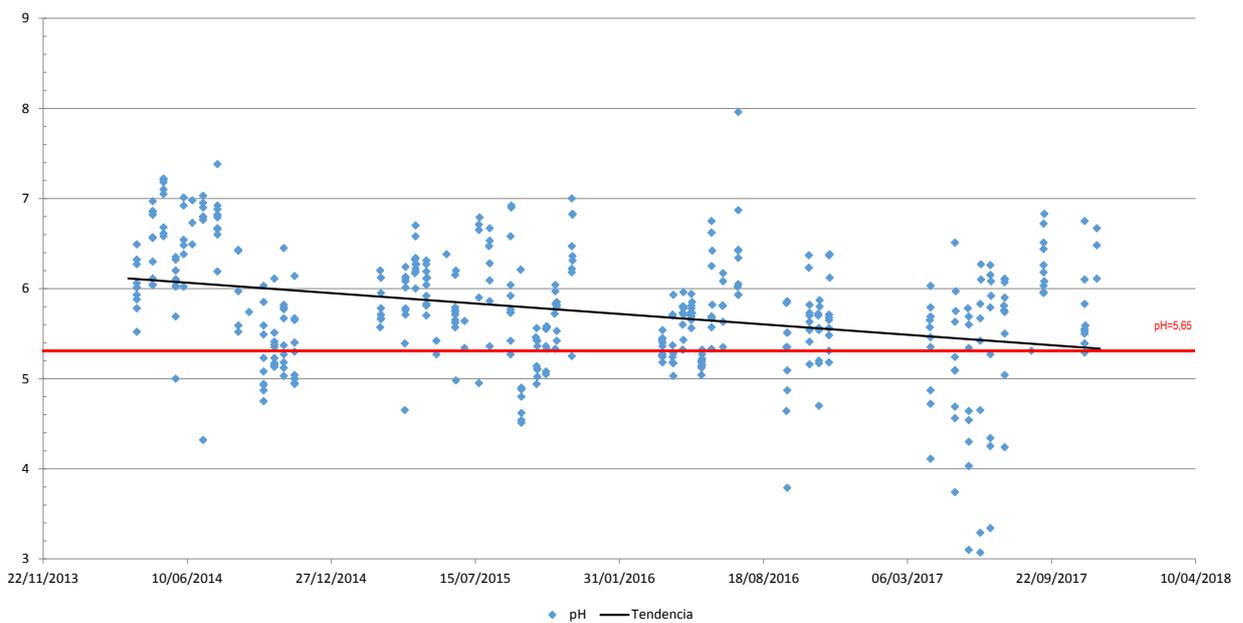


Figura 3.XV
pH - Tendencia general





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 167,8 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrándose el mínimo con 13 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Canencia de la Sierra en la segunda quincena de abril (muestreo nº2), y el máximo con 1.218 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Rascafría en la segunda quincena de junio (muestreo nº6). En la Figura 3.XVI, con los registros medios de deposición por estación, destacó la ubicación de Rascafría con el agua menos “limpia”, seguida de las de Alcalá de Henares y Braojos, claramente por encima de la media: Por el contrario, con el agua más “limpia” destacaron las estaciones de Montejo de la Sierra y El Escorial.

En cuanto al comportamiento de la serie anual de datos en 2017 (véase Figura 3.XVII), 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 procedentes de la deposición seca (aquella que se deposita y no es arrastrada por el agua), comportamiento ya observado en años anteriores. Es por ello que la conductividad de las muestras de agua recogidas tras lluvias previas son, en términos generales, más reducidas que las primeras, tal y como ocurre en la primera quincena de junio, segunda de agosto o primera de noviembre de 2017. En todo caso habría que destacar el repunte experimentado por la variable en las muestras recogidas en la segunda quincena de mayo y que posteriormente vuelven a descender.

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

En las Figuras 3.XIX y 3.XX se aportan los datos obtenidos desde el año 2014 para cada una de las estaciones así como la tendencia general apreciada desde entonces. En ellas se puede apreciar la tendencia creciente mostrada por la variable, con valores extremos cada vez más abundantes y de mayor cuantía.

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

ESTACIÓN	2017		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	62,17	91	26
021-02 Cercedilla	136,56	346	22
021-05 Rascafría	339,38	1218	67
021-07 Canencia de la Sierra	188,13	496	13
021-11 Braojos	220,90	770	26
021-14 Montejo de la Sierra	57,33	119	22
023-03 Navas del Rey	104,50	188	51
024-01 Alcalá de Henares	220,86	389	119
024-03 Fuentidueña del Tajo	153,29	247	72
026-02 Robledo de Chavela	177,38	469	36



Figura 3.XVI

Conductividad media de las muestras recogidas (2017)

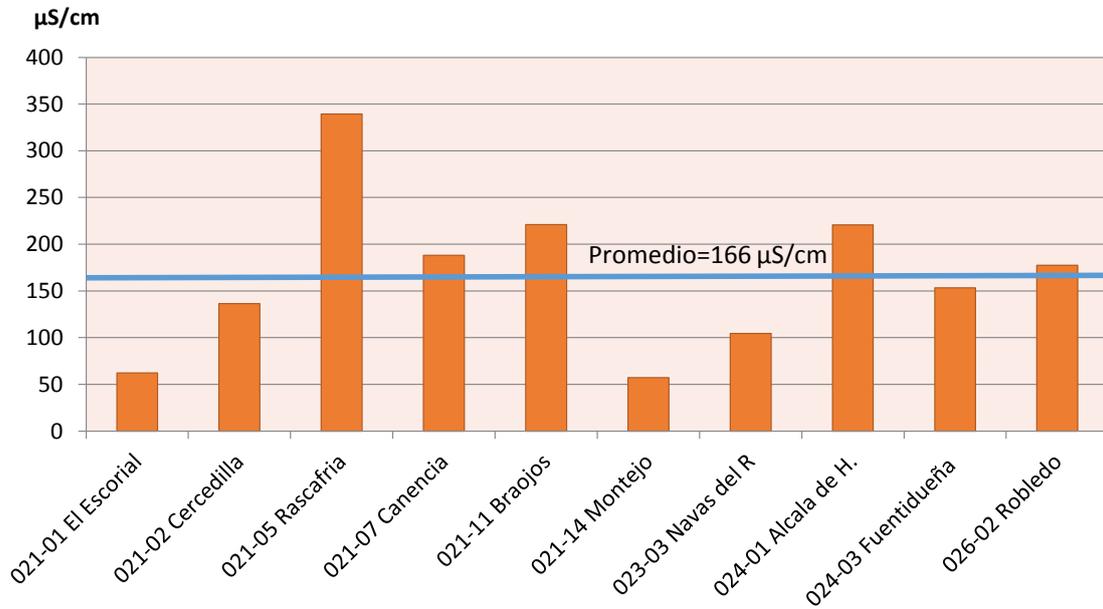


Figura 3.XVII

Conductividad media por muestreo (2017)

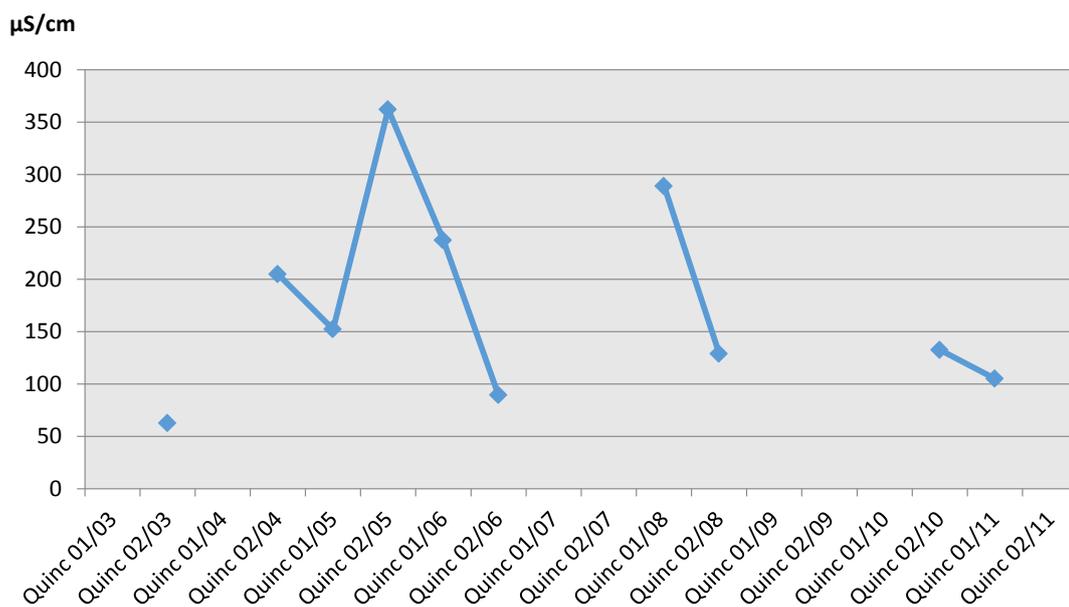


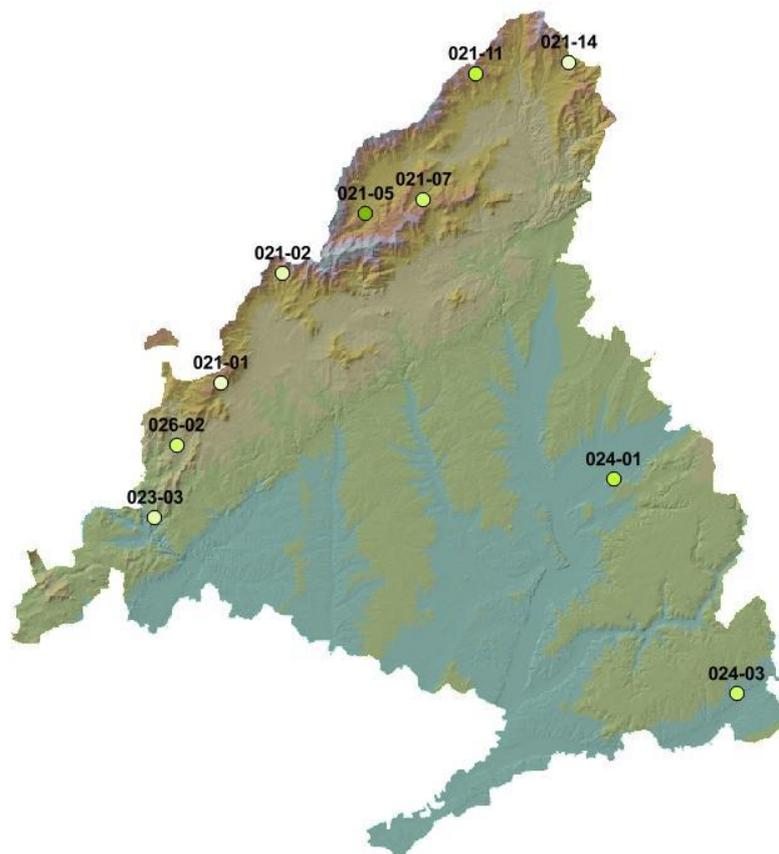


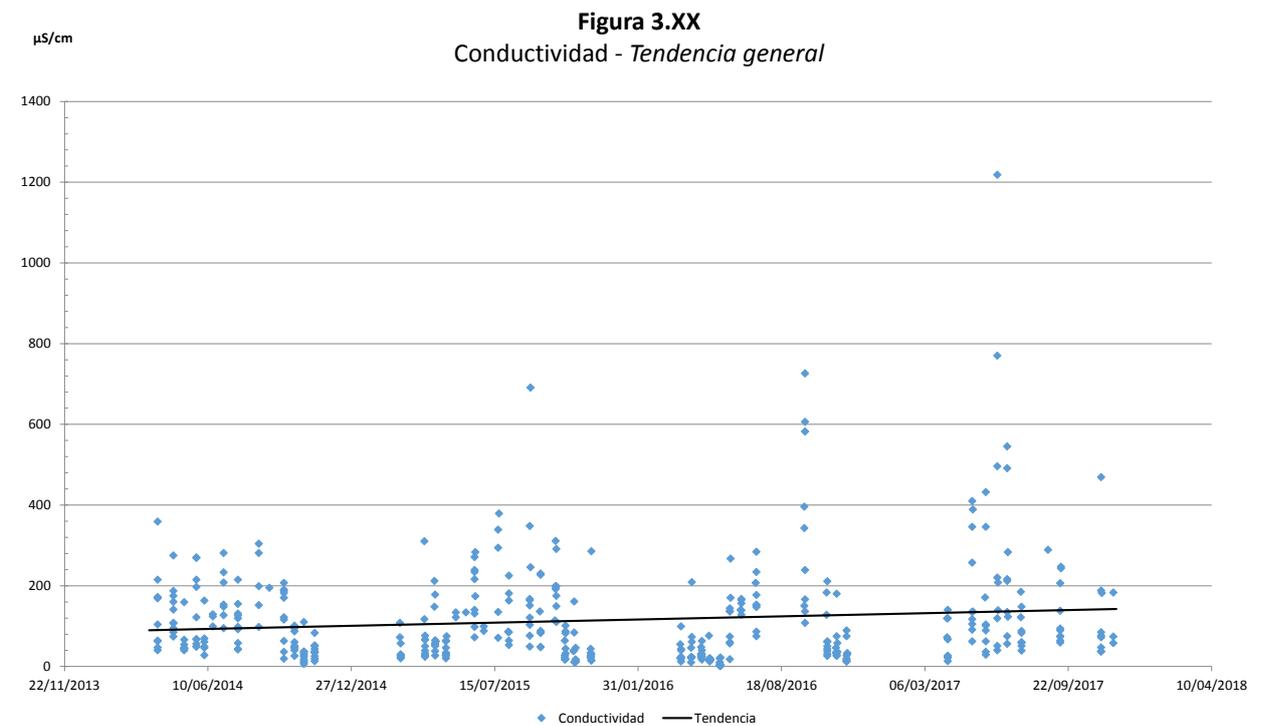
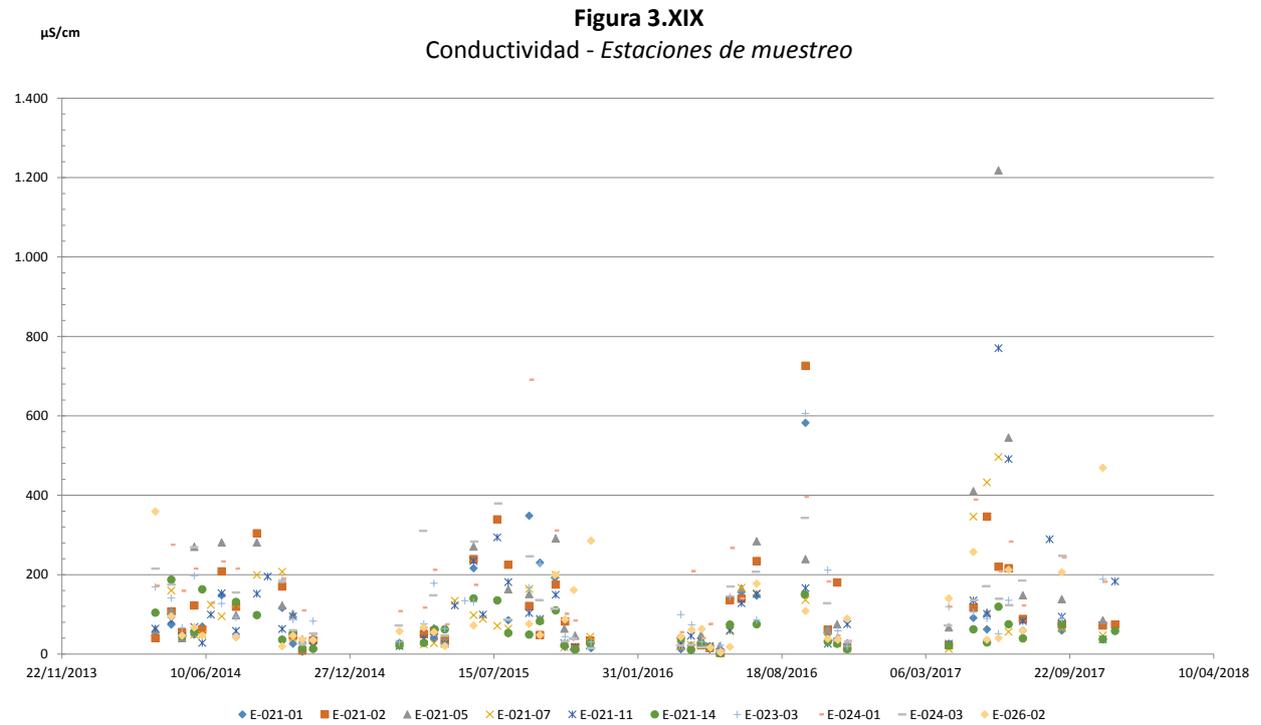
Figura 3.XVIII

Conductividad media por estación de deposición
(2017)

Conductividad

- 1 - 50 uS/cm
- 50.01 - 100
- 100.01 - 150
- 150.01 - 200
- 200.01 - 250
- 250.01 - 300
- 300.01 - 350
- >350 uS/cm
- No Data







3.3.4. CLORUROS

La concentración media de cloruros en 2017 se situó en los 6,27 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 52,31 mg/l de máxima obtenidos en Cercedilla en la primera quincena de septiembre (muestreo nº13). Según las concentraciones medias por estaciones de deposición (véase Figura 3.XXI) destacaron las localizaciones de Robledo de Chavela, Cercedilla y Alcalá de Henares con los promedios más elevados, todos ellos por encima de la media referida. Por el contrario la media de la estación del Escorial fue la más reducida con 2,62 mg/l.

En lo que respecta a la serie anual de 2017, recogida en la Figura 3.XXII, era de destacar la ausencia de patrón alguno en su comportamiento, al menos en comparación con otros registrados en años anteriores. Tan sólo podría destacarse el paulatino aumento que registró la concentración media de los cloruros en el primer tramo del año hasta alcanzar en la primera quincena de junio los 10,1 mg/l y descender posteriormente para mostrar a partir de entonces un comportamiento errático. Habiéndose mantenido además los registros medios para cada

muestreo relativamente bajos con valores inferiores o cercanos a los 10 mg/l, destacó el registro obtenido para el viaje o muestreo nº13 realizado en la primera quincena del mes de septiembre en el que se alcanzaron los 52,31 mg/l. Este valor habría que considerarle con todas las reservas al obtenerse de una única muestra de 15 ml de agua recogida en la estación de Cercedilla.

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.

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

En las Figura 3.XXIV y 3.XXV se aportan los datos obtenidos desde el año 2014 para cada una de las estaciones así como la tendencia general apreciada desde entonces. Sin que en ellas pueda apreciarse una tendencia clara, sí destacó por segundo año consecutivo el pico de concentración obtenido para la estación de Cercedilla en la misma época del año (segunda quincena de septiembre).

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

ESTACIÓN	2017		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	2,62	6,34	0,00
021-02 Cercedilla	9,81	52,31	1,51
021-05 Rascafría	5,94	15,50	0,62
021-07 Canencia de la Sierra	4,79	13,79	1,44
021-11 Braojos	4,92	10,59	0,93
021-14 Montejo de la Sierra	4,08	9,65	1,44
023-03 Navas del Rey	5,18	10,10	1,93
024-01 Alcalá de Henares	7,64	18,72	2,15
024-03 Fuentidueña del Tajo	5,23	19,52	1,56
026-02 Robledo de Chavela	11,65	34,58	1,73



Figura 3.XXI

Concentración media de cloruros por estación (2017)

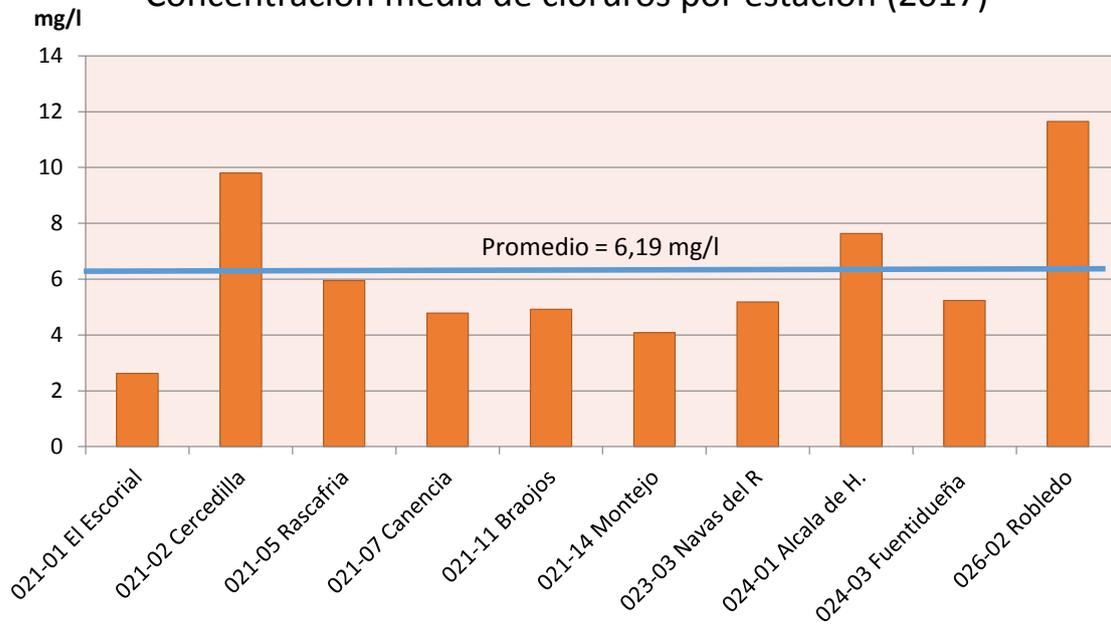


Figura 3.XXII

Concentración de cloruros por muestreo (2017)

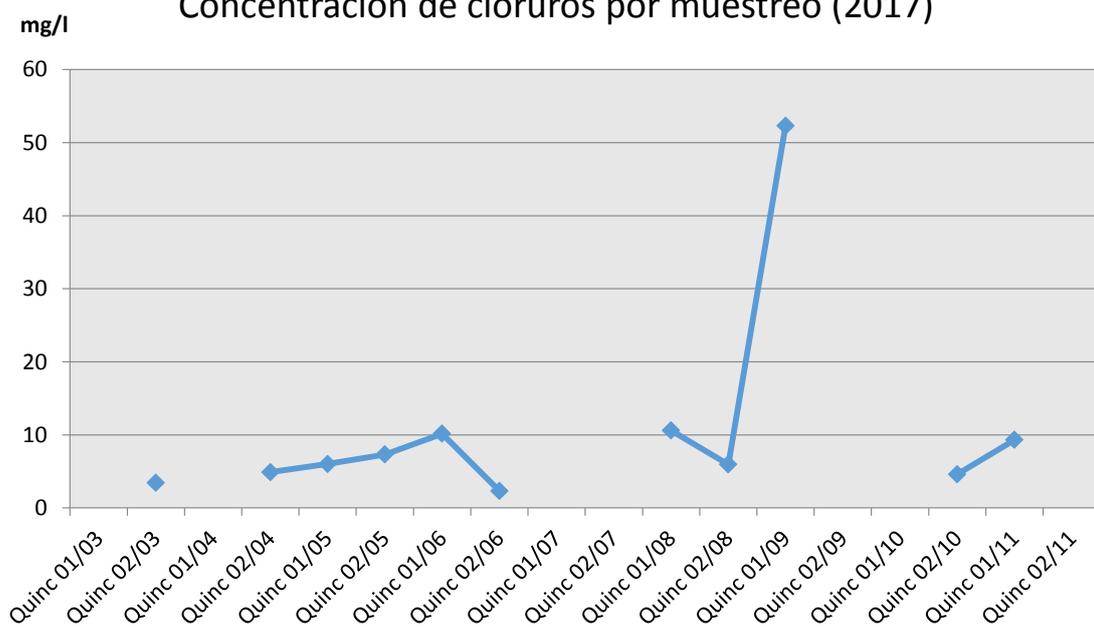
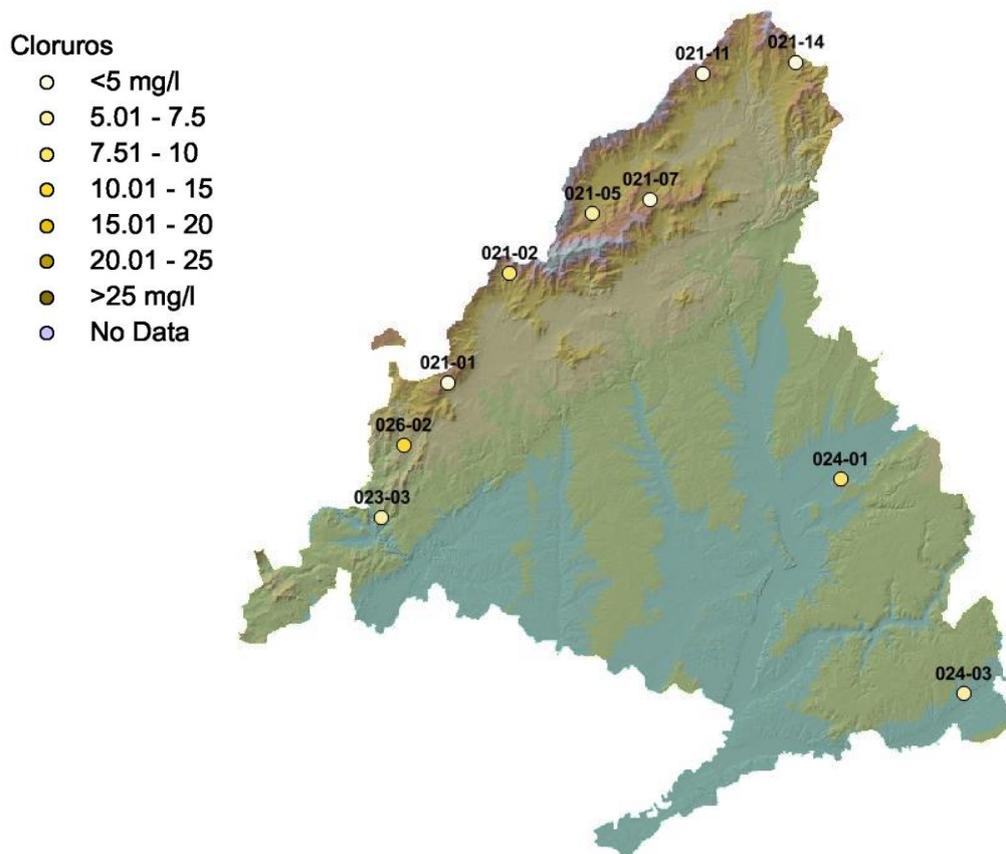
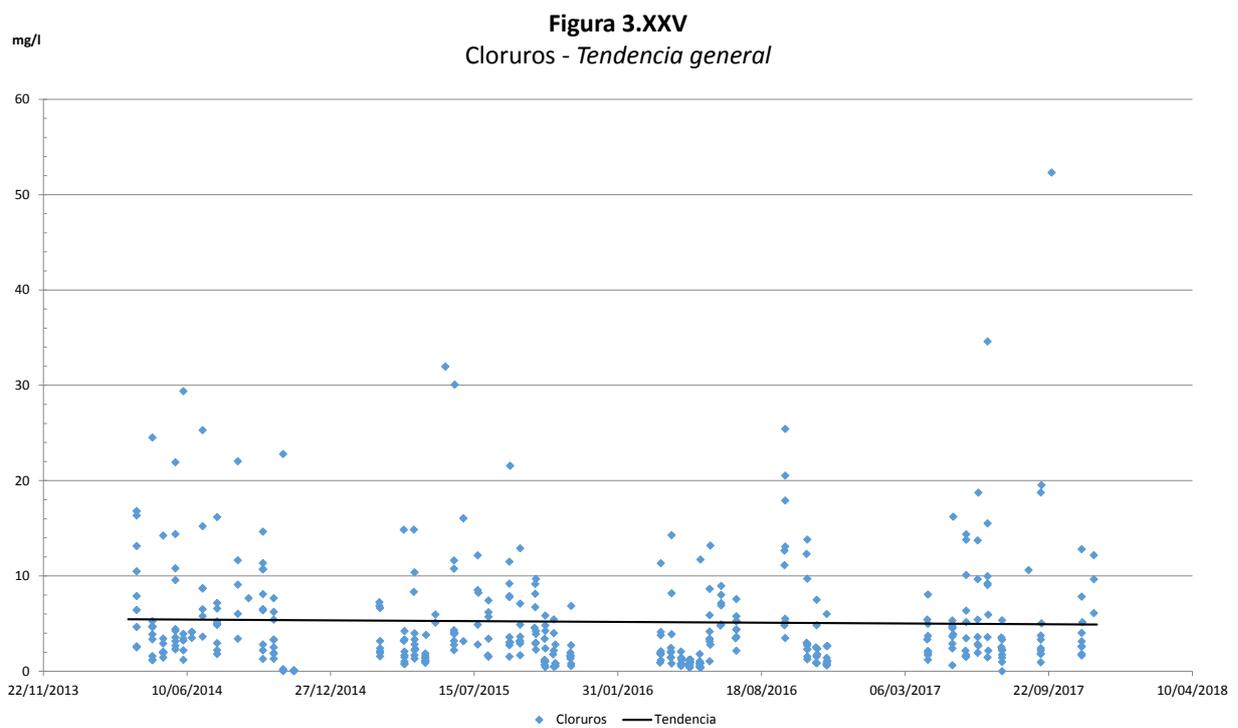
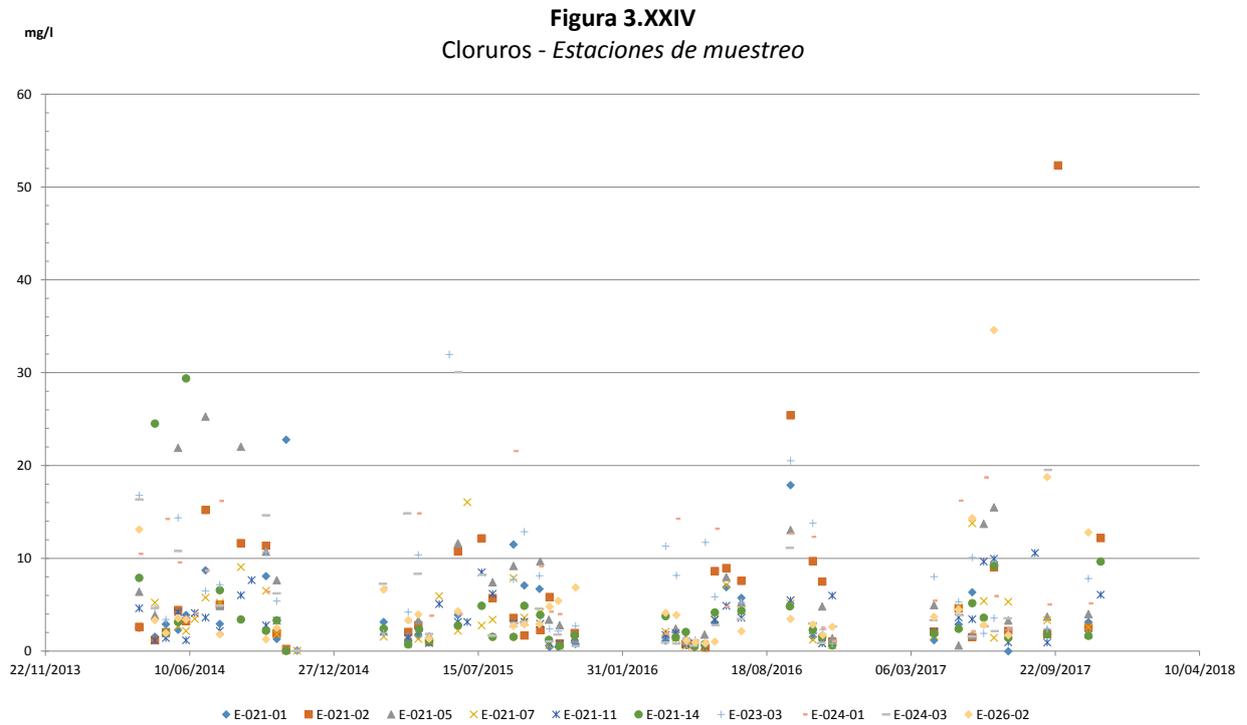




Figura 3.XXIII

Concentración media de cloruros por estación de deposición
(2017)







3.3.5. NITRATOS

La concentración media de nitratos en el presente año se situó en los 14,18 mg/l, registrándose extremos de la serie de 0,06 mg/l en Montejo de la Sierra en la segunda quincena de abril (viaje nº4), y 119,25 mg/l en Fuentidueña del Tajo en la segunda quincena de agosto (viaje nº12). En un 27% de las ocasiones se registraron además concentraciones traza inferiores a 0,5 mg/l. Por estaciones (véase Figura 3.XXVII), las mayores concentraciones medias se registraron en las ubicaciones de Fuentidueña del Tajo y Alcalá de Henares, mientras que las menores se dieron en el arco montañoso de la Comunidad (véase Figura 3.XXVIII), principalmente en Canencia de la Sierra, Braojos, Montejo de la Sierra y Robledo de Chavela.

En la evolución temporal de las concentraciones en 2017 destacó la presencia de dos máximos, uno en la segunda quincena del mes de junio (muestreo o viaje nº6) con 31,49 mg/l, y otro en la primera quincena de septiembre (viaje nº13), con 44,64 mg/l.

En cinco de las muestras se superaron los 50 mg/l definidos por el estándar RTSAP-2003.

En las Figura 3.XXIX y 3.XXX se aportan los datos obtenidos desde el año 2014 para cada una de las estaciones así como la tendencia general apreciada desde entonces. Sin una tendencia general definida, sí podría decirse que en los dos últimos años las concentraciones de nitratos fueron algo superiores, apreciándose en todo caso cierto aumento de las concentraciones en el tramo central del año en todas las evaluaciones.

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

ESTACIÓN	2017		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	9,96	28,91	0,00
021-02 Cercedilla	11,60	44,64	0,12
021-05 Rascafría	16,21	102,78	0,24
021-07 Canencia de la Sierra	2,32	10,51	0,10
021-11 Braojos	3,49	10,35	0,31
021-14 Montejo de la Sierra	6,82	19,32	0,06
023-03 Navas del Rey	18,98	51,09	4,61
024-01 Alcalá de Henares	31,45	59,50	1,59
024-03 Fuentidueña del Tajo	34,70	119,25	13,43
026-02 Robledo de Chavela	4,90	10,19	0,23



Figura 3.XXVI

Concentración media de nitratos por estación (2017)

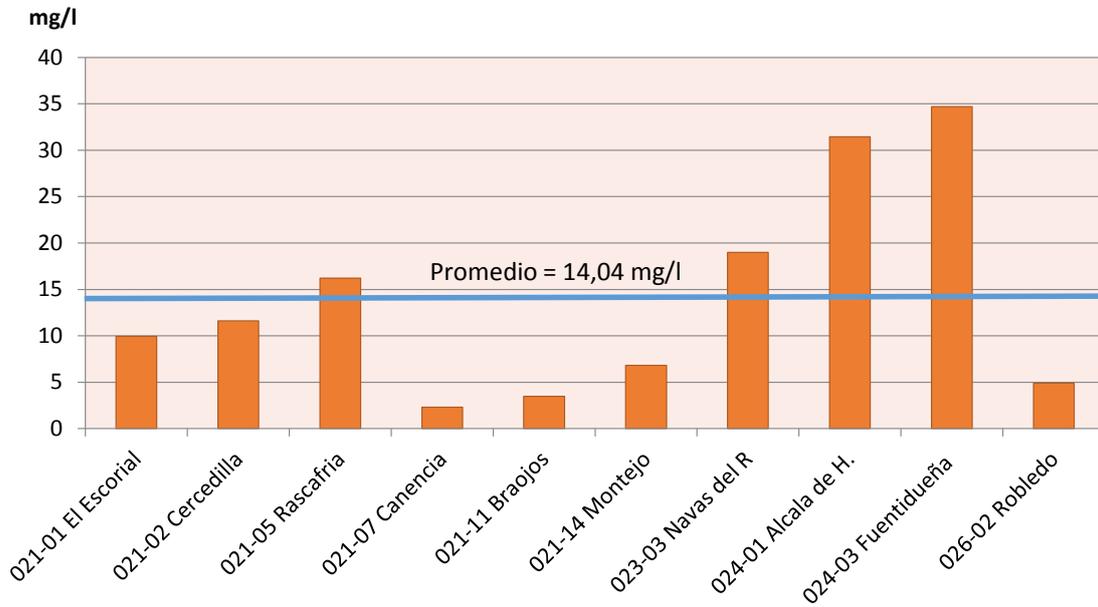


Figura 3.XXVII

Concentración de nitratos por muestreo (2017)

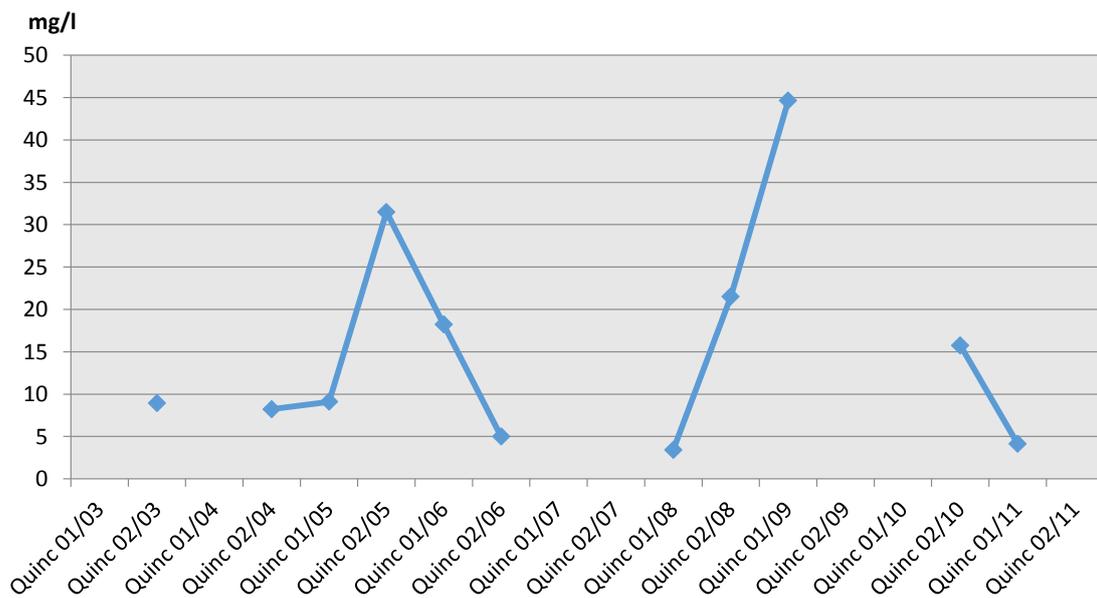




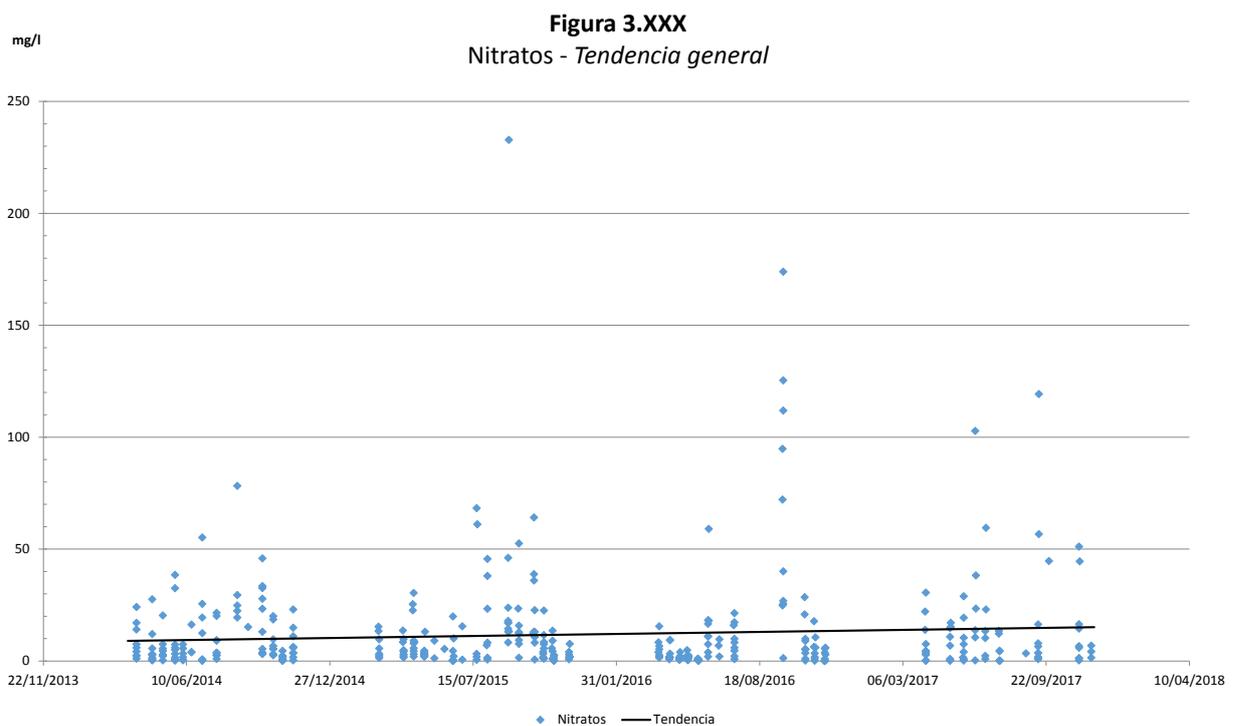
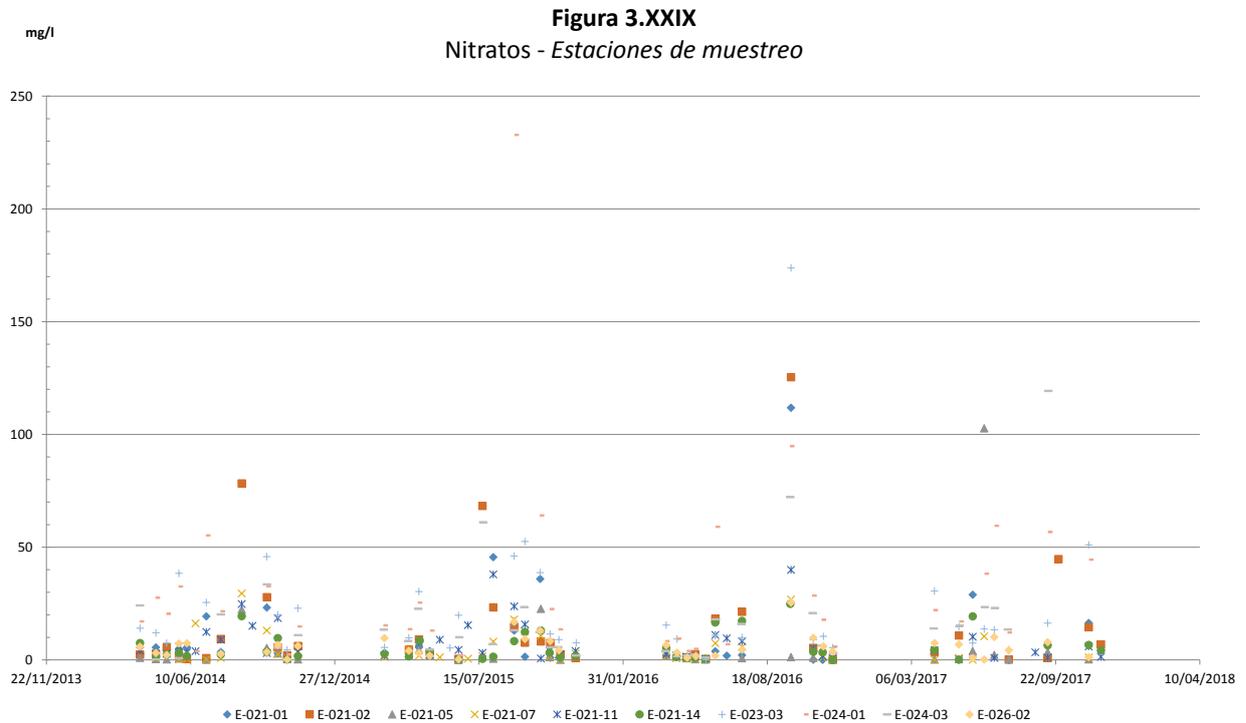
Figura 3.XXVIII

Concentración media de nitratos por estación de deposición
(2017)

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 5,16 mg/l; oscilando entre un valor mínimo de 0,06 mg/l en Rascafría en la segunda quincena de abril (viaje nº4) y un máximo de 109,25 mg/l en Fuentidueña del Tajo en la segunda quincena de Agosto (viaje nº12). La presencia de valores traza de sulfatos, con concentraciones inferiores a 0,5 mg/l, resultó escasa, con tan solo cinco de las muestras (7%). Según estaciones de muestreo (véase Figura 3.XXXI) destacaron con registros notablemente superiores a la media las estaciones de Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo. Por el contrario, con el promedio de concentración más reducido de 0,91 mg/l destacó Rascafría, si bien las concentraciones medias de estaciones como las de El Escorial, Cercedilla, Canencia de la Sierra, Braojos y Montejo de la Sierra fueron también bastante reducidas siempre inferiores a los 3 mg/l.

El comportamiento de la variable a lo largo de 2017 (véase Figura 3.XXXII) seguía una pauta muy parecida a la seguida por los nitratos, con la presencia de dos máximos: uno en la segunda quincena del mes de junio (muestreo o viaje nº6) con 7,51 mg/l, y otro en la segunda quincena de agosto (viaje nº12), con 13,11 mg/l.

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

En las Figura 3.XXXIV y 3.XXXV se aportan los datos obtenidos desde el año 2014 para cada una de las estaciones así como la tendencia general apreciada desde entonces. Con una tendencia general mínimamente creciente en la concentración de sulfatos en estos cuatro años, destacó nuevamente la estación de Fuentidueña del Tajo (024-03) con registros extremos en el mes de septiembre, pauta registrada tan solo en 2015.

