



EVALUACIÓN DE LA RED SESMAF Y CONTAMINACIÓN EN PINARES

MEDICIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE
DOSÍMETROS PASIVOS EN PINARES

Año 2018



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.....	5
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	59
5.2 Niveles de No ₂ en la Comunidad de Madrid.....	62
5.3 Niveles de contaminantes atmosféricos por muestreo	
5.3.1 Ozono	65
5.3.2 Dióxido de nitrógeno.....	81
5.4 Niveles de contaminantes atmosféricos por parcela	
5.4.1 Ozono	97
5.4.2 Dióxido de nitrógeno.....	117



6. Resultados analíticos foliares	
6.1 Introducción	139
6.2 Afección por azufre	139
6.3 Toma de muestras y procedimiento analítico	139
6.4 Resultados para el azufre hidrosoluble (S_{Hid})	140
6.5 Resultados para el azufre total (S_{Tot})	142
6.6 Resultados para el azufre orgánico (S_{Org})	143
6.7 Relación S_{Hid}/S_{Tot}	145
6.8 Comparación de los resultados con los valores patrón	146
7. Conclusiones.....	150



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 SO₂, NO_x y el O₃, 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, contaminante secundario en forma de aerosol.	50 mg/l
Sulfatos		250 mg/l



2. MATERIAL Y MÉTODO

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	401.090	4.495.384	533
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	411.335	4.513.773	411.335	4.513.773	508
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	425.045	4.523.561	424.936	4.523.353	483
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	434.834	4.526.259	434.834	4.526.259	484
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	443.515	4.547.275	443.515	4.547.275	458
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	459.044	4.549.235	459.044	4.549.235	459
021-15	Puebla de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	460.126	4.540.100	460.126	4.540.100	459
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	390.069	4.472.814	390.069	4.472.814	557
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	466.399	4.479.010	466.399	4.479.010	560
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	486.939	4.443.190	486.939	4.443.190	607
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	393.632	4.484.931	393.632	4.484.931	532