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

ESTACIÓN	2017		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	2,49	10,48	0,00
021-02 Cercedilla	1,55	3,44	0,63
021-05 Rascafría	0,91	1,81	0,06
021-07 Canencia de la Sierra	1,90	4,36	0,38
021-11 Braojos	2,93	14,71	0,46
021-14 Montejo de la Sierra	1,41	3,17	0,60
023-03 Navas del Rey	4,45	9,05	1,90
024-01 Alcalá de Henares	10,37	22,30	3,80
024-03 Fuentidueña del Tajo	21,81	109,25	0,54
026-02 Robledo de Chavela	4,58	12,05	1,39



Figura 3.XXXI

Concentración media de sulfatos por estación (2017)

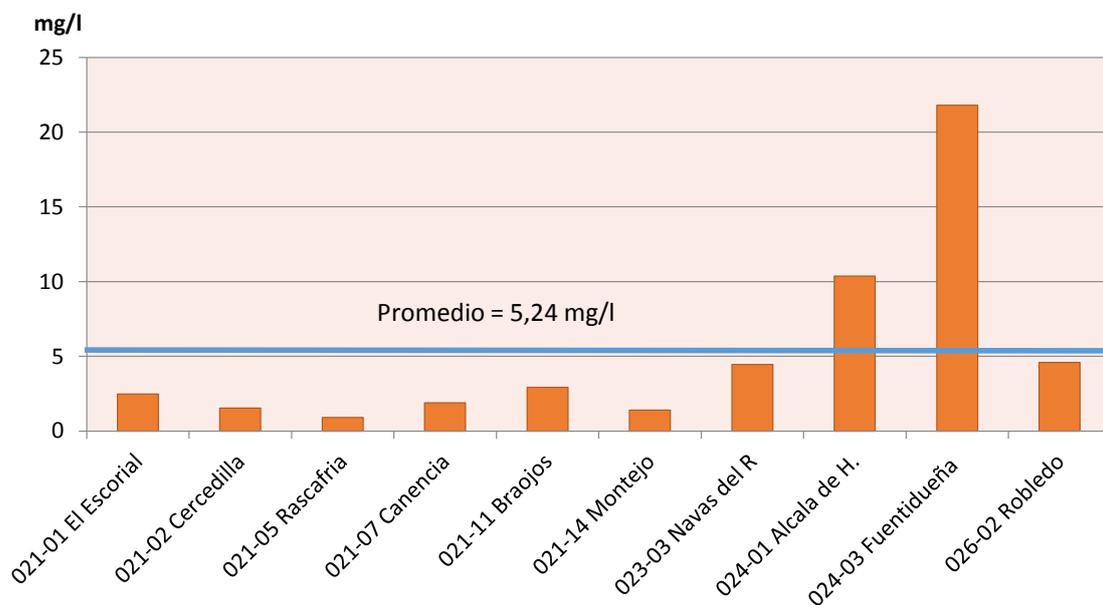


Figura 3.XXXII

Concentración de sulfatos por muestreo (2017)

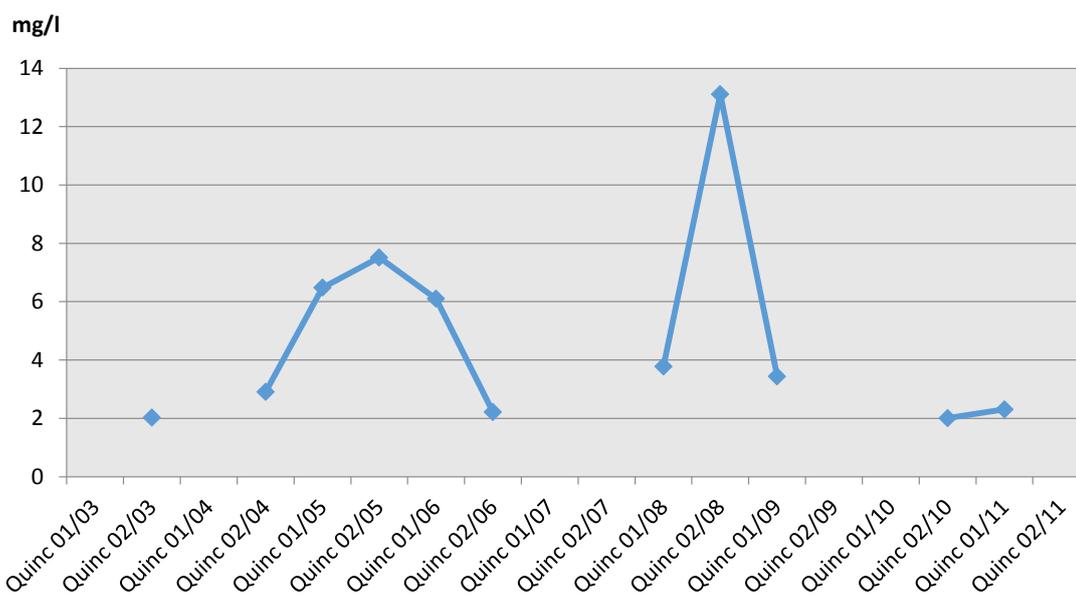
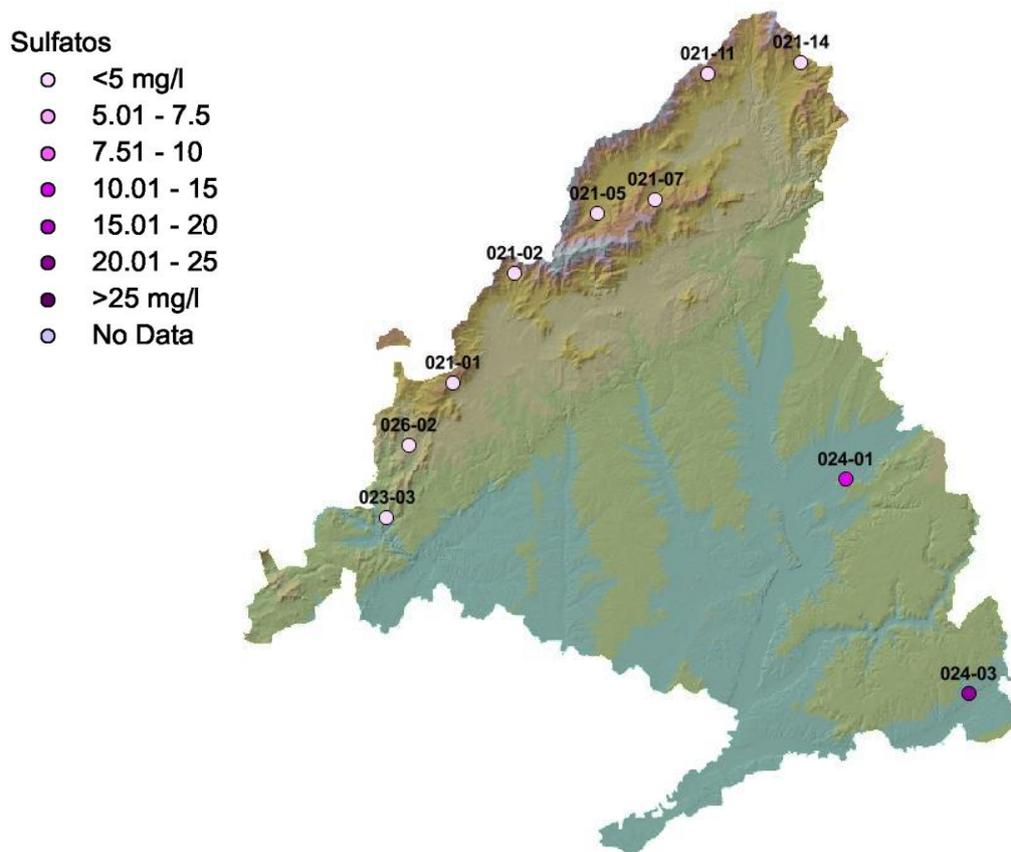




Figura 3.XXXIII

Concentración media de sulfatos por estación de deposición
(2017)



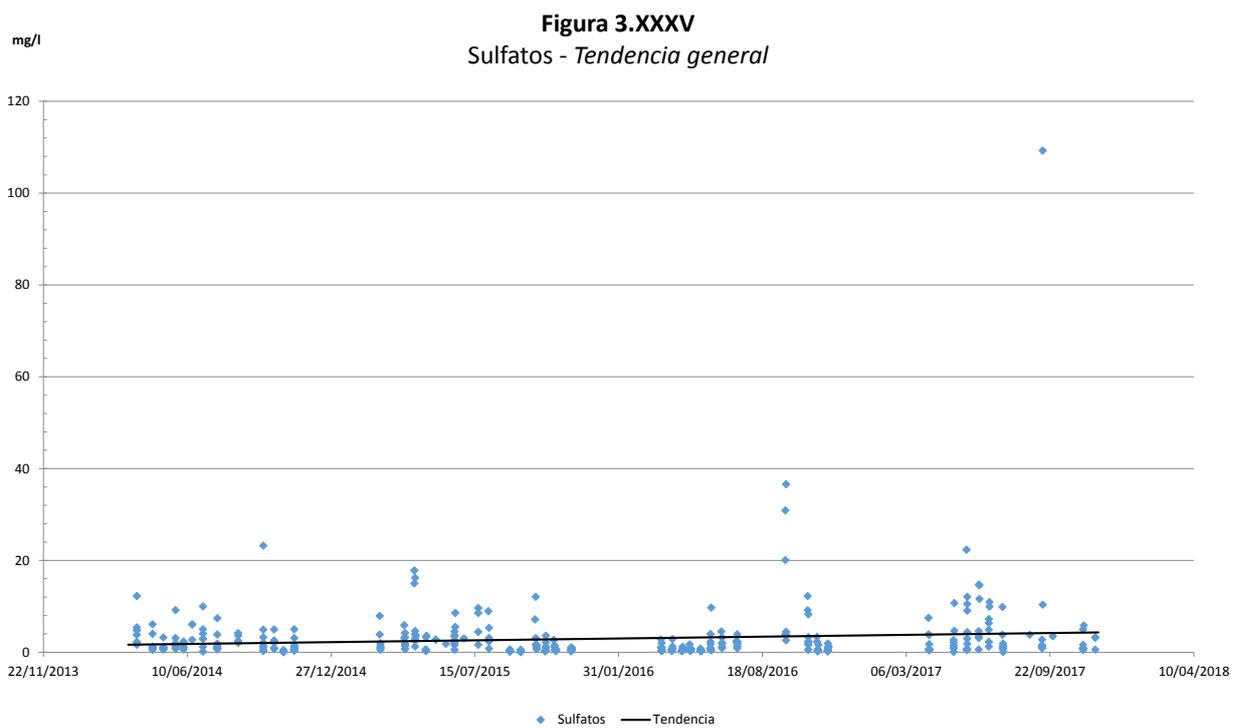
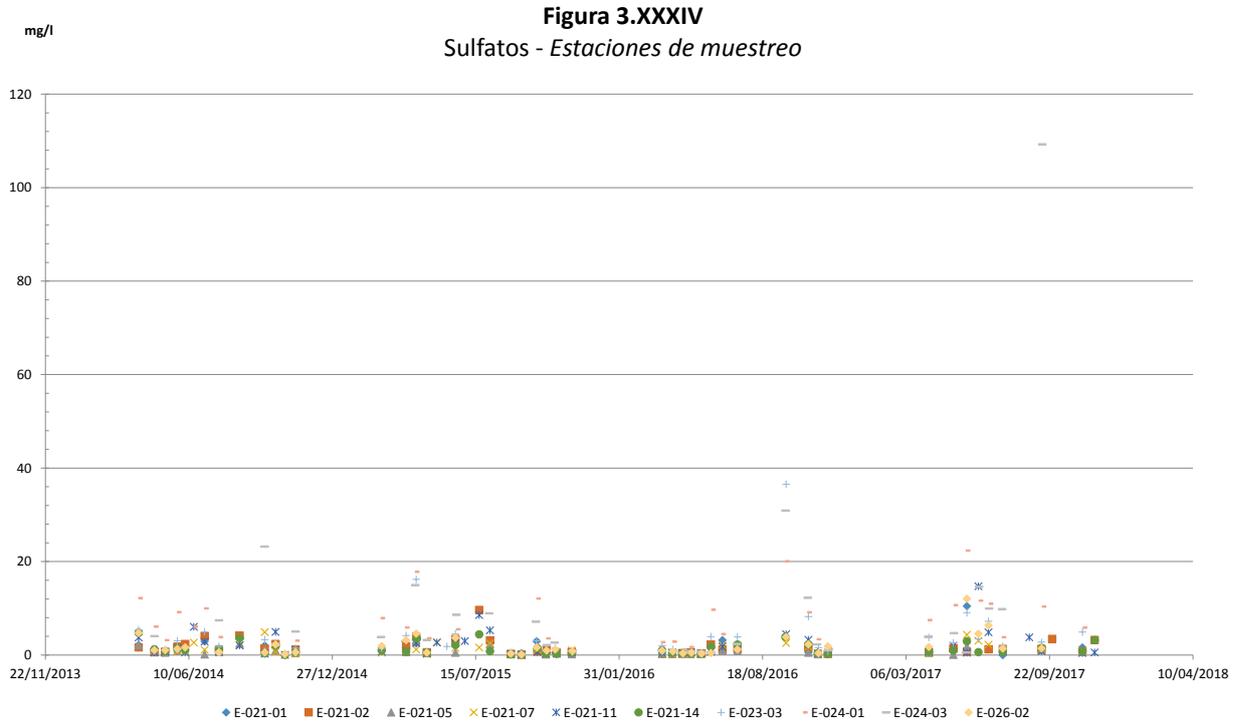




Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2017 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(µS/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	E-021-01	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-02	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-05	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-07	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-11	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-14	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-023-03	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-024-01	16/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-024-03	16/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-026-02	15/03/2017		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
2	E-021-01	07/04/2017	5,69	26	1,19	2,78	0,60
	E-021-02	07/04/2017	4,87	22	2,09	3,55	0,63
	E-021-05	07/04/2017	4,11	67	4,96	0,24	0,47
	E-021-07	07/04/2017	5,79	13	1,68	0,10	0,38
	E-021-11	07/04/2017	4,72	26	2,09	4,45	0,65
	E-021-14	07/04/2017	5,46	22	1,88	4,31	0,67
	E-023-03	07/04/2017	5,35	119	8,04	30,55	3,76
	E-024-01	06/04/2017	5,57	119	5,42	22,05	7,49
	E-024-03	06/04/2017	5,65	72	3,33	13,90	3,87
	E-026-02	07/04/2017	6,03	140	3,70	7,52	1,72
3	E-021-01	25/04/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	24/04/2017	-	-	-	-	-
	E-021-05	24/04/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	24/04/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	24/04/2017	-	-	-	-	-
	E-021-14	24/04/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	25/04/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	25/04/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	25/04/2017	-	-	-	-	-
	E-026-02	25/04/2017	-	-	-	-	-
4	E-021-01	11/05/2017	4,69	91	2,89	-	0,85
	E-021-02	11/05/2017	4,56	117	4,59	10,77	1,44
	E-021-05	11/05/2017	3,74	410	0,62	-	0,06
	E-021-07	11/05/2017	5,09	346	4,75	0,88	-
	E-021-11	11/05/2017	5,09	135	3,64	0,31	2,01
	E-021-14	11/05/2017	5,24	62	2,40	0,06	0,95
	E-023-03	11/05/2017	5,63	105	5,32	14,67	2,61
	E-024-01	12/05/2017	5,97	389	16,21	17,00	10,66



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2017 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(μ S/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
5	E-024-03	12/05/2017	5,75	136	3,86	15,16	4,65
	E-026-02	11/05/2017	6,51	257	4,50	6,87	-
	E-021-01	30/05/2017	4,64	62	6,34	28,91	10,48
	E-021-02	30/05/2017	4,54	346	1,51	-	0,69
	E-021-05	30/05/2017	4,30	104	1,71	4,06	1,81
	E-021-07	30/05/2017	3,10	432	13,79	0,14	4,36
	E-021-11	30/05/2017	4,03	101	3,46	10,35	0,54
	E-021-14	30/05/2017	5,60	29	5,16	19,32	2,95
	E-023-03	30/05/2017	5,34	89	10,10	7,50	9,05
	E-024-01	29/05/2017	-	-	2,15	1,59	22,30
	E-024-03	29/05/2017	5,78	171	1,56	-	0,54
	E-026-02	30/05/2017	5,69	36	14,35	0,88	12,05
6	E-021-01	15/06/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	15/06/2017	5,42	220	-	-	-
	E-021-05	15/06/2017	2,74	1218	13,72	102,78	-
	E-021-07	15/06/2017	3,07	496	5,41	10,51	3,08
	E-021-11	15/06/2017	3,29	770	9,65	-	14,71
	E-021-14	15/06/2017	4,65	119	3,58	-	0,60
	E-023-03	15/06/2017	5,83	51	1,93	13,74	3,45
	E-024-01	16/06/2017	6,27	208	18,72	38,25	11,60
	E-024-03	16/06/2017	6,10	139	2,66	23,42	14,57
E-026-02	15/06/2017	5,67	40	2,82	0,23	4,58	
7	E-021-01	29/06/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	29/06/2017	4,34	216	9,03	-	1,19
	E-021-05	29/06/2017	3,34	545	15,50	2,29	-
	E-021-07	29/06/2017	5,27	56	1,44	-	2,22
	E-021-11	29/06/2017	4,25	491	9,97	0,90	4,89
	E-021-14	29/06/2017	5,79	75	9,19	-	-
	E-023-03	29/06/2017	6,15	135	3,57	13,36	7,20
	E-024-01	30/06/2017	5,92	283	5,92	59,50	10,93
	E-024-03	30/06/2017	6,08	123	2,14	23,03	9,93
E-026-02	29/06/2017	6,26	212	34,58	10,190	6,33	
8	E-021-01	19/07/2017	5,50	59	0,00	0,00	0,00
	E-021-02	19/07/2017	6,11	88	2,17	0,12	1,29
	E-021-05	19/07/2017	6,10	148	3,31	0,29	1,28
	E-021-07	19/07/2017	6,07	51	5,33	-	1,09
	E-021-11	19/07/2017	4,24	83	0,97	-	0,85
	E-021-14	19/07/2017	5,90	39	1,44	-	0,68



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2017 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(µS/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	E-023-03	19/07/2017	5,74	60	2,28	4,61	1,90
	E-024-01	18/07/2017	5,81	122	2,52	12,14	3,80
	E-024-03	18/07/2017	5,76	185	3,54	13,43	9,82
	E-026-02	19/07/2017	5,04	59	1,73	4,32	1,39
9	E-021-01	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-021-05	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-021-14	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	28/07/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	29/07/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	29/07/2017	-	-	-	-	-
E-026-02	28/07/2017	-	-	-	-	-	
10	E-021-01	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-05	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-14	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	08/08/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	07/08/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	07/08/2017	-	-	-	-	-
E-026-02	08/08/2017	-	-	-	-	-	
11	E-021-01	24/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	25/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-05	25/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	25/08/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	25/08/2017	5,31	289	10,59	3,42	3,78
	E-021-14	25/08/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	24/08/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	24/08/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	24/08/2017	-	-	-	-	-
E-026-02	24/08/2017	-	-	-	-	-	
12	E-021-01	11/09/2017	6,72	59	2,18	1,71	1,40
	E-021-02	11/09/2017	6,51	74	1,83	0,81	1,27
	E-021-05	11/09/2017	6,03	138	3,73	3,54	1,14
	E-021-07	11/09/2017	6,44	64	3,32	1,17	1,28



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2017 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(μ S/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	E-021-11	11/09/2017	6,18	94	0,93	1,16	0,84
	E-021-14	11/09/2017	5,95	75	1,79	6,44	1,46
	E-023-03	11/09/2017	5,96	89	2,41	16,35	2,74
	E-024-01	12/09/2017	6,08	243	5,02	56,62	10,33
	E-024-03	12/09/2017	6,83	247	19,52	119,25	109,25
	E-026-02	11/09/2017	6,26	206	18,75	7,88	1,43
13	E-021-01	26/09/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	26/09/2017	-	-	52,31	44,64	3,44
	E-021-05	26/09/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	26/09/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	26/09/2017	-	-	-	-	-
	E-021-14	26/09/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	25/09/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	25/09/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	25/09/2017	-	-	-	-	-
14	E-026-02	25/09/2017	-	-	-	-	-
	E-021-01	11/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	13/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-05	13/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	13/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	13/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-14	13/10/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	11/10/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	13/10/2017	-	-	-	-	-
15	E-024-03	13/10/2017	-	-	-	-	-
	E-026-02	11/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-01	24/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	24/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-05	24/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	24/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	24/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-14	24/10/2017	-	-	-	-	-
	E-023-03	23/10/2017	-	-	-	-	-
16	E-024-01	23/10/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	23/10/2017	-	-	-	-	-
	E-026-02	23/10/2017	-	-	-	-	-
	E-021-01	07/11/2017	5,39	76	3,13	16,38	1,61
	E-021-02	07/11/2017	5,29	72	2,57	14,47	0,80



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2017 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(μ S/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	E-021-05	07/11/2017	6,10	85	4,00	0,27	0,72
	E-021-07	07/11/2017	5,55	47	2,58	1,15	0,87
	E-021-11	07/11/2017	5,50	37	1,80	5,93	0,46
	E-021-14	07/11/2017	5,53	37	1,64	6,59	0,82
	E-023-03	07/11/2017	5,83	188	7,82	51,09	4,93
	E-024-01	08/11/2017	5,59	182	5,13	44,47	5,84
	E-024-03	08/11/2017	-	-	-	-	-
	E-026-02	07/11/2017	6,75	469	12,79	1,26	-
17	E-021-01	24/11/2017	-	-	-	-	-
	E-021-02	24/11/2017	6,11	74	12,17	6,84	3,19
	E-021-05	24/11/2017	-	-	-	-	-
	E-021-07	28/11/2017	-	-	-	-	-
	E-021-11	24/11/2017	6,48	183	6,09	1,40	0,56
	E-021-14	24/11/2017	6,67	58	9,65	4,21	3,17
	E-023-03	24/11/2017	-	-	-	-	-
	E-024-01	23/11/2017	-	-	-	-	-
	E-024-03	23/11/2017	-	-	-	-	-
	E-026-02	24/11/2017	-	-	-	-	-



Figura 3.XXXVI
pH Throughfall - 2017

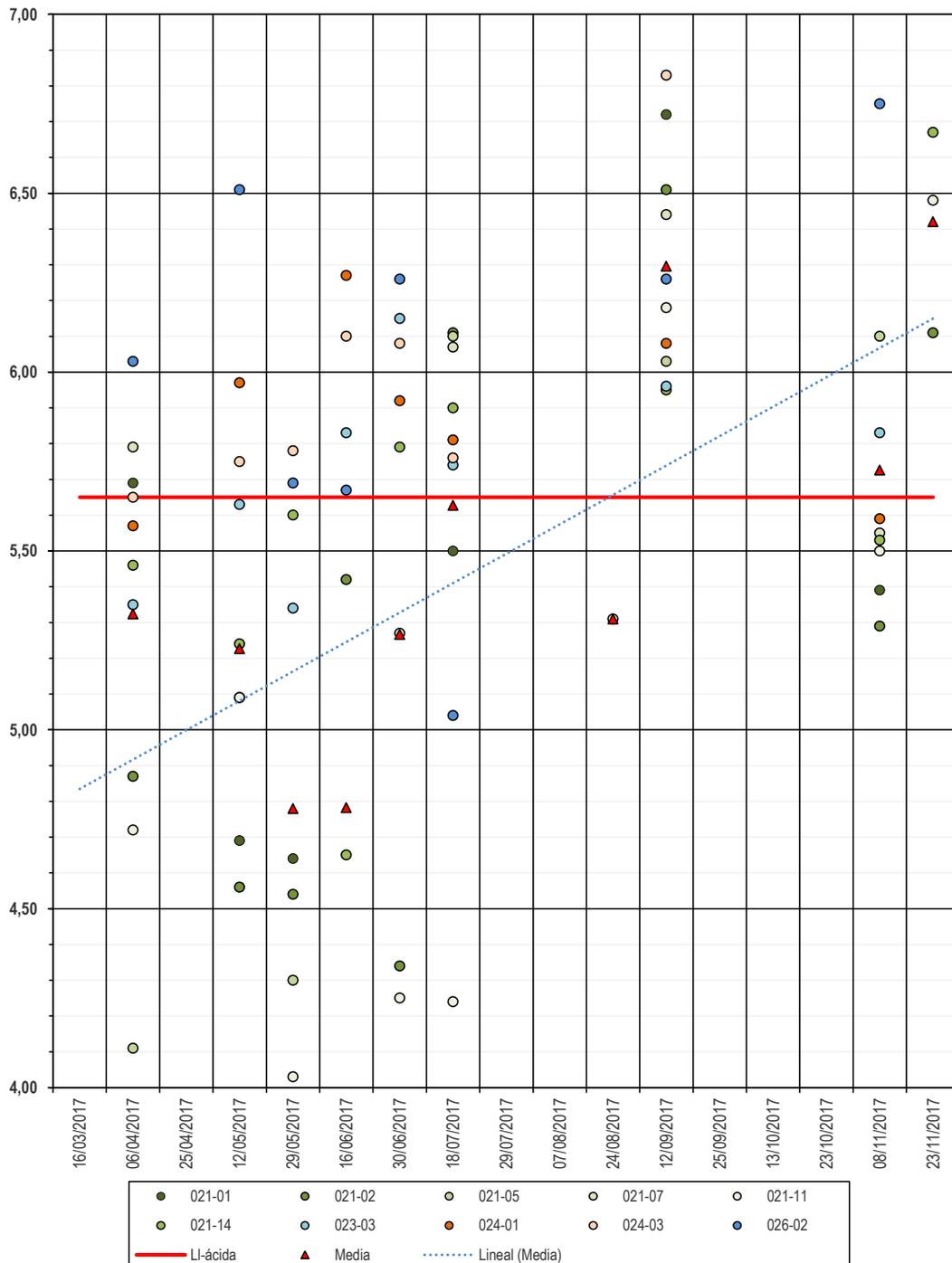




Figura 3.XXXVII
Conductividad (uS/cm) Throughfall - 2017

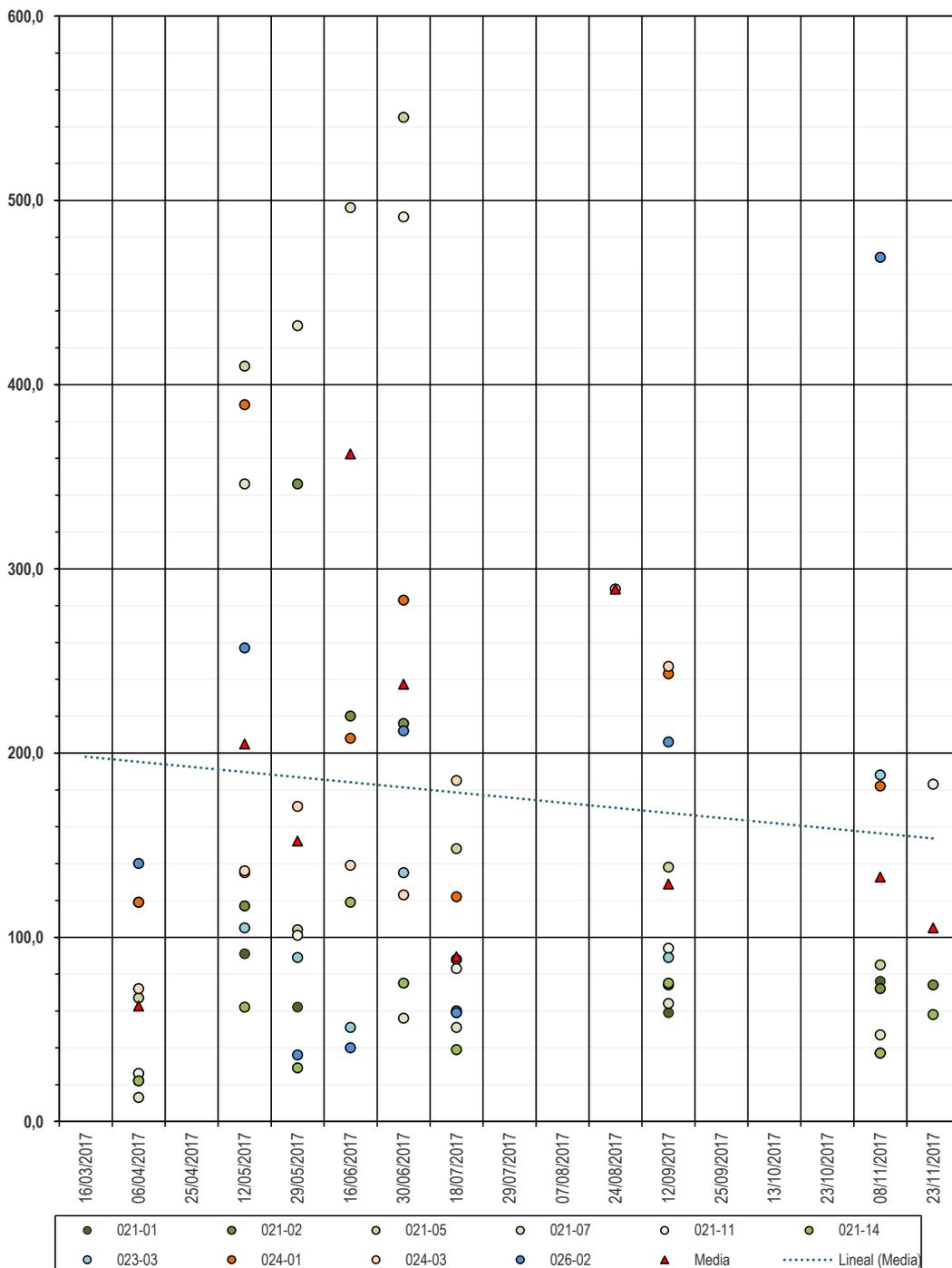




Figura 3.XXXVIII
Cloruros (mg/l) Throughfall - 2017

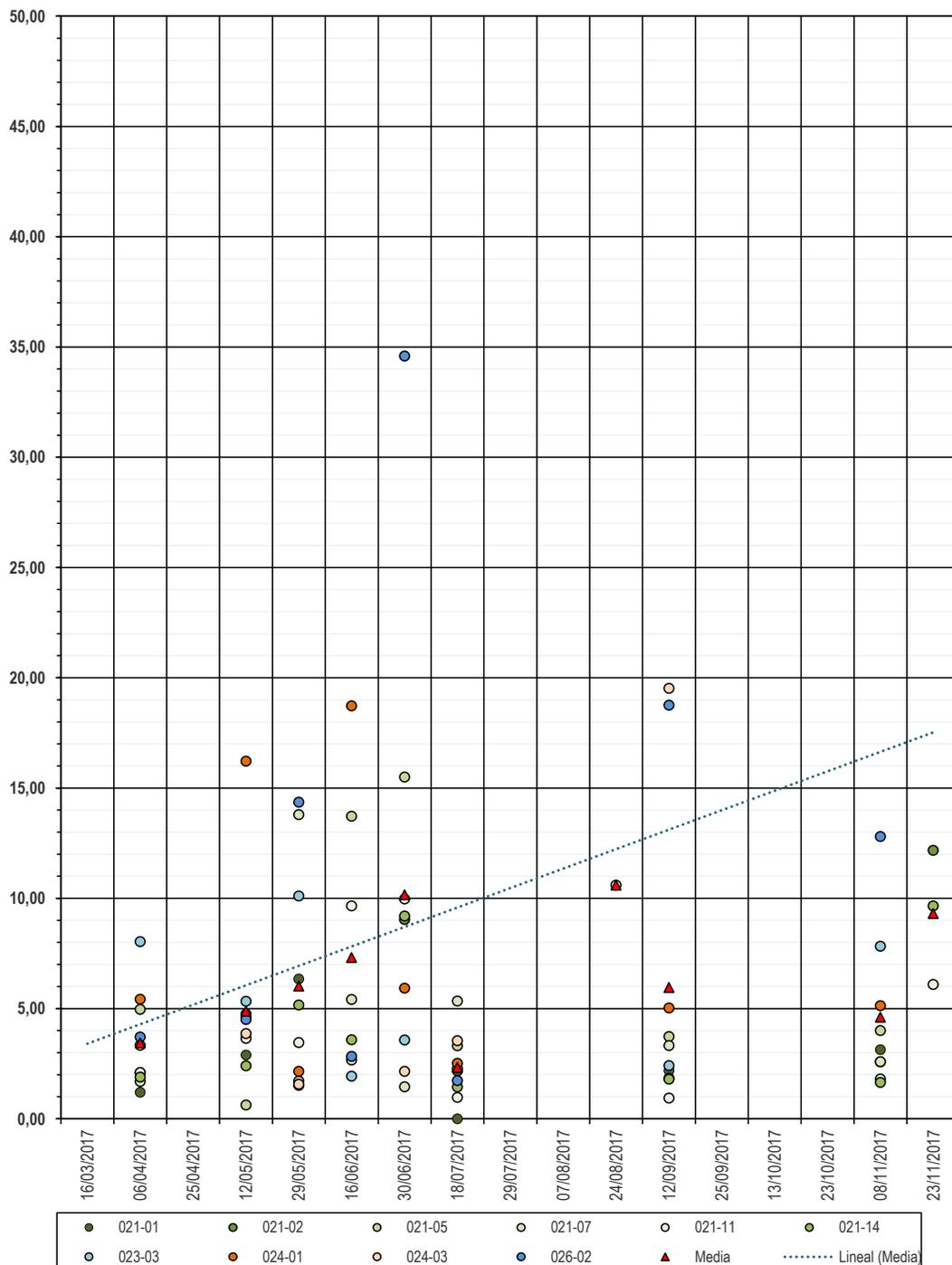




Figura 3.XXXIX
Nitratos (mg/l) Throughfall - 2017

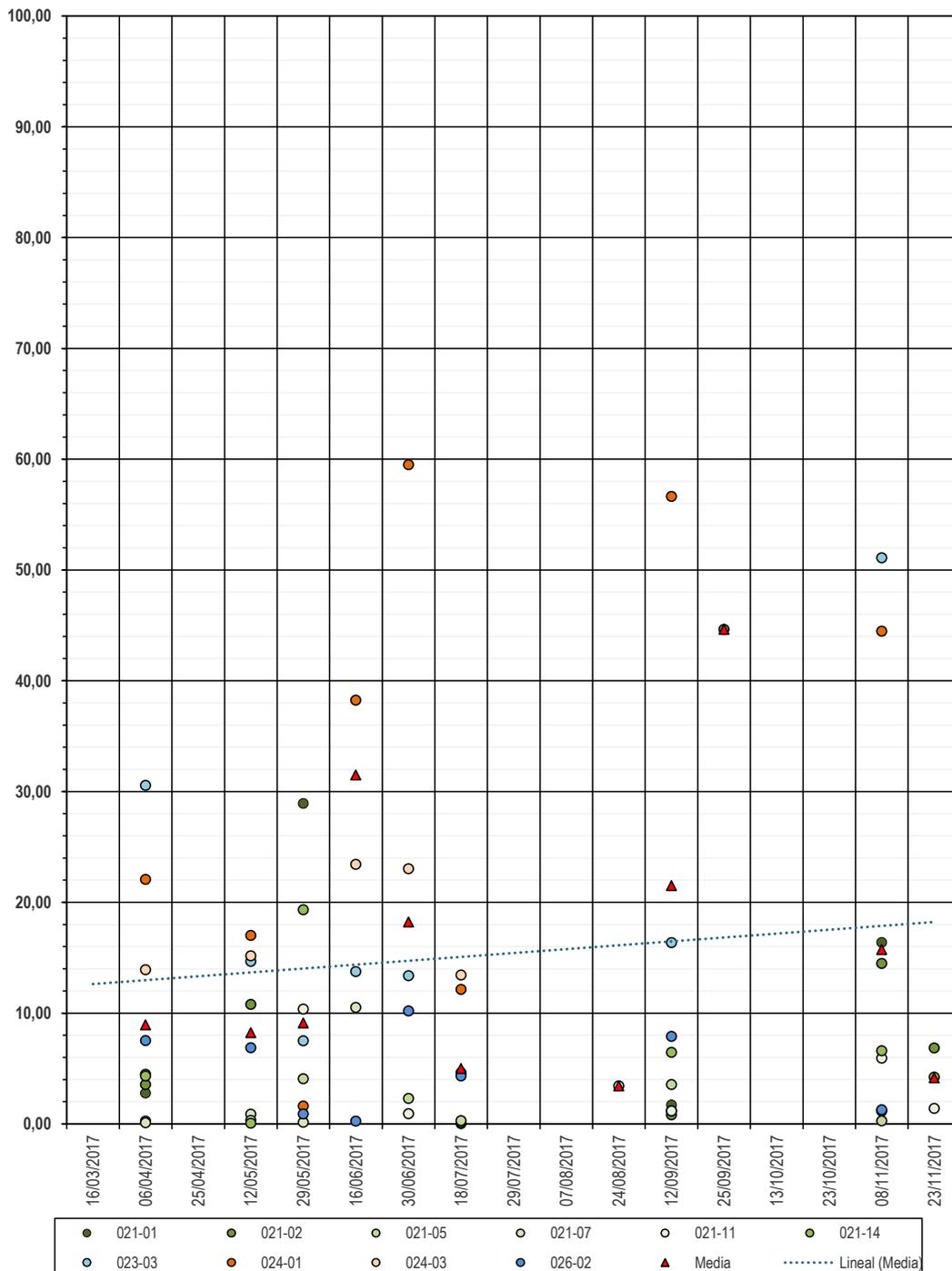
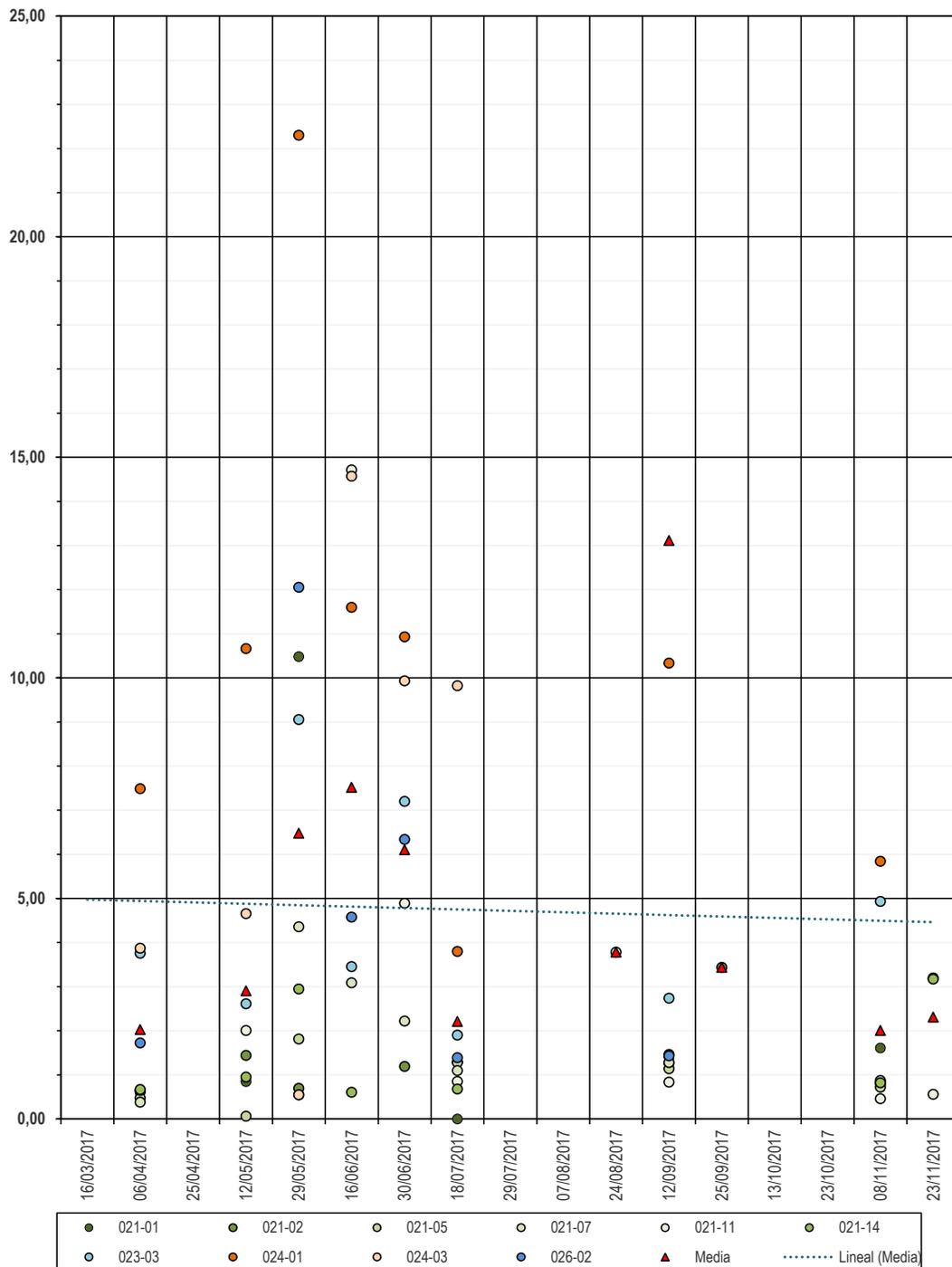




Figura 3.XL
Sulfatos (mg/l) Throughfall - 2017





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 O_3 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 O_3 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 O_3 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 O_3 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; Selldén y Pleijel, 1995; Davison y Barnes, 1998; Skärby *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 interespecíficas 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 (Figura 4.II).

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.

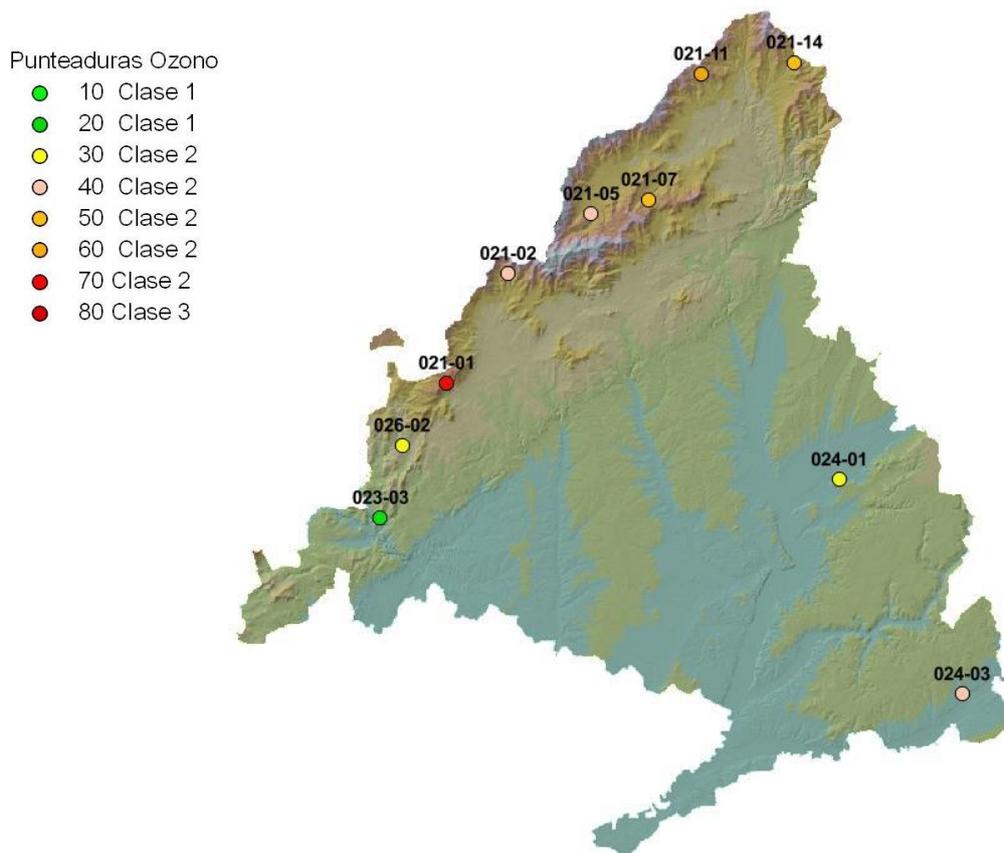
Como resumen de los resultados obtenidos en cada estación se adjunta un gráfico donde se puede observar el porcentaje de moteado clorótico en el conjunto de las 10 estaciones consideradas (Figura 4.I). También se adjunta un mapa con la distribución de las estaciones según sus daños (Figura 4.III). En ellas puede observarse como destacó en primer lugar la estación del Escorial seguida por las de Canencia, Braojos y Montejo de la Sierra, todas ellas con porcentajes de afección superiores al 40% de la superficie foliar. Estas tres últimas estaban situadas en el arco norte de la Sierra, siendo algo menor los porcentajes de afección registrados en la zona sur de la Comunidad, destacando la parcela de Navas del Rey con el porcentaje foliar menos afectado.

En las Figuras 4.IV y 4.V se muestra la evolución mostrada por el porcentaje de superficie foliar afectada por el ozono en todos estos años para cada estación y especie botánica. En ellas destaca el pino silvestre como la especie más afectada en todos estos años, siendo el pino piñonero por el contrario la menos afectada. En este último año se habría dado además un repunte en los daños por ozono, con un importante aumento en los daños registrados tanto en el pino silvestre como en el carrasco, única especie que desde 2014 viene mostrando una tendencia claramente ascendente en el porcentaje de daño



Figura 4.1

Punteaduras necróticas atribuidas a la acción del ozono
(2017)



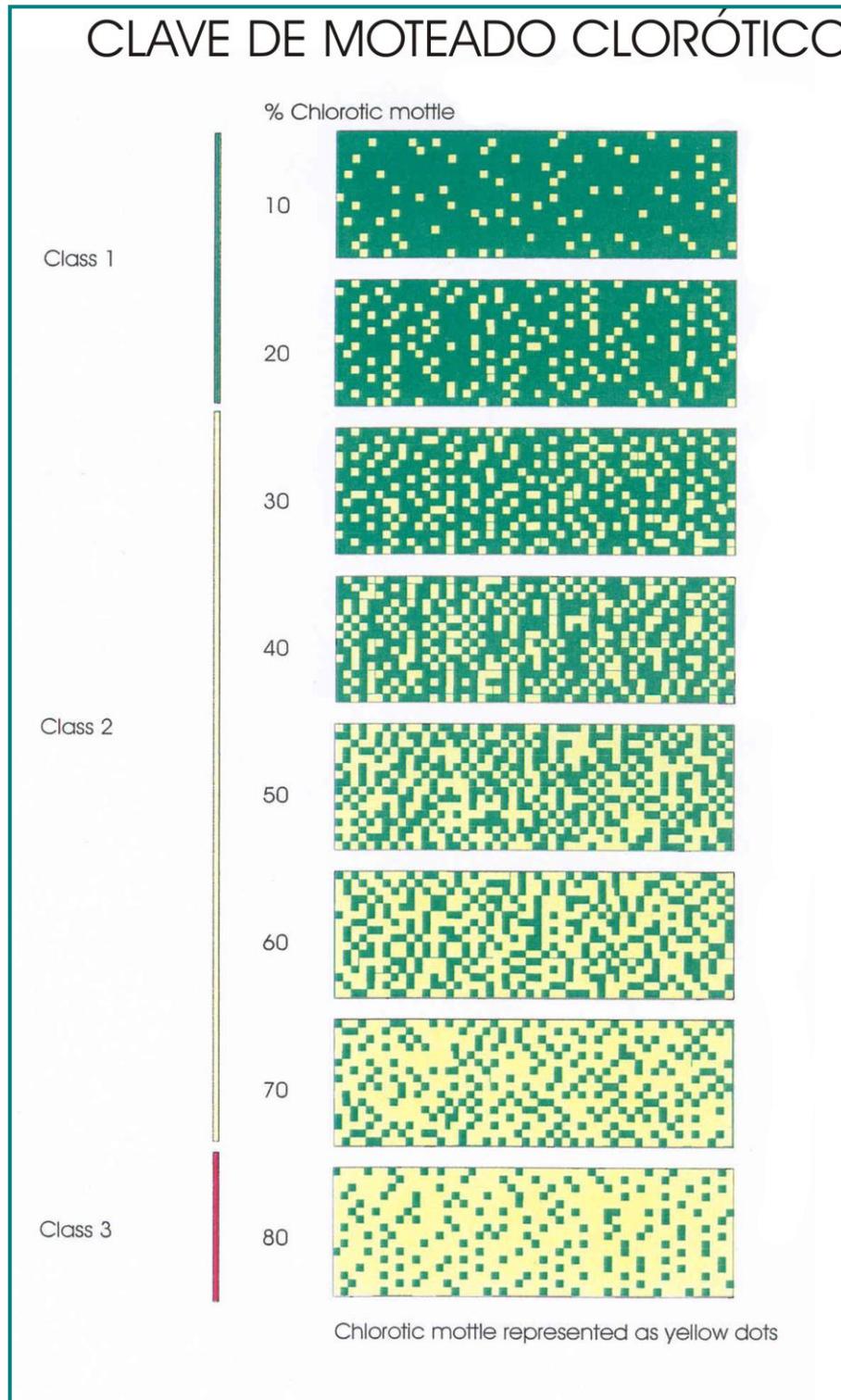


Figura 4.II Clave de moteado clorótico

Tabla 4.I Punteaduras necróticas asociadas al ozono en cada estación (2017)

ESTACIÓN	TERMINO MUNICIPAL	ESPECIE	% de superficie
021-01	San Lorenzo de El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	65
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	34
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	32
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	47
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	56
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	51
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	15
024-01	Alcala de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	30
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	39
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	27

Figura 4.III

Porcentaje de punteaduras necróticas en acículas (2017)

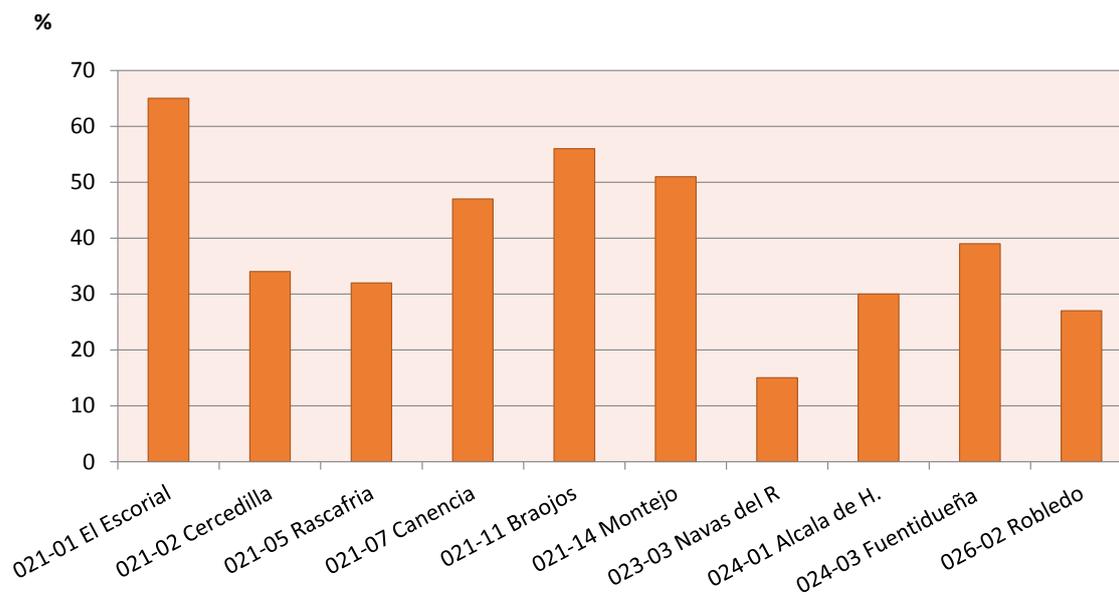




Figura 4.IV Porcentaje medio por estación y especie de superficie foliar afectada por O₃ (2014-2017)

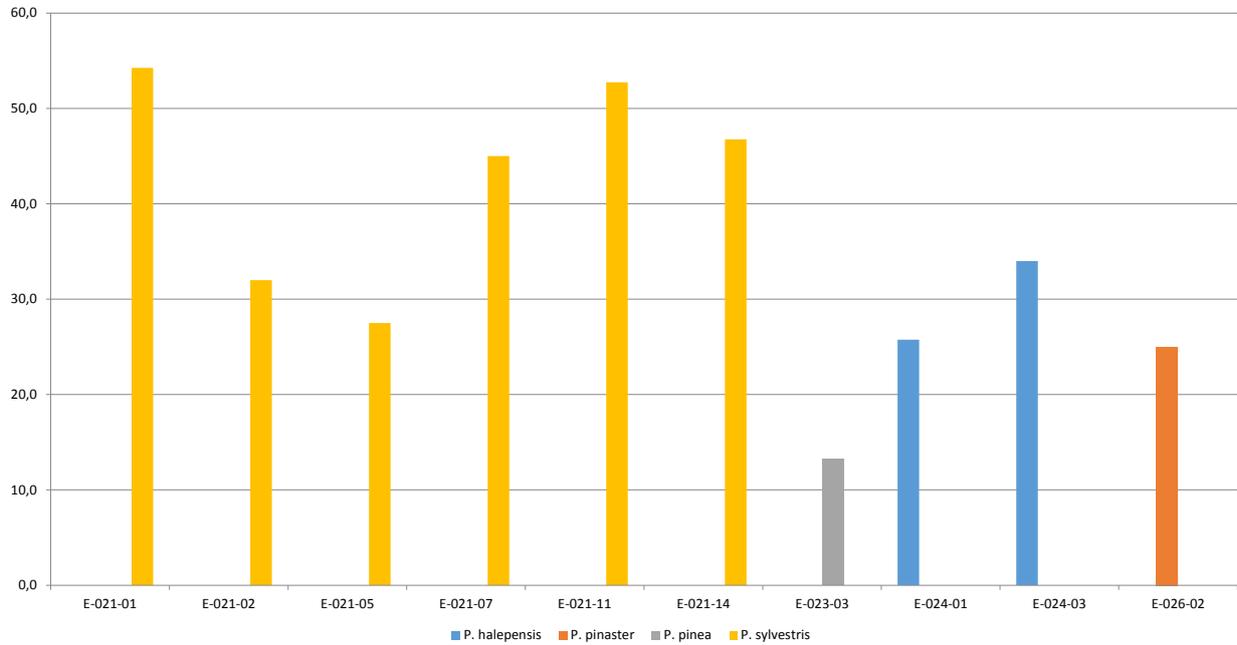


Figura 4.V Porcentaje medio por año y especie de superficie foliar afectada por O₃ (2014-2017)

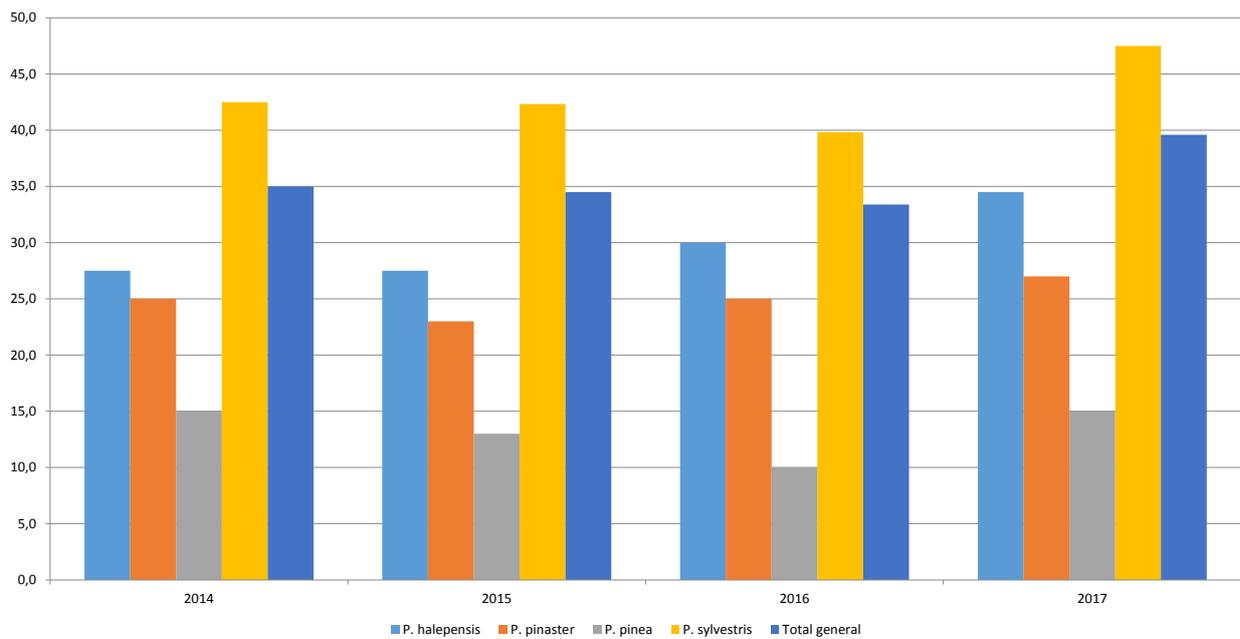


Fig. 4.VI. Fotografías de acículas de las estaciones



E-021-01 El Escorial. Hojas 1 año



E-021-01 El Escorial. Hojas 2 años



E-021-02 Cercedilla. Hojas 1 año



E-021-02 Cercedilla. Hojas 2 años



E-021-05 Rascafría. Hojas 1 año



E-021-05 Rascafría. Hojas 2 años



E-021-07 Canencia. Hojas 1 año



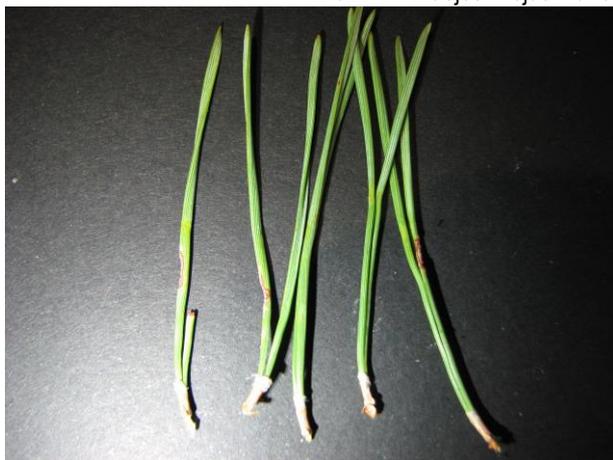
E-021-07 Canencia. Hojas 2 años



E-021-11 Braojos. Hojas 1 año



E-021-11 Braojos. Hojas 2 años



E-021-14 Montejo de la Sierra. Hojas 1 año



E-021-14 Montejo de la Sierra. Hojas 2 años



E-023-03 Navas del Rey. Hojas 1 año



E-023-03 Navas del Rey. Hojas 2 años



E-024-01 Alcalá de Henares. Hojas 1 año



E-024-01 Alcalá de Henares. Hojas 2 años



E-024-03 Fuentidueña de Tajo. Hojas 1 año



E-024-03 Fuentidueña de Tajo. Hojas 2 años



ES-026-02 Robledo de Chavela. Hojas 1 año



ES-026-02 Robledo de Chavela. Hojas 2 años



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 abril y finales de noviembre de 2017 oscilaron entre los 0,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en Cercedilla en la primera quincena de junio (viaje nº6) y los 102,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Rascafría en la primera quincena de mayo (viaje nº3), 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, entre las que destacaron las estaciones de Fuentidueña del Tajo, Montejo de la Sierra y Rascafría con medias anuales superiores a los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ seguidas muy de cerca por la de Alcalá de Henares. En el lado opuesto, con registros medios anuales entorno a los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ destacaron las estaciones de Canencia de la Sierra, Cercedilla y El Escorial.