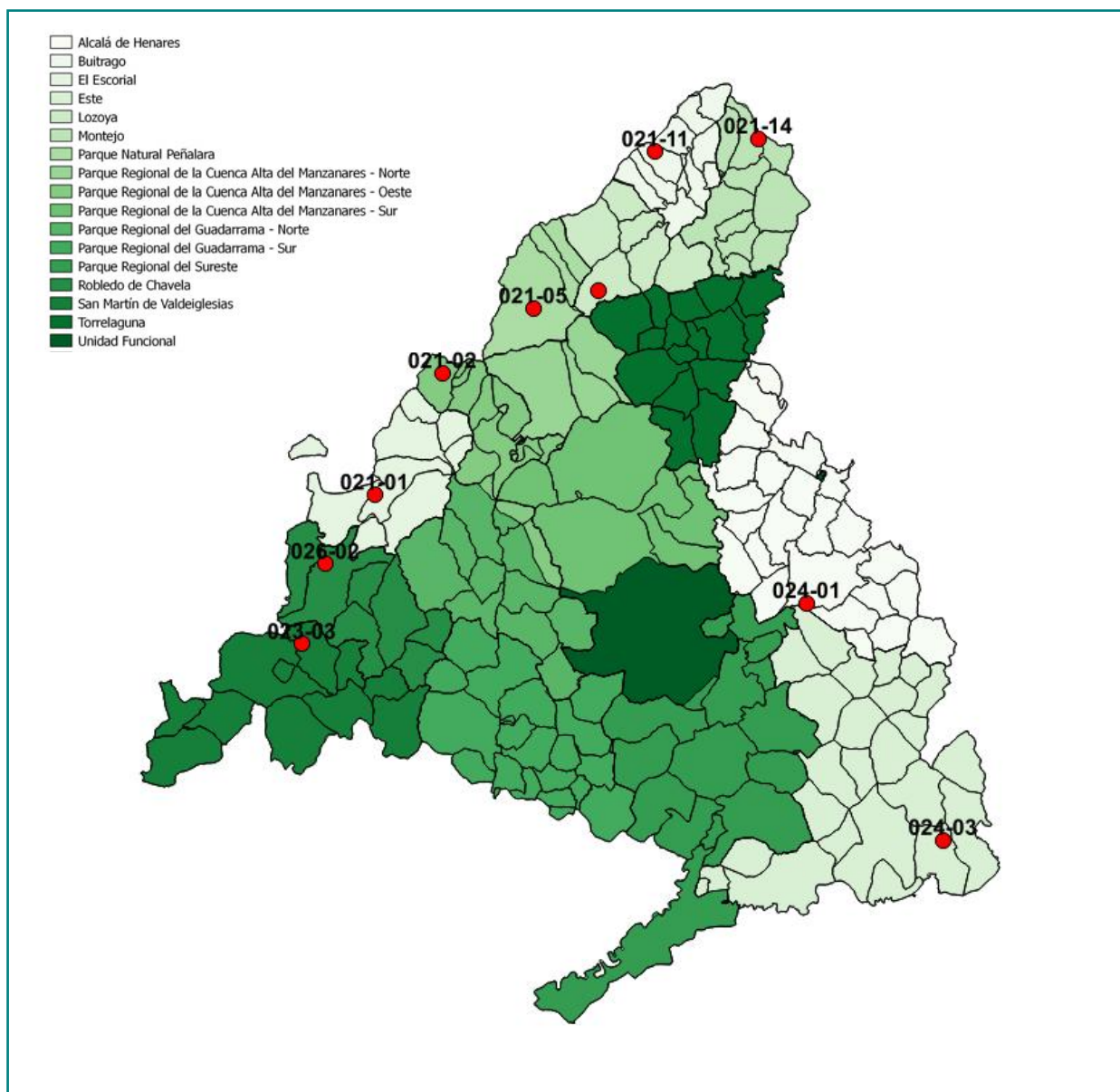


Figura 2.1 Localización de las estaciones de muestreo.

2.2 PARÁMETROS FISIGRÁFICOS

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 Nº	ALTIUD (m)	PENDIENTE %		ORIENTACIÓN	ÍNDICE DE INSOLACIÓN PUNTUAL	ÍNDICE DE INSOLACIÓN GENERAL
		Estación	Ladera			
021-01	1.471	33	33	S	1,26	1,26
021-02	1.675	4	16	S	1,04	1,15
021-05	1.336	4	8	N	0,96	0,94
021-07	1.299	53	68	SE	1,21	1,22
021-11	1.566	49	50	SW	1,21	1,21
021-14	1.362	58	58	N	0,36	0,36
023-03	854	22	27	SW	1,13	1,15
024-01	715	7	37	N	0,93	0,59
024-03	628	27	45	NE	0,78	0,63
026-02	852	20	50	N	0,78	0,41

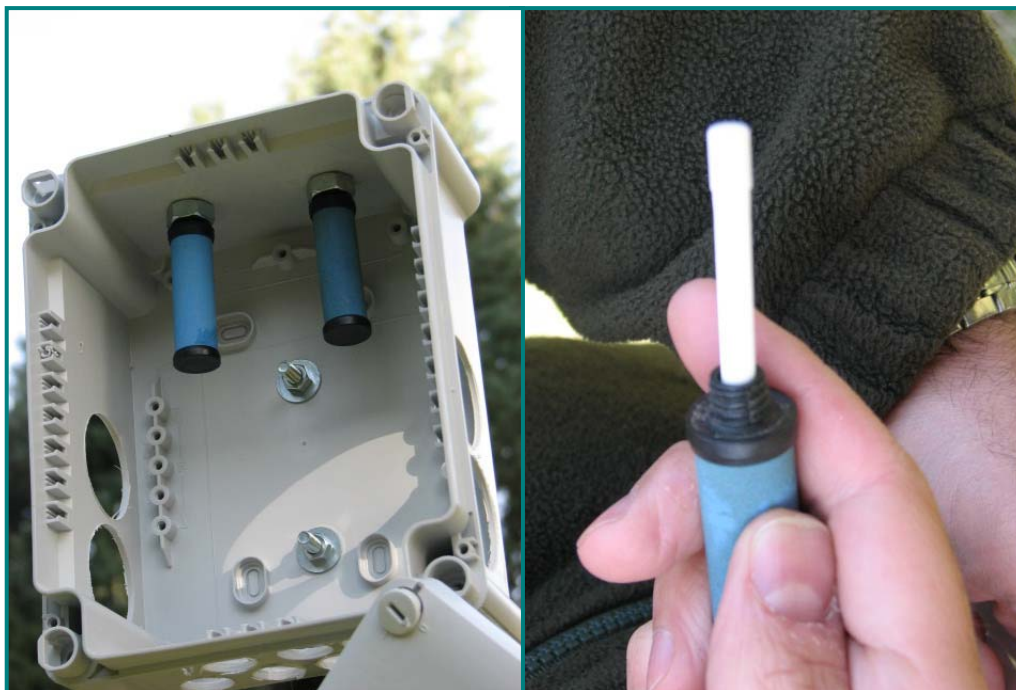


Figura 2.II Carcasa soporte de dosímetros pasivos y dosímetro dentro del cuerpo difusor (azul).



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 2016, exponiendo los captadores durante 16 muestreos de periodicidad quincenal. Una vez transcurrido este periodo, los captadores son retirados y trasladados al laboratorio en nevera para su análisis.

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

2.3 ANÁLISIS DE O₃

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

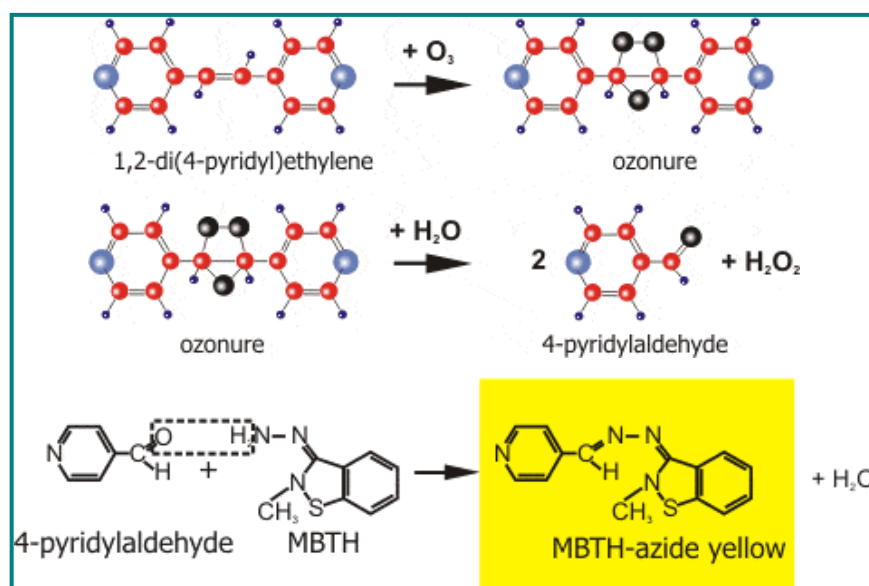


Figura 2.IV Reacciones involucradas en la determinación de O₃.