En la Figura 5.II, 5.III y 5.IV se recoge la evolución de las concentraciones medias y por estación durante la presente campaña y anteriores desde 2014. En ellas puede apreciarse cómo en los últimos años es clara la tendencia decreciente en las concentraciones de ozono. Además, en 2017 y a diferencia de años anteriores, apenas se dio, o por lo menos fue muy difusa, la esperada evolución estacional a la que suele ajustarse este contaminante. Y es que en líneas generales la evolución anual observada en años anteriores viene marcada por un amplio máximo primaveral y eminentemente estival, seguido de una reducción progresiva de sus niveles durante los meses de otoño para ser mínimos en invierno. En 2017 la evolución seguida por la concentración de ozono fue sin embargo algo errática, si bien cabría apuntar la presencia de registros máximos tanto en abril y mayo (máximos primaverales, entre los que podrían citarse los

datos de la primera quincena de mayo en las estaciones de Rascafría, Montejo de la Sierra y Fuentidueña del Tajo cercanos a los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) como en agosto (máximos estivales, entre los que destacaron en la segunda quincena de agosto los registrados en las estaciones de Montejo de la Sierra, Fuentidueña del Tajo y Alcalá de Henares que rondaron los 90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). En años anteriores las pautas geográfico- temporales apreciadas en las concentraciones de ozono estaban más definidas, con mayores niveles de ozono en el mes de agosto así como en el arco norte de la sierra de Madrid, donde se advierten mayores tasas de ozono a mayores altitudes, lo que indicaría un patrón de acción muy condicionado por el viento. Si bien la primera pauta se veía parcialmente satisfecha con los datos recogidos en 2017, la segunda quedaría aparentemente descartada, con registros mínimos en las estaciones de Canencia de la Sierra, Cercedilla y El Escorial, no así en las de Montejo de la Sierra, Rascafría, Robledo de Chavela e incluso Braojos.

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 ocurre en 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 durante los últimos años. Es por ello que una vez más, al igual que en años previos, los datos parecerían 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.



Tabla 5.1 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	Media
El Escorial	16,39	11,29	6,43	3,45	2,16	2,85	2,15	3,21	4,47	14,11	11,85	12,91	18,19	19,25	18,24	18,92	10,37
Cercedilla	4,42	2,98	1,98	1,35	0,33	0,69	1,51	2,15	2,96	16,92	13,25	17,83	29,01	25,87	19,12	35,18	10,97
Rascafría	56,17	78,10	102,09	56,63	61,28	80,81	70,24	72,69	79,28	90,45	70,77	60,19	68,94	62,57	45,18	50,60	69,12
Canencia	26,20	29,18	36,41	4,98	2,21	2,46	1,40	2,19	3,01	11,37	9,29	9,66	13,75	11,25	9,99	17,09	11,90
Braojos	43,71	35,21	27,80	13,51	9,73	17,15	23,47	31,15	43,49	57,93	49,41	44,96	56,14	58,27	37,43	41,92	36,95
Montejo	48,01	68,69	95,21	55,14	53,92	82,04	67,44	68,23	75,41	91,15	77,98	61,43	70,62	68,47	52,85	54,46	68,19
Navas del R	14,51	13,16	13,27	13,97	14,99	25,22	33,75	38,95	45,05	64,19	60,21	49,76	52,59	55,61	40,22	40,14	35,97
Alcalá de H	33,88	52,01	82,01	50,23	54,62	67,74	64,17	66,54	70,99	84,90	71,20	50,24	53,22	51,26	42,48	36,19	58,23
Fuentidueña	41,21	65,39	92,76	59,55	58,55	76,51	69,31	71,48	75,62	88,92	74,85	54,07	55,63	51,69	41,35	39,51	63,52
Robledo	12,20	12,87	13,14	11,74	12,28	16,61	17,65	20,17	23,25	36,47	34,25	29,96	33,04	35,17	28,50	29,90	22,95
Media	29,67	36,89	47,11	27,05	27,01	37,21	35,11	37,68	42,35	55,64	47,31	39,10	45,11	43,94	33,54	36,39	38,82

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

Figura 5.I

Valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de O₃ por estación (2017)

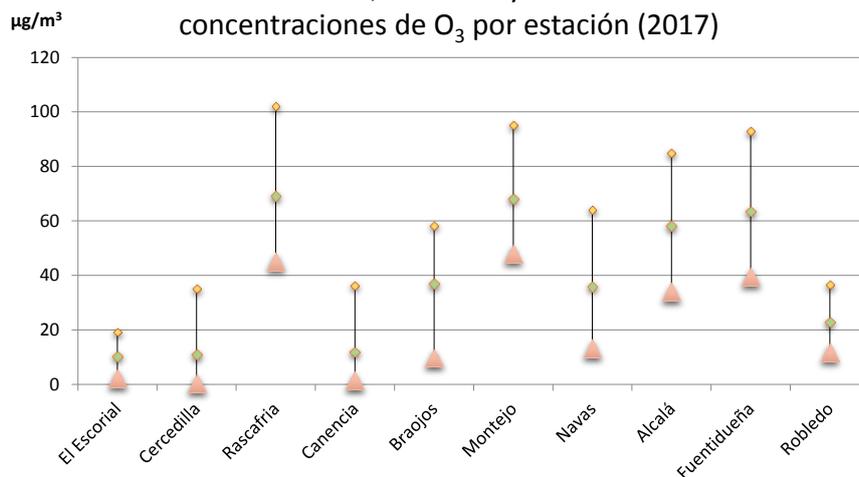
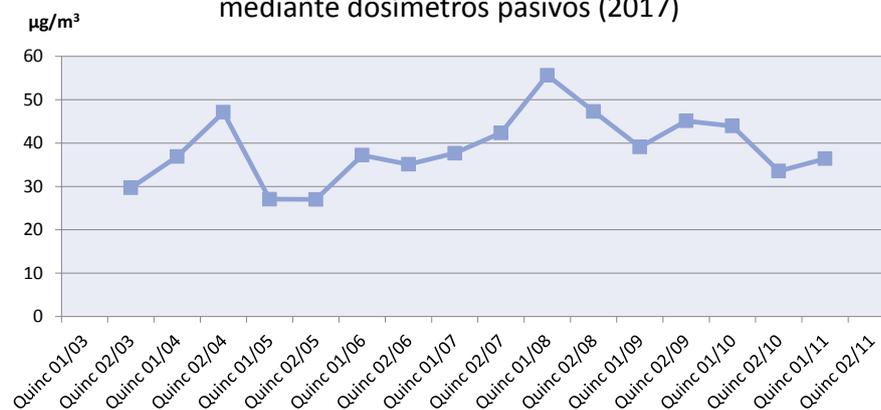
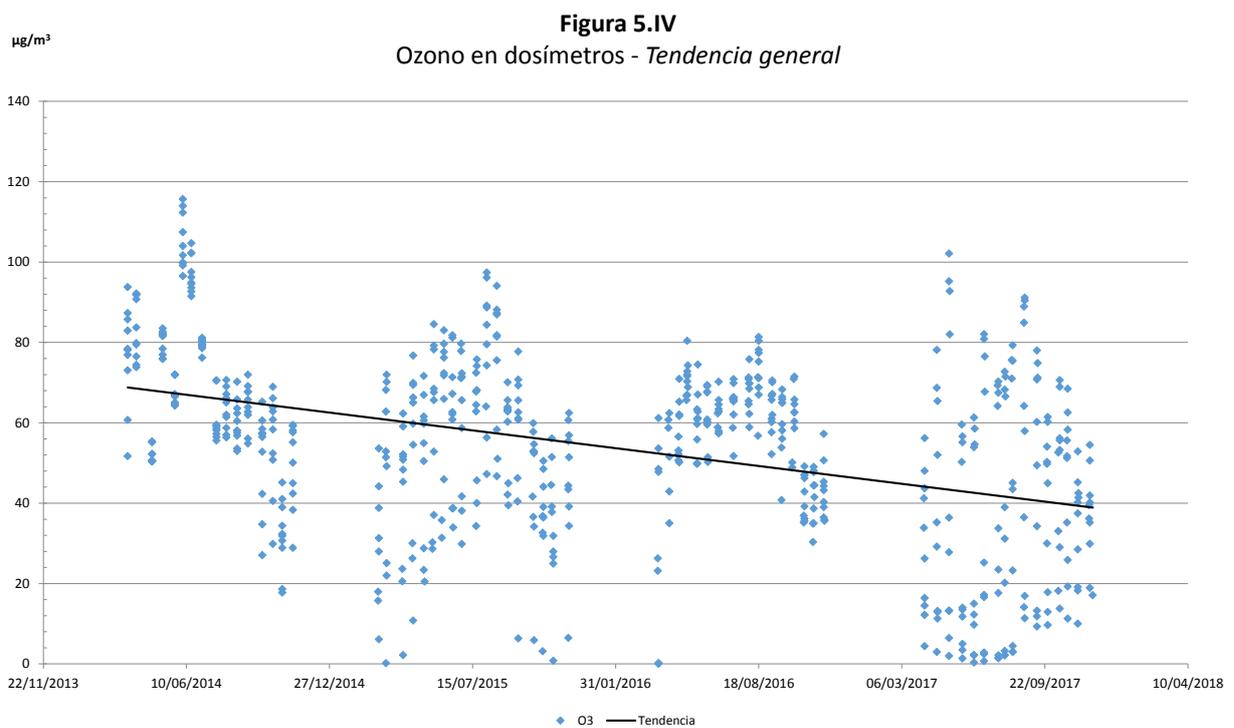
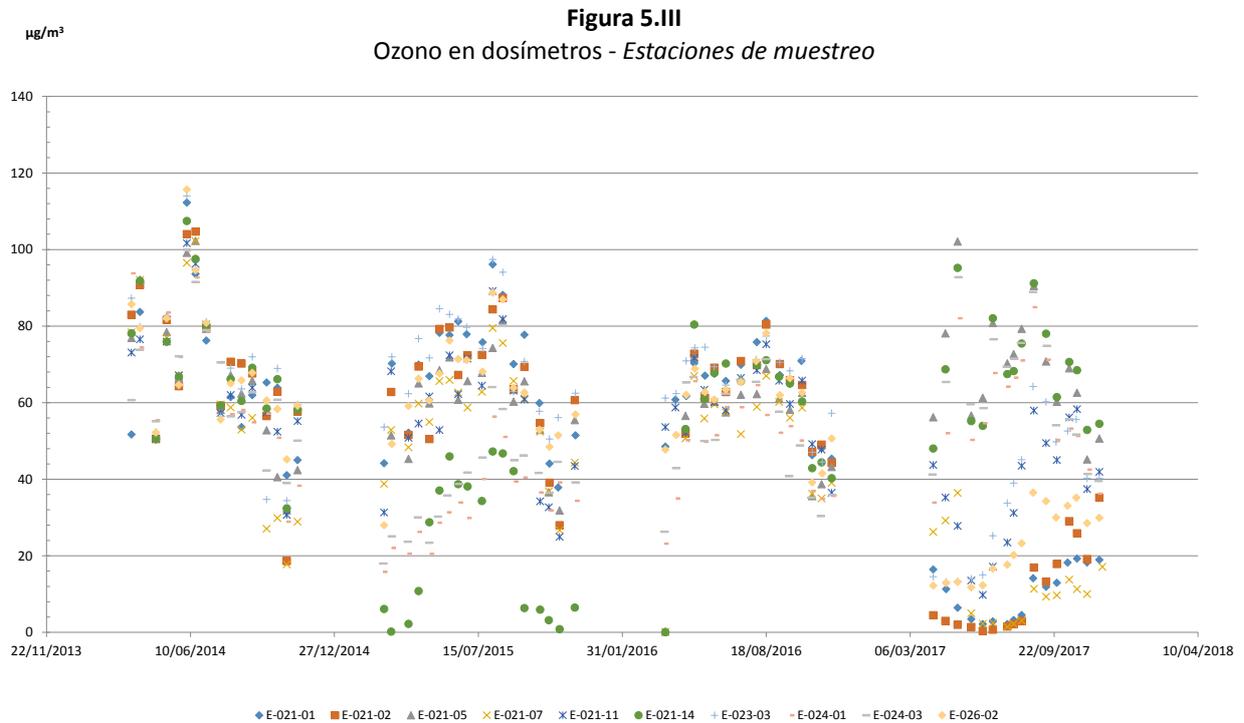


Figura 5.II

Promedio de las concentraciones de O₃ obtenidas mediante dosímetros pasivos (2017)





5.2. NIVELES DE NO₂ EN LA COMUNIDAD DE MADRID

La concentración media obtenida para el NO₂ durante la campaña de 2017 fue de 2,04 µg/m³. Los registros oscilaron entre los 0,26 µg/m³ registrados en Braojos la primera quincena de marzo (muestreo n^o4), y los 9,99 µg/m³ obtenidos en Alcalá de Henares en la primera quincena de octubre. 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 de años anteriores, las estaciones de Alcalá de Henares, Fuentidueña del Tajo y Robledo de Chavela fueron las que obtuvieron mayores registros (véase Figura 5.III), seguida de cerca por la de Navas del Rey. En el resto de estaciones los registros fueron bastante reducidos, si bien podrían destacarse con mínimos más frecuentes las de Braojos, Montejo de Arévalo y Rascafría. Los valores obtenidos en 2017 quedaron en términos generales muy por debajo de los umbrales de protección de la vegetación

y de la salud humana, si bien la tendencia desde 2014 es ligeramente ascendente (véase Figura 5.VII y 5.VIII).

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 e industriales 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 temporal de las concentraciones a lo largo de 2017 destacó el aumento que tuvieron los registros de forma generalizada a partir del mes de junio, permaneciendo elevados durante los meses de julio y agosto para descender con posterioridad, si bien no se retomaban los niveles mínimos de principios de año (véase Figura 5.VI). Este comportamiento podría explicar en parte el aumento apreciado en el ozono a partir del mes de julio, 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	0,69	0,57	0,38	0,90	1,28	2,25	2,13	2,01	1,84	2,00	0,97	1,10	1,43	1,12	0,64	0,71	1,25
Cercedilla	0,87	0,74	0,55	1,05	1,10	2,15	2,30	1,97	1,67	1,63	1,37	1,13	1,45	1,51	1,57	1,61	1,42
Rascafría	0,58	0,55	0,53	1,00	1,04	1,56	1,79	1,75	1,72	1,80	0,63	0,77	1,00	1,04	1,08	0,84	1,11
Canencia	1,06	1,03	0,93	1,08	1,04	2,32	2,32	2,25	2,18	2,62	1,13	1,43	2,26	2,09	1,58	1,77	1,69
Braojos	0,42	0,48	0,26	0,47	1,07	1,53	1,09	1,22	1,33	1,60	0,50	0,83	1,00	0,85	0,56	0,58	0,86
Montejo	0,62	0,59	0,53	0,80	0,71	1,53	1,53	1,50	1,63	1,54	0,71	0,89	1,03	1,09	1,15	1,18	1,06
Navas del R	1,00	1,02	1,14	1,86	1,67	2,66	2,76	2,35	1,89	2,15	2,41	1,53	2,40	2,97	3,21	3,42	2,15
Alcalá de H	4,42	4,57	4,69	7,45	5,26	8,57	9,27	9,31	9,43	7,93	8,36	9,09	9,99	7,58	4,18	6,98	7,32
Fuentidueña	2,48	2,19	1,69	2,47	1,99	3,67	3,66	3,98	4,62	2,19	3,08	2,37	2,53	2,98	3,51	4,03	2,97
Robledo	1,66	1,57	1,64	2,34	2,53	3,67	3,87	3,59	2,88	3,09	3,58	2,20	3,13	3,78	4,14	3,03	2,92
Media	1,38	1,33	1,23	1,94	1,77	2,99	3,07	2,99	2,92	2,66	2,27	2,14	2,62	2,50	2,16	2,41	2,27

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



Figura 5.V

Valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de NO₂ por estación (2017)

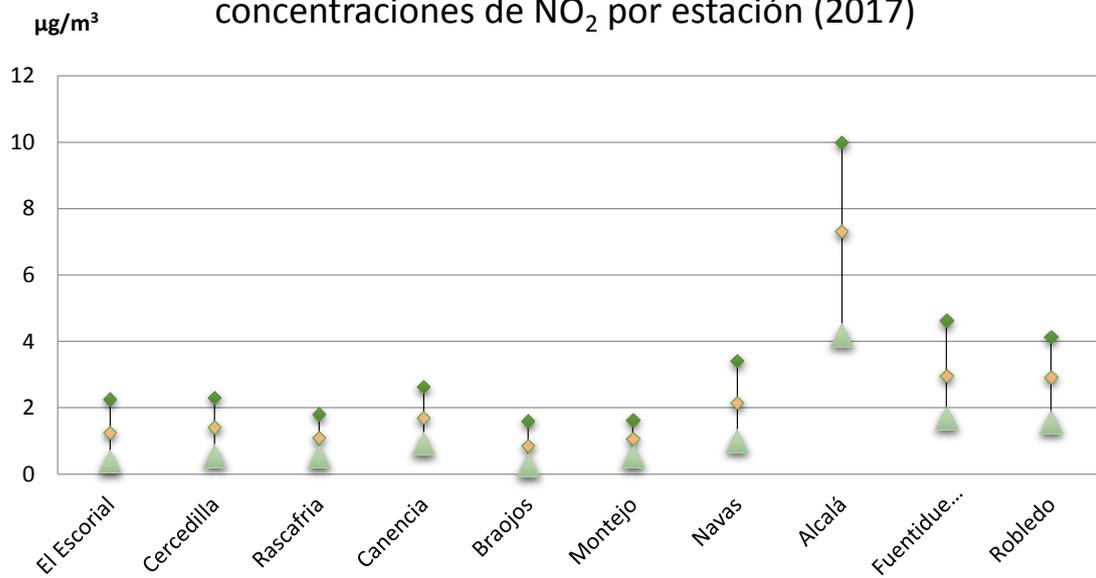
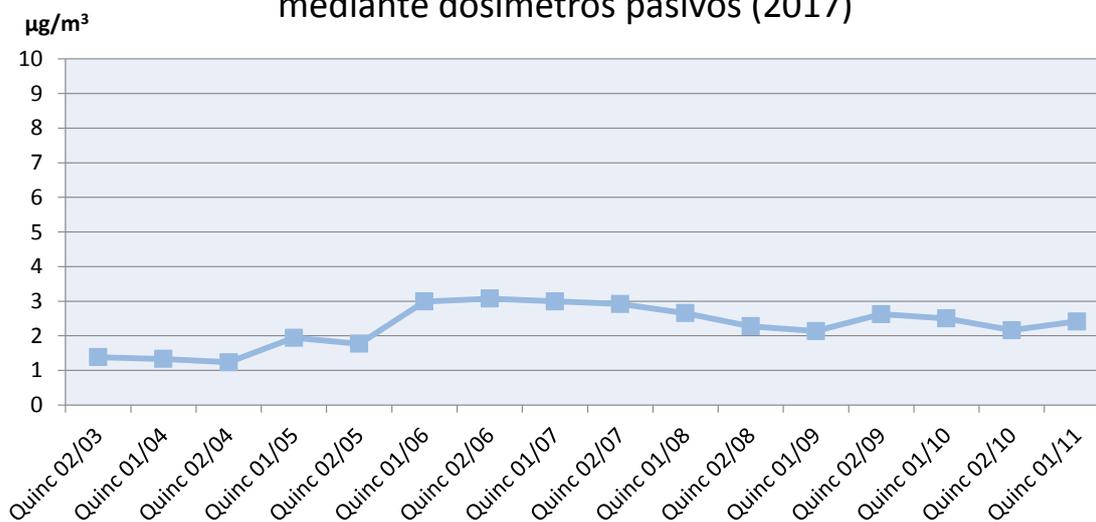
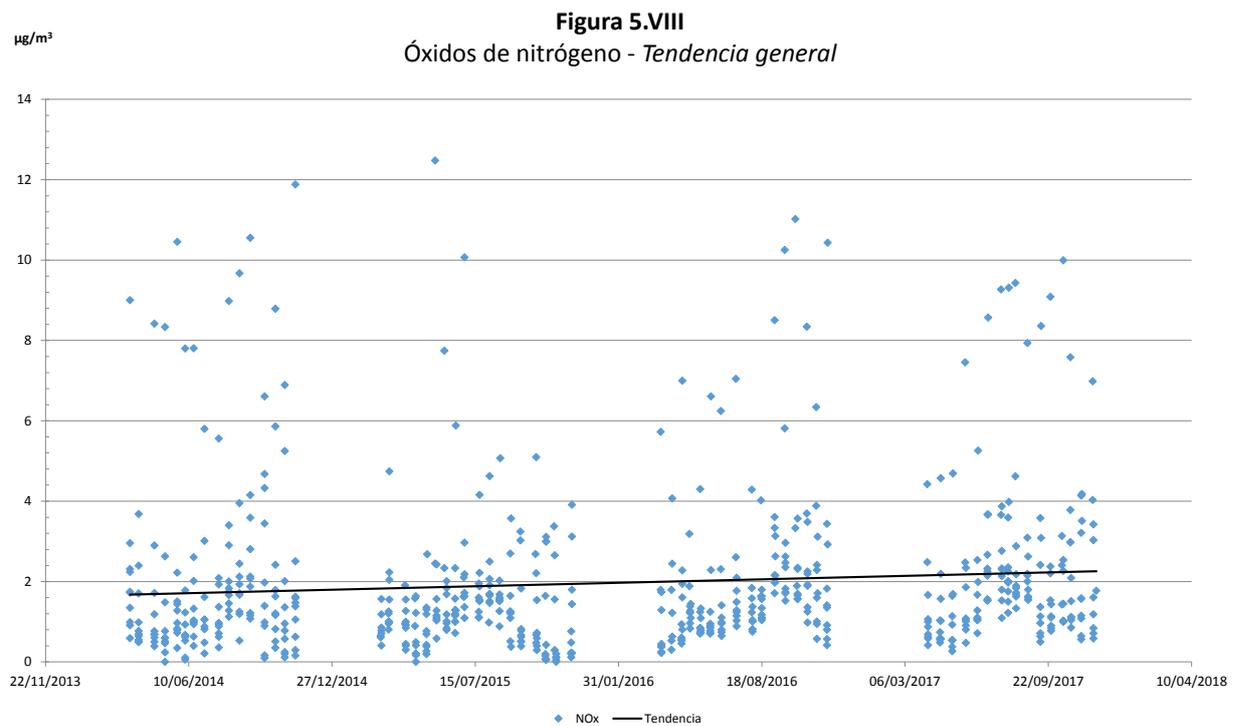
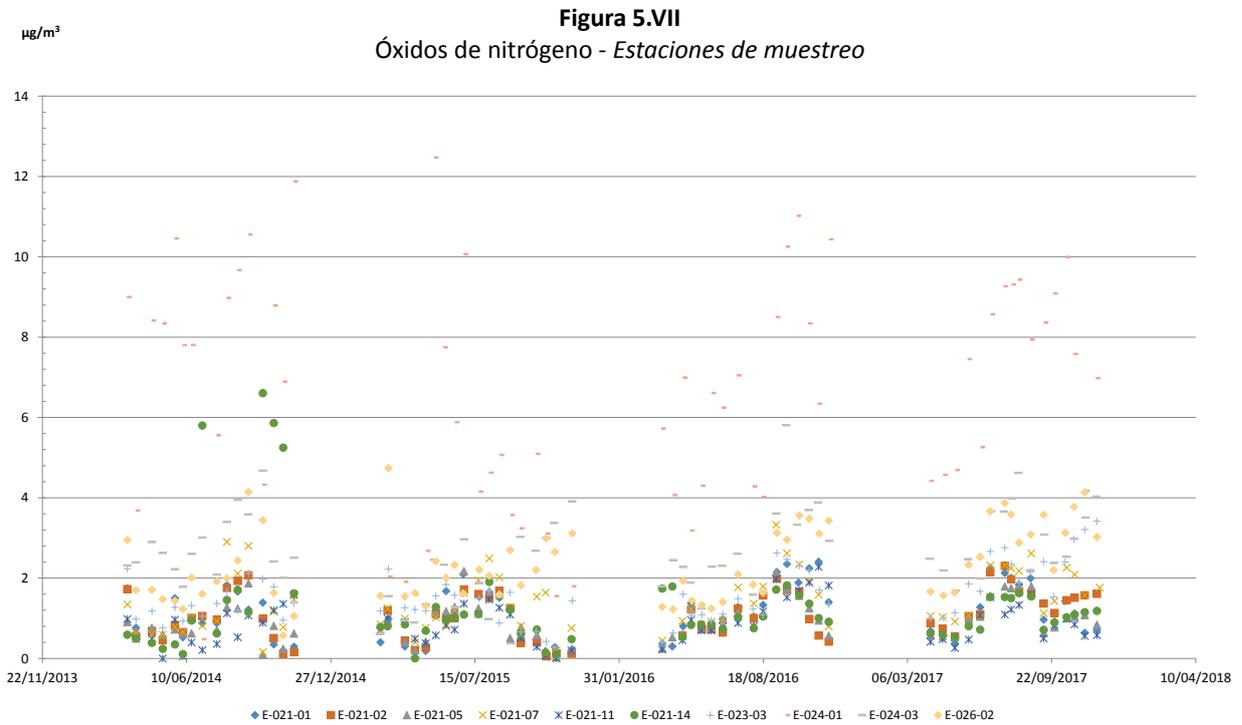


Figura 5.VI

Promedio de las concentraciones de NO₂ obtenidas mediante dosímetros pasivos (2017)







5.3. NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR MUESTREOS

5.3.1. OZONO

Muestreo 2 (6-7/04/2017)

Tabla MO2 Concentración de O₃ en el muestreo nº2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	16,39
E-021-02	Cercedilla	4,42
E-021-05	Rascafría	56,17
E-021-07	Canencia	26,20
E-021-11	Braojos	43,71
E-021-14	Montejo de la Sierra	48,01
E-023-03	Navas del Rey	14,51
E-024-01	Alcalá de Henares	33,88
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	41,21
E-026-02	Robledo de Chavela	12,20
Media		29,67

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

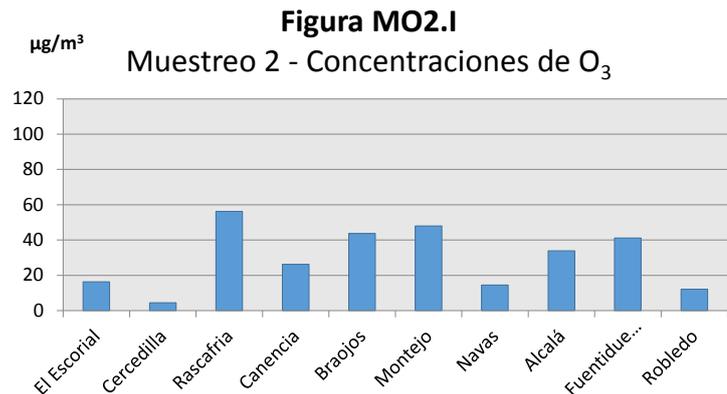


Figura MO2.II
Muestreo 2 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 3 (24-25/04/2017)

Tabla MO₃ Concentración de O₃ en el muestreo nº3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	11,29
E-021-02	Cercedilla	2,98
E-021-05	Rascafría	78,10
E-021-07	Canencia	29,18
E-021-11	Braojos	35,21
E-021-14	Montejo de la Sierra	68,69
E-023-03	Navas del Rey	13,16
E-024-01	Alcalá de Henares	52,01
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	65,39
E-026-02	Robledo de Chavela	12,87
Media		36,89

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

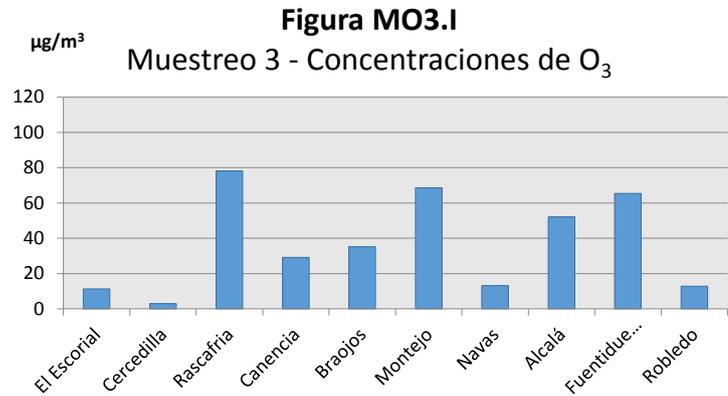


Figura MO3.II
Muestreo 3 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 4 (11-12/05/2017)

Tabla MO4 Concentración de O₃ en el muestreo n°4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	6,43
E-021-02	Cercedilla	1,98
E-021-05	Rascafría	102,09
E-021-07	Canencia	36,41
E-021-11	Braojos	27,80
E-021-14	Montejo de la Sierra	95,21
E-023-03	Navas del Rey	13,27
E-024-01	Alcalá de Henares	82,01
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	92,76
E-026-02	Robledo de Chavela	13,14
Media		47,11

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

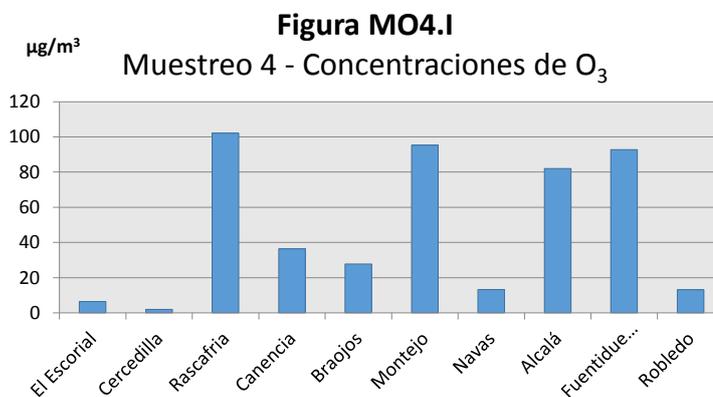


Figura MO4.II
Muestreo 4 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 5 (29-30/05/2017)

Tabla MO5 Concentración de O₃ en el muestreo n°5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	3,45
E-021-02	Cercedilla	1,35
E-021-05	Rascafría	56,63
E-021-07	Canencia	4,98
E-021-11	Braojos	13,51
E-021-14	Montejo de la Sierra	55,14
E-023-03	Navas del Rey	13,97
E-024-01	Alcalá de Henares	50,23
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	59,55
E-026-02	Robledo de Chavela	11,74
Media		27,05

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

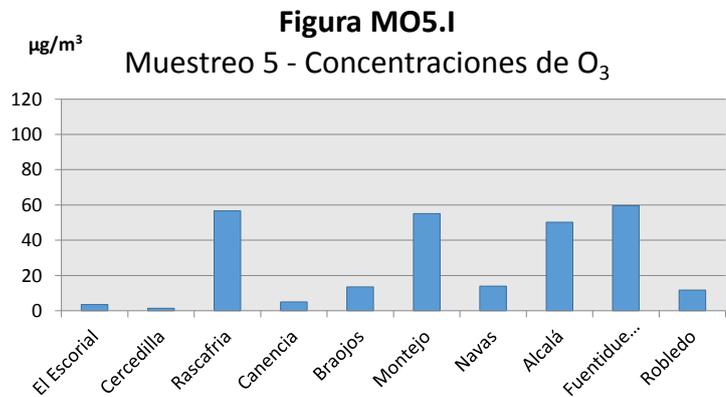


Figura MO5.II
Muestreo 5 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 6 (15-16/06/2017)

Tabla MO6 Concentración de O₃ en el muestreo n°6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,16
E-021-02	Cercedilla	0,33
E-021-05	Rascafría	61,28
E-021-07	Canencia	2,21
E-021-11	Braojos	9,73
E-021-14	Montejo de la Sierra	53,92
E-023-03	Navas del Rey	14,99
E-024-01	Alcalá de Henares	54,62
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	58,55
E-026-02	Robledo de Chavela	12,28
Media		27,01

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

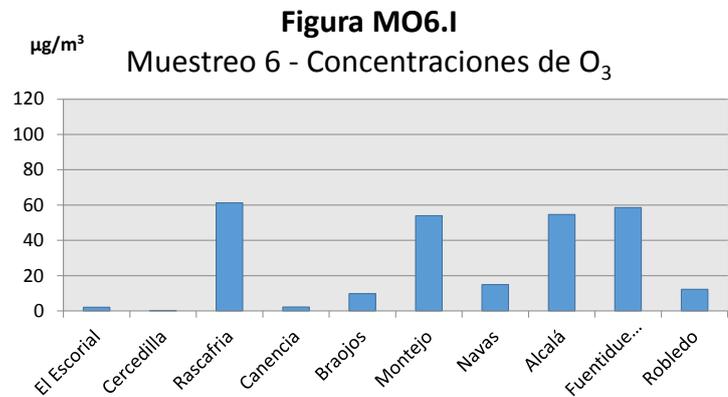
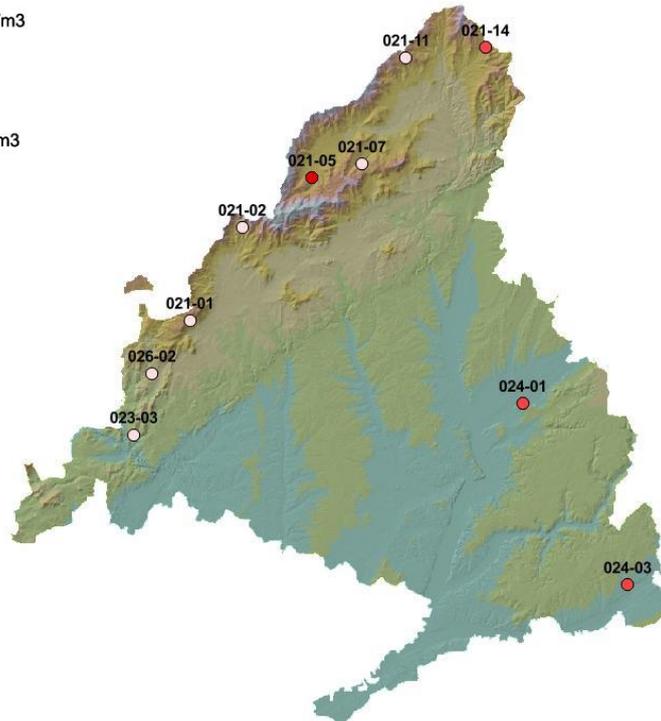


Figura MO6.II
Muestreo 6 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 7 (29-30/06/2017)

Tabla MO7 Concentración de O₃ en el muestreo nº7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,85
E-021-02	Cercedilla	0,69
E-021-05	Rascafría	80,81
E-021-07	Canencia	2,46
E-021-11	Braojos	17,15
E-021-14	Montejo de la Sierra	82,04
E-023-03	Navas del Rey	25,22
E-024-01	Alcalá de Henares	67,74
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	76,51
E-026-02	Robledo de Chavela	16,61
Media		37,21

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

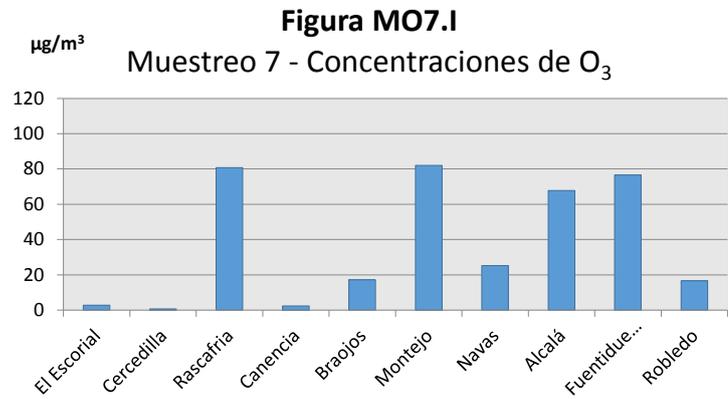
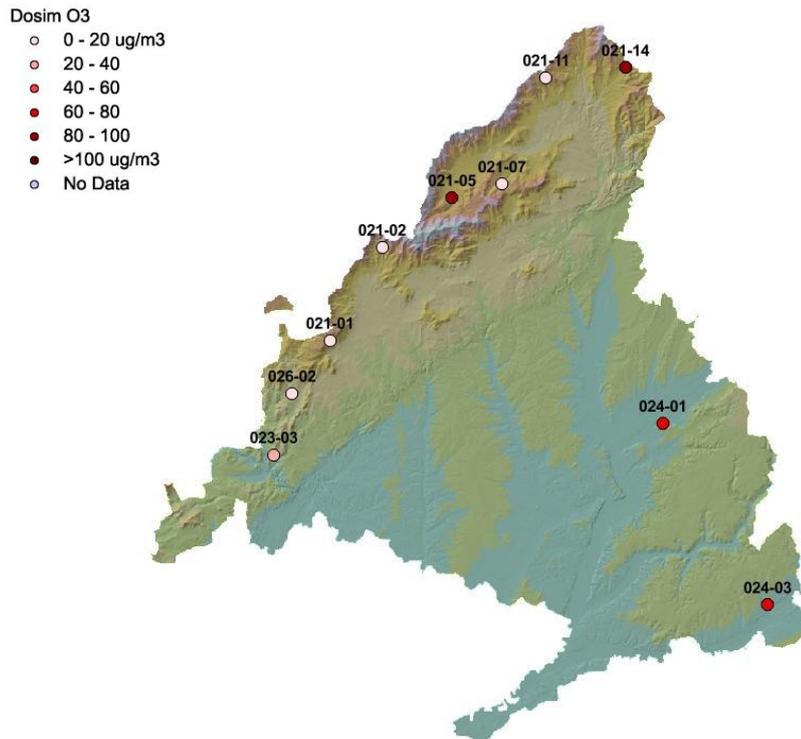


Figura MO7.II
Muestreo 7 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 8 (18-19/07/2017)

Tabla MO8 Concentración de O₃ en el muestreo n°8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,15
E-021-02	Cercedilla	1,51
E-021-05	Rascafría	70,24
E-021-07	Canencia	1,40
E-021-11	Braojos	23,47
E-021-14	Montejo de la Sierra	67,44
E-023-03	Navas del Rey	33,75
E-024-01	Alcalá de Henares	64,17
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	69,31
E-026-02	Robledo de Chavela	17,65
Media		35,11

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

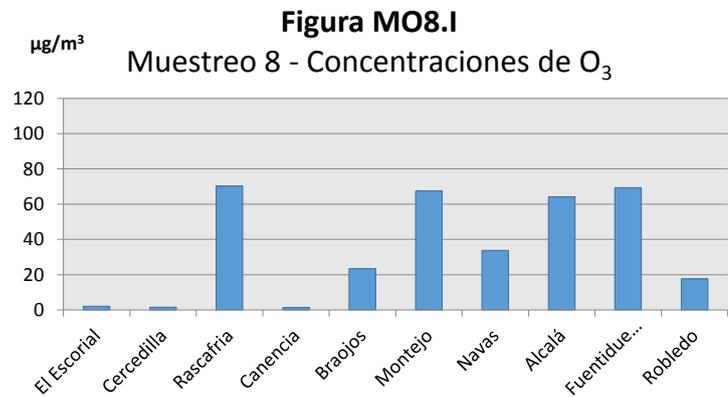
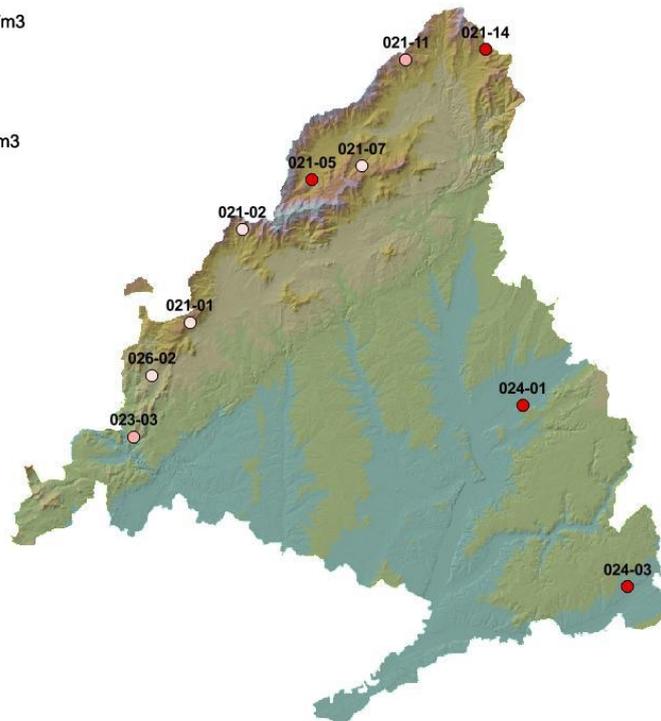


Figura MO8.II
Muestreo 8 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 9 (28-29/07/2017)

Tabla MO9 Concentración de O₃ en el muestreo n°9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	3,21
E-021-02	Cercedilla	2,15
E-021-05	Rascafría	72,69
E-021-07	Canencia	2,19
E-021-11	Braojos	31,15
E-021-14	Montejo de la Sierra	68,23
E-023-03	Navas del Rey	38,95
E-024-01	Alcalá de Henares	66,54
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	71,48
E-026-02	Robledo de Chavela	20,17
Media		37,68

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

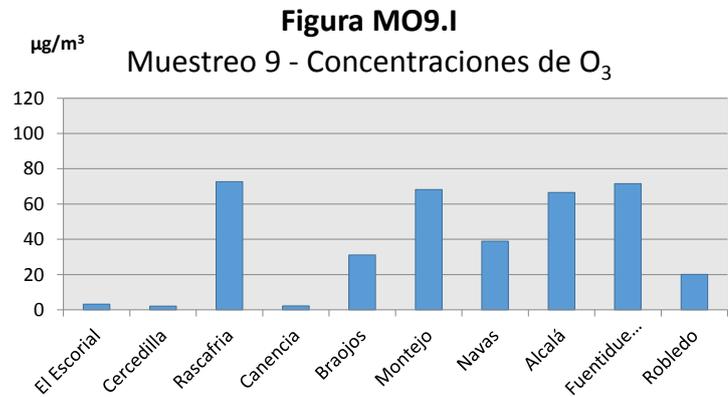
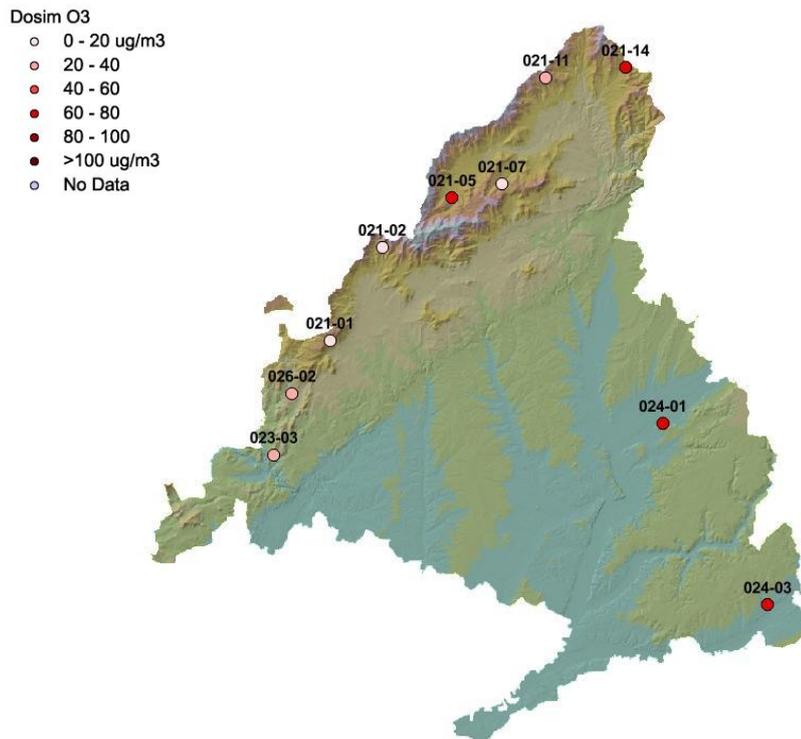


Figura MO9.II
Muestreo 9 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 10 (7-8/08/2017)

Tabla MO10 Concentración de O₃ en el muestreo nº10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	4,47
E-021-02	Cercedilla	2,96
E-021-05	Rascafría	79,28
E-021-07	Canencia	3,01
E-021-11	Braojos	43,49
E-021-14	Montejo de la Sierra	75,41
E-023-03	Navas del Rey	45,05
E-024-01	Alcalá de Henares	70,99
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	75,62
E-026-02	Robledo de Chavela	23,25
Media		42,35

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

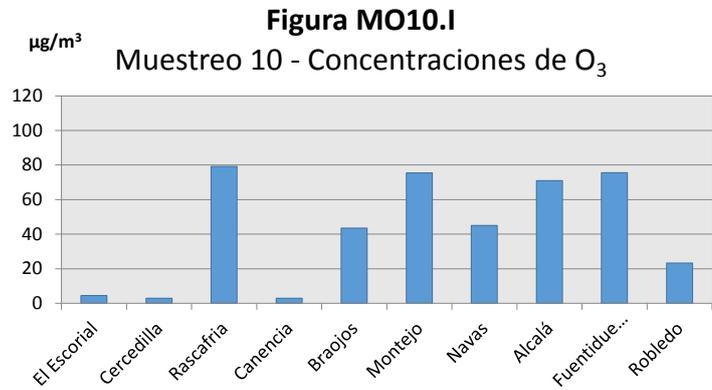
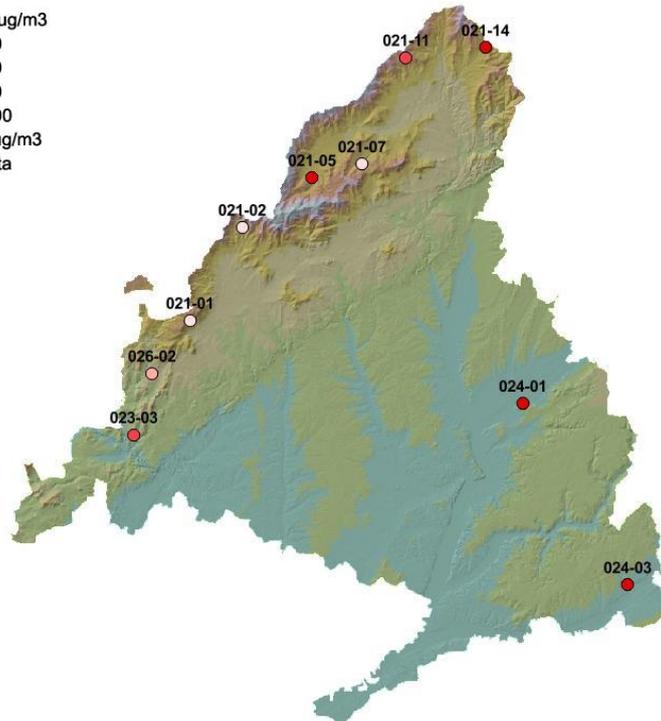