2.4 ANÁLISIS DE NO₂

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

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

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

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

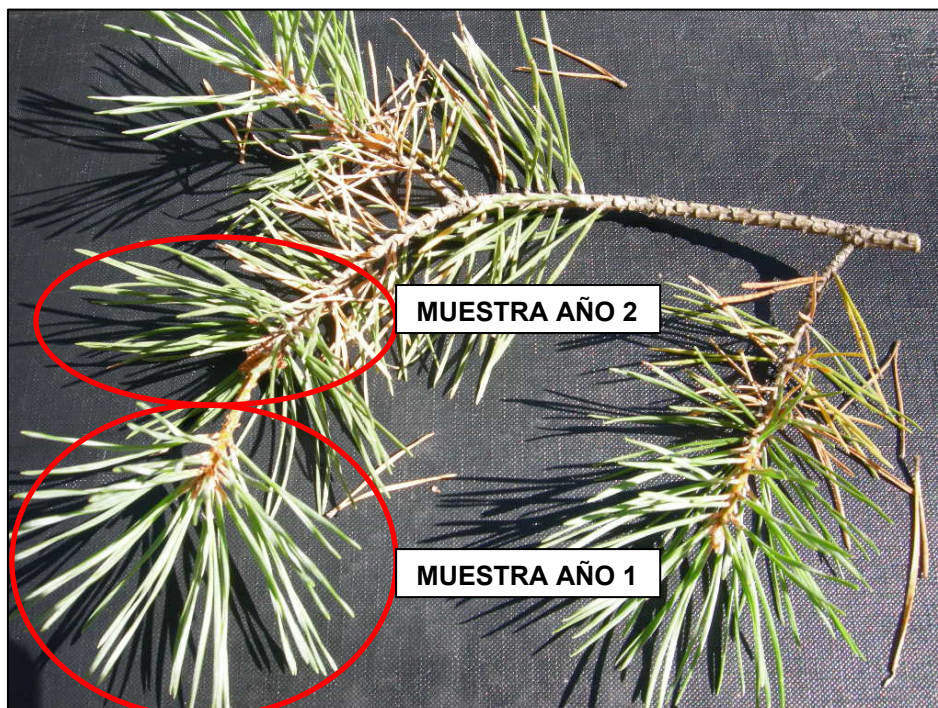
- Extracción del azufre hidrosoluble por agitación continua durante 30 minutos con agua destilada.
- Filtración del extracto y determinación de los sulfatos mediante cromatografía iónica, previa purificación en Sep-Pack c-18.
 - Columna ICPACK-aniónica.
 - Fase móvil borato-gluconato pH: 8,5.
 - Detector 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.I. 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 2018 se realizaron 17 visitas (queda excluida la realizada para la instalación de los acumuladores) a los puntos de muestreo de agua, recogiendo las muestras indicadas en la Tabla 3.I. 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.