Figura MO10.II
Muestreo 10 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 11 (24-25/08/2017)

Tabla MO11 Concentración de O₃ en el muestreo nº11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	14,11
E-021-02	Cercedilla	16,92
E-021-05	Rascafría	90,45
E-021-07	Canencia	11,37
E-021-11	Braojos	57,93
E-021-14	Montejo de la Sierra	91,15
E-023-03	Navas del Rey	64,19
E-024-01	Alcalá de Henares	84,90
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	88,92
E-026-02	Robledo de Chavela	36,47
Media		55,64

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

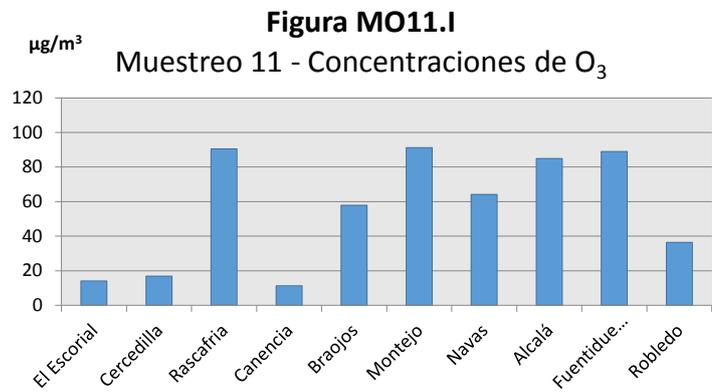
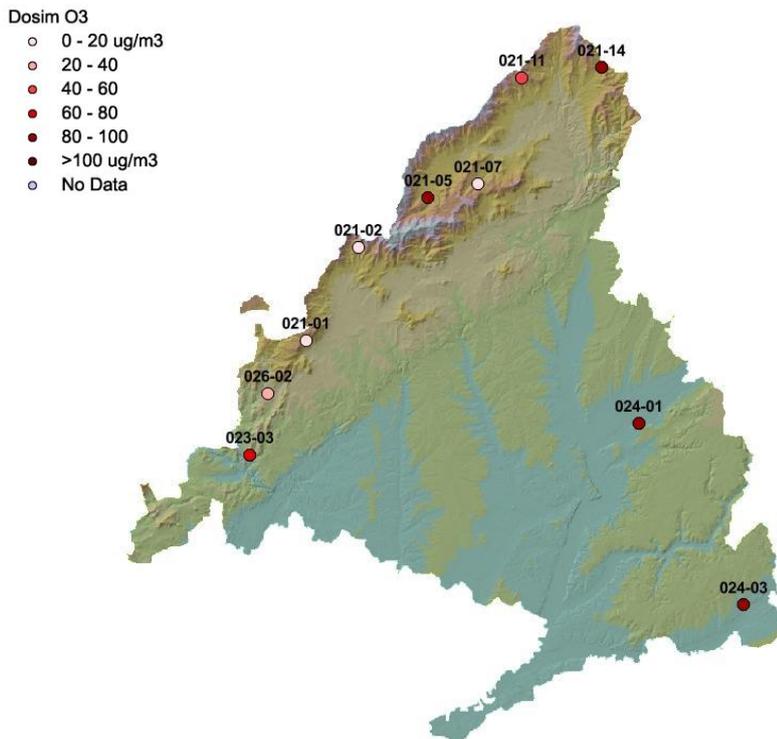


Figura MO11.II
Muestreo 11 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 12 (11-12/09/2017)

Tabla MO12 Concentración de O₃ en el muestreo nº12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	11,85
E-021-02	Cercedilla	13,25
E-021-05	Rascafría	70,77
E-021-07	Canencia	9,29
E-021-11	Braojos	49,41
E-021-14	Montejo de la Sierra	77,98
E-023-03	Navas del Rey	60,21
E-024-01	Alcalá de Henares	71,20
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	74,85
E-026-02	Robledo de Chavela	34,25
Media		47,31

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

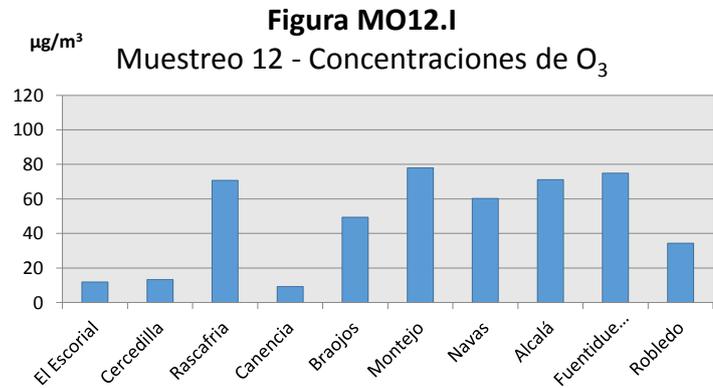
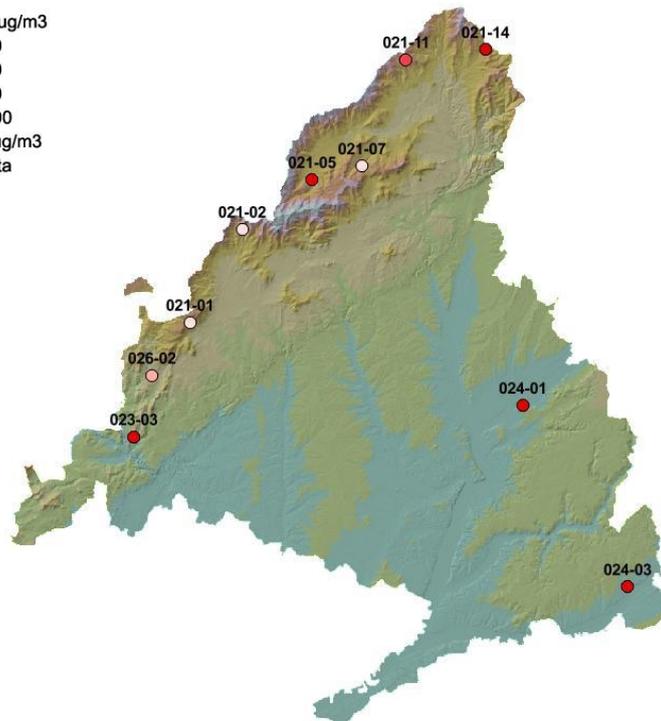


Figura MO12.II
Muestreo 12 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 13 (25-26/09/2017)

Tabla MO13 Concentración de O₃ en el muestreo nº13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	12,91
E-021-02	Cercedilla	17,83
E-021-05	Rascafría	60,19
E-021-07	Canencia	9,66
E-021-11	Braojos	44,96
E-021-14	Montejo de la Sierra	61,43
E-023-03	Navas del Rey	49,76
E-024-01	Alcalá de Henares	50,24
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	54,07
E-026-02	Robledo de Chavela	29,96
Media		39,10

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

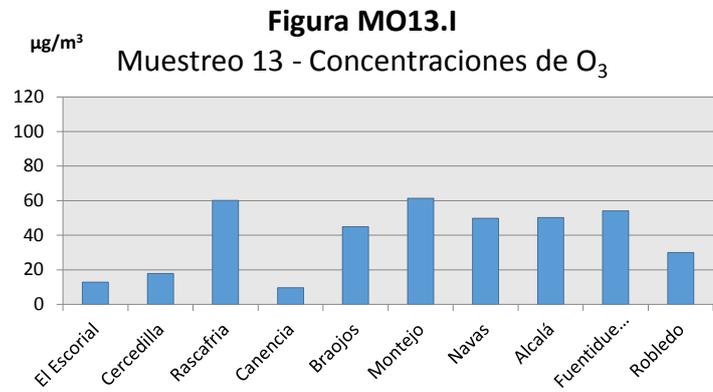
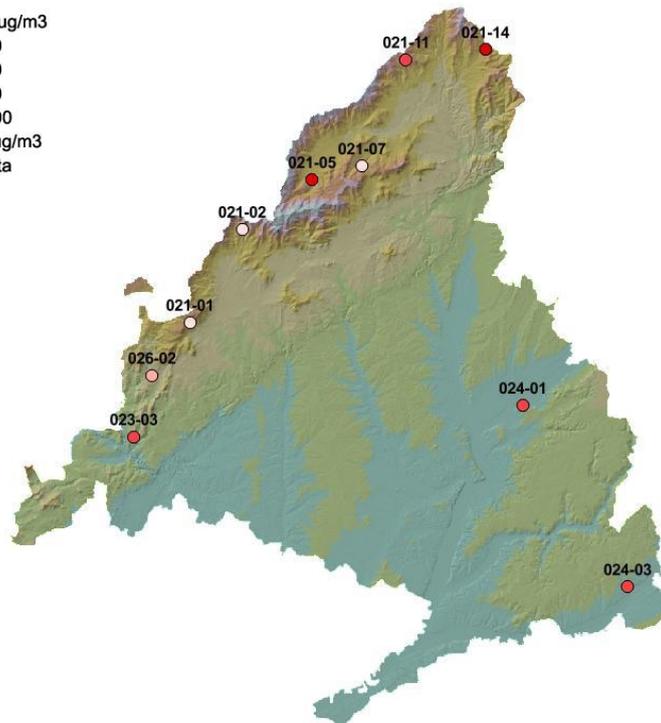


Figura MO13.II
Muestreo 13 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 14 (11-13/10/2017)

Tabla MO14 Concentración de O₃ en el muestreo nº14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	18,19
E-021-02	Cercedilla	29,01
E-021-05	Rascafría	68,94
E-021-07	Canencia	13,75
E-021-11	Braojos	56,14
E-021-14	Montejo de la Sierra	70,62
E-023-03	Navas del Rey	52,59
E-024-01	Alcalá de Henares	53,22
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	55,63
E-026-02	Robledo de Chavela	33,04
Media		45,11

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

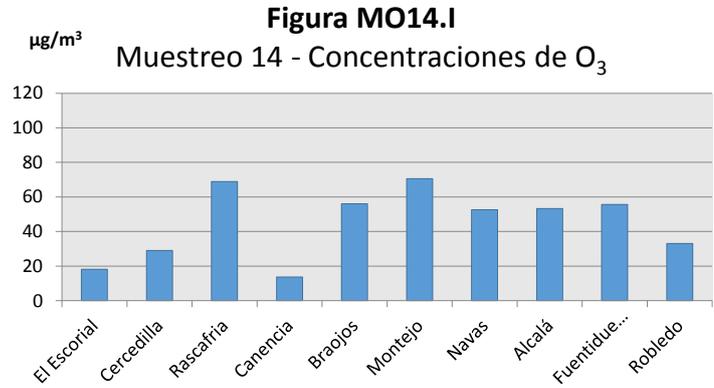
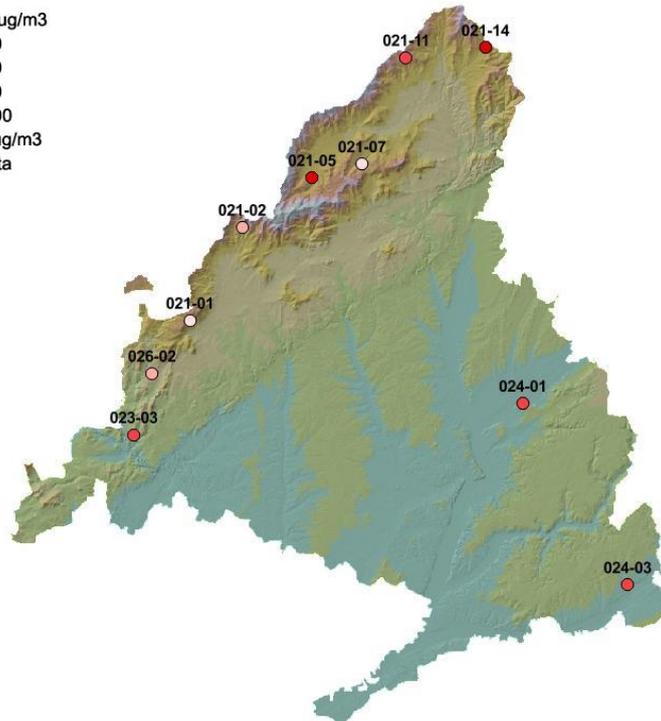


Figura MO14.II
Muestreo 14 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 15 (23-24/10/2017)

Tabla MO15 Concentración de O₃ en el muestreo nº15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	19,25
E-021-02	Cercedilla	25,87
E-021-05	Rascafría	62,57
E-021-07	Canencia	11,25
E-021-11	Braojos	58,27
E-021-14	Montejo de la Sierra	68,47
E-023-03	Navas del Rey	55,61
E-024-01	Alcalá de Henares	51,26
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	51,69
E-026-02	Robledo de Chavela	35,17
Media		41,53

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

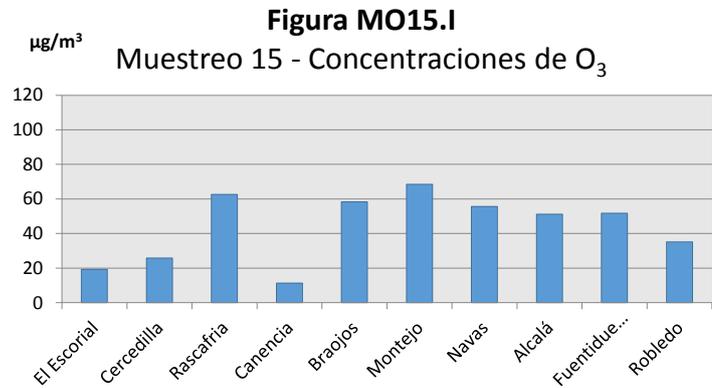
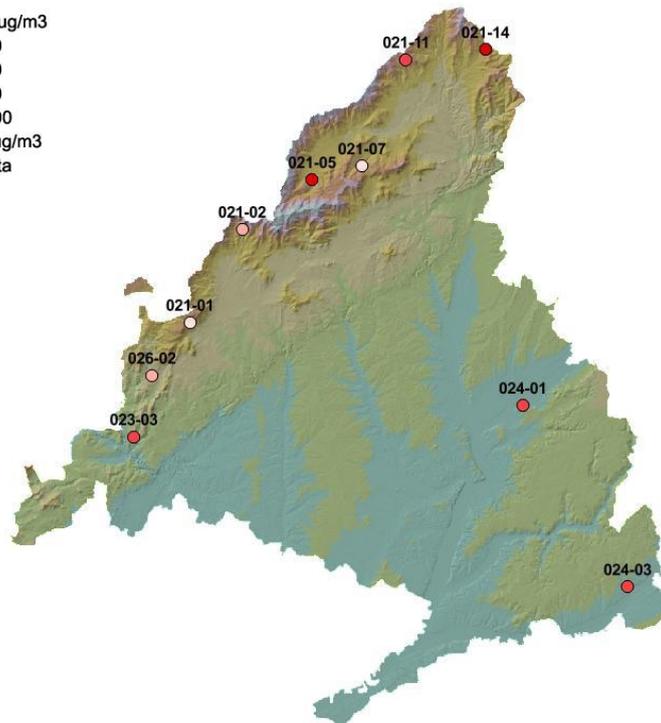


Figura MO15.II
Muestreo 15 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 16 (8-7/11/2017)

Tabla MO16 Concentración de O₃ en el muestreo nº16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	18,24
E-021-02	Cercedilla	19,12
E-021-05	Rascafría	45,18
E-021-07	Canencia	9,99
E-021-11	Braojos	37,43
E-021-14	Montejo de la Sierra	52,85
E-023-03	Navas del Rey	40,22
E-024-01	Alcalá de Henares	42,48
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	41,35
E-026-02	Robledo de Chavela	28,50
Media		33,54

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

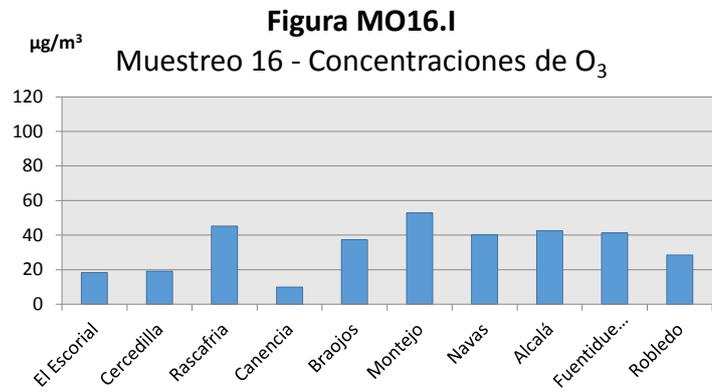
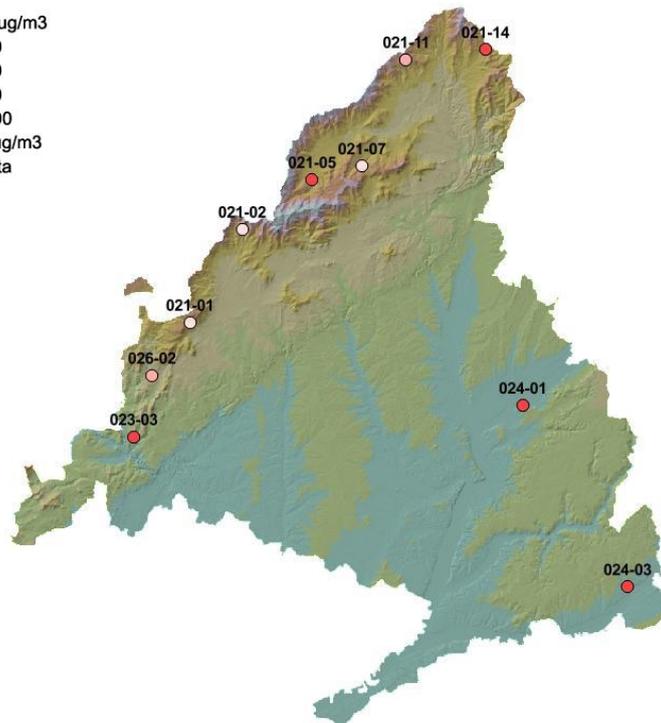


Figura MO16.II
Muestreo 16 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 17 (23-28/11/2017)

Tabla MO17 Concentración de O₃ en el muestreo nº17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	18,92
E-021-02	Cercedilla	35,18
E-021-05	Rascafría	50,60
E-021-07	Canencia	17,09
E-021-11	Braojos	41,92
E-021-14	Montejo de la Sierra	54,46
E-023-03	Navas del Rey	40,14
E-024-01	Alcalá de Henares	36,19
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	39,51
E-026-02	Robledo de Chavela	29,90
Media		36,39

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

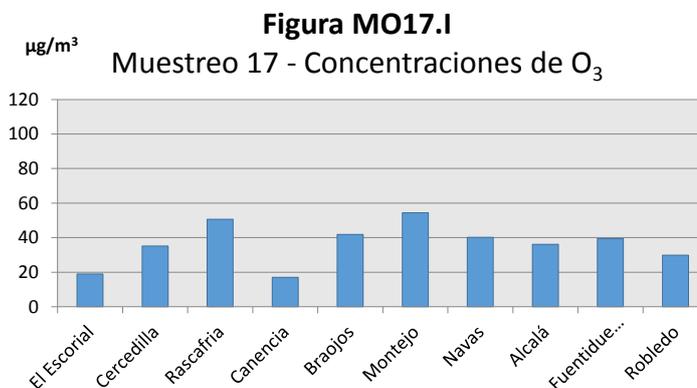
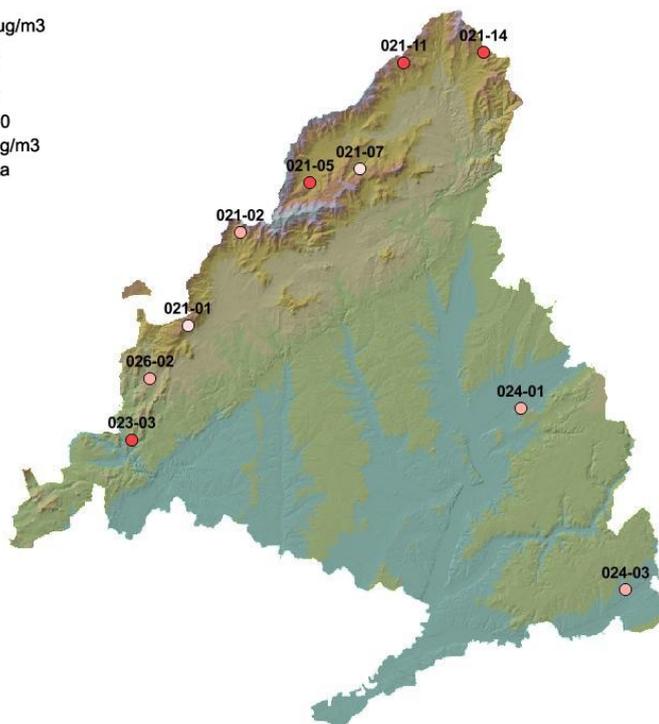


Figura MO17.II
Muestreo 17 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





5.1.2. Dióxido de nitrógeno

Muestreo 2 (6-7/04/2017)

Tabla MNO2 Concentración de NO₂ en el muestreo n°2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,69
E-021-02	Cercedilla	0,87
E-021-05	Rascafría	0,58
E-021-07	Canencia	1,06
E-021-11	Braojos	0,42
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,62
E-023-03	Navas del Rey	1,00
E-024-01	Alcalá de Henares	4,42
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,48
E-026-02	Robledo de Chavela	1,66
Media		1,38

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

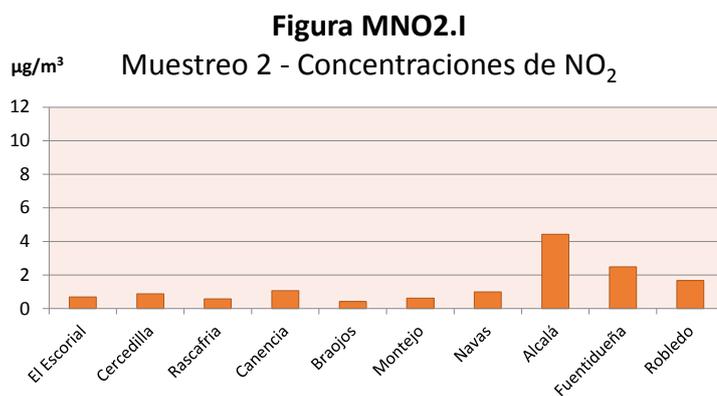
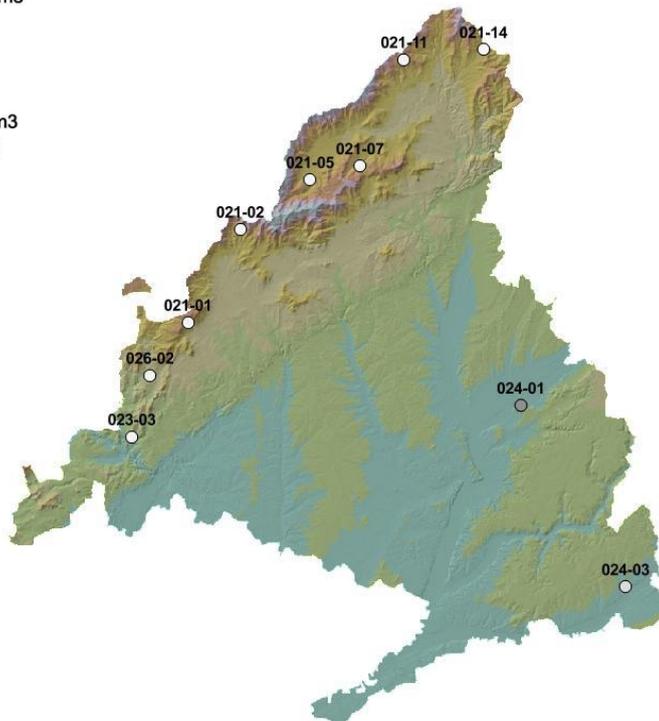


Figura MNO2.II
Muestreo 2 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

Dosim NOX

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





Muestreo 3 (6-7/04/2017)

Tabla MNO3 Concentración de NO₂ en el muestreo n°3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,57
E-021-02	Cercedilla	0,74
E-021-05	Rascafría	0,55
E-021-07	Canencia	1,03
E-021-11	Braojos	0,48
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,59
E-023-03	Navas del Rey	1,02
E-024-01	Alcalá de Henares	4,57
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,19
E-026-02	Robledo de Chavela	1,57
Media		1,33

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

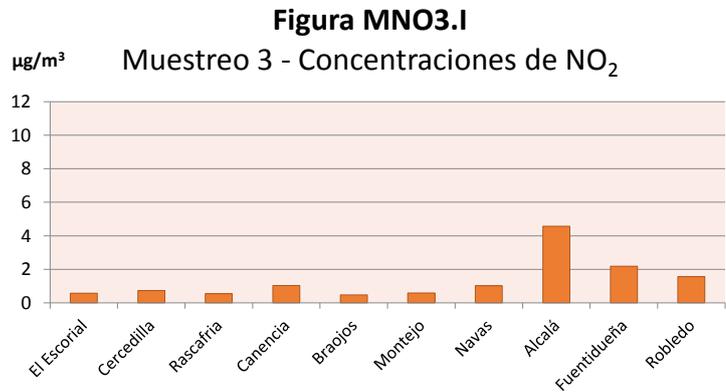
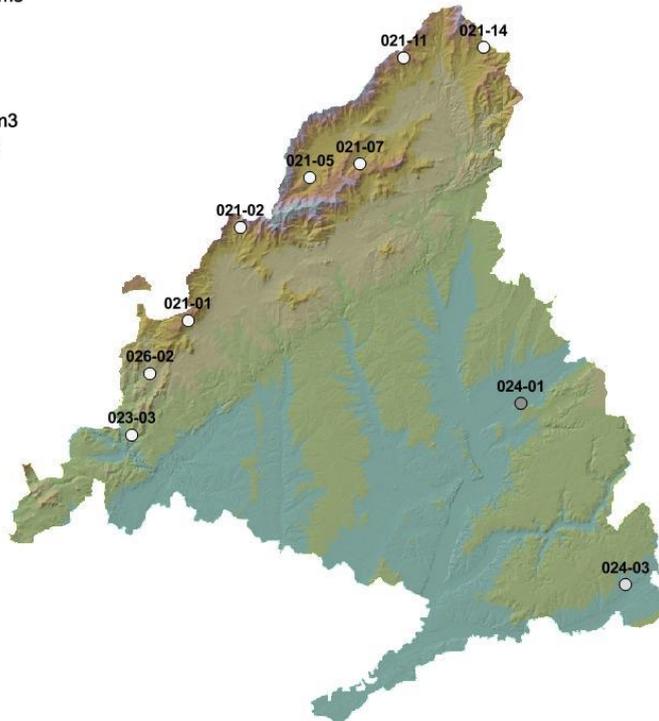


Figura MNO3.II
Muestreo 3 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 4 (11-12/05/2017)

Tabla MNO4 Concentración de NO₂ en el muestreo nº4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,38
E-021-02	Cercedilla	0,55
E-021-05	Rascafría	0,53
E-021-07	Canencia	0,93
E-021-11	Braojos	0,26
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,53
E-023-03	Navas del Rey	1,14
E-024-01	Alcalá de Henares	4,69
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	1,69
E-026-02	Robledo de Chavela	1,64
Media		1,23

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

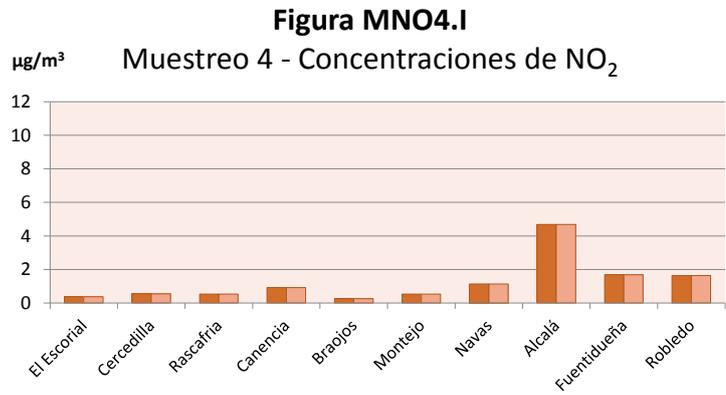
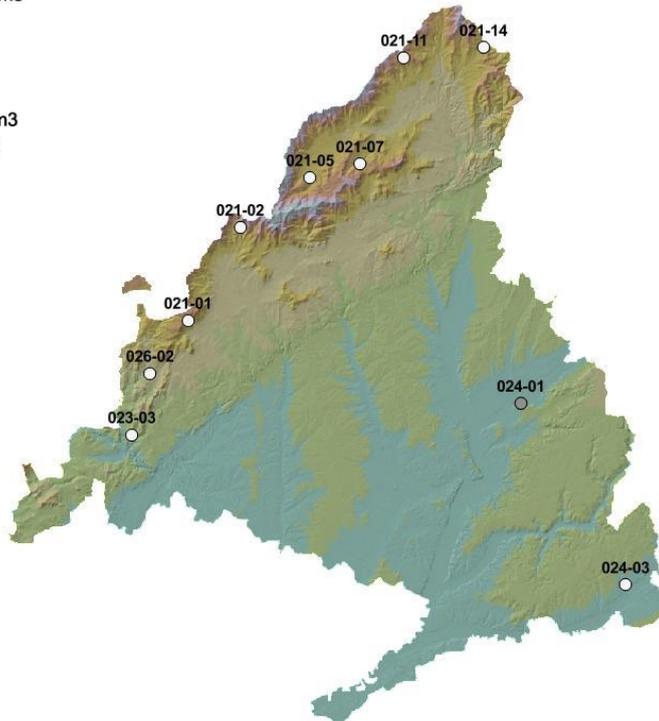


Figura MNO4.II
Muestreo 4 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 5 (29-30/05/2017)

Tabla MNO5 Concentración de NO₂ en el muestreo n°5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,90
E-021-02	Cercedilla	1,05
E-021-05	Rascafría	1,00
E-021-07	Canencia	1,08
E-021-11	Braojos	0,47
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,80
E-023-03	Navas del Rey	1,86
E-024-01	Alcalá de Henares	7,45
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	2,47
E-026-02	Robledo de Chavela	2,34
Media		1,94

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

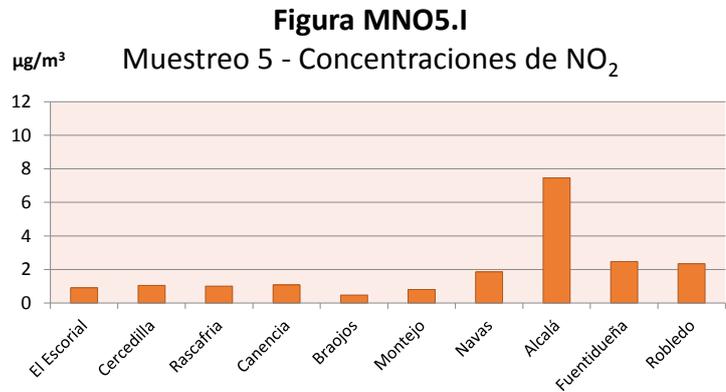
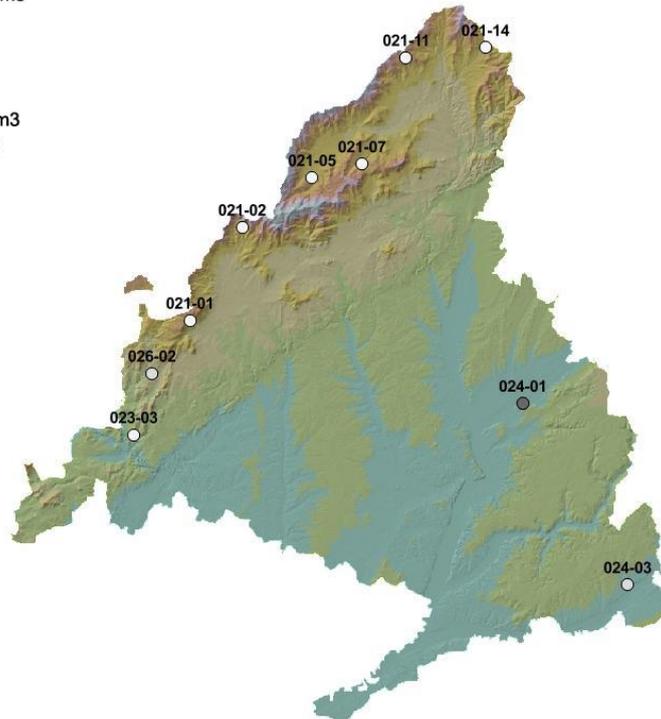


Figura MNO5.II
Muestreo 5 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 6 (15-16/06/2017)

Tabla MNO6 Concentración de NO₂ en el muestreo n°6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,28
E-021-02	Cercedilla	1,10
E-021-05	Rascafría	1,04
E-021-07	Canencia	1,04
E-021-11	Braojos	1,07
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,71
E-023-03	Navas del Rey	1,67
E-024-01	Alcalá de Henares	5,26
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	1,99
E-026-02	Robledo de Chavela	2,53
Media		1,77

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

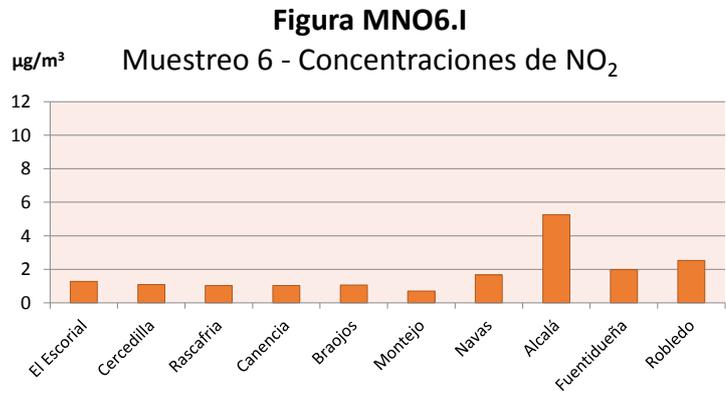
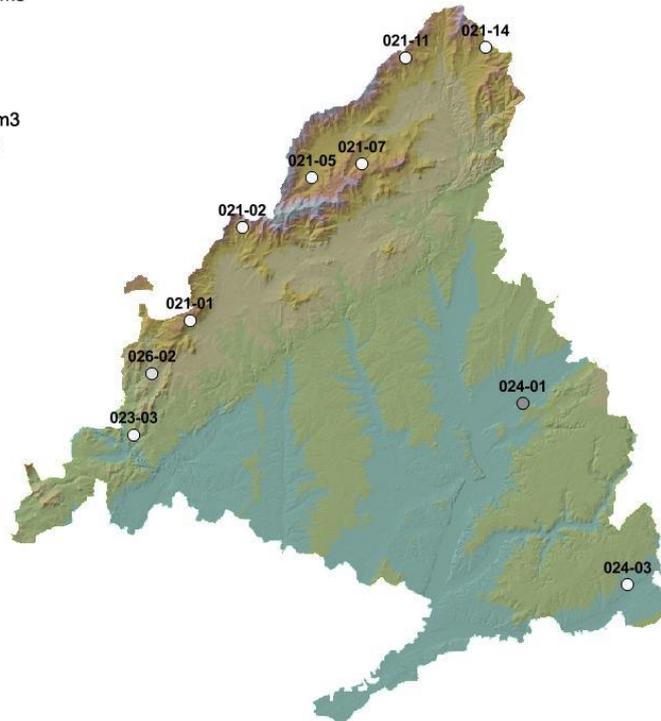


Figura MNO6.II
Muestreo 6 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 7 (15-16/06/2017)

Tabla MNO7 Concentración de NO₂ en el muestreo n°7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,25
E-021-02	Cercedilla	2,15
E-021-05	Rascafría	1,56
E-021-07	Canencia	2,32
E-021-11	Braojos	1,53
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,53
E-023-03	Navas del Rey	2,66
E-024-01	Alcalá de Henares	8,57
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	3,67
E-026-02	Robledo de Chavela	3,67
Media		2,99

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

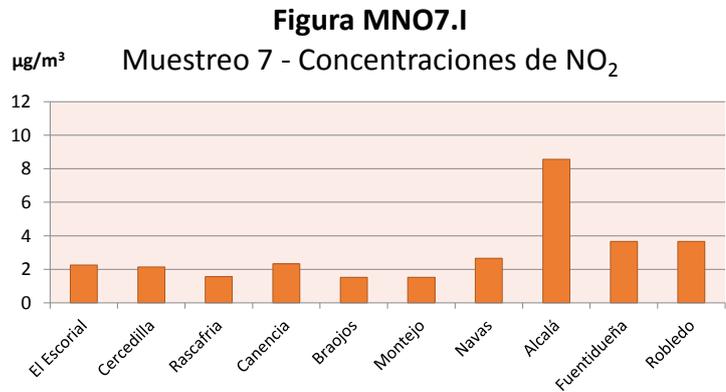
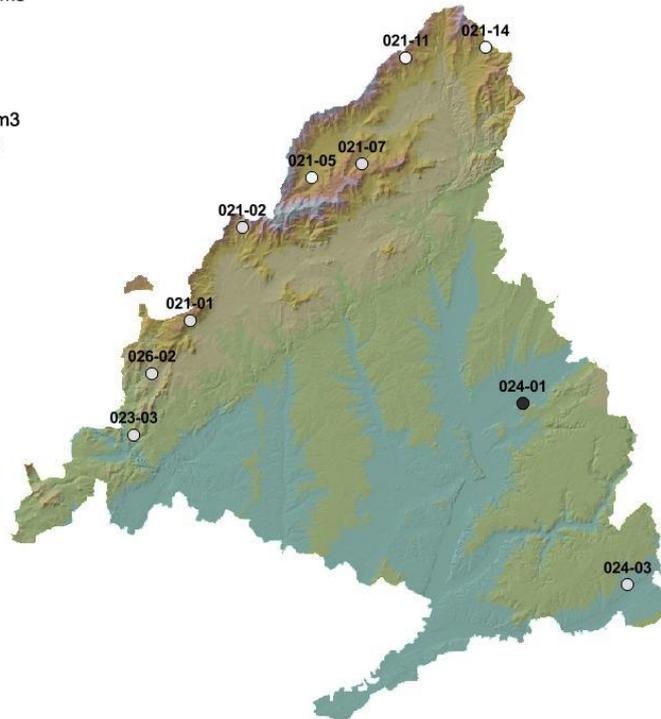


Figura MNO7.II
Muestreo 7 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 8 (18-19/07/2017)

Tabla MNO8 Concentración de NO₂ en el muestreo nº8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,13
E-021-02	Cercedilla	2,30
E-021-05	Rascafría	1,79
E-021-07	Canencia	2,32
E-021-11	Braojos	1,09
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,53
E-023-03	Navas del Rey	2,76
E-024-01	Alcalá de Henares	9,27
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	3,66
E-026-02	Robledo de Chavela	3,87
Media		3,07

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

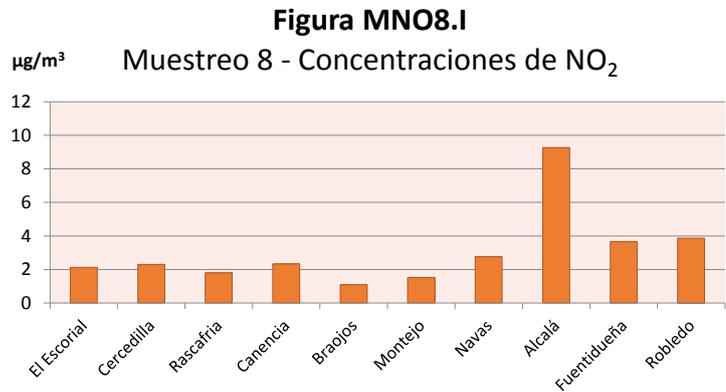
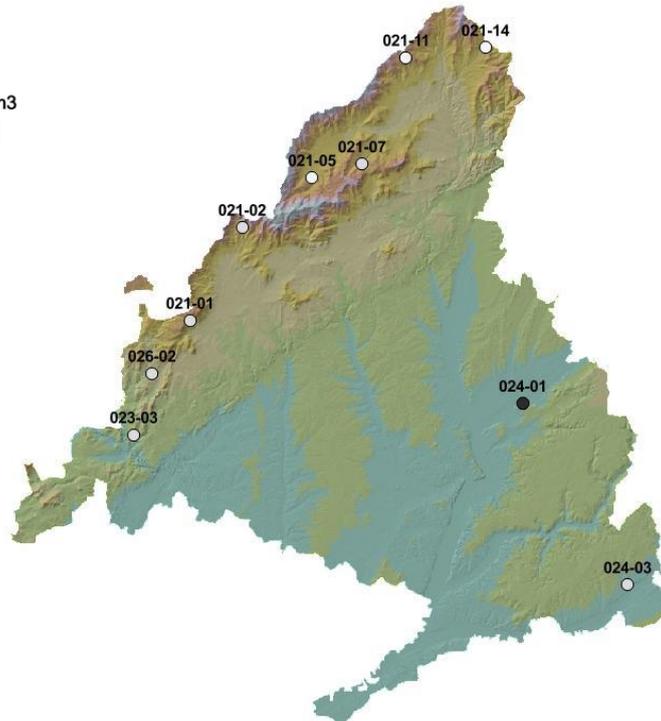


Figura MNO8.II
Muestreo 8 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 9

(28-29/07/2017)

Tabla MNO9 Concentración de NO₂ en el muestreo n°9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,01
E-021-02	Cercedilla	1,97
E-021-05	Rascafría	1,75
E-021-07	Canencia	2,25
E-021-11	Braojos	1,22
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,50
E-023-03	Navas del Rey	2,35
E-024-01	Alcalá de Henares	9,31
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	3,98
E-026-02	Robledo de Chavela	3,59
Media		2,99

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

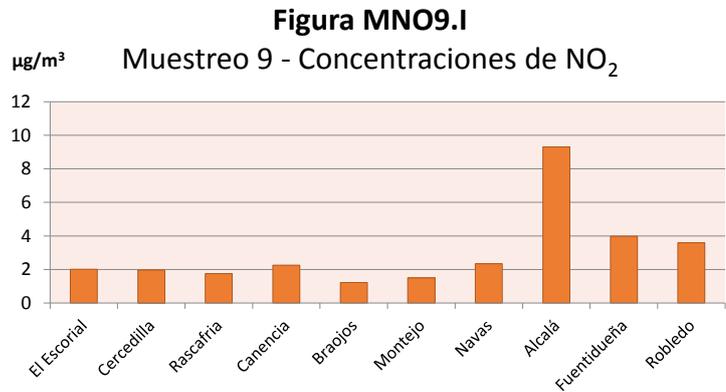
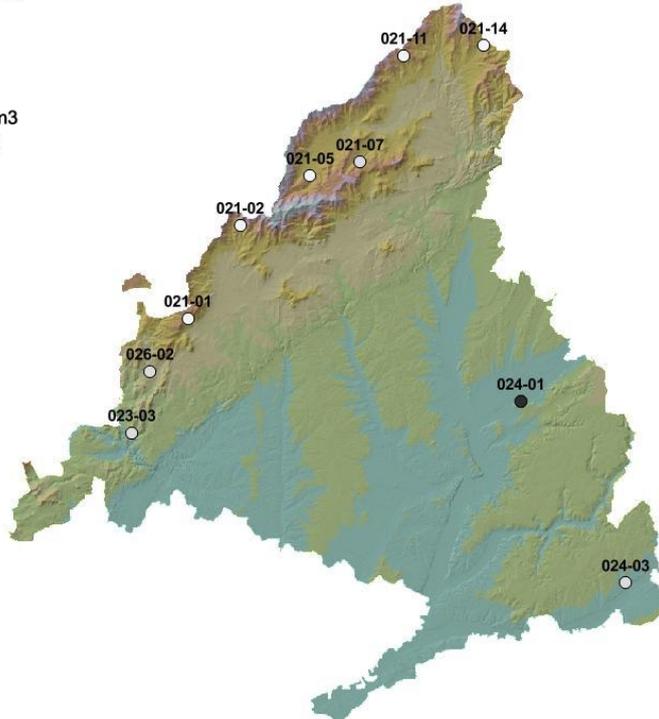


Figura MNO9.II

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 (7-8/08/2017)

Tabla MNO10 Concentración de NO₂ en el muestreo nº10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,84
E-021-02	Cercedilla	1,67
E-021-05	Rascafría	1,72
E-021-07	Canencia	2,18
E-021-11	Braojos	1,33
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,63
E-023-03	Navas del Rey	1,89
E-024-01	Alcalá de Henares	9,43
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	4,62
E-026-02	Robledo de Chavela	2,88
Media		2,92

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

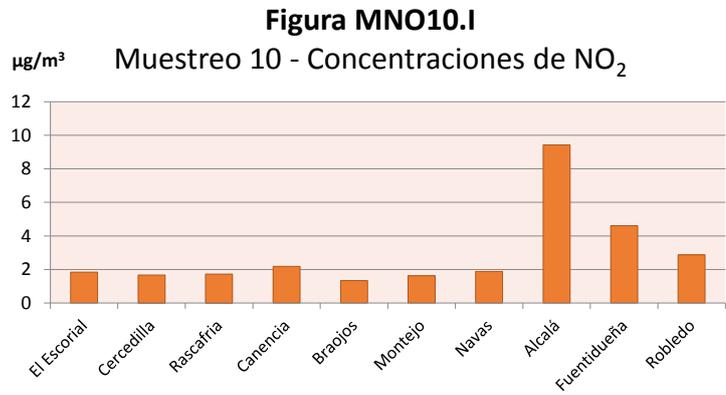


Figura MNO10.II
Muestreo 10 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 11 (24-25/08/2017)

Tabla MNO11 Concentración de NO₂ en el muestreo nº11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,00
E-021-02	Cercedilla	1,63
E-021-05	Rascafría	1,80
E-021-07	Canencia	2,62
E-021-11	Braojos	1,60
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,54
E-023-03	Navas del Rey	2,15
E-024-01	Alcalá de Henares	7,93
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,19
E-026-02	Robledo de Chavela	3,09
Media		2,66

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

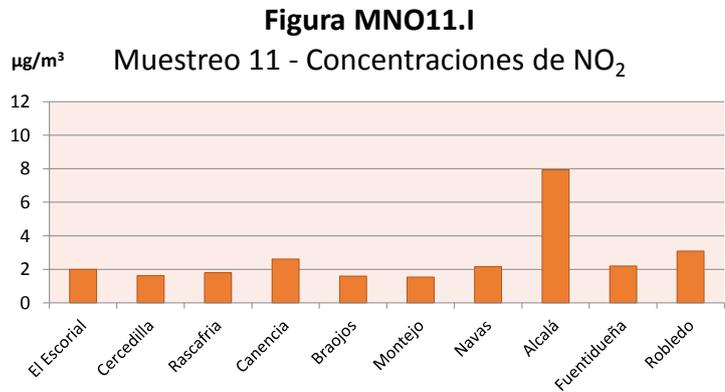
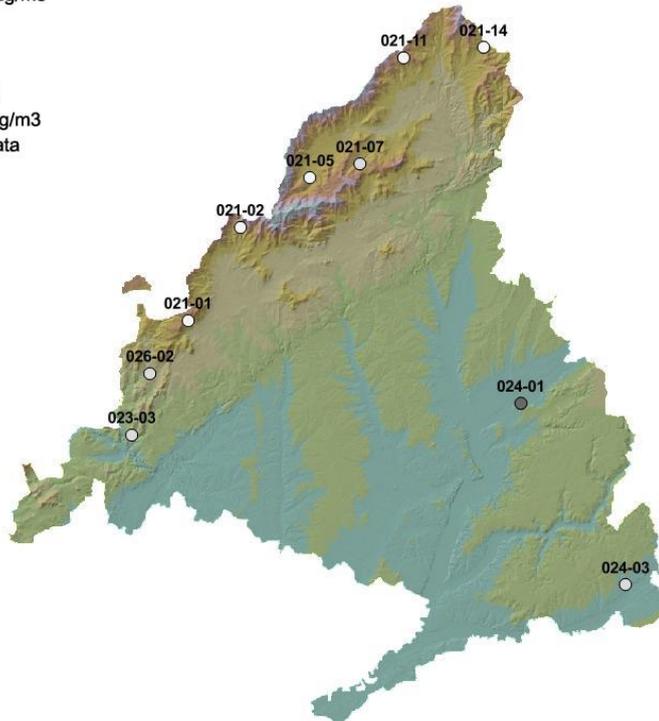


Figura MNO11.II
Muestreo 11 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 12 (11-12/09/2017)

Tabla MNO12 Concentración de NO₂ en el muestreo nº12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,97
E-021-02	Cercedilla	1,37
E-021-05	Rascafría	0,63
E-021-07	Canencia	1,13
E-021-11	Braojos	0,50
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,71
E-023-03	Navas del Rey	2,41
E-024-01	Alcalá de Henares	8,36
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,08
E-026-02	Robledo de Chavela	3,58
Media		2,27

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

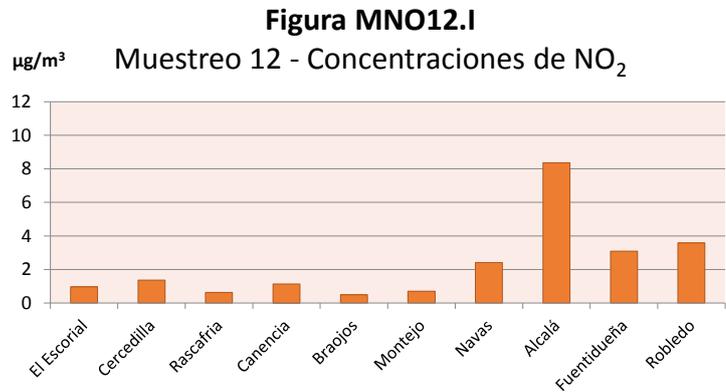
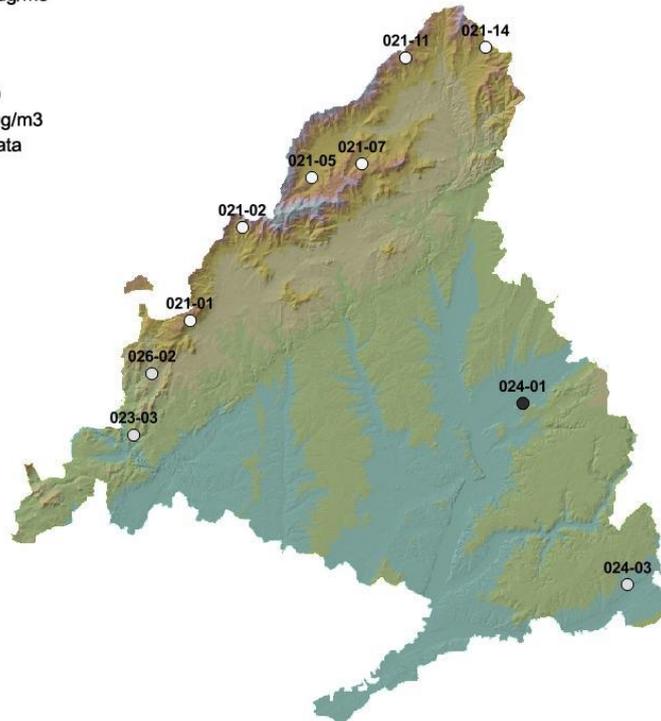


Figura MNO12.II
Muestreo 12 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 13 (25-26/09/2017)

Tabla MNO13 Concentración de NO₂ en el muestreo nº13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,10
E-021-02	Cercedilla	1,13
E-021-05	Rascafría	0,77
E-021-07	Canencia	1,43
E-021-11	Braojos	0,83
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,89
E-023-03	Navas del Rey	1,53
E-024-01	Alcalá de Henares	9,09
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	2,37
E-026-02	Robledo de Chavela	2,20
Media		2,14

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

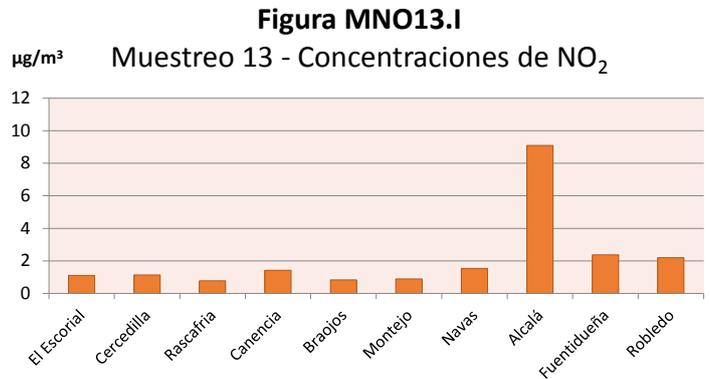
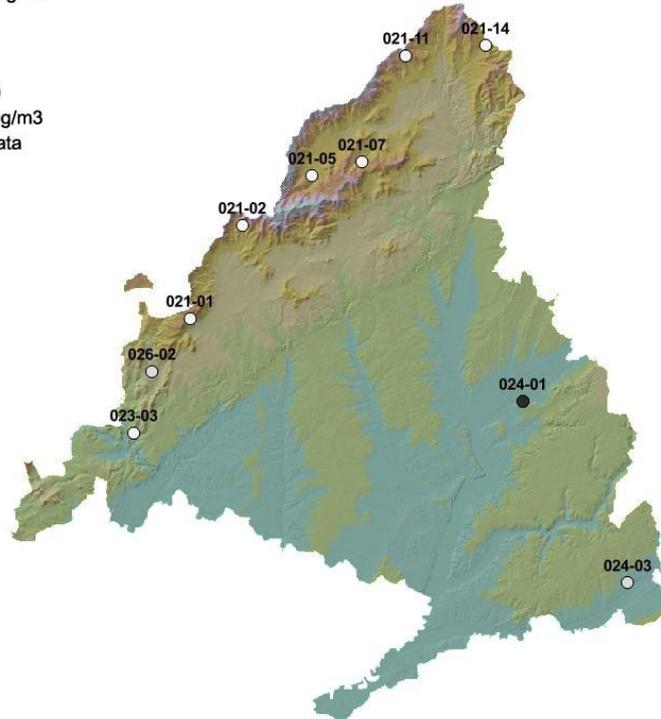


Figura MNO13.II
Muestreo 13 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 14 (11-13/10/2017)

Tabla MNO14 Concentración de NO₂ en el muestreo nº14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,43
E-021-02	Cercedilla	1,45
E-021-05	Rascafría	1,00
E-021-07	Canencia	2,26
E-021-11	Braojos	1,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,03
E-023-03	Navas del Rey	2,40
E-024-01	Alcalá de Henares	9,99
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	2,53
E-026-02	Robledo de Chavela	3,13
Media		2,62

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

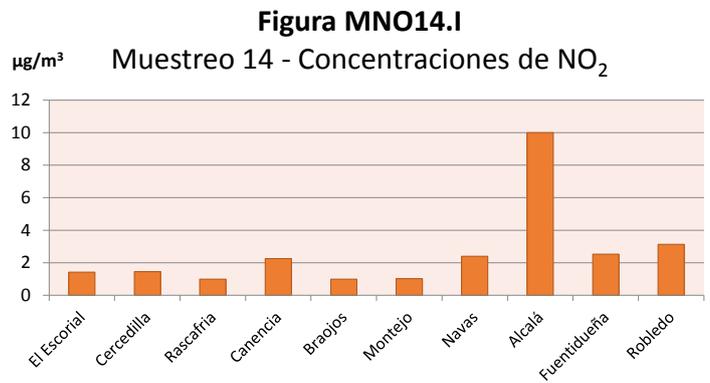
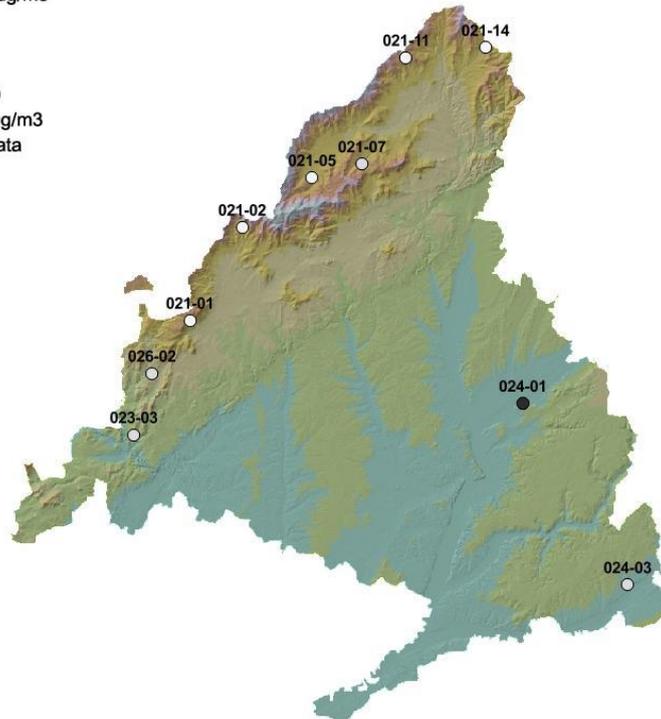


Figura MNO14.II
Muestreo 14 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 15 (23-24/10/2017)

Tabla MNO15 Concentración de NO₂ en el muestreo nº15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,12
E-021-02	Cercedilla	1,51
E-021-05	Rascafría	1,04
E-021-07	Canencia	2,09
E-021-11	Braojos	0,85
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,09
E-023-03	Navas del Rey	2,97
E-024-01	Alcalá de Henares	7,58
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	2,98
E-026-02	Robledo de Chavela	3,78
Media		2,50

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

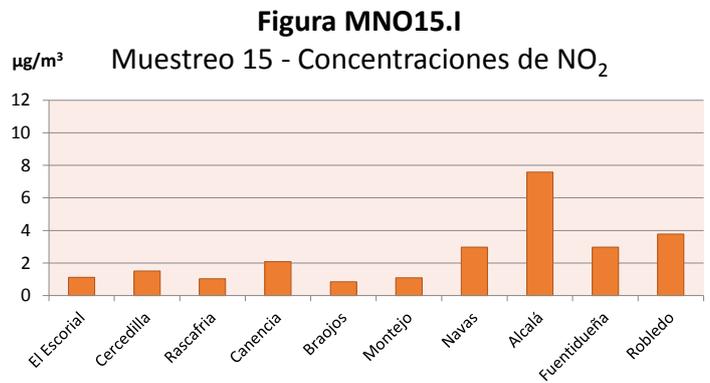
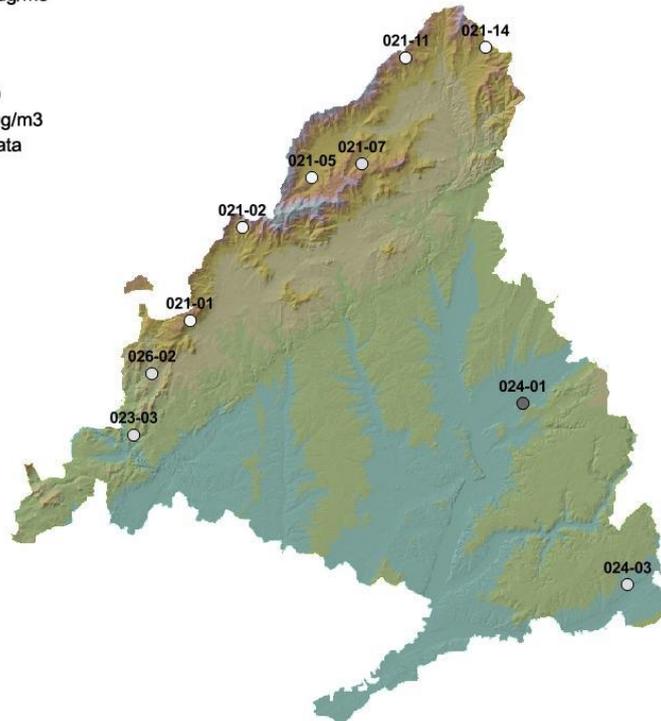


Figura MNO15.II
Muestreo 15 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 16 (7-8/11/2017)

Tabla MNO16 Concentración de NO₂ en el muestreo nº16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,64
E-021-02	Cercedilla	1,57
E-021-05	Rascafría	1,08
E-021-07	Canencia	1,58
E-021-11	Braojos	0,56
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,15
E-023-03	Navas del Rey	3,21
E-024-01	Alcalá de Henares	4,18
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	3,51
E-026-02	Robledo de Chavela	4,14
Media		2,16

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

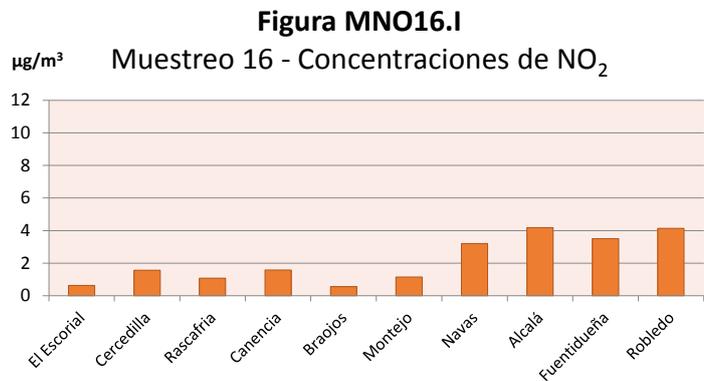
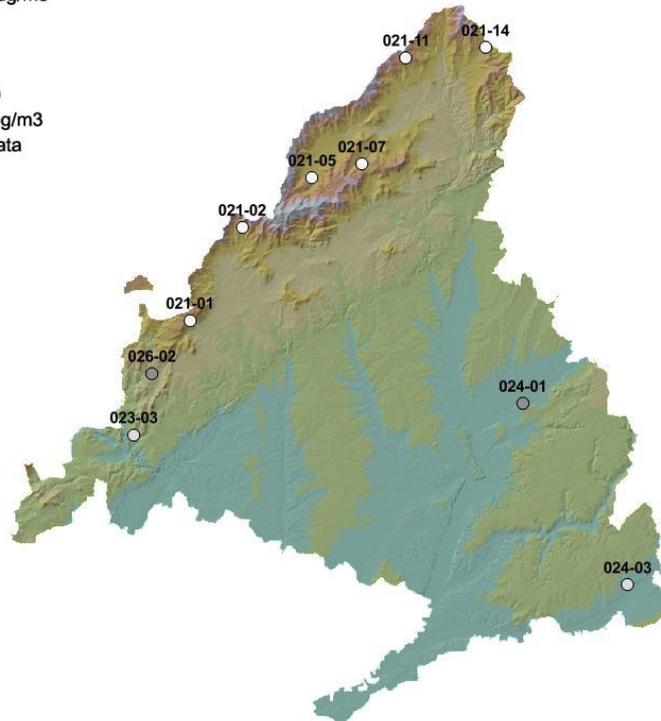


Figura MNO16.II
Muestreo 16 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 17 (23-28/11/2017)

Tabla MNO17 Concentración de NO₂ en el muestreo nº17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,71
E-021-02	Cercedilla	1,61
E-021-05	Rascafría	0,84
E-021-07	Canencia	1,77
E-021-11	Braojos	0,58
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,18
E-023-03	Navas del Rey	3,42
E-024-01	Alcalá de Henares	6,98
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	4,03
E-026-02	Robledo de Chavela	3,03
Media		2,41

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

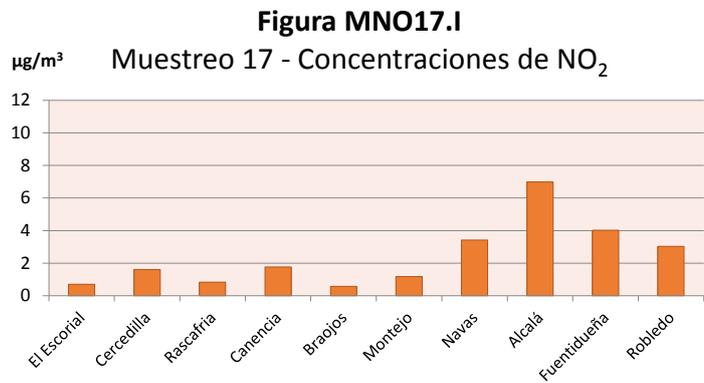
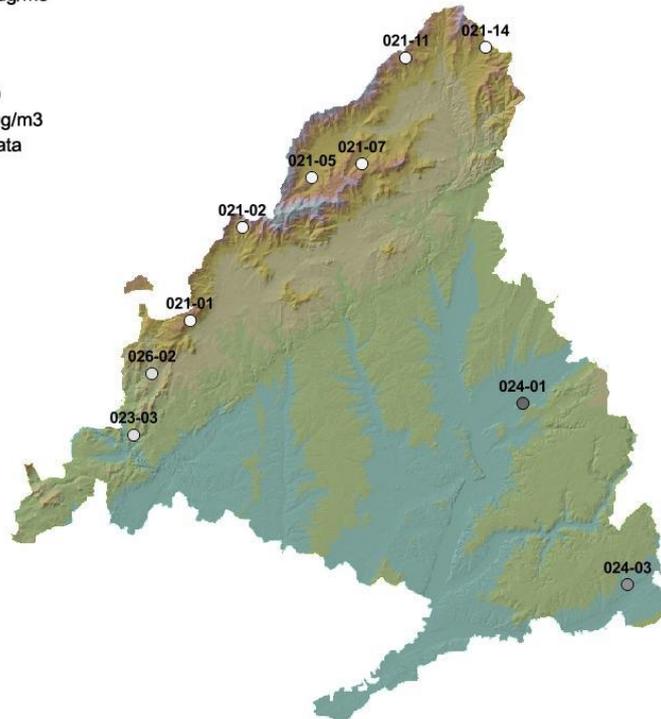


Figura MNO17.II
Muestreo 17 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

- 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 este último año destacó el notable descenso en las concentraciones de ozono registradas en esta estación, con una media anual para 2017 que se situó en los 10,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los más de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de años anteriores. En la presente revisión los valores fueron notablemente inferiores a la media de todas las estaciones, con registros que oscilaron entre los 2,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la primera quincena de julio (viaje nº8) y los 19,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda de octubre (viaje nº15), siendo mínimas en los meses de abril, mayo y junio. Todos estos registros estarían fuera de la tónica del modelo general de circulación del aire en la comunidad de Madrid, en la que se considera a éste área como una de las de mayor incidencia frente a contaminantes, de forma que gases emitidos en otros lugares 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 2017 de las concentraciones de O₃ en la estación de San Lorenzo del Escorial

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de abril	07/04/2017	16,39	10	1ª de agosto	08/08/2017	4,47	
3	2ª de abril	25/04/2017	11,29	11	2ª de agosto	24/08/2017	14,11	
4	1ª de mayo	11/05/2017	6,43	12	1ª de septiembre	11/09/2017	11,85	
5	2ª de mayo	30/05/2017	3,45	13	2ª de septiembre	26/09/2017	12,91	
6	1ª de junio	15/06/2017	2,16	14	1ª de octubre	11/10/2017	18,19	
7	2ª de junio	29/06/2017	2,85	15	2ª de octubre	24/10/2017	19,25	
8	1ª de julio	19/07/2017	2,15	16	1ª de noviembre	07/11/2017	18,24	
9	2ª de julio	28/07/2017	3,21	17	2ª de noviembre	24/11/2017	18,92	
							Media	10,37

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

Figura EvoO.I

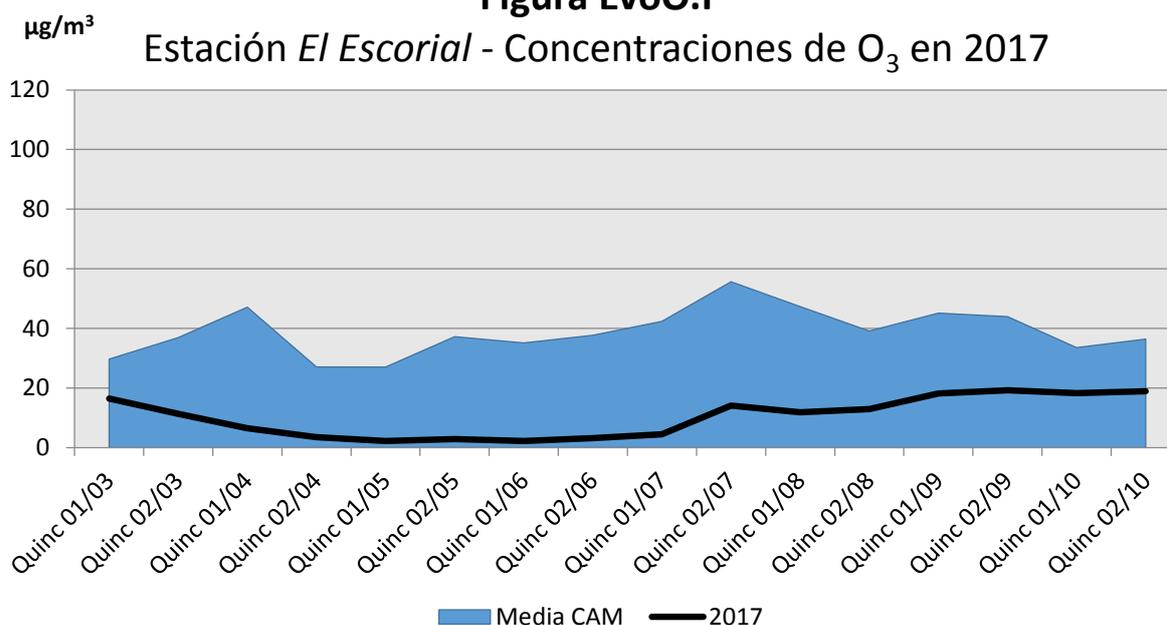
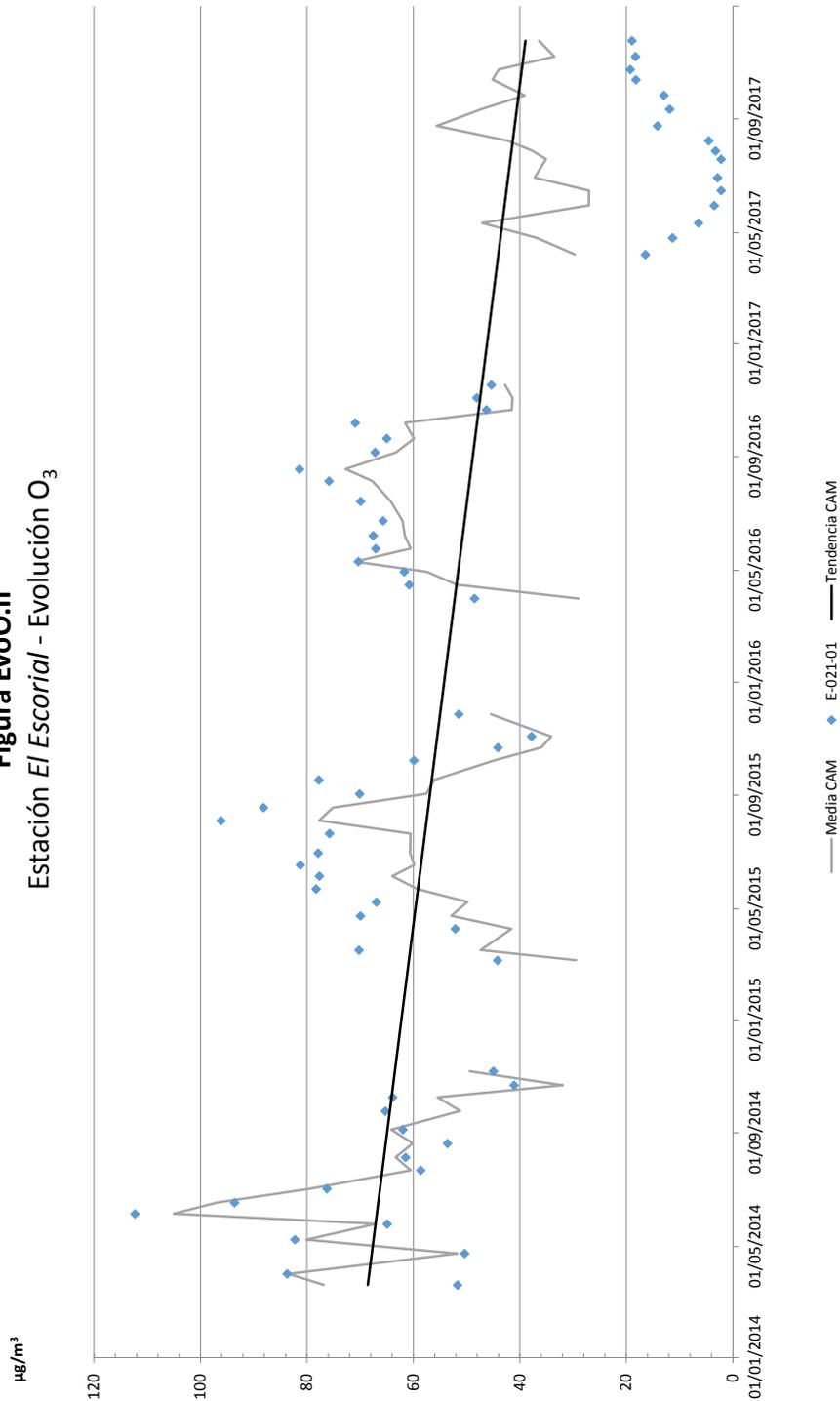




Figura EvoO.II
Estación El Escorial - Evolución O₃



E-021-02 - Cercedilla

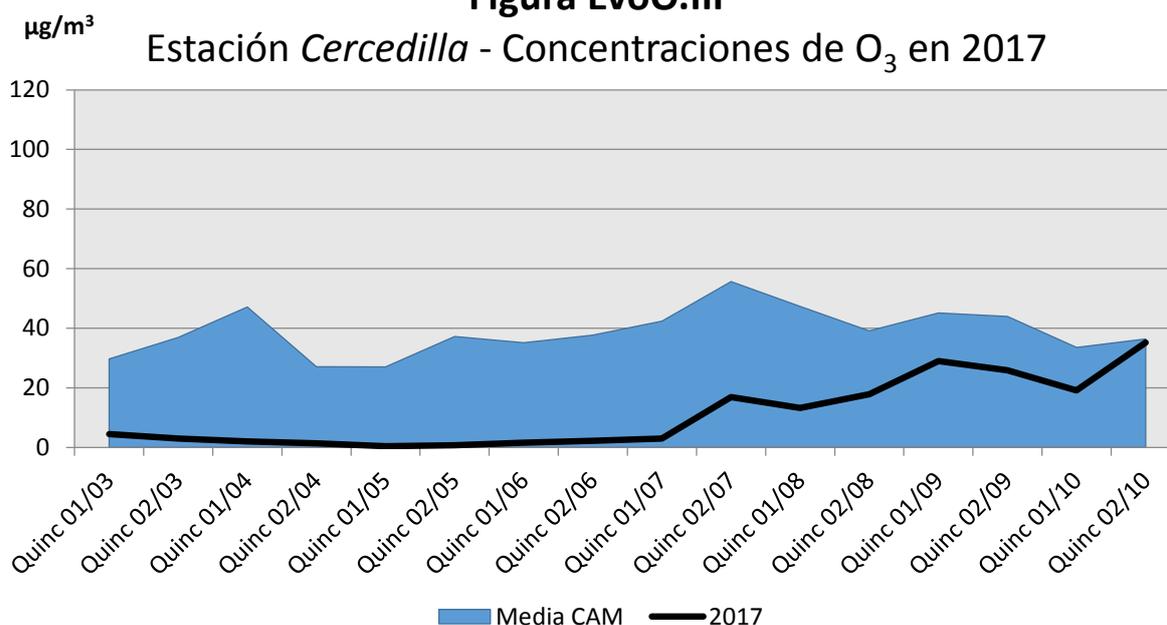
Nuevamente las concentraciones de ozono obtenidas en 2017 para esta estación fueron notablemente inferiores a las de años anteriores, con una media para 2017 de 10,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los más de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de anteriores revisiones. Los valores en este último año oscilaron entre los 0,33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la primera quincena de junio (viaje o muestreo nº6) y los 35,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda de noviembre (último viaje), siendo mínimas en la primera mitad del año para crecer con posterioridad. Al igual que en la estación del Escorial y en divergencia con la tónica de años anteriores, la estación de Cercedilla 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 la aparición de niveles altos de ozono, si bien en 2017 se mantuvieron notablemente por debajo de la media salvo en los últimos muestreos de 2017.

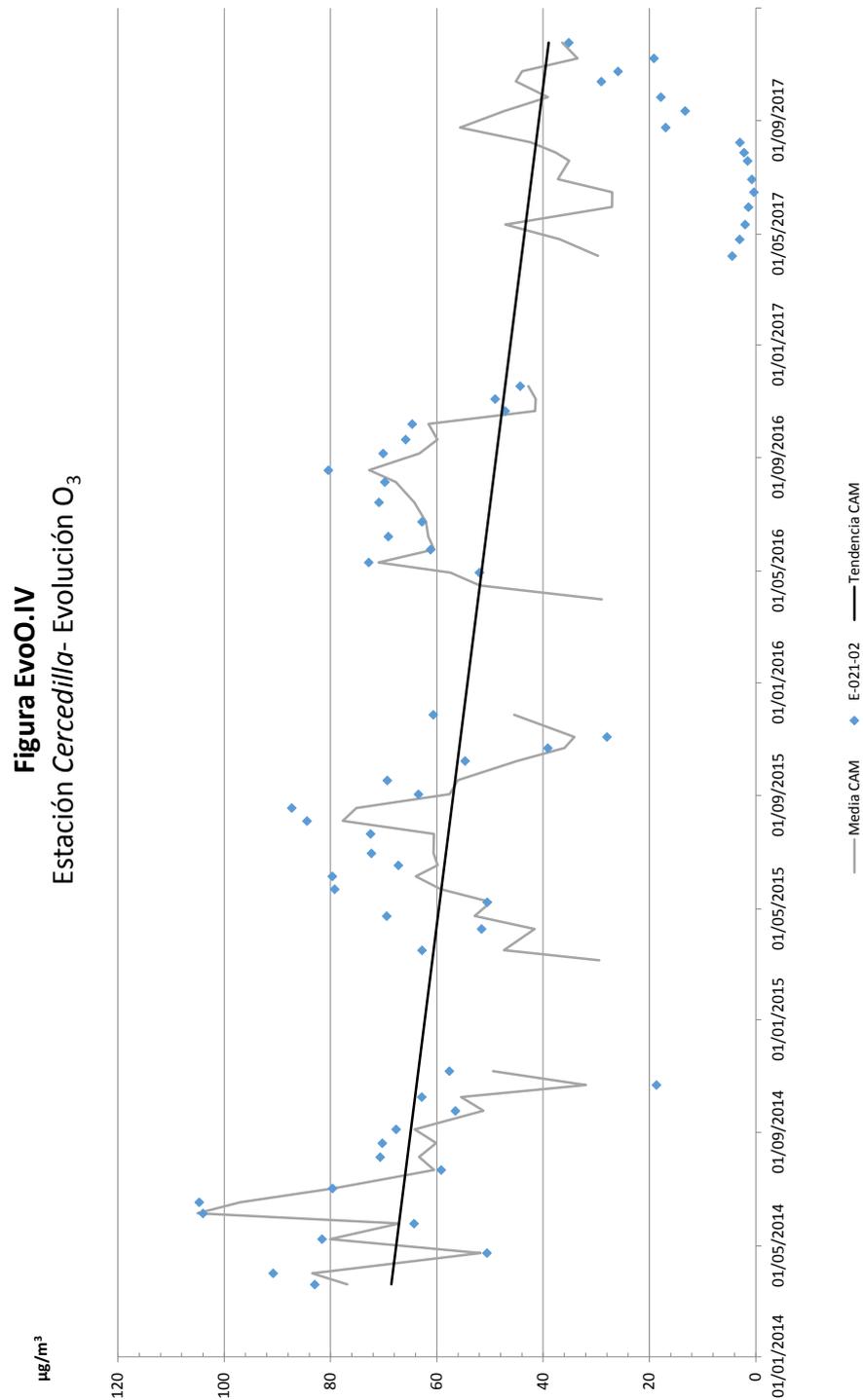
Tabla EvoO.II Evolución en 2017 de las concentraciones de O_3 en la estación de Cercedilla

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de abril	07/04/2017	4,42	10	1ª de agosto	08/08/2017	2,96	
3	2ª de abril	24/04/2017	2,98	11	2ª de agosto	25/08/2017	16,92	
4	1ª de mayo	11/05/2017	1,98	12	1ª de septiembre	11/09/2017	13,25	
5	2ª de mayo	30/05/2017	1,35	13	2ª de septiembre	26/09/2017	17,83	
6	1ª de junio	15/06/2017	0,33	14	1ª de octubre	13/10/2017	29,01	
7	2ª de junio	29/06/2017	0,69	15	2ª de octubre	24/10/2017	25,87	
8	1ª de julio	19/07/2017	1,51	16	1ª de noviembre	07/11/2017	19,12	
9	2ª de julio	28/07/2017	2,15	17	2ª de noviembre	24/11/2017	35,18	
							Media	10,97

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

Figura EvoO.III







E-021-05 - Rascafría

En esta ocasión las concentraciones de ozono registradas en la estación de Rascafría se mantuvieron en la tónica de años anteriores, quizás algo más elevadas con una media de 69,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo en todo caso claramente superiores a los registros medios de 2017. Los valores oscilaron entre los 45,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la primera quincena de noviembre (muestra nº16) y los 102,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la primera quincena de mayo (viaje nº4). A lo largo del año las concentraciones se mostraron erráticas, con una ligera disminución para finales de año.

Tabla EvoO.III Evolución en 2017 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	1ª de abril	07/04/2017	56,17	10	1ª de agosto	08/08/2017	79,28	
3	2ª de abril	24/04/2017	78,10	11	2ª de agosto	25/08/2017	90,45	
4	1ª de mayo	11/05/2017	102,09	12	1ª de septiembre	11/09/2017	70,77	
5	2ª de mayo	30/05/2017	56,63	13	2ª de septiembre	26/09/2017	60,19	
6	1ª de junio	15/06/2017	61,28	14	1ª de octubre	13/10/2017	68,94	
7	2ª de junio	29/06/2017	80,81	15	2ª de octubre	24/10/2017	62,57	
8	1ª de julio	19/07/2017	70,24	16	1ª de noviembre	07/11/2017	45,18	
9	2ª de julio	28/07/2017	72,69	17	2ª de noviembre	24/11/2017	50,60	
							Media	69,12

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

Figura EvoO.V

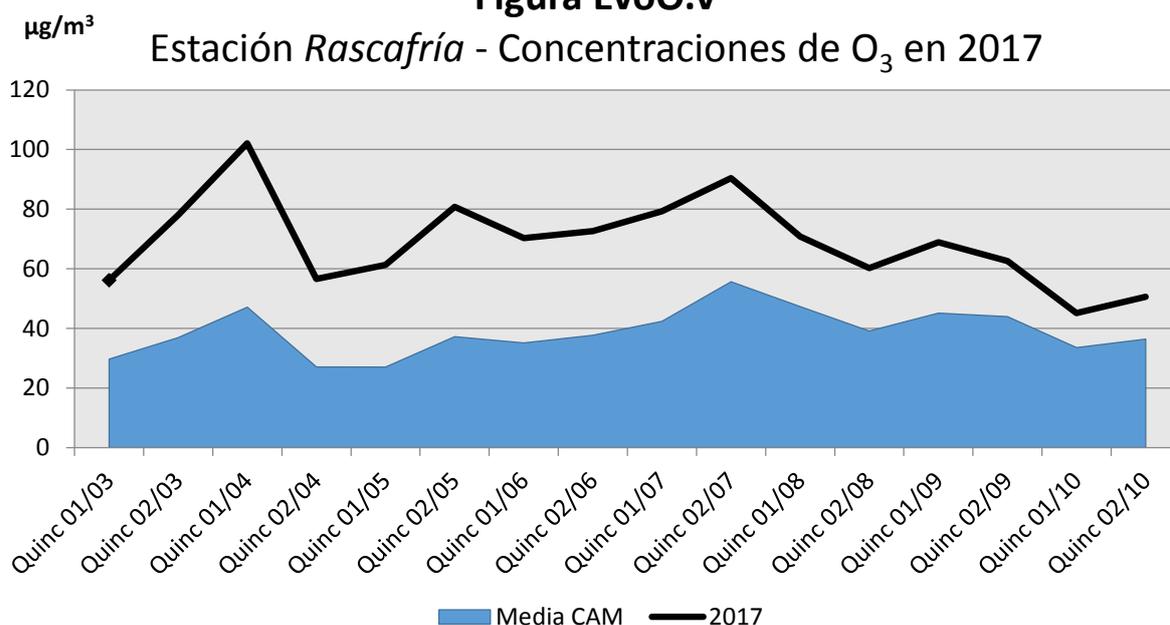
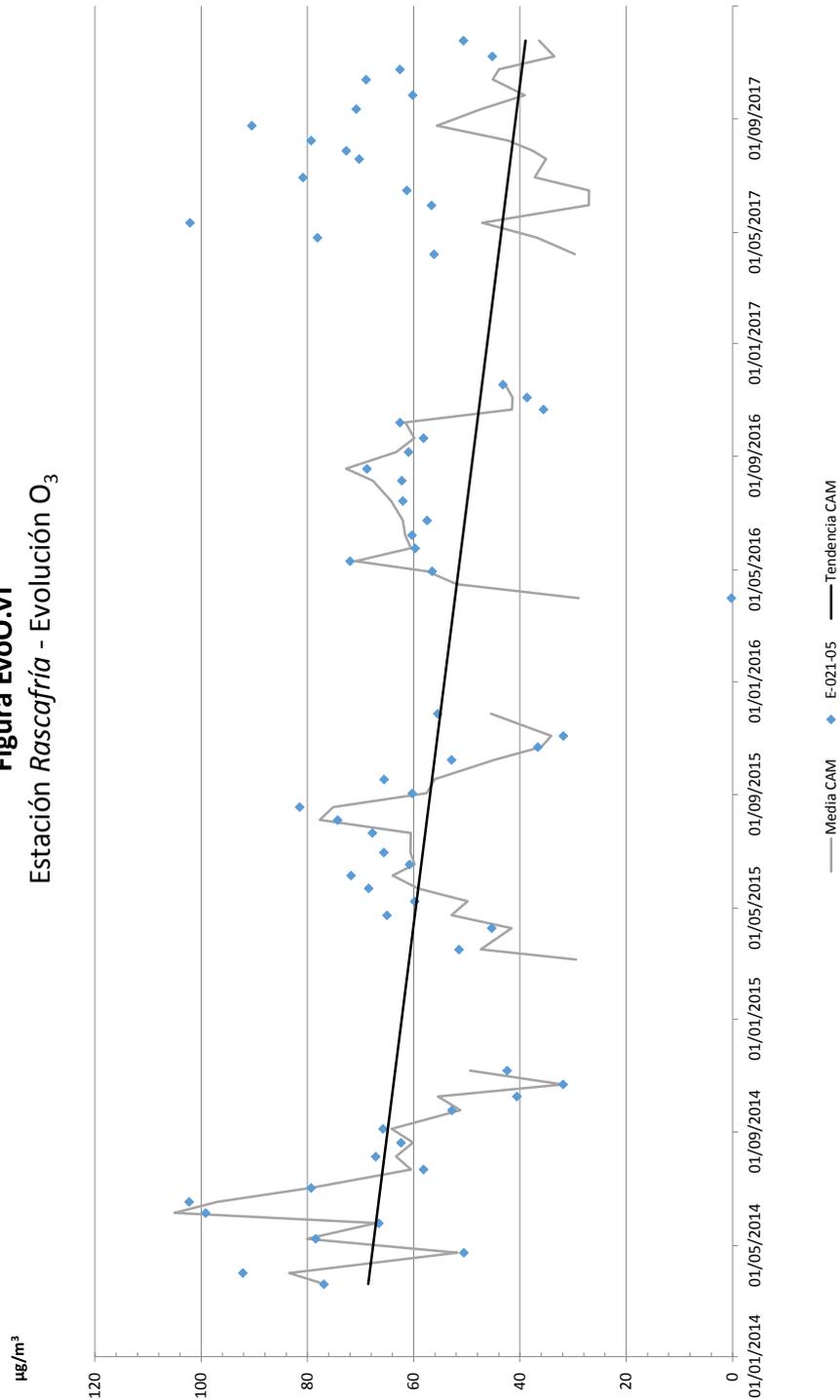




Figura EvoO.VI
Estación *Rascafría* - Evolución O₃



E-021-07 – Canencia de la Sierra

Pese a la cercanía de esta estación de Canencia de la Sierra con la anterior de Rascafría, el comportamiento en las concentraciones del ozono fue muy diferente. Por un lado fueron notablemente inferiores tanto a las medias del presente año como de años anteriores, con un registro que se situó en 2017 en los 11,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los registros oscilaron entre los 1,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la primera quincena de julio (viaje n°8) y los 36,41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje n°4), siendo mínimos en los meses de mayo y junio.

Tabla EvoO.IV Evolución en 2017 de las concentraciones de O₃ 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	1ª de abril	07/04/2017	26,20	10	1ª de agosto	08/08/2017	3,01
3	2ª de abril	24/04/2017	29,18	11	2ª de agosto	25/08/2017	11,37
4	1ª de mayo	11/05/2017	36,41	12	1ª de septiembre	11/09/2017	9,29
5	2ª de mayo	30/05/2017	4,98	13	2ª de septiembre	26/09/2017	9,66
6	1ª de junio	15/06/2017	2,21	14	1ª de octubre	13/10/2017	13,75
7	2ª de junio	29/06/2017	2,46	15	2ª de octubre	24/10/2017	11,25
8	1ª de julio	19/07/2017	1,40	16	1ª de noviembre	07/11/2017	9,99
9	2ª de julio	28/07/2017	2,19	17	2ª de noviembre	28/11/2017	17,09
Media							11,90

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

Figura EvoO.VII

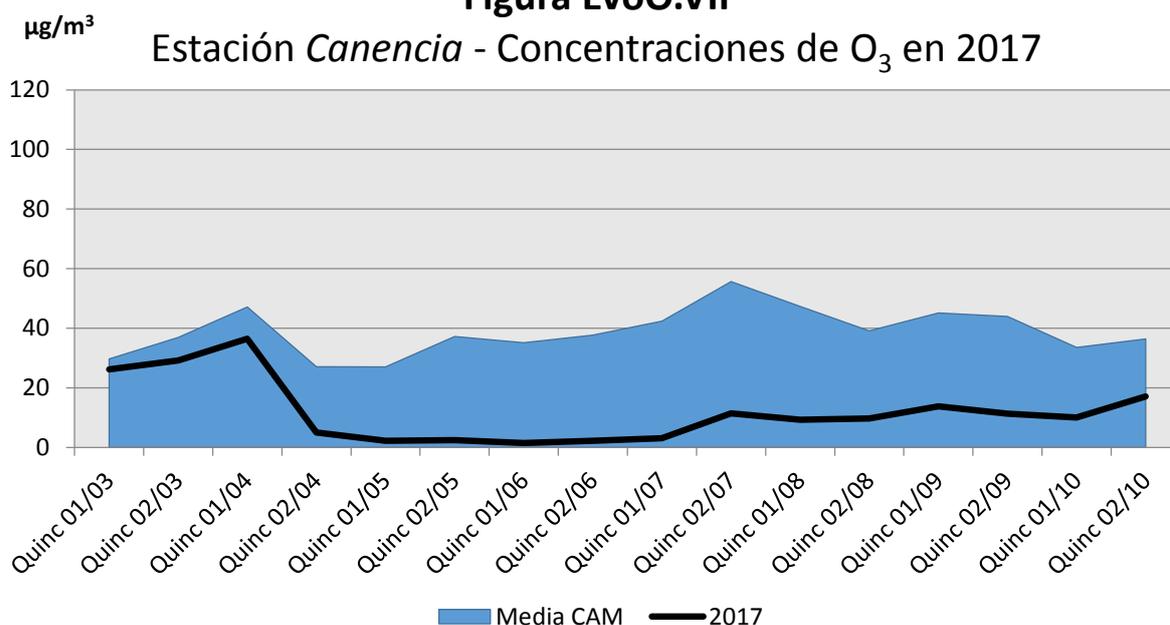
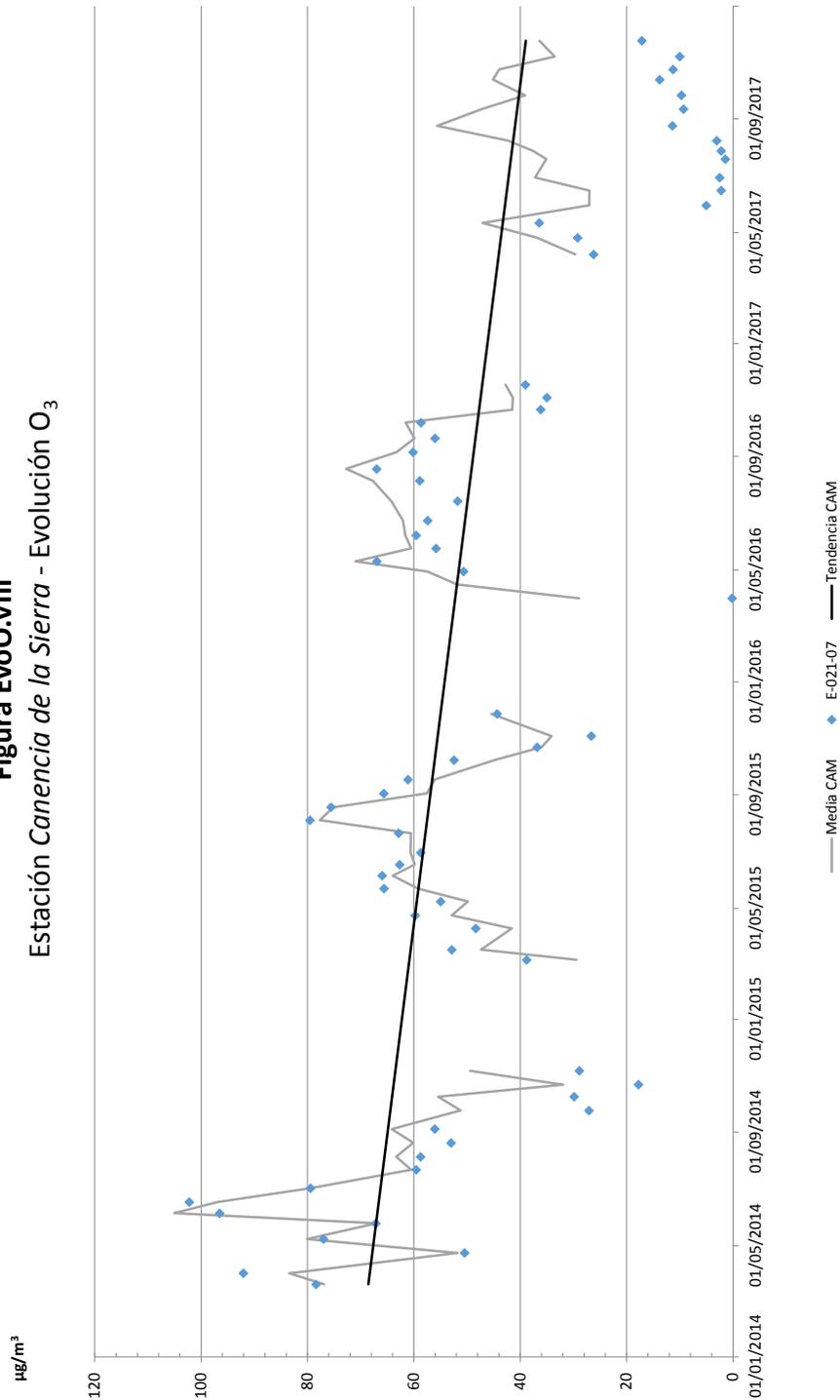




Figura EvoO.VIII
Estación Canencia de la Sierra - Evolución O₃





E-021-11 – Braojos

Las concentraciones en esta estación fueron similares o estuvieron en tónica con los registros medios en 2017, si bien respecto años anteriores los registros fueron algo inferiores, con una media en este último año de 36,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los más de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de pasadas revisiones. En esta presente revisión los valores oscilaron entre los 9,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de junio (viaje nº6) y los 58,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de octubre (viaje nº15), con registros más reducidos en los meses de mayo y junio por debajo de la media para remontar a partir del mes de julio y permanecer por encima de la media.

Tabla EvoO.V Evolución en 2017 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	1ª de abril	07/04/2017	43,71	10	1ª de agosto	08/08/2017	43,49
3	2ª de abril	24/04/2017	35,21	11	2ª de agosto	25/08/2017	57,93
4	1ª de mayo	11/05/2017	27,80	12	1ª de septiembre	11/09/2017	49,41
5	2ª de mayo	30/05/2017	13,51	13	2ª de septiembre	26/09/2017	44,96
6	1ª de junio	15/06/2017	9,73	14	1ª de octubre	13/10/2017	56,14
7	2ª de junio	29/06/2017	17,15	15	2ª de octubre	24/10/2017	58,27
8	1ª de julio	19/07/2017	23,47	16	1ª de noviembre	07/11/2017	37,43
9	2ª de julio	28/07/2017	31,15	17	2ª de noviembre	24/11/2017	41,92
Media							36,95

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

Figura EvoO.IX

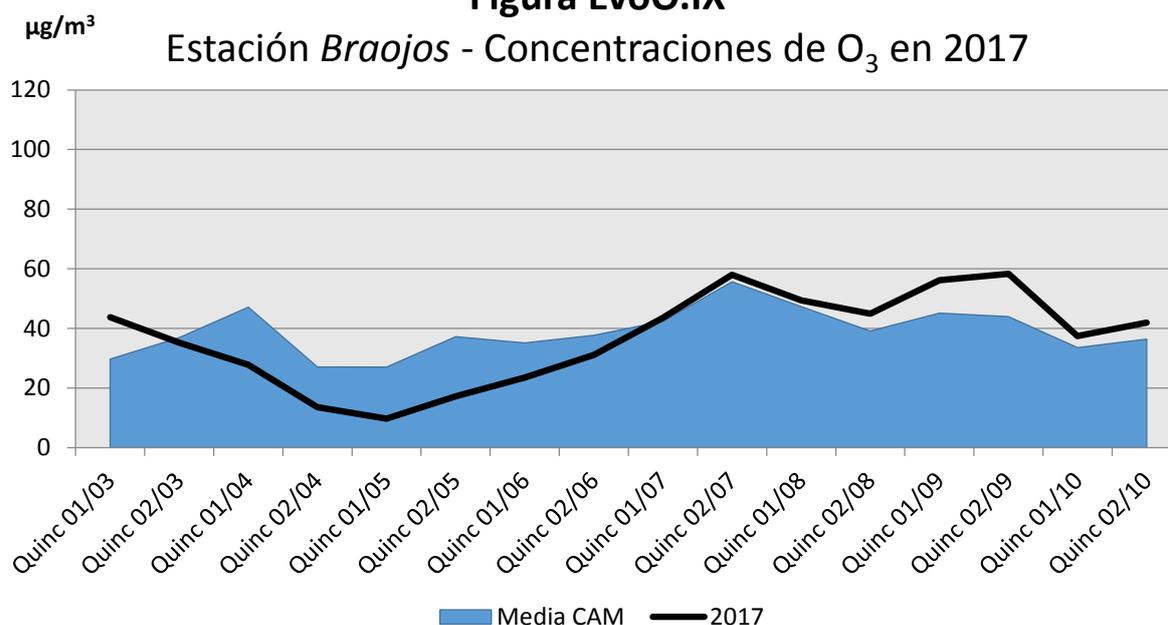
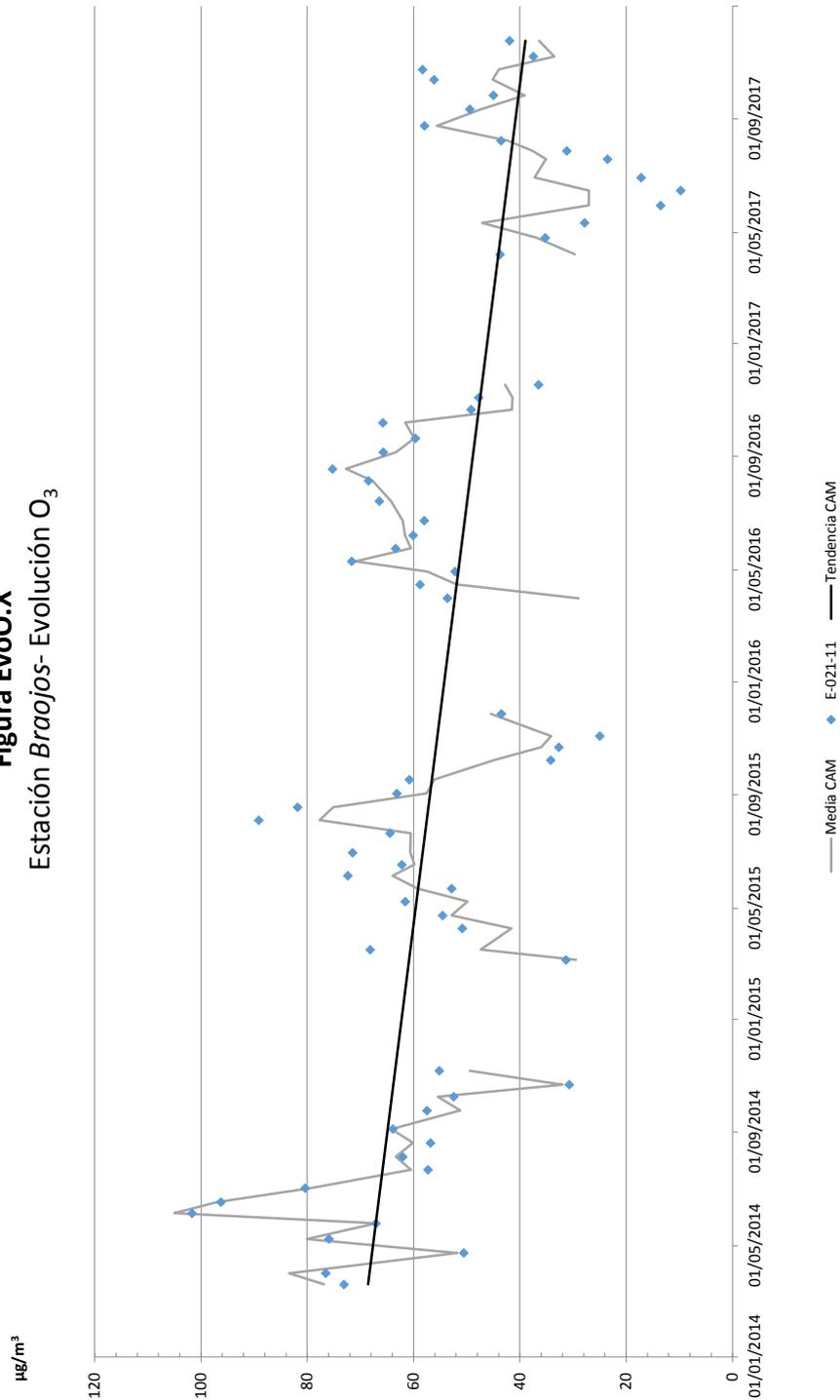




Figura EvoO.X
Estación Braojos- Evolución O₃





E-021-14 – Montejo de la Sierra

En este año las concentraciones de ozono en esta estación fueron notablemente superiores a los valores medios, estando en tónica con los registros de 2014 y 2016, no así con los registros de 2015, claramente inferiores. En 2017 la concentración media se situó en los 68,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con calores extremos de 48,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena de abril (viaje nº12) y los 95,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (muestreo o viaje nº4). Siendo previsible el registro de elevadas concentraciones de ozono en la estación dada su situación geográfica, no se apreció en todo caso ciclo alguno en los registros anuales, que se mostraron erráticos con una evolución temporal en forma de dientes de sierra tal y como se puede apreciar en la Figura EvoO.XI.