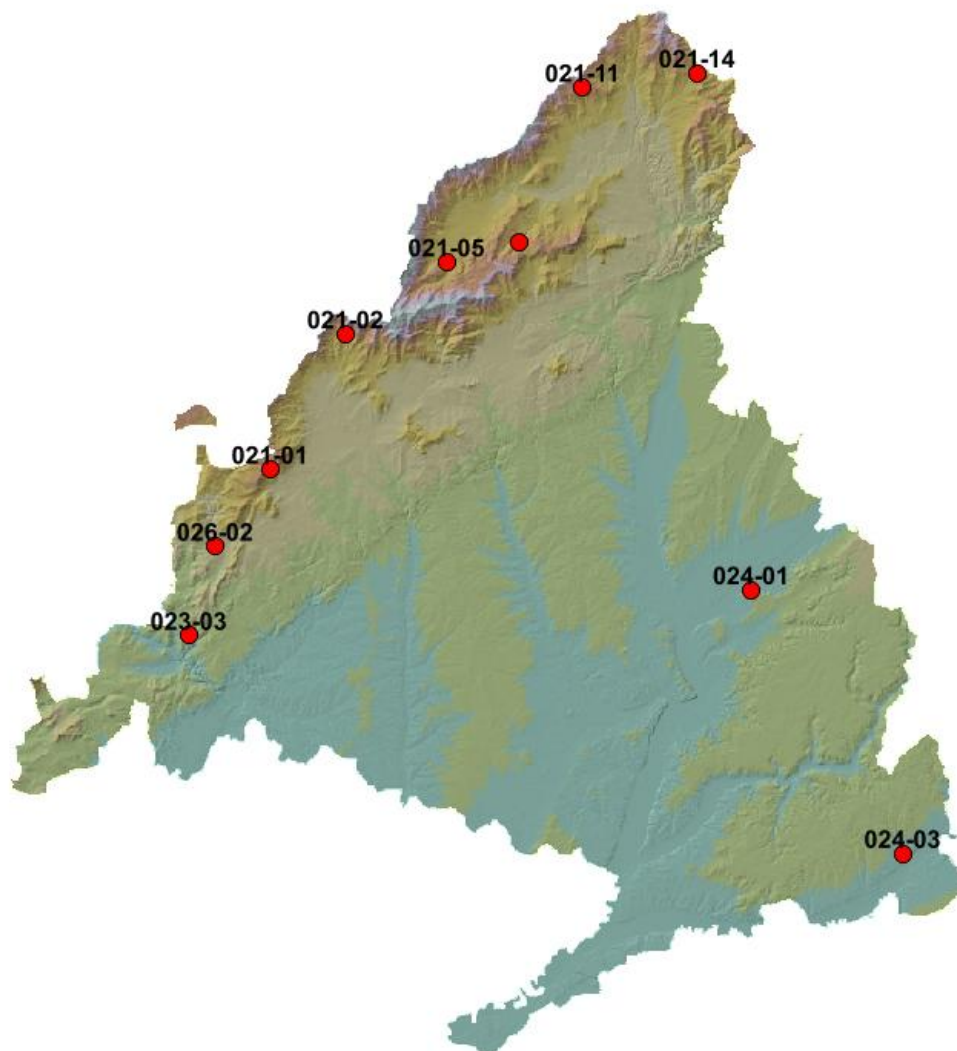


Tabla 3.I Fechas de recogida de muestras de deposición

Nº Viaje	Fecha	Observaciones
1	22/02/2018	Se instalan los captadores. No se recoge muestra.
2	09/03/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
3	22/03/2018	Se recoge muestra en 7 de 10 estaciones. Camino inaccesible por nieve en las tres estaciones restantes.
4	05/04/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
5	20/04/2018	Se recoge muestra en 9 de 10 estaciones. Acumulador sustraído en la estación restante.
6	09/05/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
7	31/05/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
8	09/06/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
9	27/06/2018	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
10	19/07/2018	Se recoge muestra en 5 de 10 estaciones.
11	03/08/2018	Se recoge muestra en 1 de 10 estaciones.
12	17/08/2018	Se recoge muestra en 5 de 10 estaciones.
13	03/09/2018	Se recoge muestra en 3 de 10 estaciones.
14	27/09/2018	Se recoge muestra en 4 de 10 estaciones.
15	09/10/2018	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra.
16	31/10/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
17	15/11/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.
18	30/11/2018	Se recoge muestra en 10 de 10 estaciones.



Figura 3.1
Situación de las estaciones de muestreo de deposición



3.3.1. VOLUMEN RECOGIDO

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

Por un lado destacó el elevado número de muestreos en los que se recogió muestra en todas las estaciones, destacando las de Canencia de la Sierra y Montejo de la Sierra con toma de muestras en 14 ocasiones, mientras que fue en la de Fuentidueña del Tajo en la que se obtuvo el menor número con 10. En esta misma estación se obtuvo la menor cantidad de agua, con un volumen medio que apenas llegó a los 450 ml. Por el contrario en las estaciones de El Escorial, Cercedilla y Brajos los volúmenes medios superaron los 1000 ml.

Siendo en esta ocasión clara la estacionalidad en las precipitaciones, los volúmenes de agua recogido entre la segunda quincena del mes de junio y primera del mes de octubre fueron muy reducidos o directamente ausentes, tal y como ocurriera en la segunda quincena del mes de junio. Los mayores volúmenes se recogieron en el mes de marzo, segunda quincena de abril y segunda quincena de octubre con registros que superaron los 1600 ml, destacando la primera quincena de marzo con un volumen medio de 2205 ml.

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 a partir de entonces. En ellas se aprecia como el volumen de muestras recogido en 2018 fue mayor que en años anteriores, además de ser notable la estacionalidad en las precipitaciones, tal y como ocurriera en 2015 y 2016. Por el contrario en 2014 y principalmente 2017, la estacionalidad en las lluvias fue difusa.

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

ESTACIÓN	2018		
	%	V.medio	V.max
021-01 El Escorial	64,7	1007,3	2700
021-02 Cercedilla	64,7	1041,6	2670
021-05 Rascafría	76,5	695,9	2445
021-07 Canencia de la Sierra	82,4	972,1	2720
021-11 Brajos	70,6	1026,6	2565
021-14 Montejo de la Sierra	82,4	892,1	2485
023-03 Navas del Rey	70,6	703,1	2435
024-01 Alcalá de Henares	76,5	548,2	2005
024-03 Fuentidueña del Tajo	58,8	446,6	2000
026-02 Robledo de Chavela	76,5	632,9	2260