Tabla EvoO.VI Evolución en 2017 de las concentraciones de O₃ 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	1ª de abril	04/04/2017	48,01	10	1ª de agosto	08/08/2017	75,41
3	2ª de abril	24/04/2017	68,69	11	2ª de agosto	25/08/2017	91,15
4	1ª de mayo	11/05/2017	95,21	12	1ª de septiembre	11/09/2017	77,98
5	2ª de mayo	30/05/2017	55,14	13	2ª de septiembre	26/09/2017	61,43
6	1ª de junio	15/06/2017	53,92	14	1ª de octubre	13/10/2017	70,62
7	2ª de junio	29/06/2017	82,04	15	2ª de octubre	24/10/2017	68,47
8	1ª de julio	19/07/2017	67,44	16	1ª de noviembre	07/11/2017	52,85
9	2ª de julio	28/07/2017	68,23	17	2ª de noviembre	24/11/2017	54,46
Media							68,19

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

Figura EvoO.XI

Estación Montejo- Concentraciones de O₃ en 2017

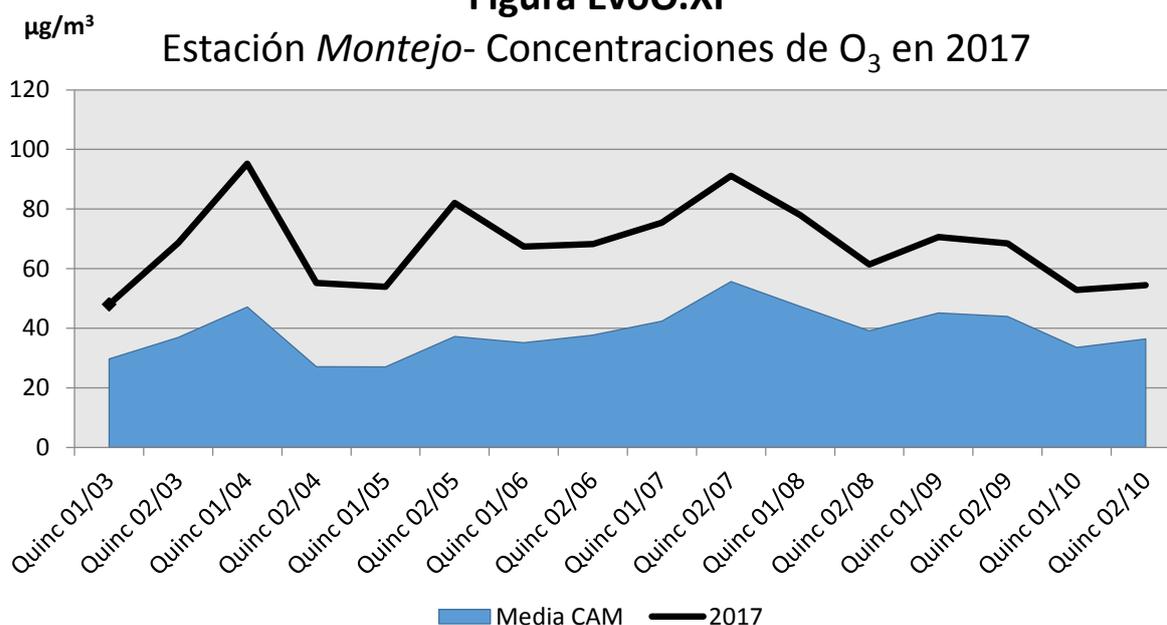
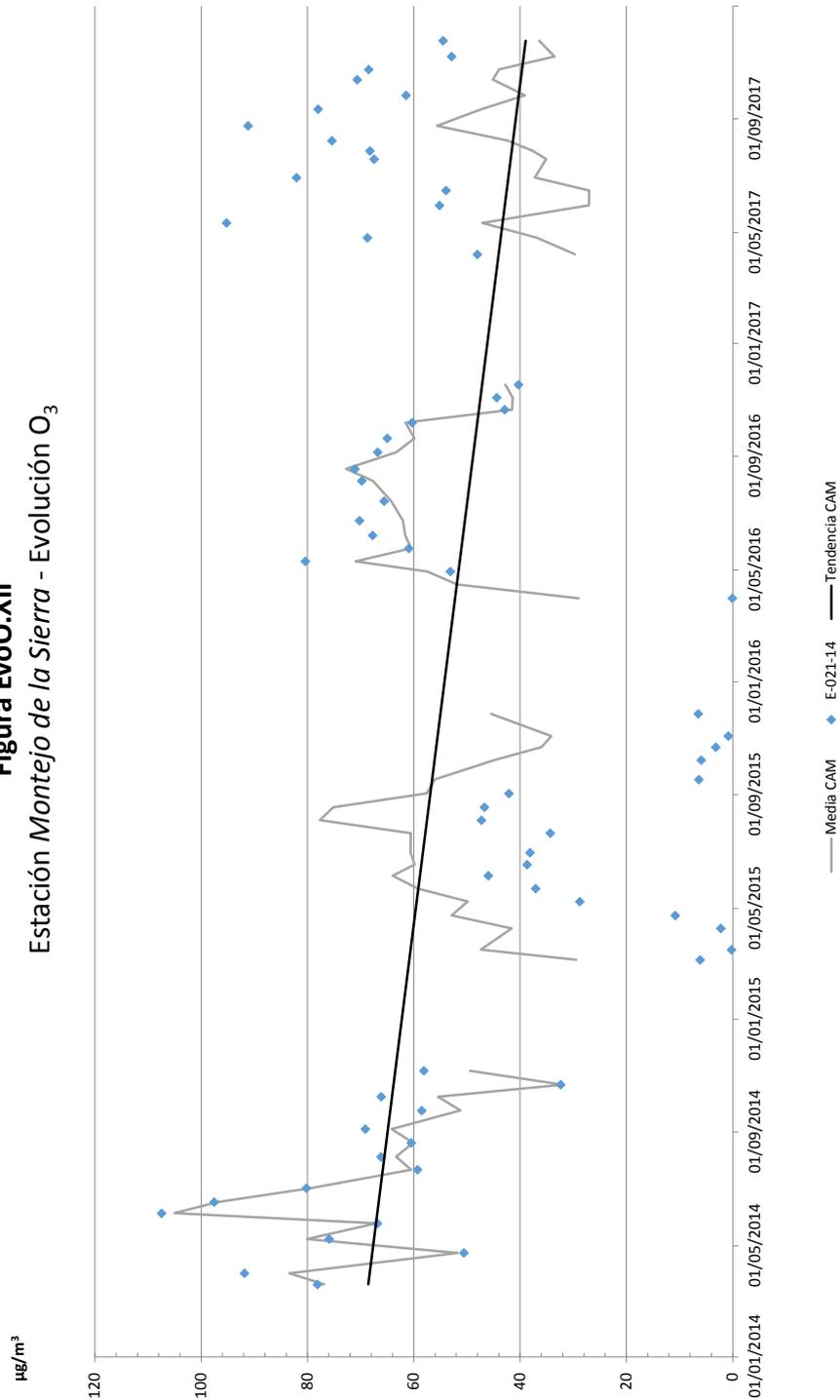




Figura EvoO.XII
Estación Montejo de la Sierra - Evolución O₃





E-023-03 – Navas del Rey

Las concentraciones de ozono en esta estación fueron también inferiores a las de años anteriores, con un registro medio de 35,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los más de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de pasadas revisiones. En 2017 los registros oscilaron entre los 13,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de abril (viaje nº3) y los 64,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de agosto (viaje nº11). Dándose en los primeros muestreos los valores más bajos del año, a partir del mes de junio comenzaron a incrementarse sin duda favorecidos por el incremento de la radiación solar y temperaturas para alcanzar su máximo en los meses de julio y agosto, reduciéndose suavemente en muestreos posteriores si bien permanecieron por encima de los valores medios.

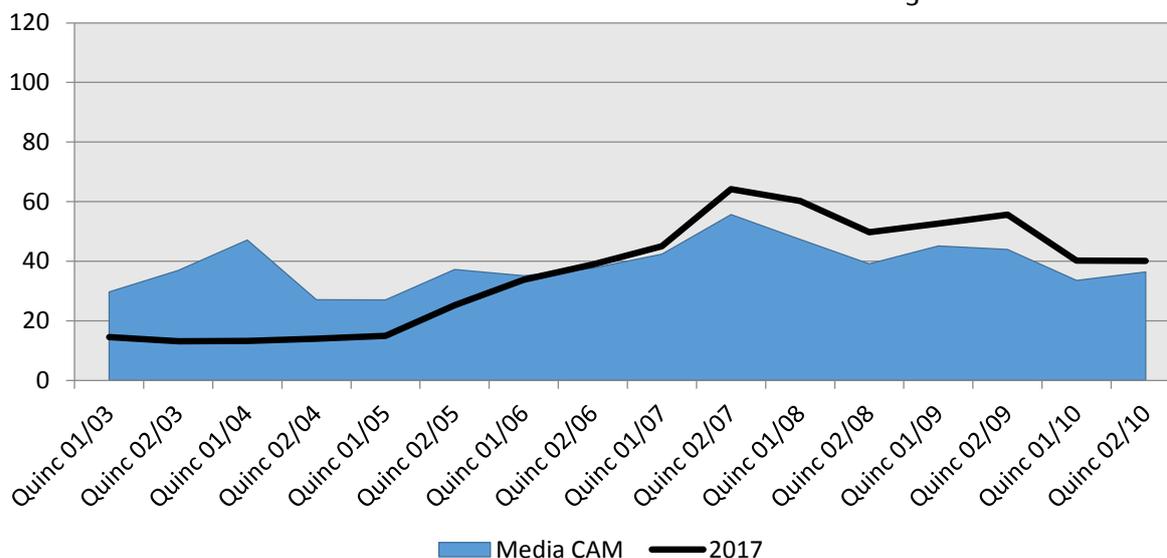
Tabla EvoO.VII Evolución en 2017 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Navas del Rey*

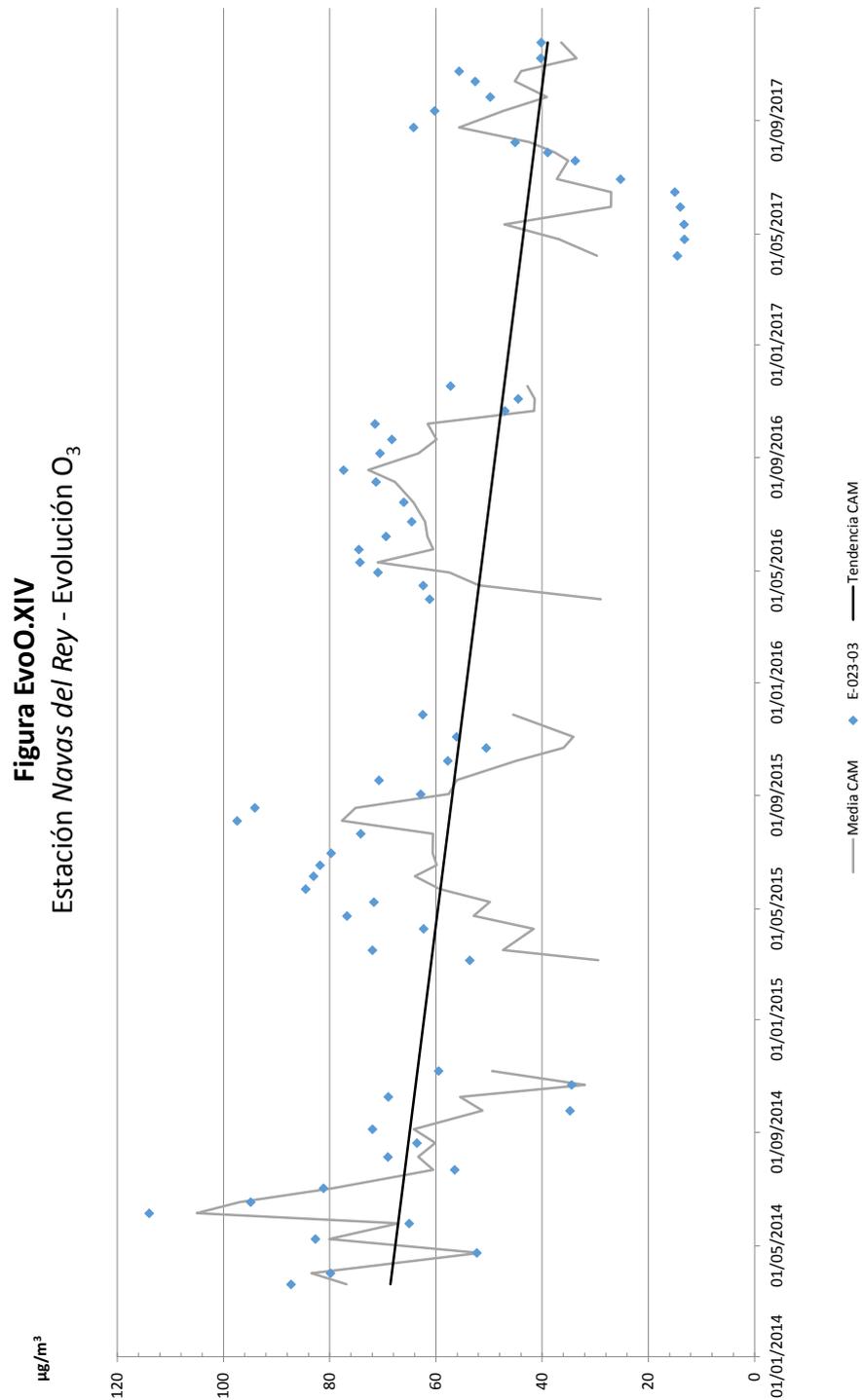
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de abril	07/04/2017	14,51	10	1ª de agosto	08/08/2017	45,05
3	2ª de abril	25/04/2017	13,16	11	2ª de agosto	24/08/2017	64,19
4	1ª de mayo	11/05/2017	13,27	12	1ª de septiembre	11/09/2017	60,21
5	2ª de mayo	30/05/2017	13,97	13	2ª de septiembre	25/09/2017	49,76
6	1ª de junio	15/06/2017	14,99	14	1ª de octubre	11/10/2017	52,59
7	2ª de junio	29/06/2017	25,22	15	2ª de octubre	23/10/2017	55,61
8	1ª de julio	19/07/2017	33,75	16	1ª de noviembre	07/11/2017	40,22
9	2ª de julio	28/07/2017	38,95	17	2ª de noviembre	24/11/2017	40,14
Media							35,97

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

Figura EvoO.XIII

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Estación *Navas del R.* - Concentraciones de O_3 en 2017







E-024-01 – Alcalá de Henares

En 2017 las concentraciones medias de ozono en esta estación fueron ligeramente superiores a los de 2015 y 2016, con una media de 58,23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, retomando niveles similares a los de 2014. Fueron además claramente superiores a los valores medios del presente año, con máximos a principios de años (82,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena del mes de mayo) y en pleno verano (84,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de agosto), y mínimos a principios y finales del año (33,88 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena de abril y 36,19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de noviembre).

Tabla EvoO.VIII Evolución en 2017 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	1ª de abril	06/04/2017	33,88	10	1ª de agosto	07/08/2017	58,26
3	2ª de abril	25/04/2017	52,01	11	2ª de agosto	24/08/2017	84,90
4	1ª de mayo	12/05/2017	82,01	12	1ª de septiembre	12/09/2017	71,20
5	2ª de mayo	29/05/2017	50,23	13	2ª de septiembre	25/09/2017	50,24
6	1ª de junio	16/06/2017	54,62	14	1ª de octubre	13/10/2017	53,22
7	2ª de junio	30/06/2017	67,74	15	2ª de octubre	23/10/2017	51,26
8	1ª de julio	18/07/2017	64,17	16	1ª de noviembre	08/11/2017	42,48
9	2ª de julio	29/07/2017	66,54	17	2ª de noviembre	23/11/2017	36,19
Media							58,23

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

Figura EvoO.XV

Estación *Alcalá de H.* - Concentraciones de O_3 en 2017

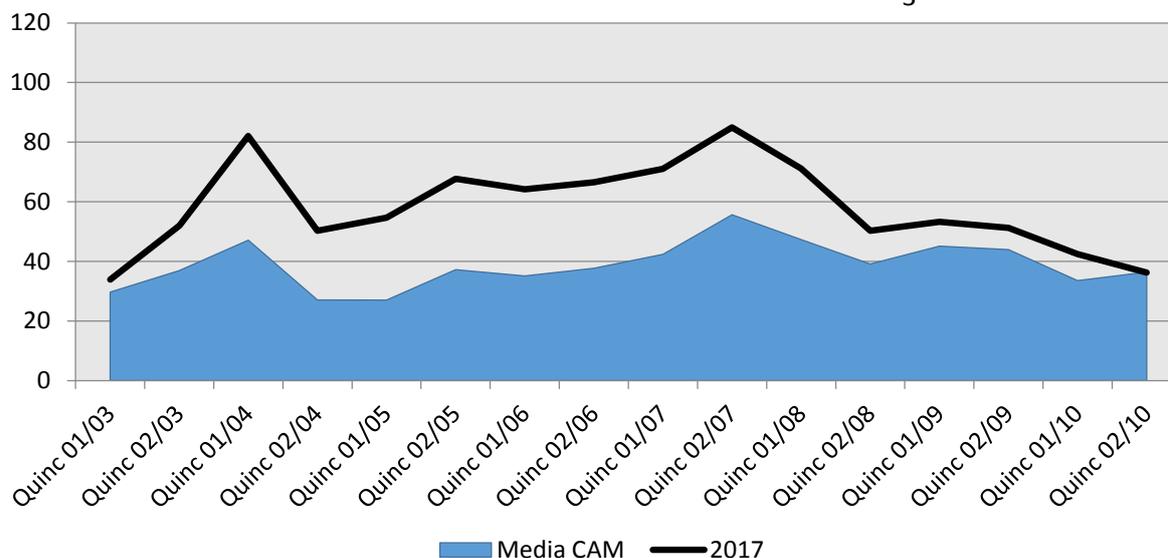
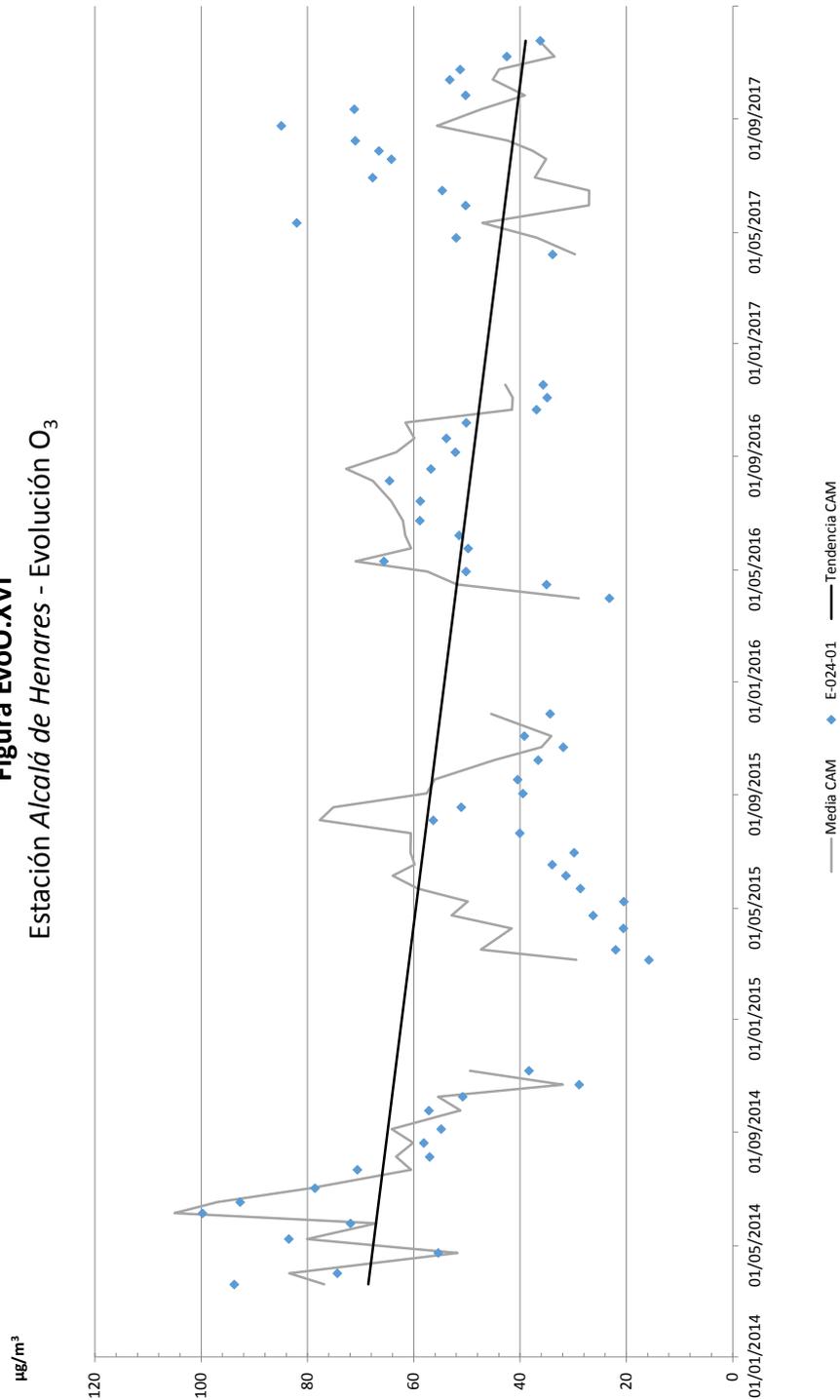




Figura EvoO.XVI
Estación Alcalá de Henares - Evolución O₃



E-024-03 – Fuentidueña del Tajo

Al igual que ocurrió con la estación de Alcalá de Henares, las concentraciones de ozono en 2017, además de ser superiores a los valores medios del año, fueron también más elevados que los obtenidos en 2015 y 2016, recuperándose los niveles de 2014. La media en 2017 fue de 60,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros mínimos a principios y finales de años (39,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de noviembre) y máximos en la primera quincena de mayo (92,76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y pleno mes de agosto (88,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el viaje nº11) coincidiendo con amplios periodos de radiación solar y episodios de altas temperaturas.

Tabla EvoO.IX Evolución en 2017 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	1ª de abril	06/04/2017	41,21	10	1ª de agosto	07/08/2017	75,62
3	2ª de abril	25/04/2017	65,39	11	2ª de agosto	24/08/2017	88,92
4	1ª de mayo	12/05/2017	92,76	12	1ª de septiembre	12/09/2017	74,85
5	2ª de mayo	29/05/2017	59,55	13	2ª de septiembre	25/09/2017	54,07
6	1ª de junio	16/06/2017	58,55	14	1ª de octubre	13/10/2017	55,63
7	2ª de junio	30/06/2017	76,51	15	2ª de octubre	23/10/2017	51,69
8	1ª de julio	18/07/2017	69,31	16	1ª de noviembre	08/11/2017	41,35
9	2ª de julio	29/07/2017	71,48	17	2ª de noviembre	23/11/2017	39,51
Media							60,21

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

Figura EvoO.XVII

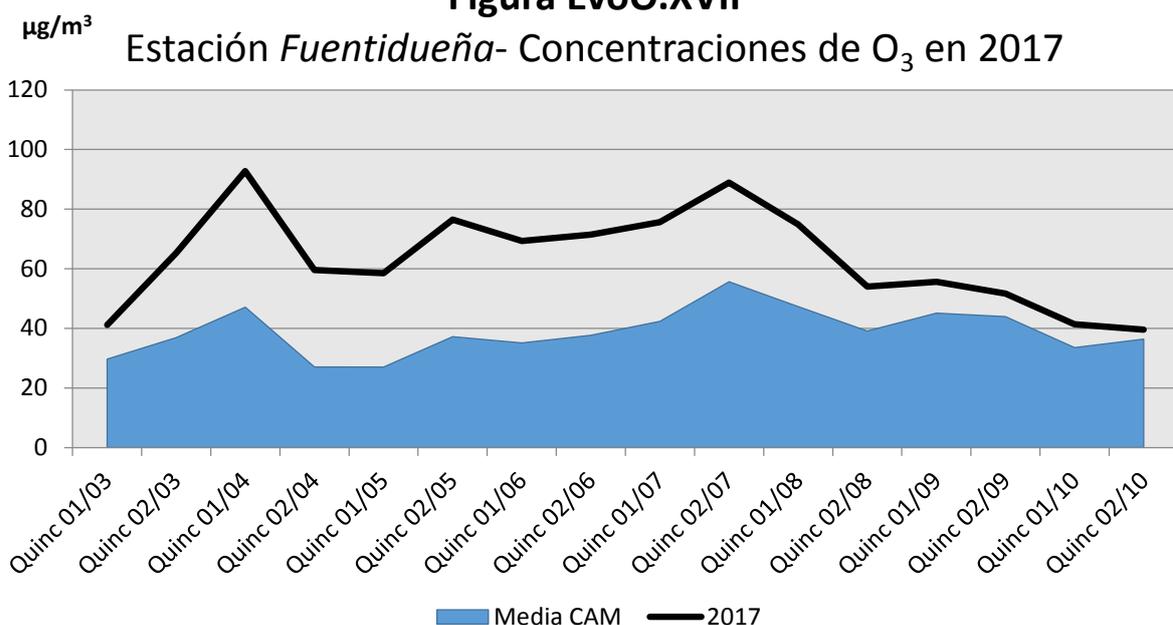
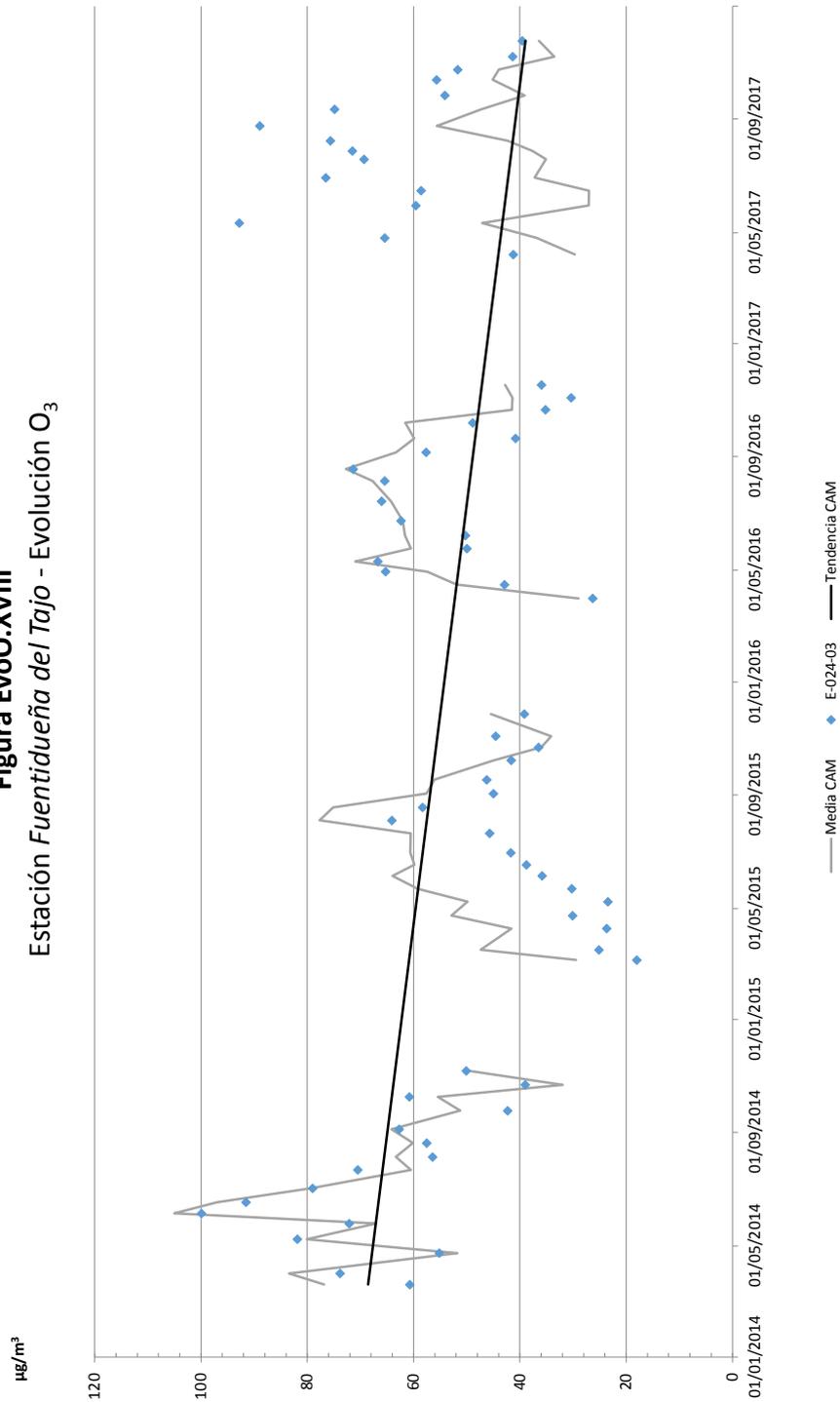




Figura EvoO.XVIII
Estación Fuentidueña del Tajo - Evolución O₃





E-026-02 – Robledo de Chavela

En esta ocasión volvía a repetirse el notable descenso en las concentraciones de ozono respecto años anteriores, con un valor medio de 22,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 2017 frente a los más de 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de anteriores revisiones. Los registros de este año fueron además notablemente inferiores a los valores medios, oscilando entre los 11,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de mayo (viaje nº5) y los 36,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de agosto (viaje nº11). A lo largo de todo el año se mantuvieron por debajo de la media, siendo notablemente inferiores en la primera mitad del año para aumentar en verano permaneciendo estable el resto del año.

Tabla EvoO.X Evolución en 2017 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	1ª de abril	07/04/2017	12,20	10	1ª de agosto	08/08/2017	23,25
3	2ª de abril	25/04/2017	12,87	11	2ª de agosto	24/08/2017	36,47
4	1ª de mayo	11/05/2017	13,14	12	1ª de septiembre	11/09/2017	34,25
5	2ª de mayo	30/05/2017	11,74	13	2ª de septiembre	25/09/2017	29,96
6	1ª de junio	15/06/2017	12,28	14	1ª de octubre	11/10/2017	33,04
7	2ª de junio	29/06/2017	16,61	15	2ª de octubre	23/10/2017	35,17
8	1ª de julio	19/07/2017	17,65	16	1ª de noviembre	07/11/2017	28,50
9	2ª de julio	28/07/2017	20,17	17	2ª de noviembre	24/11/2017	29,90
Media							22,95

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

Figura EvoO.XIX

$\mu\text{g}/\text{m}^3$ Estación *Robledo de C.* -Concentraciones de O_3 en 2017

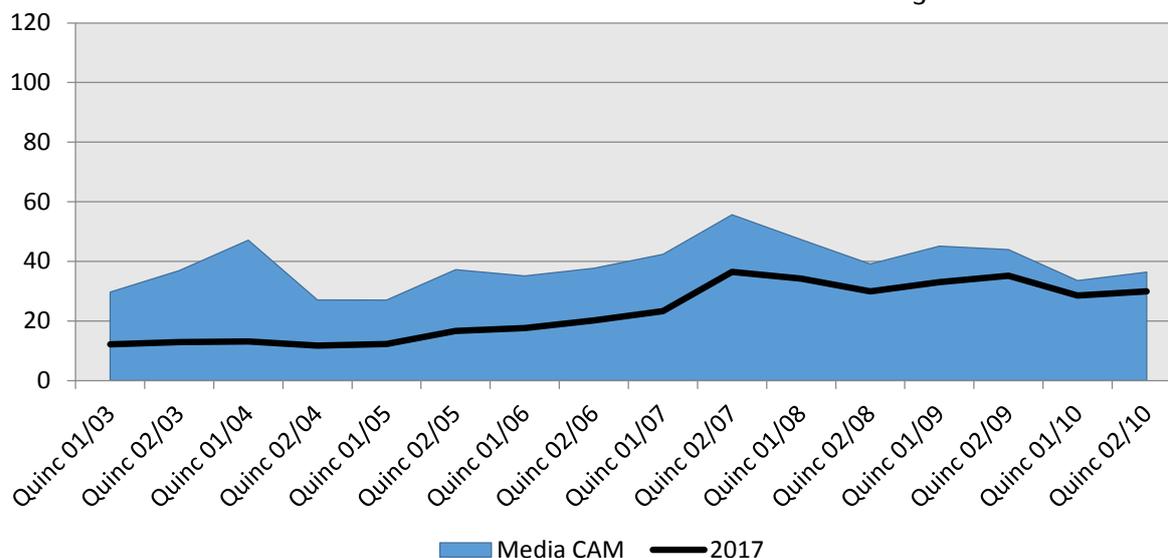
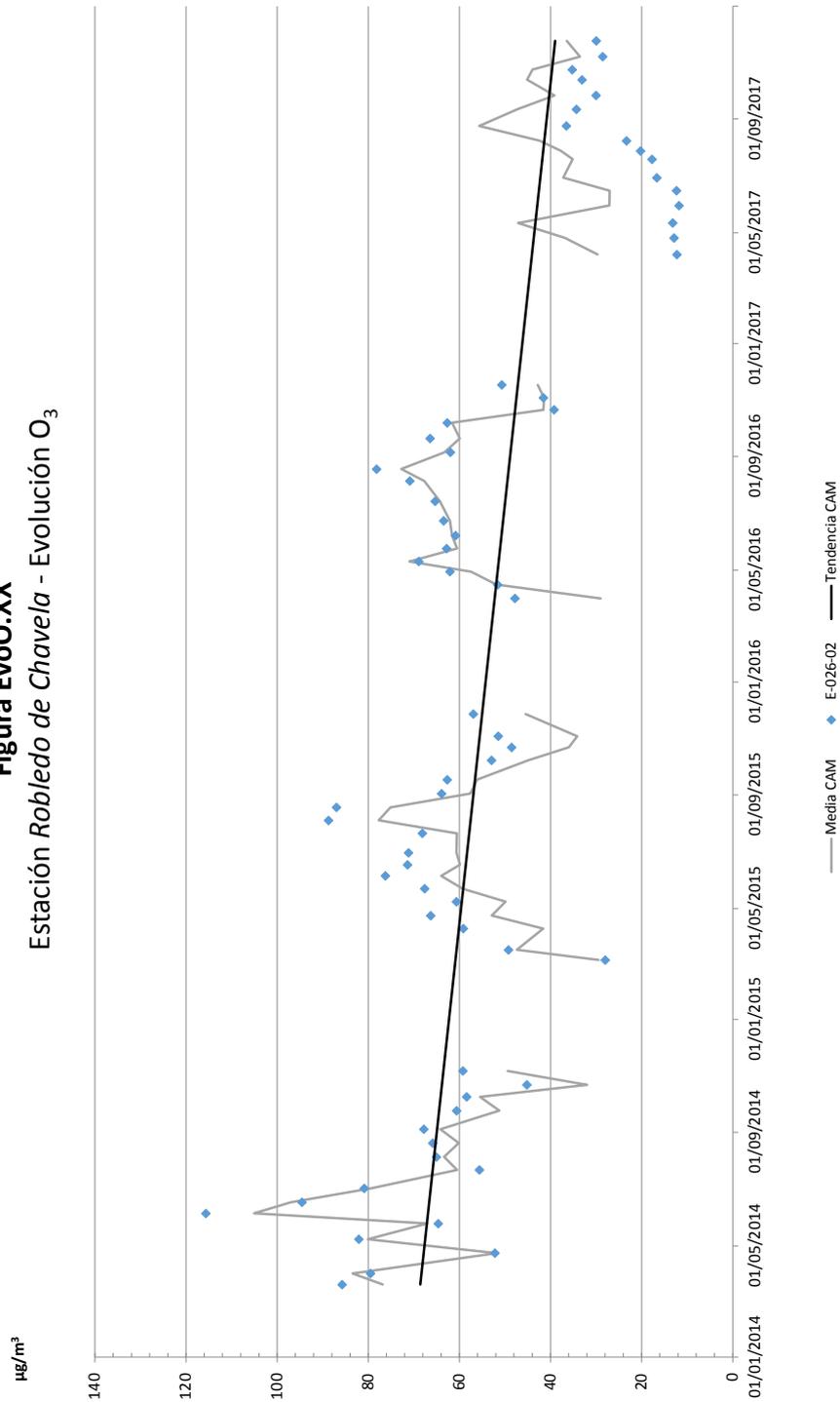




Figura EvoO.XX
Estación Robledo de Chavela - Evolución O₃



5.4.2. DIÓXIDO DE NITRÓGENO

E-021-01 - San Lorenzo de El Escorial

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en El Escorial fueron similares a las de años anteriores, quizás algo superiores a las de 2014 y 2015, situándose actualmente la media en 2017 para esta estación en los 1,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los registros oscilaron entre los 0,38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la primera quincena de mayo (viaje nº4) y los 2,25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la segunda quincena de junio (viaje o muestro nº6), con concentraciones ligeramente más elevadas en los meses de junio, julio y agosto. Cabe hacer constar para este contaminante que 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 medias de la comunidad.

Tabla EvoNO.I Evolución en 2017 de las concentraciones de NO_2 en la estación de *San Lorenzo del Escorial*

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de abril	07/04/2017	0,69	10	1ª de agosto	08/08/2017	1,84	
3	2ª de abril	25/04/2017	0,57	11	2ª de agosto	24/08/2017	2,00	
4	1ª de mayo	11/05/2017	0,38	12	1ª de septiembre	11/09/2017	0,97	
5	2ª de mayo	30/05/2017	0,90	13	2ª de septiembre	26/09/2017	1,10	
6	1ª de junio	15/06/2017	1,28	14	1ª de octubre	11/10/2017	1,43	
7	2ª de junio	29/06/2017	2,25	15	2ª de octubre	24/10/2017	1,12	
8	1ª de julio	19/07/2017	2,13	16	1ª de noviembre	07/11/2017	0,64	
9	2ª de julio	28/07/2017	2,01	17	2ª de noviembre	24/11/2017	0,71	
							Media	1,25

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

Figura EvoNO.I

Estación de *El Escorial* - Concentraciones de NO_2 en 2017

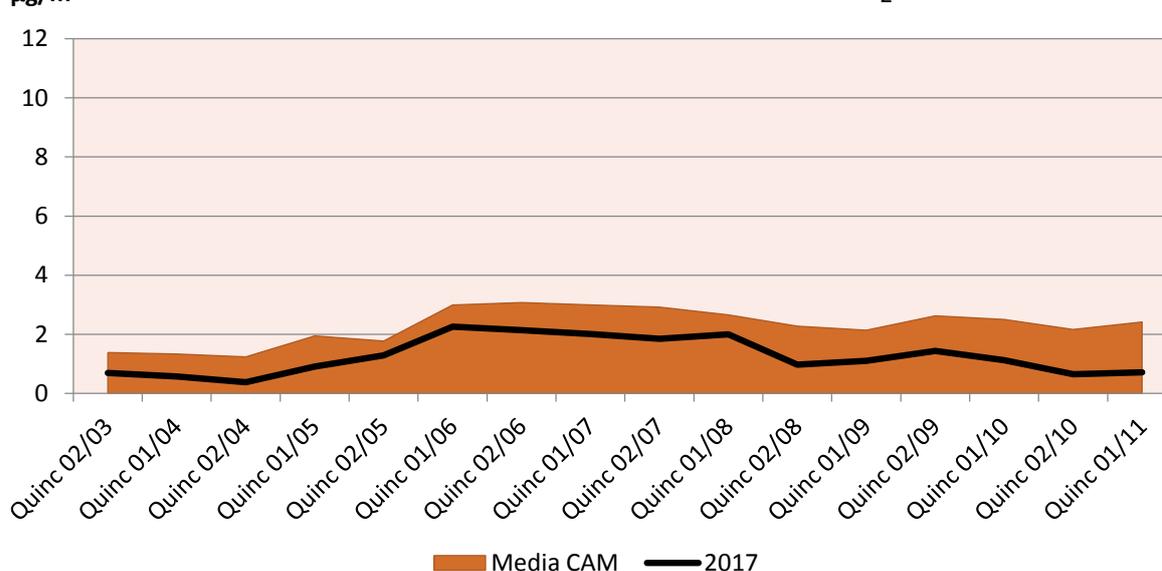
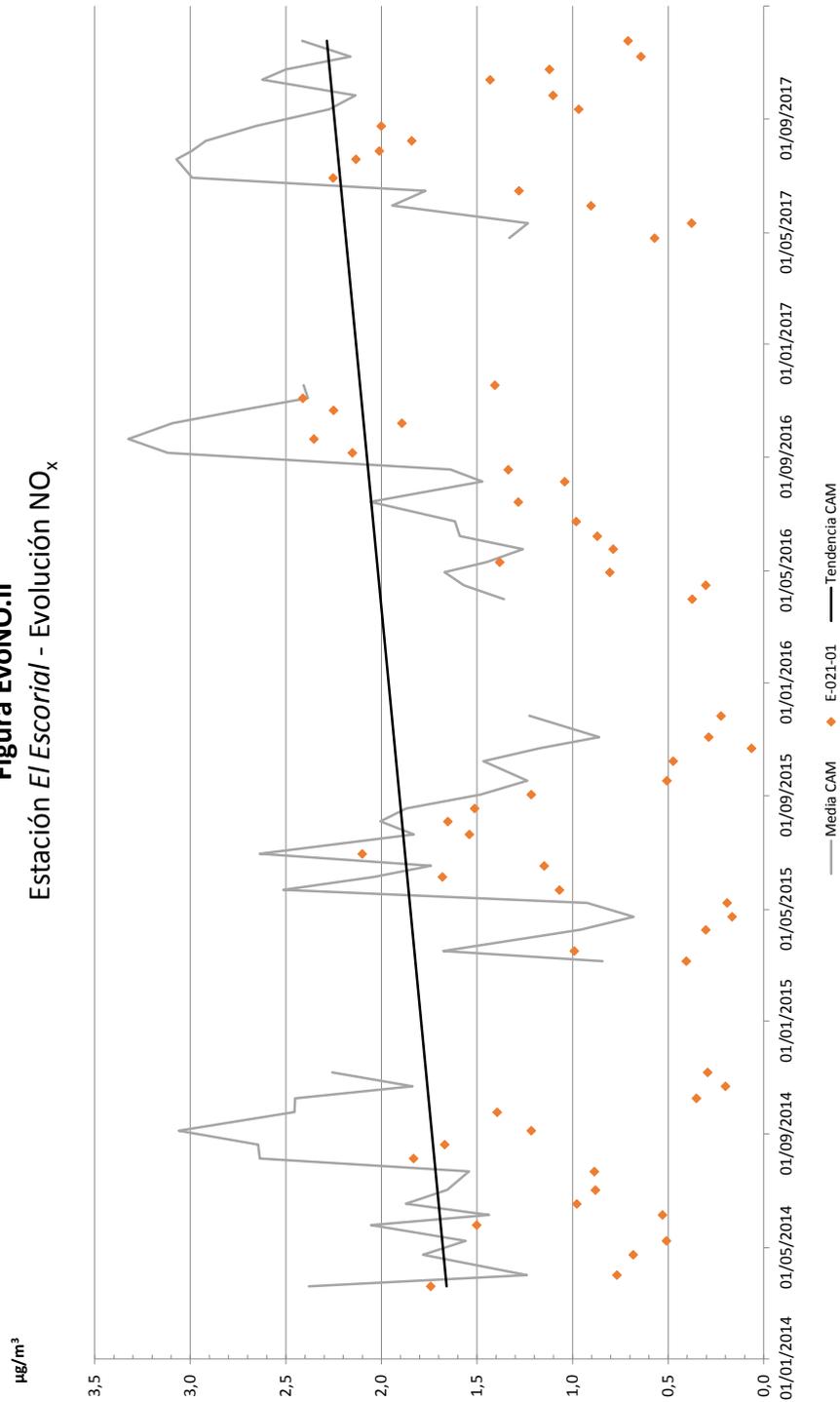




Figura EvoNO.II
Estación El Escorial - Evolución NO_x





E-021-02 - Cercedilla

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en la estación de Cercedilla fueron similares a las de años anteriores, ligeramente superiores con una media en 2017 de 1,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores oscilaron entre los 0,55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje nº4) y los 2,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de junio (viaje nº8) con registros ligeramente más elevados en los meses de junio, julio y agosto, siempre por debajo de la media regional por las mismas razones que en el caso de la estación del 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).

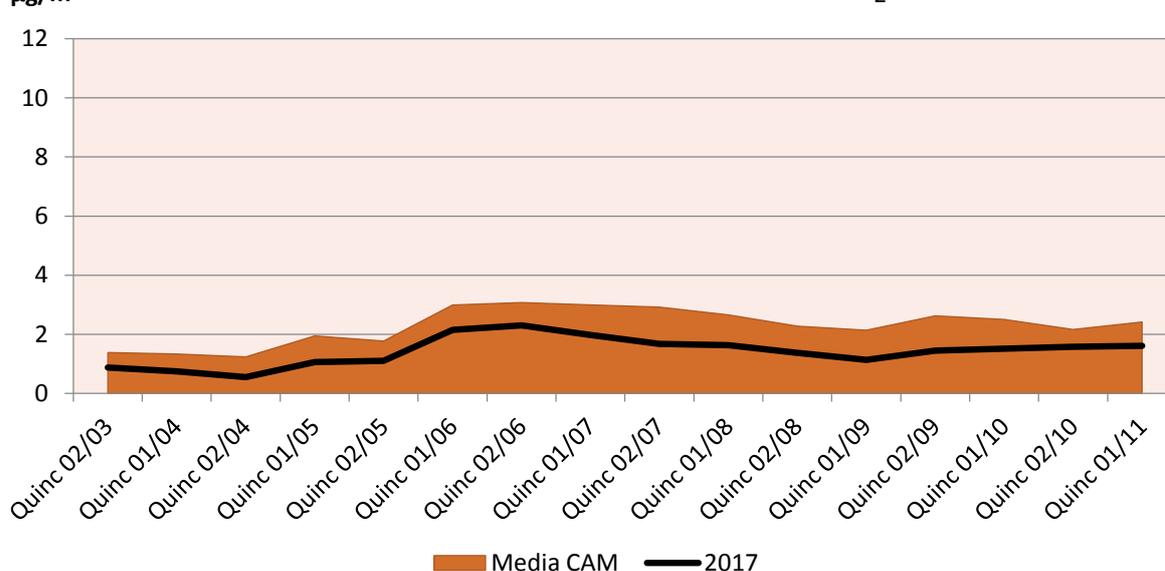
Tabla EvoNO.II Evolución en 2017 de las concentraciones de NO_2 en la estación de Cercedilla

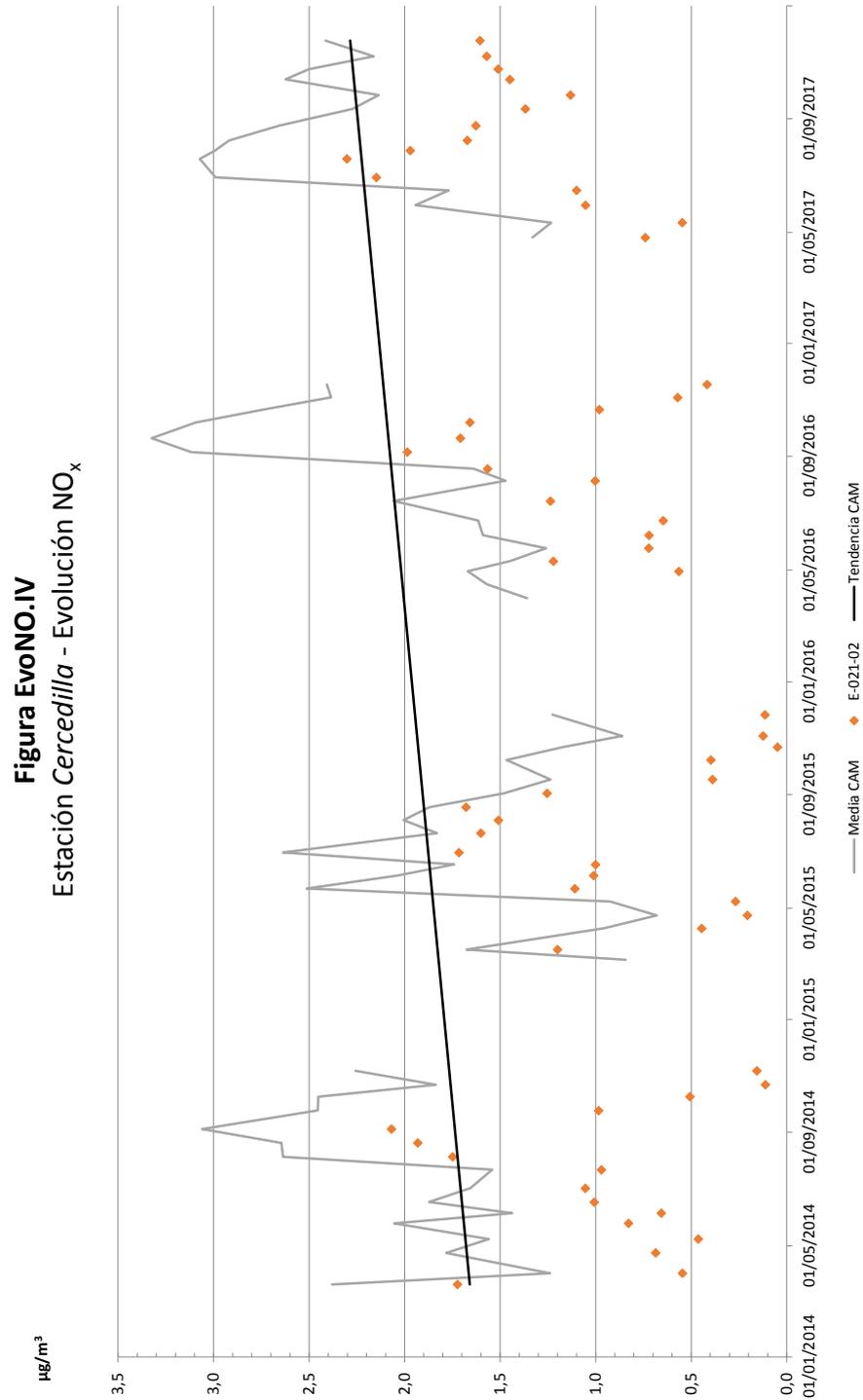
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de abril	07/04/2017	0,87	10	1ª de agosto	08/08/2017	1,67	
3	2ª de abril	24/04/2017	0,74	11	2ª de agosto	25/08/2017	1,63	
4	1ª de mayo	11/05/2017	0,55	12	1ª de septiembre	11/09/2017	1,37	
5	2ª de mayo	30/05/2017	1,05	13	2ª de septiembre	26/09/2017	1,13	
6	1ª de junio	15/06/2017	1,10	14	1ª de octubre	13/10/2017	1,45	
7	2ª de junio	29/06/2017	2,15	15	2ª de octubre	24/10/2017	1,51	
8	1ª de julio	19/07/2017	2,30	16	1ª de noviembre	07/11/2017	1,57	
9	2ª de julio	28/07/2017	1,97	17	2ª de noviembre	24/11/2017	1,61	
							Media	1,42

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

Figura EvoNO.III

Estación de Cercedilla- Concentraciones de NO_2 en 2017





E-021-05 - Rascafría

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en la estación de Rascafría se mantuvieron en la tónica de años anteriores con un valor medio para 2017 de 1,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones oscilaron entre los 0,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje o muestro nº4) y los 1,80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de agosto (viaje nº11), con registros ligeramente más elevados nuevamente en los meses de junio, julio y agosto. De nuevo todos los valores fueron inferiores a la media regional al tratarse de una localización alejada de los principales focos de emisión de estos contaminantes.

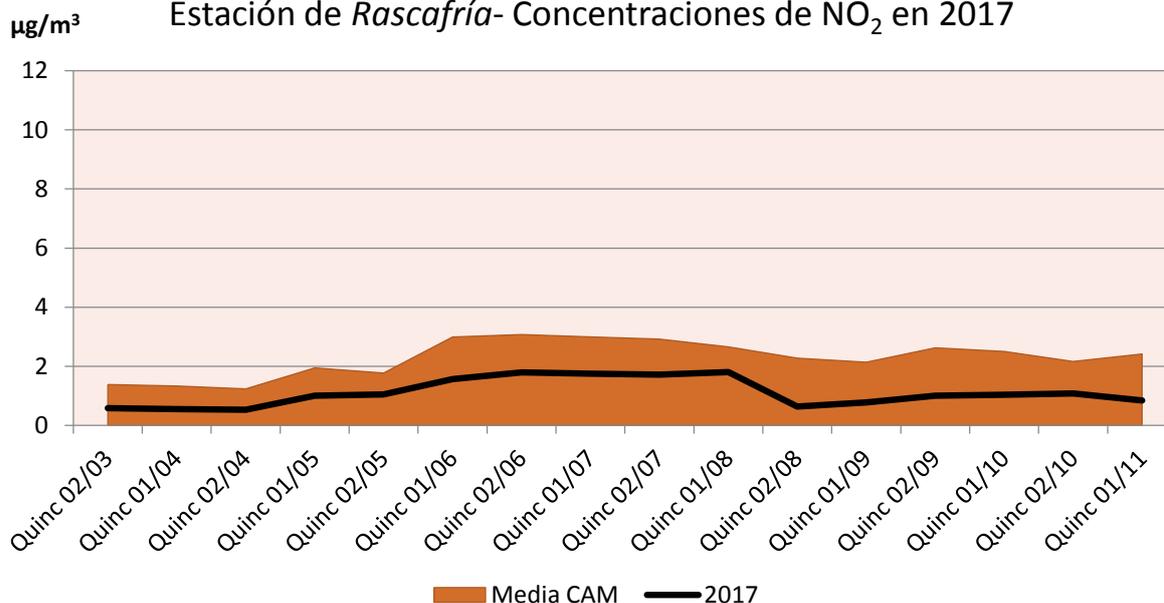
Tabla EvoNO.III Evolución en 2017 de las concentraciones de NO_2 en la estación de Rascafría

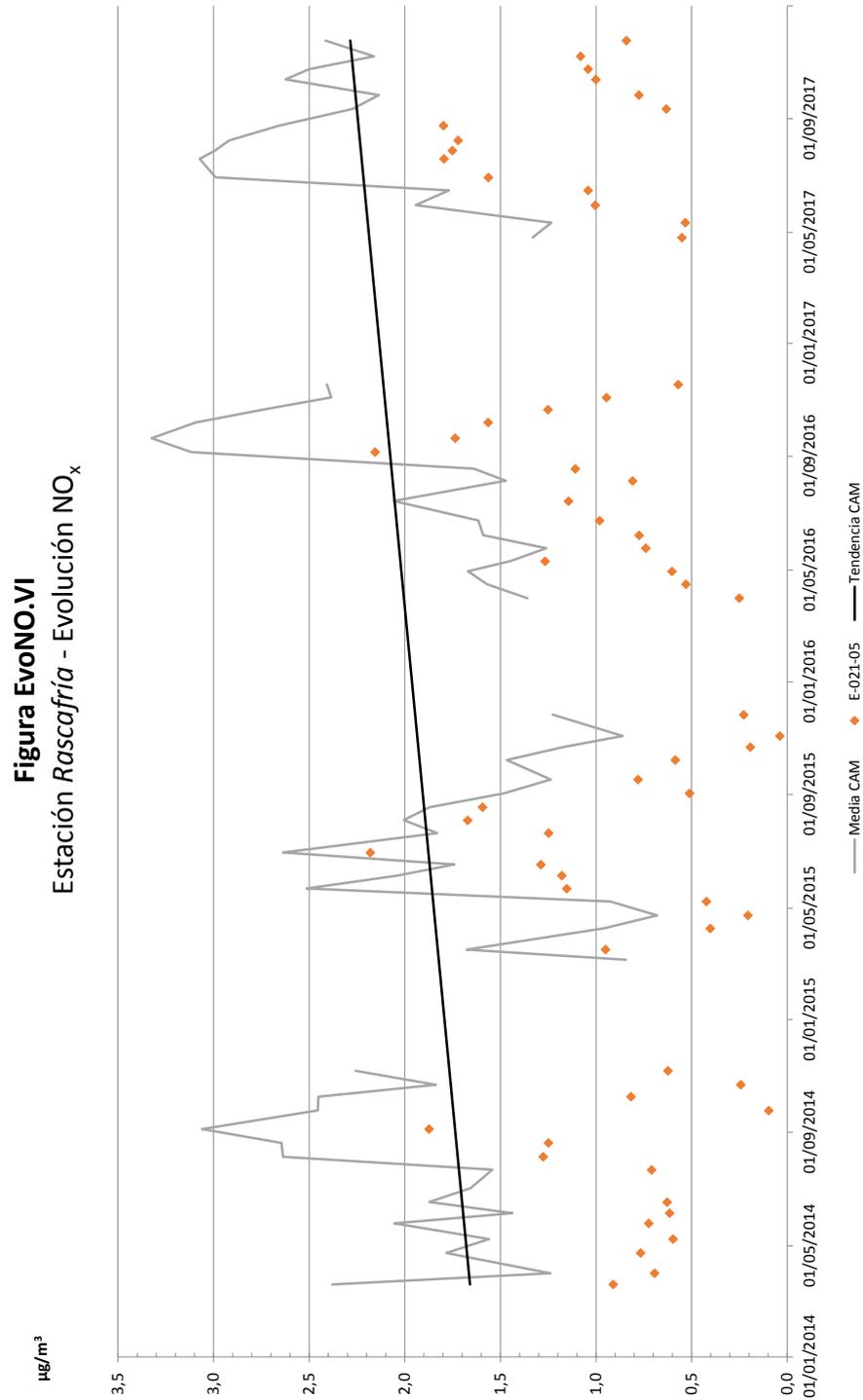
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de abril	07/04/2017	0,58	10	1ª de agosto	08/08/2017	1,72
3	2ª de abril	24/04/2017	0,55	11	2ª de agosto	25/08/2017	1,80
4	1ª de mayo	11/05/2017	0,53	12	1ª de septiembre	11/09/2017	0,63
5	2ª de mayo	30/05/2017	1,00	13	2ª de septiembre	26/09/2017	0,77
6	1ª de junio	15/06/2017	1,04	14	1ª de octubre	13/10/2017	1,00
7	2ª de junio	29/06/2017	1,56	15	2ª de octubre	24/10/2017	1,04
8	1ª de julio	19/07/2017	1,79	16	1ª de noviembre	07/11/2017	1,08
9	2ª de julio	28/07/2017	1,75	17	2ª de noviembre	24/11/2017	0,84
Media							1,11

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

Figura EvoNO.V

Estación de Rascafría- Concentraciones de NO_2 en 2017





E-021-07 – Canencia de la Sierra

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en la estación de Canencia se mantuvieron en la tónica de años anteriores, mínimamente superiores a las de 2014 y 2015. La media para 2017 fue de 1,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros que oscilaron entre los 0,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje nº4) y los 2,62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de agosto (viaje nº11). Las mayores tasas se dieron en los meses de junio, julio y agosto (también en septiembre y principios de octubre) manteniéndose en la mayor parte de los casos por debajo de las medias regionales debido nuevamente a la situación geográfica de la estación.

Tabla EvoNO.IV Evolución en 2017 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	1ª de abril	07/04/2017	1,06	10	1ª de agosto	08/08/2017	2,18
3	2ª de abril	24/04/2017	1,03	11	2ª de agosto	25/08/2017	2,62
4	1ª de mayo	11/05/2017	0,93	12	1ª de septiembre	11/09/2017	1,13
5	2ª de mayo	30/05/2017	1,08	13	2ª de septiembre	26/09/2017	1,43
6	1ª de junio	15/06/2017	1,04	14	1ª de octubre	13/10/2017	2,26
7	2ª de junio	29/06/2017	2,32	15	2ª de octubre	24/10/2017	2,09
8	1ª de julio	19/07/2017	2,32	16	1ª de noviembre	07/11/2017	1,58
9	2ª de julio	28/07/2017	2,25	17	2ª de noviembre	28/11/2017	1,77
Media							1,69

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

Figura EvoNO.VII

Estación de *Canencia*- Concentraciones de NO_2 en 2017

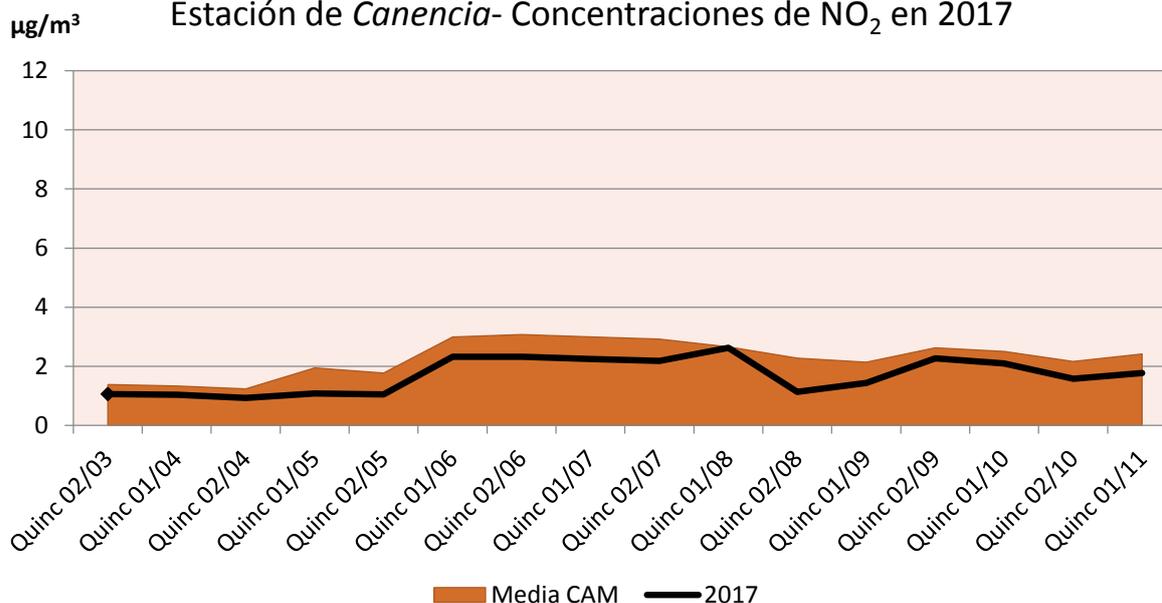
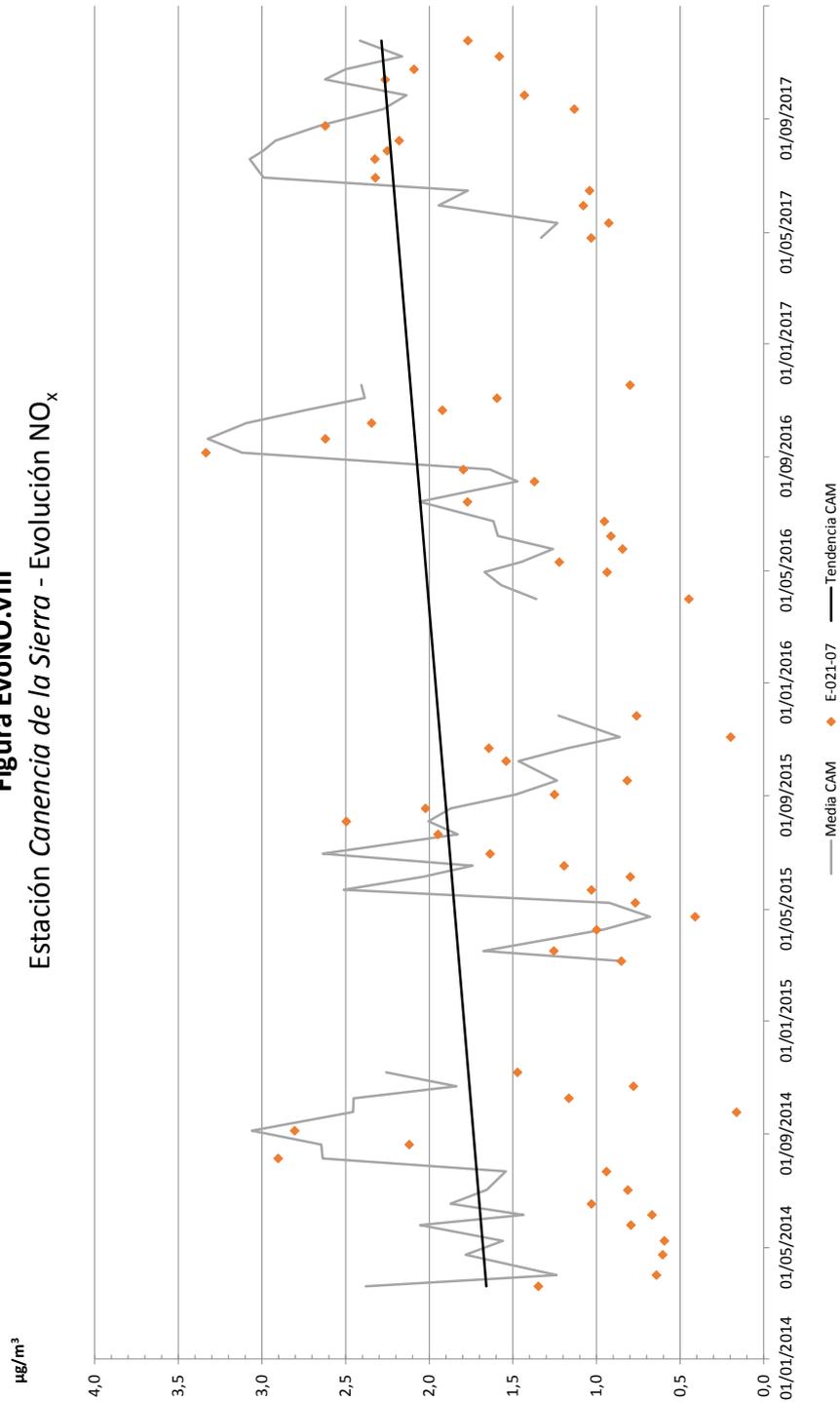




Figura EvoNO.VIII
Estación Canencia de la Sierra - Evolución NO_x



E-021-11 – Braojos

Las concentraciones de estos contaminantes en la estación de Braojos fueron bastante reducidos al igual que en años anteriores, con un registro medio para 2017 de 0,86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores oscilaron a lo largo del año entre los 0,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje n^o4) y los 1,60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de agosto (viaje n^o11), dándose las tasas más elevadas en los meses de junio, julio y agosto. Los niveles fueron nuevamente muy inferiores a los de la media regional dada la localización de la estación, muy alejada de los principales focos de emisión.

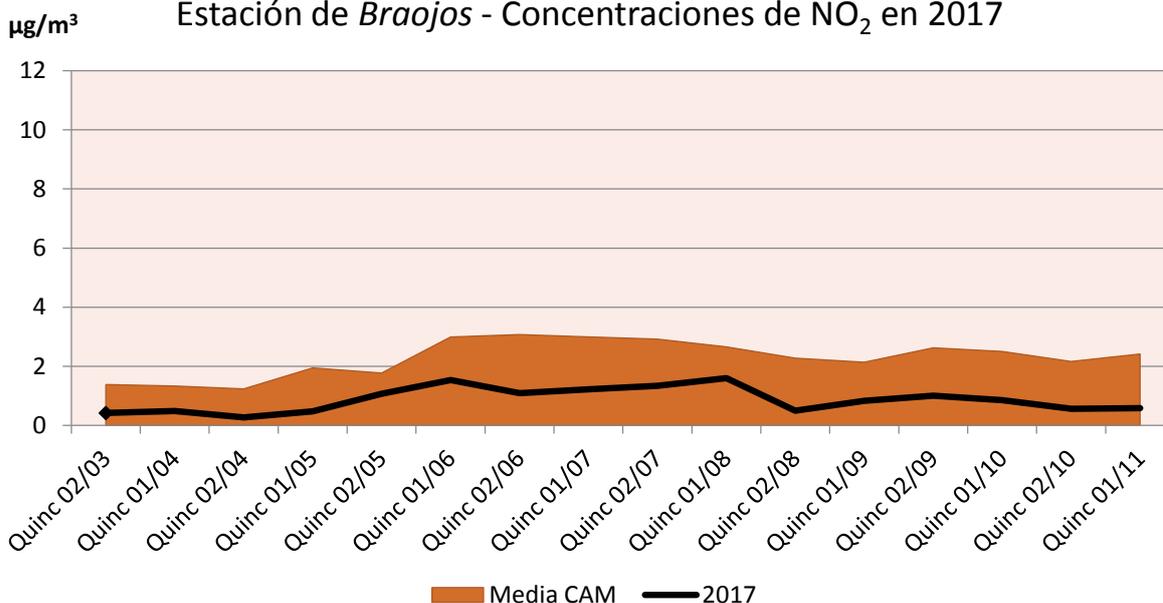
Tabla EvoNO.V Evolución en 2017 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Braojos

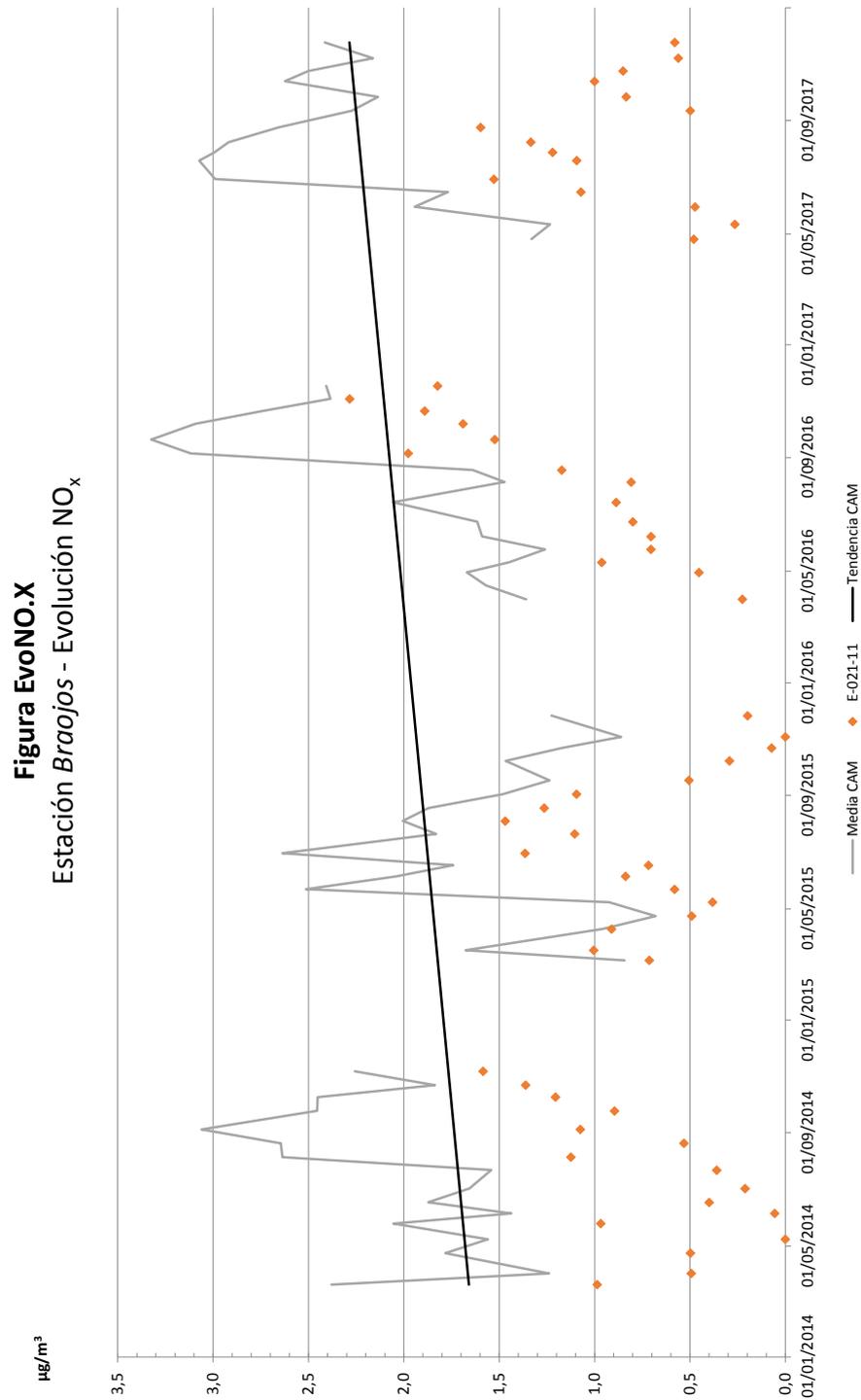
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de abril	07/04/2017	0,42	10	1ª de agosto	08/08/2017	1,33	
3	2ª de abril	24/04/2017	0,48	11	2ª de agosto	25/08/2017	1,60	
4	1ª de mayo	11/05/2017	0,26	12	1ª de septiembre	11/09/2017	0,50	
5	2ª de mayo	30/05/2017	0,47	13	2ª de septiembre	26/09/2017	0,83	
6	1ª de junio	15/06/2017	1,07	14	1ª de octubre	13/10/2017	1,00	
7	2ª de junio	29/06/2017	1,53	15	2ª de octubre	24/10/2017	0,85	
8	1ª de julio	19/07/2017	1,09	16	1ª de noviembre	07/11/2017	0,56	
9	2ª de julio	28/07/2017	1,22	17	2ª de noviembre	24/11/2017	0,58	
							Media	0,86

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

Figura EvoNO.IX

Estación de Braojos - Concentraciones de NO₂ en 2017





E-021-14 – Montejo de la Sierra

Las tasas de óxidos de nitrógeno en la estación de Montejo de la Sierra fueron similares a los de años anteriores, a excepción de los picos registrados a mediados y finales de 2014 y que situaron entre los 5-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La media para 2017 fue de 1,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores que oscilaron a lo largo de la campaña entre los 0,53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje nº4) y la primera quincena de agosto (viaje nº10). Las concentraciones, algo más elevadas en los meses de junio, julio y agosto, se mantuvieron en todos los muestreos por debajo de la media regional (nuevamente se trataba de una estación muy alejada de los principales focos de emisión).

Tabla EvoNO.VI Evolución en 2017 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	1ª de abril	04/04/2017	0,62	10	1ª de agosto	08/08/2017	1,63	
3	2ª de abril	24/04/2017	0,59	11	2ª de agosto	25/08/2017	1,54	
4	1ª de mayo	11/05/2017	0,53	12	1ª de septiembre	11/09/2017	0,71	
5	2ª de mayo	30/05/2017	0,80	13	2ª de septiembre	26/09/2017	0,89	
6	1ª de junio	15/06/2017	0,71	14	1ª de octubre	13/10/2017	1,03	
7	2ª de junio	29/06/2017	1,53	15	2ª de octubre	24/10/2017	1,09	
8	1ª de julio	19/07/2017	1,53	16	1ª de noviembre	07/11/2017	1,15	
9	2ª de julio	28/07/2017	1,50	17	2ª de noviembre	24/11/2017	1,18	
							Media	1,06

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

Figura EvoNO.XI

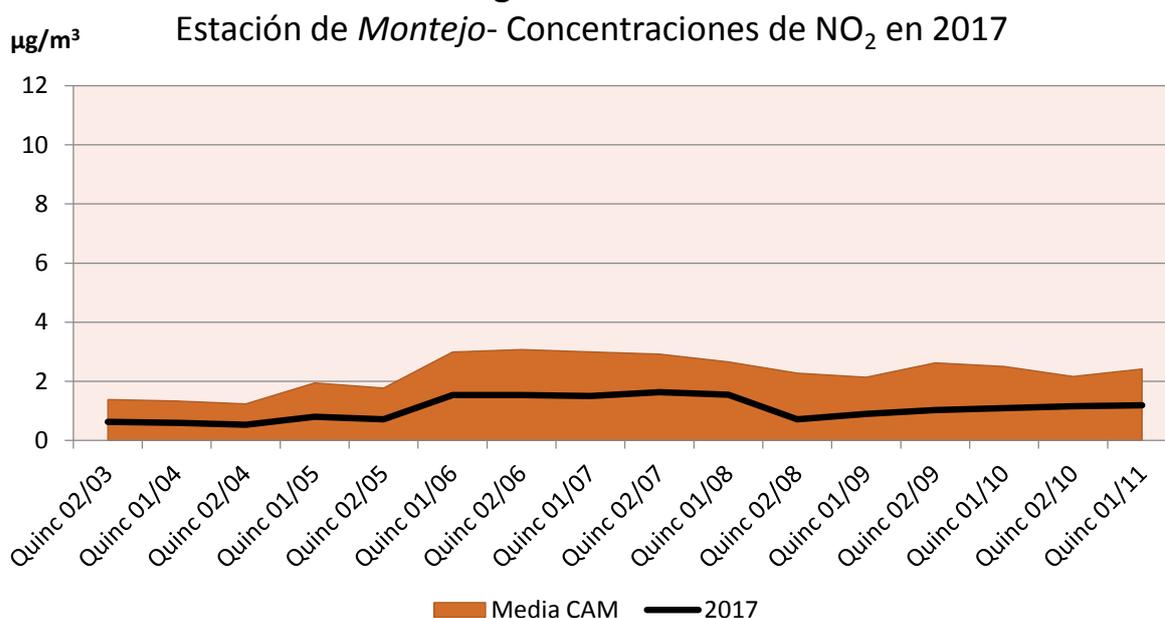
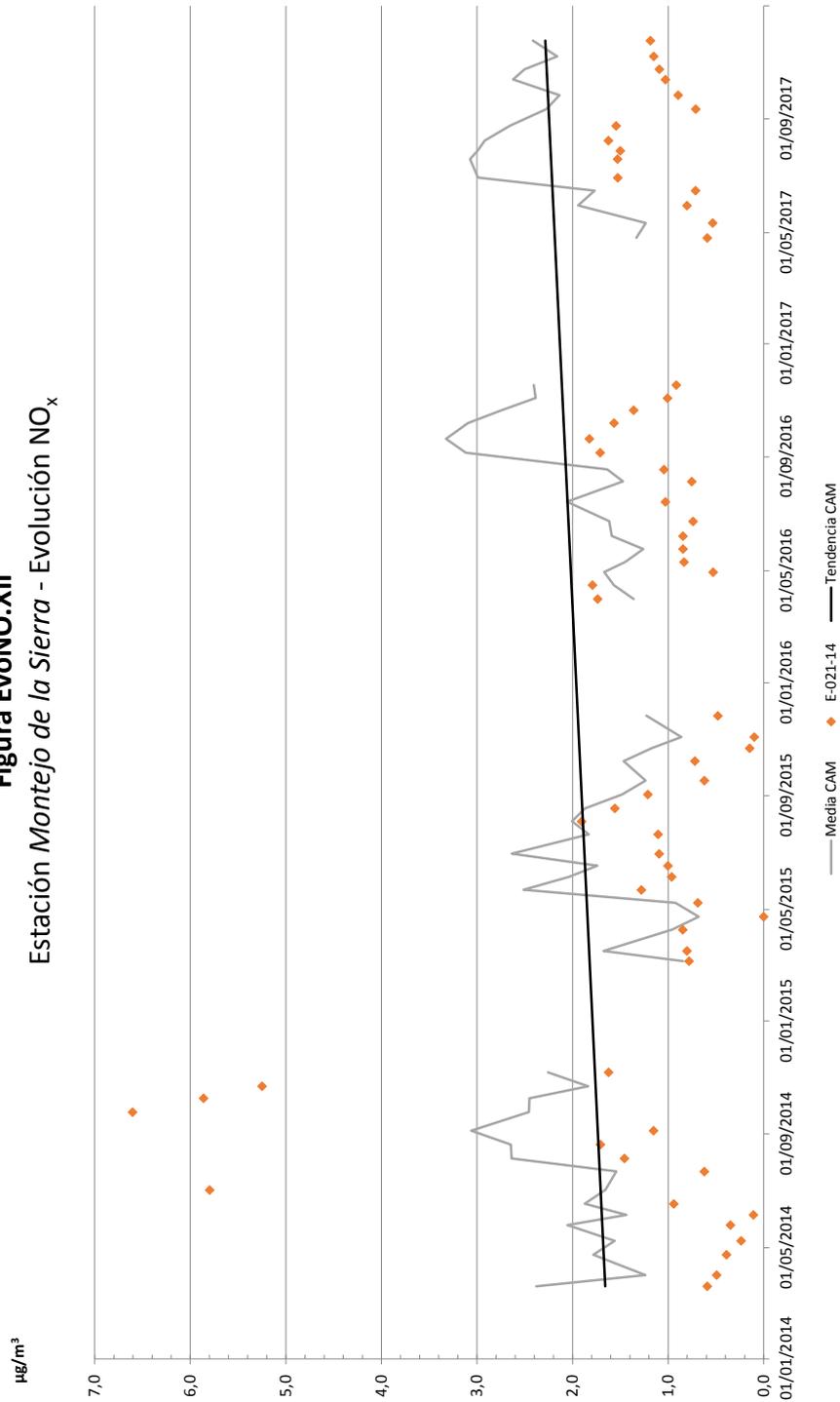




Figura EvoNO.XII
Estación Montejo de la Sierra - Evolución NO_x





E-023-03 – Navas del Rey

Los niveles de óxidos de nitrógeno en la estación de Navas del Rey fueron ligeramente superiores a los de años anteriores, con una media para 2017 de 2,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los menos de 1,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de pasadas campañas, siendo clara la tendencia creciente. En este último año los valores oscilaron entre los 1,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la primera quincena de abril (muestreo o viaje nº2) y los 3,42 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de noviembre (viaje nº17), con registros muy similares a los de la media de la Comunidad a los largo de buena parte del año para superarlos en el tramo final (meses de octubre y noviembre en los que se registraron las tasas más elevadas).

Tabla EvoNO.VII Evolución en 2017 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	1ª de abril	07/04/2017	1,00	10	1ª de agosto	08/08/2017	1,89
3	2ª de abril	25/04/2017	1,02	11	2ª de agosto	24/08/2017	2,15
4	1ª de mayo	11/05/2017	1,14	12	1ª de septiembre	11/09/2017	2,41
5	2ª de mayo	30/05/2017	1,86	13	2ª de septiembre	25/09/2017	1,53
6	1ª de junio	15/06/2017	1,67	14	1ª de octubre	11/10/2017	2,40
7	2ª de junio	29/06/2017	2,66	15	2ª de octubre	23/10/2017	2,97
8	1ª de julio	19/07/2017	2,76	16	1ª de noviembre	07/11/2017	3,21
9	2ª de julio	28/07/2017	2,35	17	2ª de noviembre	24/11/2017	3,42
Media							2,15

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

Figura EvoNO.XIII

Estación de *Navas del R.*- Concentraciones de NO_2 en 2017

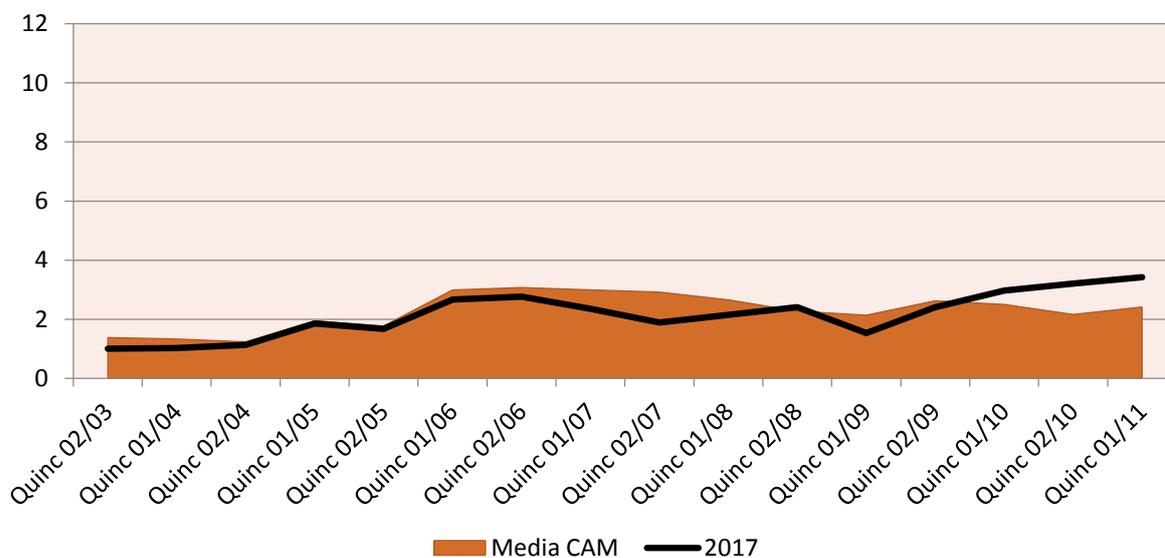
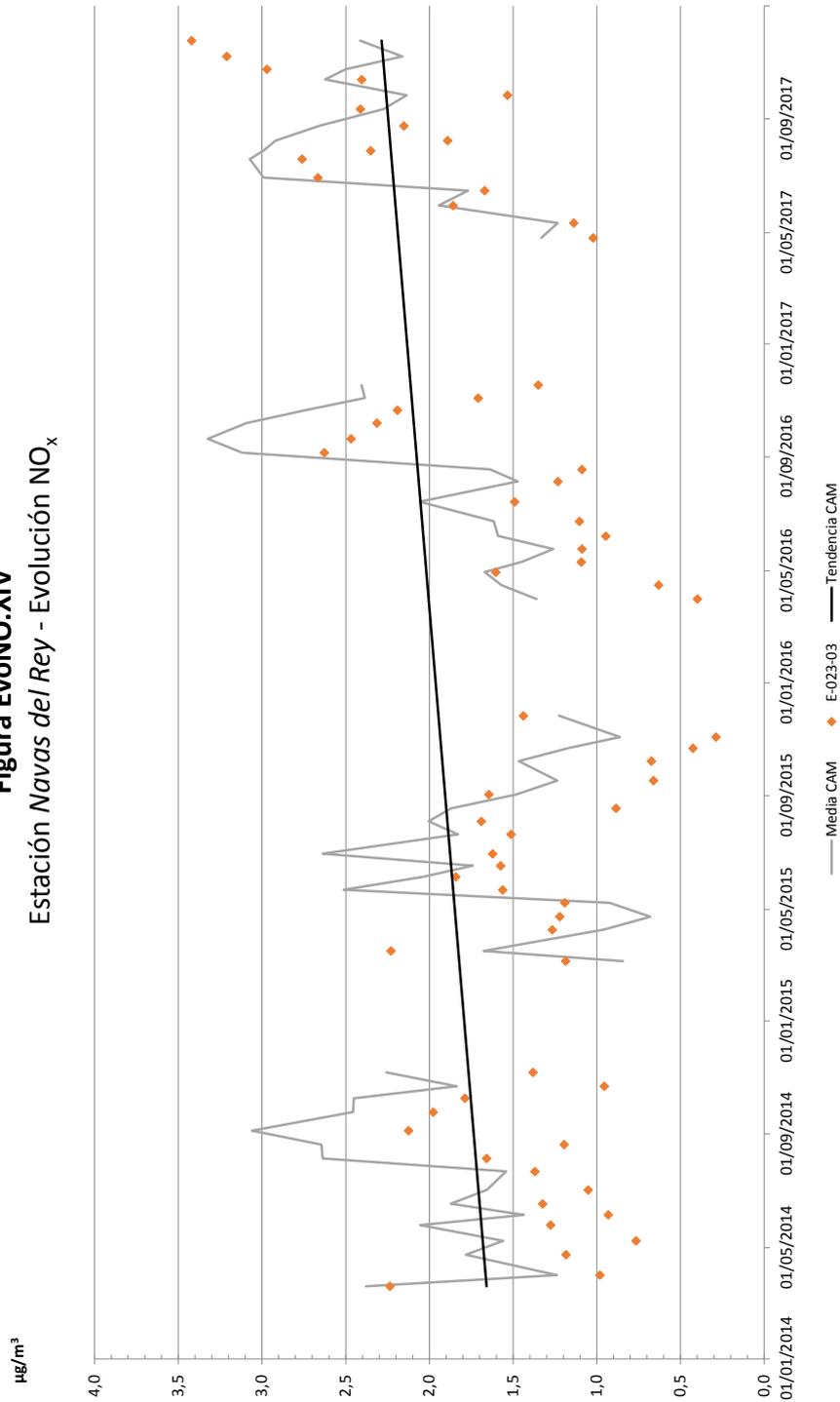




Figura EvoNO.XIV
Estación Navas de/ Rey - Evolución NO_x



E-024-01 – Alcalá de Henares

Al igual que ocurriera en años anteriores, las tasas de óxidos de nitrógeno encontradas en Alcalá de Henares fueron las más elevadas 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 registraron así tasas elevadas en relación al resto de la red, con registros superiores a los 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en múltiples ocasiones y resultando el punto con mayores concentraciones en todos los muestreos o viajes efectuados. La tasa media para 2017 fue de 7,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros extremos de 4,18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena de noviembre (viaje nº16) y de 9,99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena de octubre (viaje nº14). Los registros más elevados se dieron a partir del mes de junio hasta principios de noviembre, con una ligera reducción en el mes de agosto (periodo estival).

Tabla EvoNO.VIII Evolución en 2017 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	1ª de abril	06/04/2017	4,42	10	1ª de agosto	07/08/2017	9,43	
3	2ª de abril	25/04/2017	4,57	11	2ª de agosto	24/08/2017	7,93	
4	1ª de mayo	12/05/2017	4,69	12	1ª de septiembre	12/09/2017	8,36	
5	2ª de mayo	29/05/2017	7,45	13	2ª de septiembre	25/09/2017	9,09	
6	1ª de junio	16/06/2017	5,26	14	1ª de octubre	13/10/2017	9,99	
7	2ª de junio	30/06/2017	8,57	15	2ª de octubre	23/10/2017	7,58	
8	1ª de julio	18/07/2017	9,27	16	1ª de noviembre	08/11/2017	4,18	
9	2ª de julio	29/07/2017	9,31	17	2ª de noviembre	23/11/2017	6,98	
							Media	7,32

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

Figura EvoNO.XV

Estación de *Alcalá de H.* - Concentraciones de NO₂ en 2017

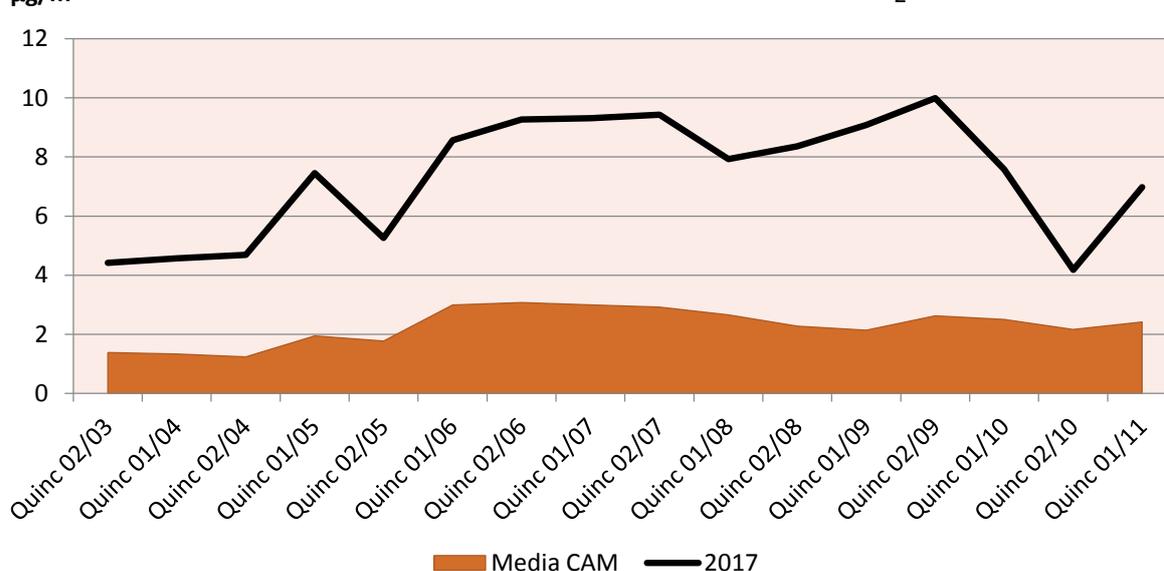
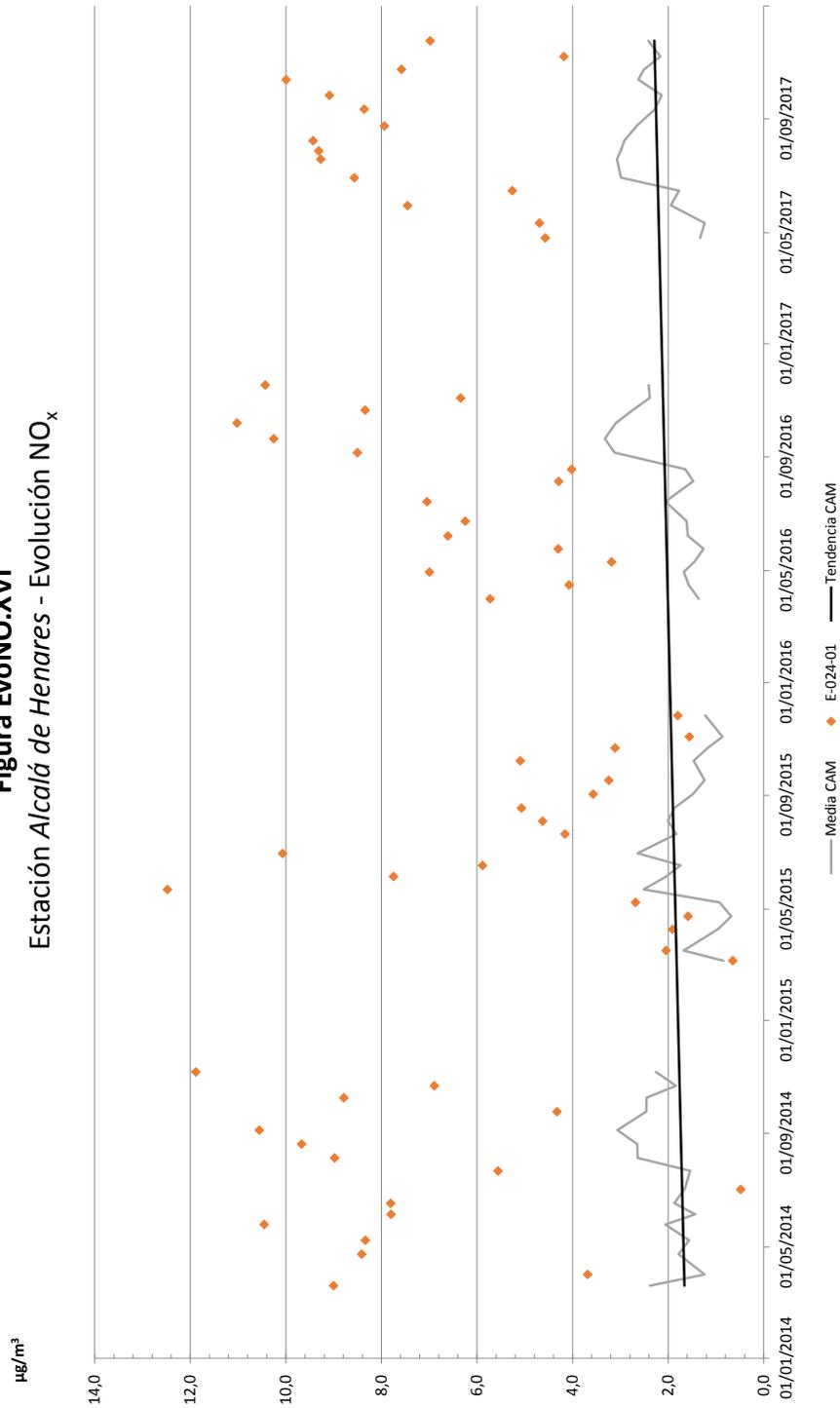




Figura EvoNO.XVI
Estación Alcalá de Henares - Evolución NO_x



E-024-03 – Fuentidueña del Tajo

Los niveles de óxidos de nitrógeno en esta estación fueron elevados, claramente por encima de los valores medios para la Comunidad en muchas de las ocasiones y en tónica con los registros de años anteriores. La media para 2017 se situó en los 2,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros que oscilaron a lo largo del año entre los 1,69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de mayo (viaje nº4) y los 4,62 de la primera quincena de agosto (viaje nº10), dándose registros más elevados en los meses de junio, julio y agosto, así como a finales de noviembre. La causa de estas elevadas concentraciones era similar a la de Alcalá de Henares, aunque la concentración industrial de la zona es mucho más reducida.

Tabla EvoNO.IX Evolución en 2017 de las concentraciones de NO_2 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	1ª de abril	06/04/2017	2,48	10	1ª de agosto	07/08/2017	4,62
3	2ª de abril	25/04/2017	2,19	11	2ª de agosto	24/08/2017	2,19
4	1ª de mayo	12/05/2017	1,69	12	1ª de septiembre	12/09/2017	3,08
5	2ª de mayo	29/05/2017	2,47	13	2ª de septiembre	25/09/2017	2,37
6	1ª de junio	16/06/2017	1,99	14	1ª de octubre	13/10/2017	2,53
7	2ª de junio	30/06/2017	3,67	15	2ª de octubre	23/10/2017	2,98
8	1ª de julio	18/07/2017	3,66	16	1ª de noviembre	08/11/2017	3,51
9	2ª de julio	29/07/2017	3,98	17	2ª de noviembre	23/11/2017	4,03
Media							2,97

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

Figura EvoNO.XVII

Estación de *Fuentidueña* - Concentraciones de NO_2 en 2017

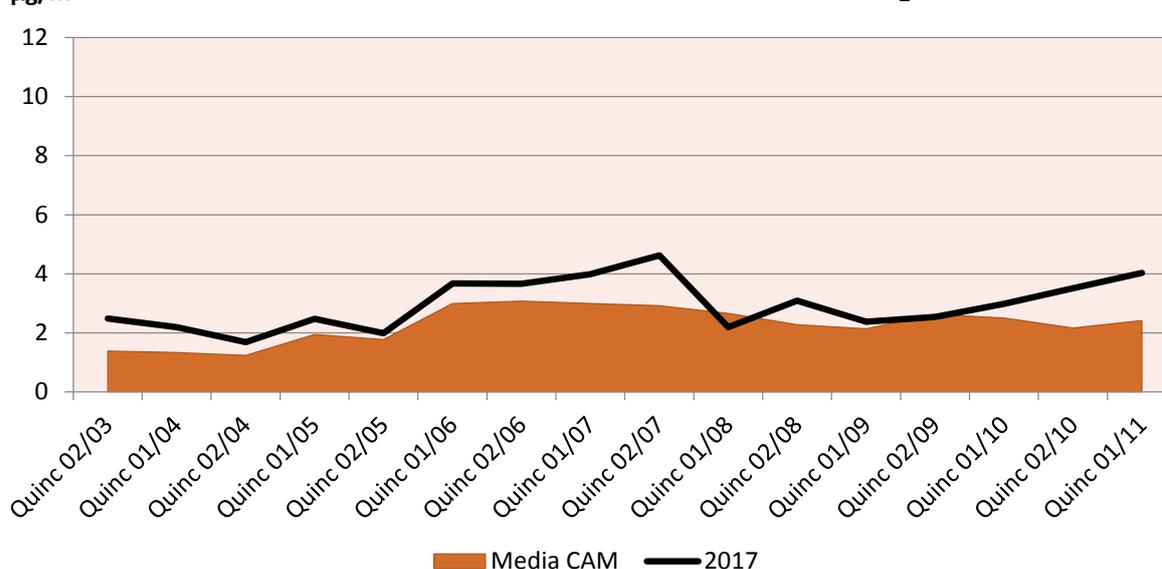
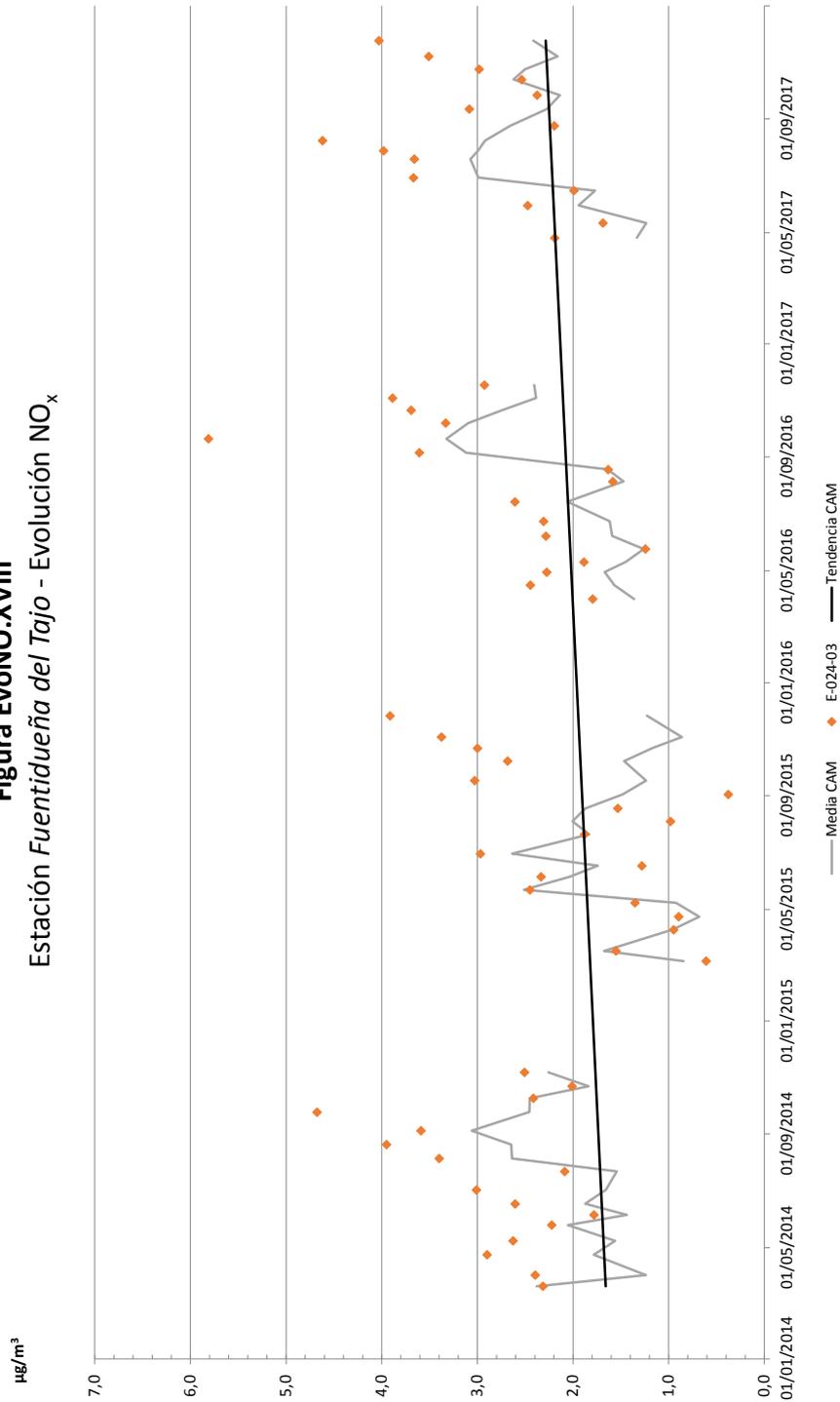




Figura EVO_{NO}.XVIII
Estación Fuentidueña del Tajo - Evolución NO_x





E-026-02 – Robledo de Chavela

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en esta estación muestra una tendencia claramente ascendente respecto años anteriores, con un valor medio para 2017 de 2,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ frente a los menos de 2,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de años anteriores. Los valores a lo largo de esta última campaña fueron además siempre superiores a los registros medios de la Comunidad, con valores extremos de 1,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de abril (viaje nº3) y de 4,14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de noviembre (viaje nº16), obteniéndose las concentraciones más elevadas en los meses de junio, julio y agosto así como en octubre y principios de noviembre.

Tabla EvoNO.X Evolución en 2017 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	1ª de abril	07/04/2017	1,66	10	1ª de agosto	08/08/2017	2,88
3	2ª de abril	25/04/2017	1,57	11	2ª de agosto	24/08/2017	3,09
4	1ª de mayo	11/05/2017	1,64	12	1ª de septiembre	11/09/2017	3,58
5	2ª de mayo	30/05/2017	2,34	13	2ª de septiembre	25/09/2017	2,20
6	1ª de junio	15/06/2017	2,53	14	1ª de octubre	11/10/2017	3,13
7	2ª de junio	29/06/2017	3,67	15	2ª de octubre	23/10/2017	3,78
8	1ª de julio	19/07/2017	3,87	16	1ª de noviembre	07/11/2017	4,14
9	2ª de julio	28/07/2017	3,59	17	2ª de noviembre	24/11/2017	3,03
Media							2,92

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

Figura EvoNO.XIX

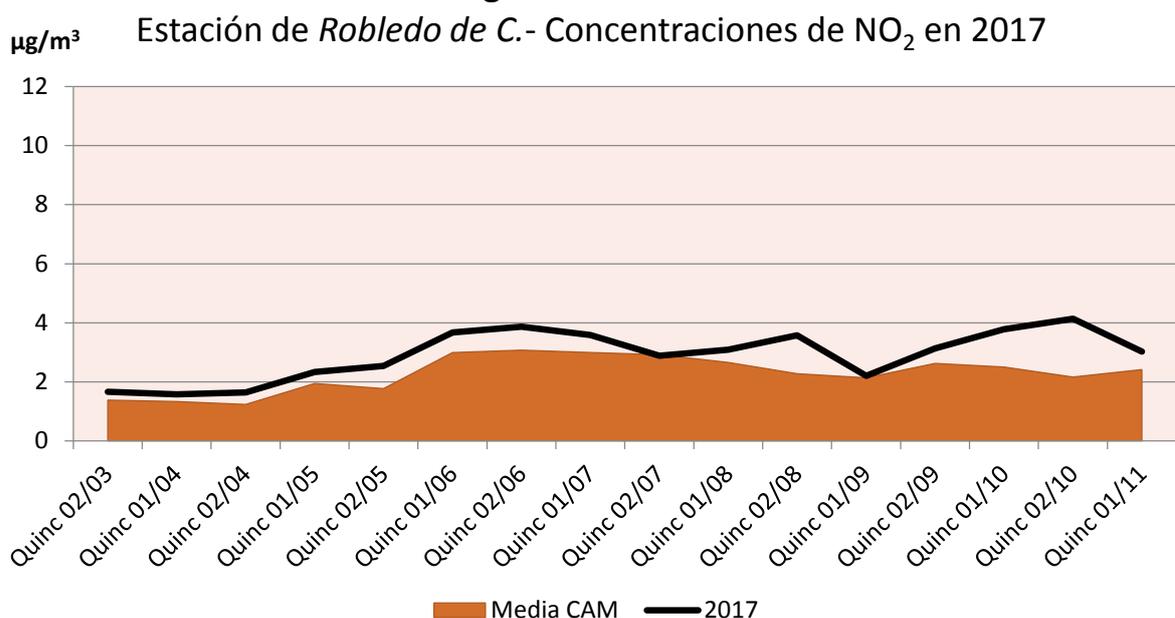
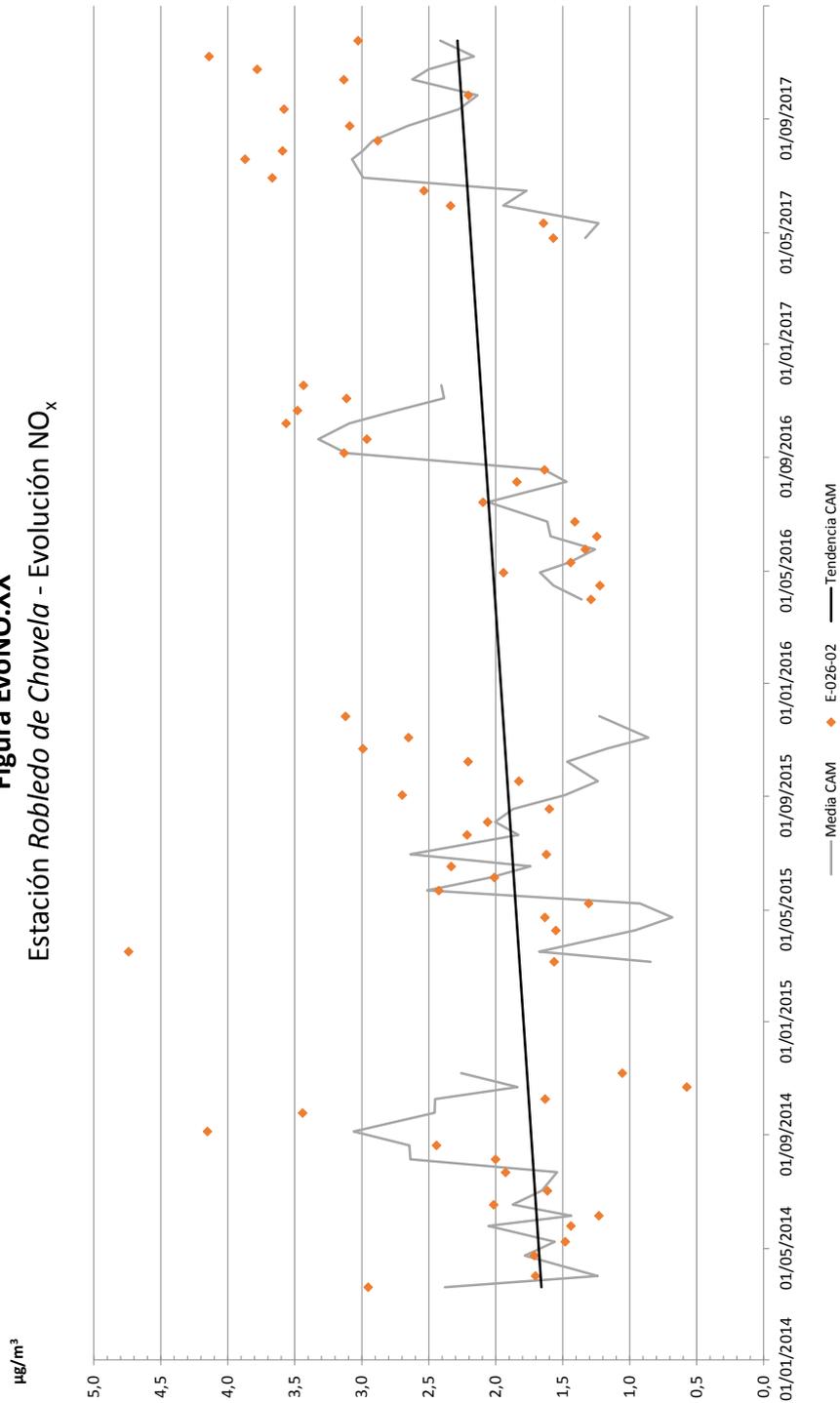




Figura EvoNO.XX
Estación Robledo de Chavela - Evolución NO_x





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 ion 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 (S_{Hid})

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

Como se puede apreciar en los resultados, hay una gran diferencia en contenido de esta fracción de azufre entre las diferentes estaciones, algo normal debido a la continua transformación de esta fracción según el estado del árbol y de la especie forestal de que se trate. En todo caso habría que destacar la importante proporción de azufre hidrosoluble obtenidos en las muestras de Fuentidueña del Tajo, con una media para la primera y segunda medidas de 1136 µg/g, notablemente más elevada que la del resto. En segundo término estarían las estaciones de Alcalá de Henares y Robledo de Chavela. Las cantidades del resto de estaciones eran reducidas, lo que indicaría unos menores niveles de dióxido de azufre en la atmósfera (mitad norte de la Comunidad).

Respecto años anteriores destacaba el repunte apreciado en las cantidades de azufre hidrosoluble de las muestras de Canencia de la Sierra, Fuentidueña del Tajo y Robledo de Chavela, si bien eran muy inferiores a las obtenidas en 2014 (véase Tabla 6.I).

Tabla 6.I Azufre hidrosoluble en µg/g de materia seca. Valores medios por estación (2017).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	110	22	66,0
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	73	33	53,0
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	48	31	39,5
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	196	131	163,5
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	109	58	83,5
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	85	61	73,0
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	184	96	140,0
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	426	262	344,0
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1009	1263	1136
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	211	447	329,0

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

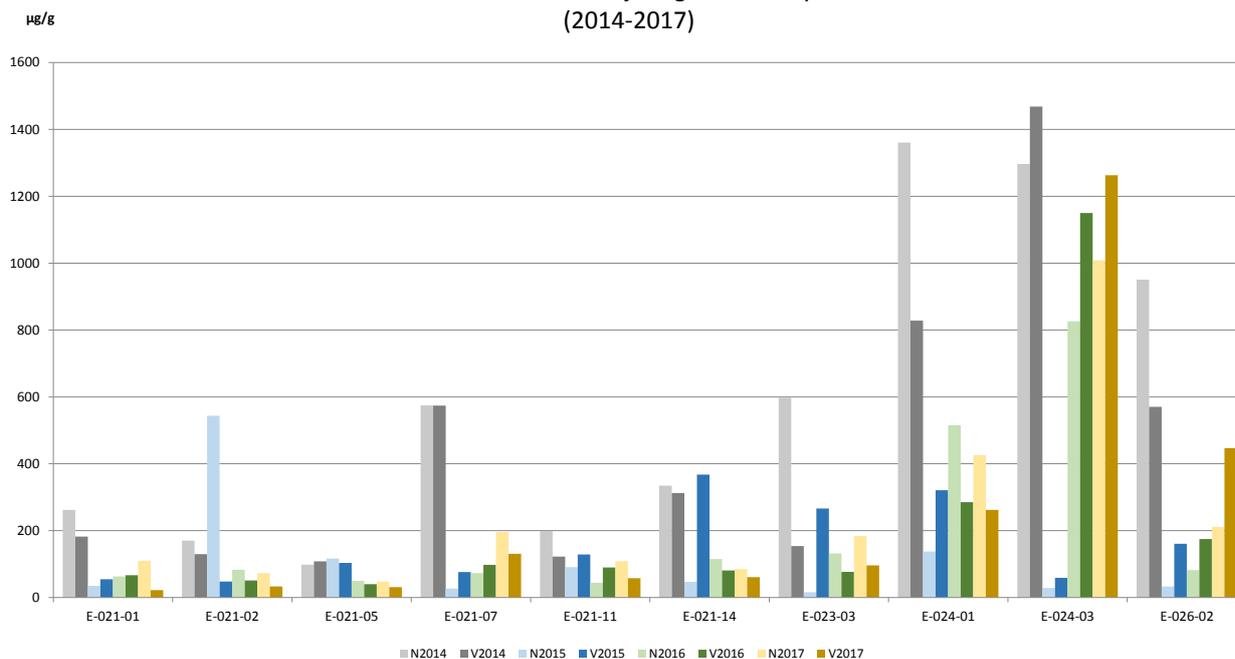


Tabla 6.II Azufre hidrosoluble en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por especie botánica (2017).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$\upsilon(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	717,5	412,2	291,5	169944,5	1009,0	426,0	583,0	1435,0
	Año previo	762,5	707,8	500,5	501000,5	1263,0	262,0	1001,0	1525,0
	Promedio	740,0							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	211,0				211,0	211,0	0,0	211,0
	Año previo	447,0				447,0	447,0	0,0	447,0
	Promedio	329,0							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	184,0				184,0	184,0	0,0	184,0
	Año previo	96,0				96,0	96,0	0,0	96,0
	Promedio	140,0							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	103,5	51,0	20,8	2596,3	196,0	48,0	148,0	621,0
	Año previo	56,0	39,9	16,3	1592,8	131,0	22,0	109,0	336,0
	Promedio	79,8							

χ = valor medio; S= desviación estándar; $S\chi$ = error de la media; υ = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores. En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Figura 6.I
Azufre hidrosoluble en hoja según medida y estación
(2014-2017)





6.5 RESULTADOS PARA EL AZUFRE TOTAL (S_{Tot})

Atendiendo al azufre total en hoja volvió a destacar en 2017 la estación de Fuentidueña del Tajo, con valores notablemente superiores a los del resto de los emplazamientos, con un valor medio de 2144 $\mu\text{g/g}$. La estación de Alcalá de Henares también se desmarcaba del resto, pero ya no era tanta la diferencia como ocurría con el azufre soluble. Por el contrario, la estación de Robledo de Chavela mostraba niveles inferiores a los del resto de estaciones.

En la mayor parte de los casos los niveles de azufre total en las medidas de un año y dos años fueron muy similares, destacando aquí las parcelas nuevamente de Fuentidueña del Tajo y Robledo de Chavela con cantidades notablemente superiores en las medidas más viejas, lo que indicaría la persistencia de SO_2 en la atmósfera durante largos periodos de tiempo. Por el contrario, la mayor cantidad de azufre total en las medidas de nueva formación podría indicar la existencia de fenómenos agudos de contaminación (altos niveles de SO_2 en cortos periodos de tiempo).

Respecto años anteriores lo valores no mostraron grandes variaciones (véase Tabla 6.II).

Tabla 6.III Azufre total en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por estación (2017).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	988	955	971,5
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	1251	1145	1198,0
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	937	1042	989,5
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1049	976	1012,5
021-11	Brajos	<i>Pinus sylvestris</i>	1069	1103	1086,0
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1132	1128	1130,0
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	1001	967	984,0
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1401	1358	1379,5
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1659	2629	2144,0
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	764	1023	893,5

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

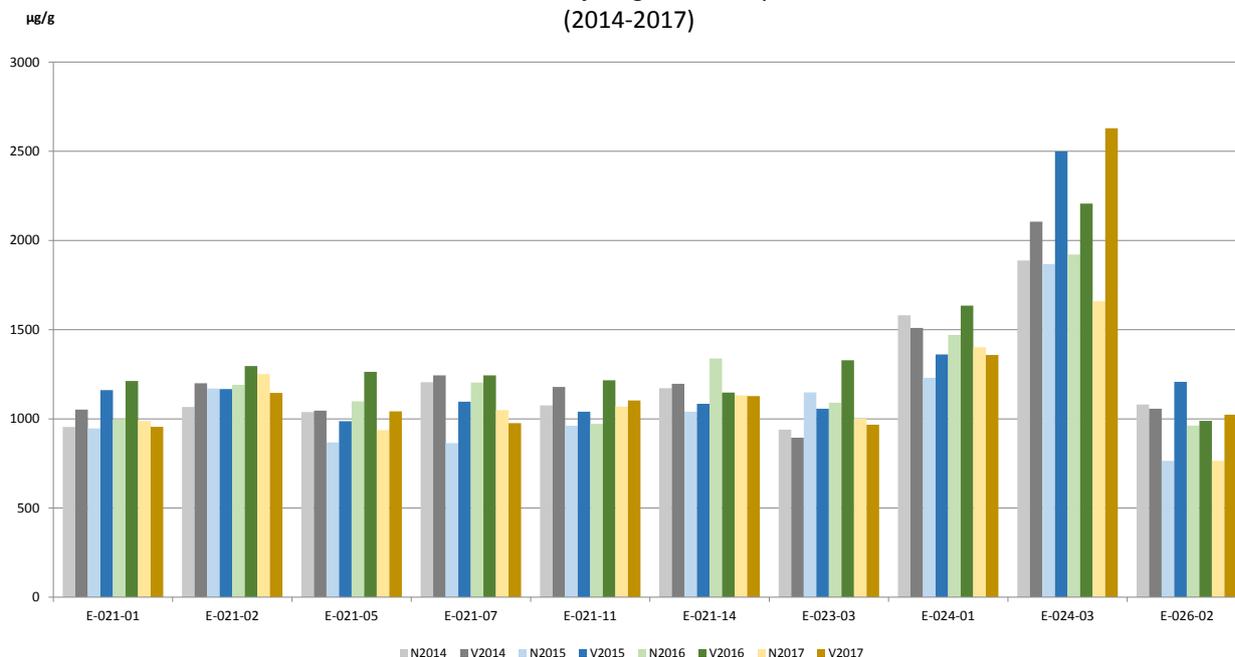
Tabla 6.IV Azufre total en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por especie botánica (2017).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1530,0	182,4	129,0	33282,0	1659,0	1401,0	258,0	3060,0
	Año previo	1993,5	898,7	635,5	807720,5	2629,0	1358,0	1271,0	3987,0
	Promedio	1761,75							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	764,0		0,0		764,0	764,0	0,0	764,0
	Año previo	1023,0		0,0		1023,0	1023,0	0,0	1023,0
	Promedio	893,5							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	1001,0		0,0		1001,0	1001,0	0,0	1001,0
	Año previo	967,0		0,0		967,0	967,0	0,0	967,0
	Promedio	984,0							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	1071,0	110,9	45,3	12290,8	1251,0	937,0	314,0	6426,0
	Año previo	1058,2	80,1	32,7	6416,6	1145,0	955,0	190,0	6349,0
	Promedio	1064,6							

χ = valor medio; S= desviación estándar; $S\chi$ = error de la media; v = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores. En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Figura 6.II

Azufre total en hoja según medida y estación
(2014-2017)



6.6 RESULTADOS PARA EL AZUFRE ORGÁNICO (S_{org})

Al igual que en años anteriores, en 2017 se registró una notable uniformidad en las muestras. En este caso era la estación de Cercedilla la que mostró una media entre medidas más elevada con 1145 µg/g. 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, no en forma orgánica.

Tal y como puede apreciarse en la Figura 6.III las variaciones en 2017 respecto años anteriores fueron relativamente escasas, generalmente con medias entre medidas algo más reducidas que las de 2016. En todo caso sí destacaba la estación de Fuentidueña de Tajo por las oscilaciones entre medias anuales así como por la disparidad entre las concentraciones de las medidas, caso de los actuales registros con una concentración mucho más elevada en la segunda medida de 1366 µg/g frente a los 650 µg/g de la primera.

Tabla 6.V Azufre orgánico en µg/g de materia seca. Valores medios por estación (2017).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	878	933	905,5
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	1178	1112	1145,0
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	889	1011	950,0
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	853	845	849,0
021-11	Brajos	<i>Pinus sylvestris</i>	960	1045	1002,5
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1047	1067	1057,0
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	817	871	844,0
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	975	1096	1035,5
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	650	1366	1008,0
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	553	576	564,5

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

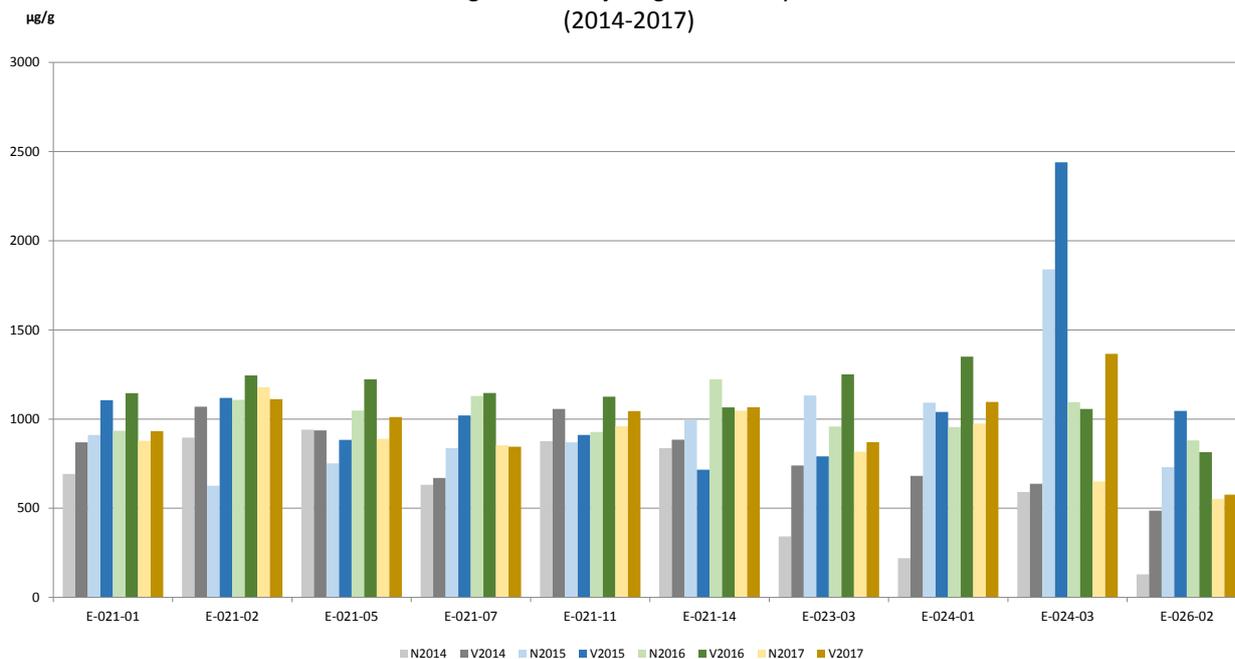


Tabla 6.VI Azufre orgánico en µg/g de materia seca. Valores medios por especie botánica (2017).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1530,0	182,4	129,0	33282,0	1659,0	1401,0	258,0	3060,0
	Año previo	1993,5	898,7	635,5	807720,5	2629,0	1358,0	1271,0	3987,0
	Promedio	1021,8							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	764,0		0,0		764,0	764,0	0,0	764,0
	Año previo	1023,0		0,0		1023,0	1023,0	0,0	1023,0
	Promedio	564,5							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	1001,0		0,0		1001,0	1001,0	0,0	1001,0
	Año previo	967,0		0,0		967,0	967,0	0,0	967,0
	Promedio	844,0							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	1071,0	110,9	45,3	12290,8	1251,0	937,0	314,0	6426,0
	Año previo	1058,2	80,1	32,7	6416,6	1145,0	955,0	190,0	6349,0
	Promedio	984,8							

χ = valor medio; S= desviación estándar; $S\chi$ = error de la media; v = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores. En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Figura 6.III
Azufre orgánico en hoja según medida y estación
(2014-2017)





6.7 RELACIÓN S_{Hid}/S_{Org}

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. Es la tasa de transformación y asimilación del azufre atmosférico importada y su inclusión en las cadenas orgánicas del vegetal. Cuanto mayor sea, menor es esta capacidad de asimilación o metabolización.

Tal y como se recoge en las tablas y gráfica adjuntas destacó por tener la relación más elevada, y por tanto menor capacidad de asimilación del azufre atmosférico, la parcela de Fuentidueña del Tajo, que se incrementó respecto el año pasado. Era seguida por la de Robledo de Chavela, también al alza, y por la de Alcalá de Henares, que se mantuvo respecto 2016. En el resto de estaciones la capacidad de asimilación era bastante elevada.

Tabla 6.VII Relación azufre hidrosolubles /azufre orgánico (S_{Hid}/S_{Org}). Valores medios por estación (2017).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	0,125	0,024	0,074
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	0,062	0,030	0,046
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	0,054	0,031	0,042
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	0,230	0,155	0,192
021-11	Brajos	<i>Pinus sylvestris</i>	0,114	0,056	0,085
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	0,081	0,057	0,069
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	0,225	0,110	0,168
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	0,437	0,239	0,338
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1,552	0,925	1,238
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	0,382	0,776	0,579

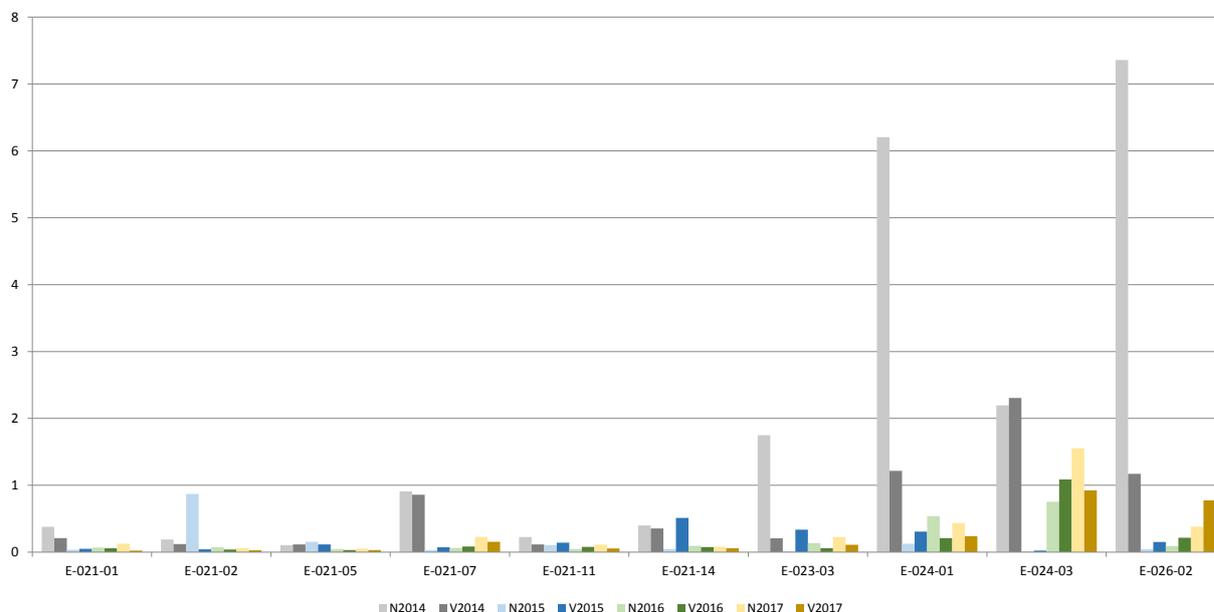
En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Tabla 6.VIII Relación azufre hidrosolubles /azufre orgánico (S_{Hid}/S_{Org}). Valores medios por especie botánica (2017).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	0,995	0,789	0,558	0,622	1,552	0,437	1,115	1,989
	Año previo	0,582	0,485	0,343	0,235	0,925	0,239	0,686	1,164
	Promedio	0,788							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	0,382				0,382	0,382	0,000	0,382
	Año previo	0,776				0,776	0,776	0,000	0,776
	Promedio	0,579							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	0,225				0,225	0,225	0,000	0,225
	Año previo	0,110				0,110	0,110	0,000	0,110
	Promedio	0,168							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	0,111	0,065	0,026	0,004	0,230	0,054	0,176	0,666
	Año previo	0,059	0,049	0,020	0,002	0,155	0,024	0,131	0,352
	Promedio	0,085							

χ = valor medio; S= desviación estándar; $S\chi$ = error de la media; v = coeficiente de variación; M= valor máximo; m= valor mínimo; R= rango; Σ = suma de todos los valores. En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Figura 6.IV
Relación S_{Hid}/S_{Org} según metida y estación
(2014-2017)



6.8 COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS VALORES PATRÓN

Como ya se indicó al inicio 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 (véase Tabla 6.IX).

Respecto a los datos obtenidos en la presente campaña destaca la estación de Fuentidueña del Tajo como la más contaminada, con un exceso de azufre en las hojas del 129% respecto el valor patrón, es decir, más del doble. En este emplazamiento los pinos carrascos no son capaces de asimilar o metabolizar la gran cantidad de SO_2

que entre en las hojas vía estomática. En el lado opuesto se situó la estación de Nava del Rey, con una cantidad de azufre en hoja un 7% inferior al valor patrón.

Respecto años anteriores los resultados fueron más favorables, con descensos en el exceso de azufre respecto 2016 en prácticamente todas las estaciones salvo en la de Fuentidueña del Tajo, con un incremento en esta última muy reducido en todo caso.

En la Figura 6.VII, en la que se recoge la evolución geográfico-temporal del parámetro es claramente visible la reducción generalizada registrada en todas las estaciones salvo en la de Fuentidueña de Tajo, donde los valores se mantuvieron elevados. Continúa configurándose una zona más contaminada en el extremo sureste, en la ya repetidamente mencionada alineación Alcalá de Henares / Fuentidueña de Tajo.



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 (2017)

Estación	T.M	Especie	S _{Tot}	S _{Hid}	S _{Org}	S _{Hid} /S _{Org}	Exceso (%)
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	971,5	66,0	905,5	0,074	35,5
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	1198,0	53,0	1145,0	0,046	67,0
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	989,5	39,5	950,0	0,042	38,0
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1012,5	163,5	849,0	0,192	41,2
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	1086,0	83,5	1002,5	0,085	51,4
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1130,0	73,0	1057,0	0,069	57,6
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	984,0	140,0	844,0	0,168	-7,1
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1379,5	344,0	1035,5	0,338	47,1
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	2144,0	1136,0	1008,0	1,238	128,6
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	893,5	329,0	564,5	0,579	7,6

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

Figura 6.V

Exceso de azufre respecto valores patrón Azufre orgánico en hoja según metida y estación (2014-2017)

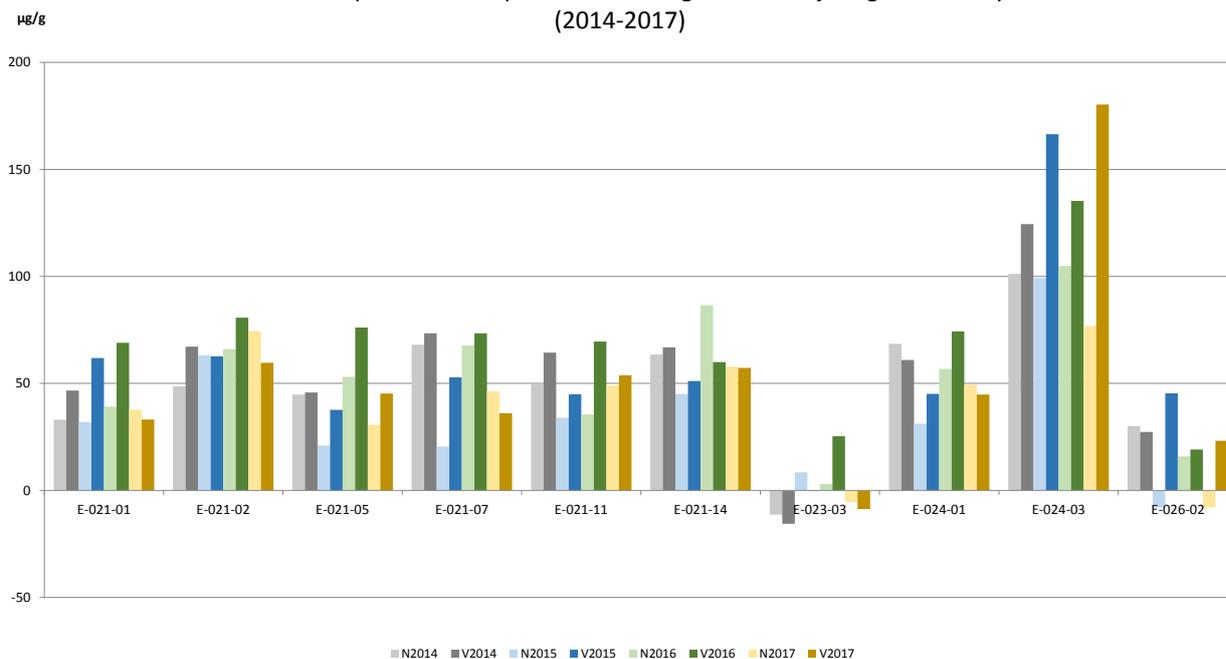




Figura 6.VI
Exceso de azufre respecto valores patrón según estación
(2017)

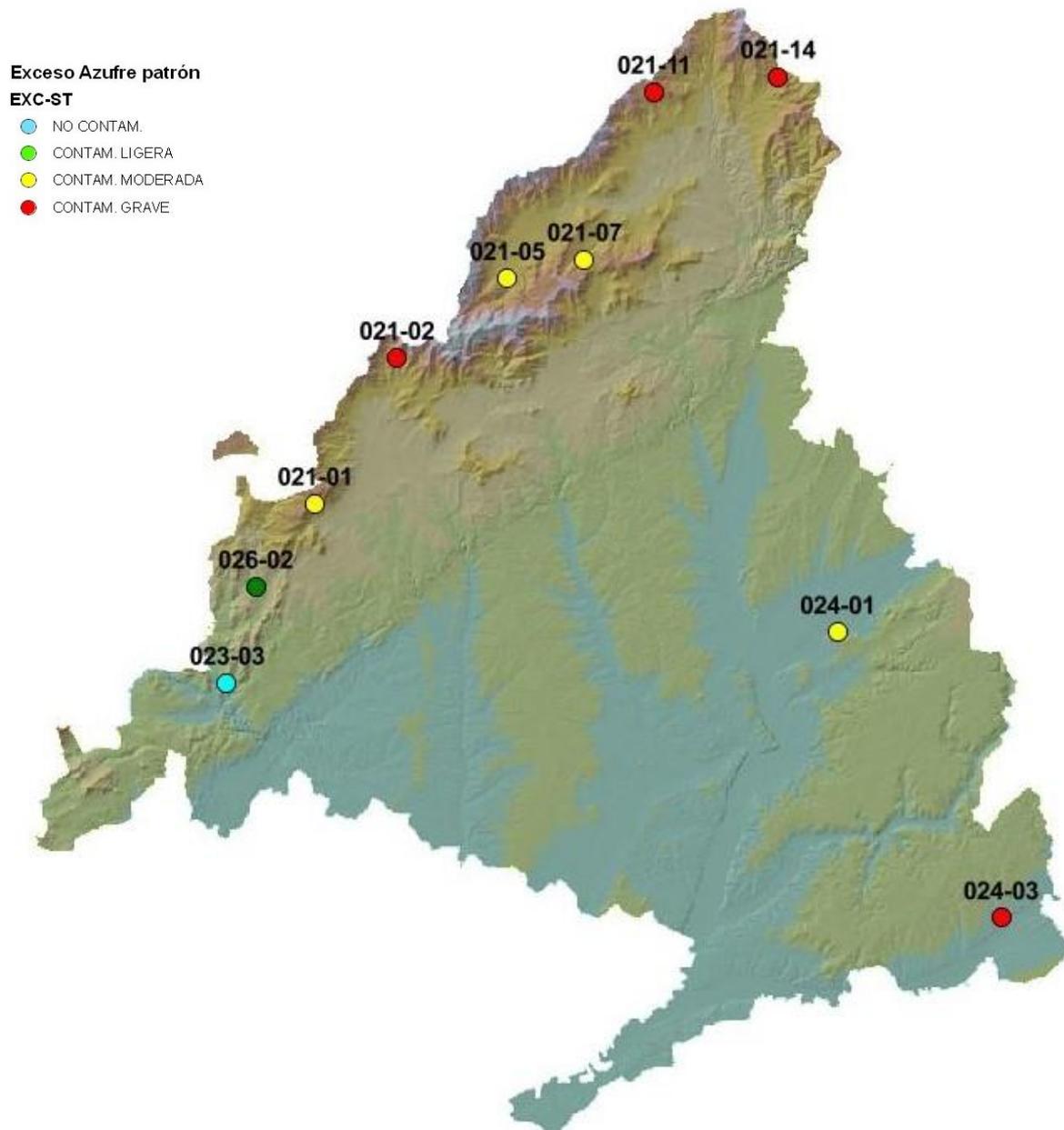
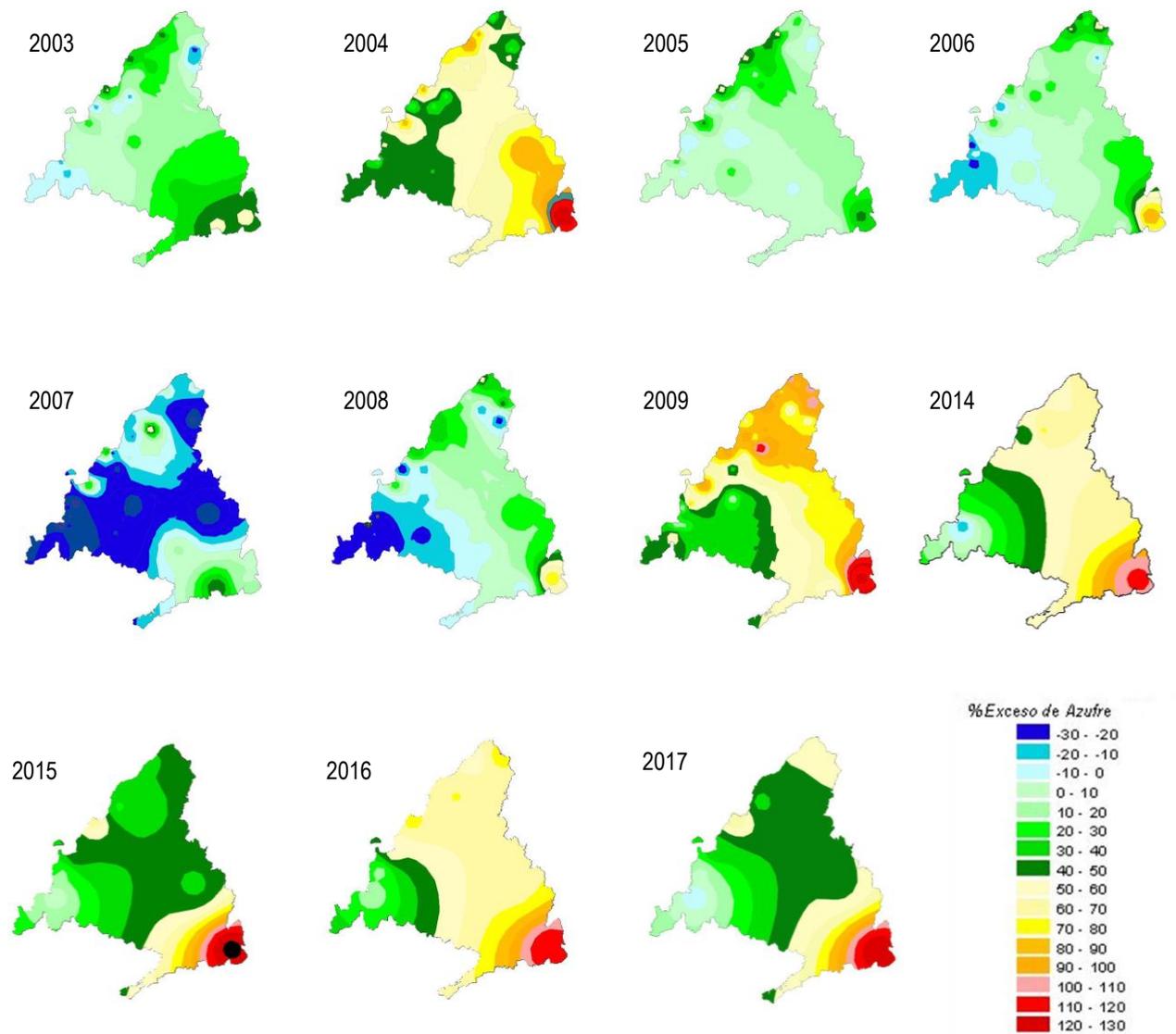




Figura 6.VII

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





7. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones de la campaña cabe apuntar:

- En la presente revisión, y con respecto a la deposición o throughfall, se ha detectado de nuevo una acidificación general de las muestras, con incremento de la conductividad, ligera reducción de los niveles generales de cloruros, suave incremento de los nitratos y una situación más o menos estable en el nivel general de los sulfatos. Por lo que se refiere a la inmisión, se ha vuelto a observar un ligero aumento de la tasa general de óxidos de nitrógeno mientras que el ozono ha mantenido la tendencia general decreciente de estos años, variable esta cuyo punto de máximo valor o pico se retrasa unos 75 días con respecto a 2014, al pasar de observarse de mediados de mayo a comienzos de agosto.
- En cuanto a la climatología durante el periodo de referencia, ha destacado por las temperaturas anormalmente altas con varias olas de calor en todo el territorio español. Fueron especialmente intensas en la Comunidad de Madrid las producidas a mediados de junio y de julio las cuales afectaron más a la zona sur de la comunidad. La primavera y el otoño resultaron más secos que el periodo meteorológico normal 1980-2010 mientras que durante el verano se registraron precipitaciones algo superiores a lo normal.
- 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.
- Según se desprende las observaciones de la AEMET la radiación solar, que interviene directamente en la formación de ozono troposférico, ha sido normal, al igual que ocurre con la radiación ultravioleta, más dependiente de la altura sobre el nivel del mar y también con valores normales.
- En lo que respecta al **pH** de las precipitaciones obtenidas, se observa en general 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, Rascafría, Canencia y Braojos, con más del 60% de los muestreos situados en niveles de “lluvia ácida” y en el caso de Braojos alcanzando el 80%; frente a los comparativamente bajos resultados en el extremo occidental: Robledo de Chavela y Fuentidueña que no llegan al 15% de muestreos con esas características. 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. Se advierte también una cierta acidificación de las muestras a lo largo del otoño, en contraposición con las recogidas en los meses precedentes, aunque con un aumento del valor medio del parámetro a medida que se va avanzando en la estación se mantuvieron los registros propios de “lluvia ácida”.
- En cuanto a la **conductividad**, se advierte en general un aumento del parámetro con respecto a la pasada revisión, alcanzándose las mayores tasas en Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, y los menores en Canencia, Cercedilla y Montejo de la Sierra en un patrón de distribución espacial muy similar al observado en campañas pasadas. Al igual que en el caso anterior, y debido al mismo efecto, se detecta un incremento notable del parámetro en primavera tras un periodo de sequía prolongada y una recuperación con la llegada del verano y las lluvias.
- En cuanto a los **cloruros** se observan valores algo inferiores a los de años anteriores, en una tendencia que ya observada, resultando las concentraciones más altas en Cercedilla, Alcalá de Henares y especialmente Robledo de Chavela, mientras que nuevamente la zona menos afectada es el núcleo Canencia-Braojos-Montejo. Destaca por la baja concentración de cloruros El Escorial, contrastando con los mencionados altos valores de Cercedilla. A diferencia de la relación observada entre el pH y la conductividad con las precipitaciones, no se detectó vinculación alguna entre la deposición de cloruros y el anómalo régimen de lluvias del año, con un verano muy húmedo y una primavera y otoño muy secos.
- En lo que respecta a los **nitratos** se advierte un suave aumento general de las tasas obtenidas, e incremento notable tras el periodo de sequía estival posiblemente debido a efectos de la deposición seca.



Como en campañas anteriores es en Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo donde se observa la mayor deposición de este contaminante, muy ligado a las emisiones derivadas del tráfico terrestre, y que tiene su correlación en los niveles de óxidos de nitrógeno evaluados a través de los dosímetros pasivos.

- En cuanto a los **sulfatos** se advierte un comportamiento similar al de los nitratos: ligero incremento de las tasas respecto al año pasado, 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, donde tienden a concentrarse los resultados más adversos, posiblemente debido a la actividad industrial en el Corredor del Henares.
- En cuanto a los **daños por ozono** se advierte un repunte en lo que se refiere a la presencia de puntuaciones necróticas con respecto a revisiones anteriores, con un importante aumento en los daños registrados tanto en el pino silvestre como en el carrasco, única especie que desde 2014 viene mostrando una tendencia claramente ascendente en el porcentaje de daño. De nuevo destacan como parcelas más afectadas El Escorial, Canencia, Braojos y Montejo de la Sierra, todas ellas en el arco norte de la sierra; mientras que los menores niveles se han registrado en la zona sur de la comunidad, relacionado con el movimiento general de los vientos en Madrid.
- En lo que respecta a los **niveles de ozono obtenidos mediante dosímetros** se ha observado una reducción de los valores medios obtenidos con respecto al año pasado. Sin embargo en Rascafría se alcanzó el registro de 102,09 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en el primer muestreo de mayo, superándose el nivel de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ valor de umbral de protección o alerta. Se advierte también una evolución de la concentración de este contaminante algo distinta a la habitual, detectándose máximos tanto primaverales como estivales. Las mayores tasas medias se han obtenido en Rascafría, Montejo y Fuentidueña a diferencia del año pasado en el que el eje más afectado (Navas del Rey, El Escorial y Cercedilla) se mostraba muy relacionado con el esquema general de vientos en la comunidad de Madrid.
- En cuanto a los **niveles de óxidos de nitrógeno obtenidos mediante dosímetros**, destaca un aumento relativo del contaminante, especialmente elevados son los niveles obtenidos en Alcalá de Henares a lo largo de todo el año, en la zona más industrializada y encajonada entre las autovías A-2 y A-3, de las de mayor intensidad de tráfico y en menor medida Fuentidueña de Tajo y Robledo de Chavela,
- Por lo que se refiere a los **análisis foliares** se advierte una reducción en los niveles de azufre total con respecto al patrón y a anteriores campañas en prácticamente todas las estaciones salvo en la de Fuentidueña del Tajo. El patrón de distribución es el que se ha encontrado en muestreos anteriores: niveles considerablemente elevados el en cuadrante sureste de la comunidad en la ya repetidamente mencionada alineación Alcalá de Henares / Fuentidueña de Tajo.
- 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. Es una excepción a la mencionada generalidad el caso del *Pinus pinea* en Navas del Rey con un 7,1% por debajo del valor patrón de azufre para la especie.



Financia: Dirección General del Medio Ambiente

Consejería de Medio Ambiente, Administración Local y Ordenación del Territorio
Comunidad de Madrid

Coordina: Sección de Defensa Fitosanitaria

Autores: José María Peña, Juan Molina, Alfonso Soriano, Oscar Osorno, Abel Humbría, Irene Guerra, Mercedes Redruello (TECMENA, S.L).