Figura 3.II

Porcentaje de muestreos en los que se ha recogido precipitación (2018)

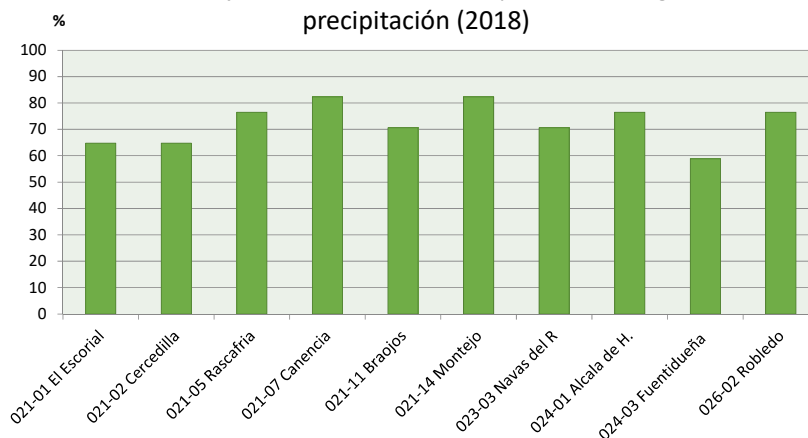




Figura 3.III

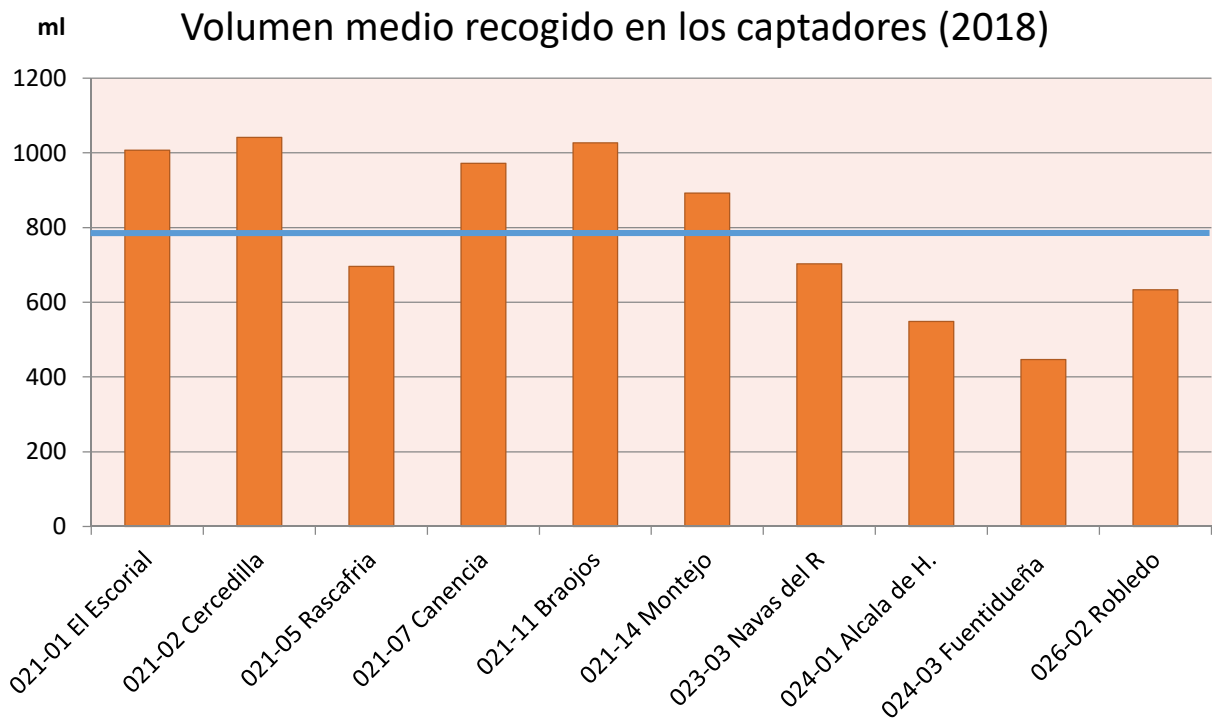


Figura 3.IV

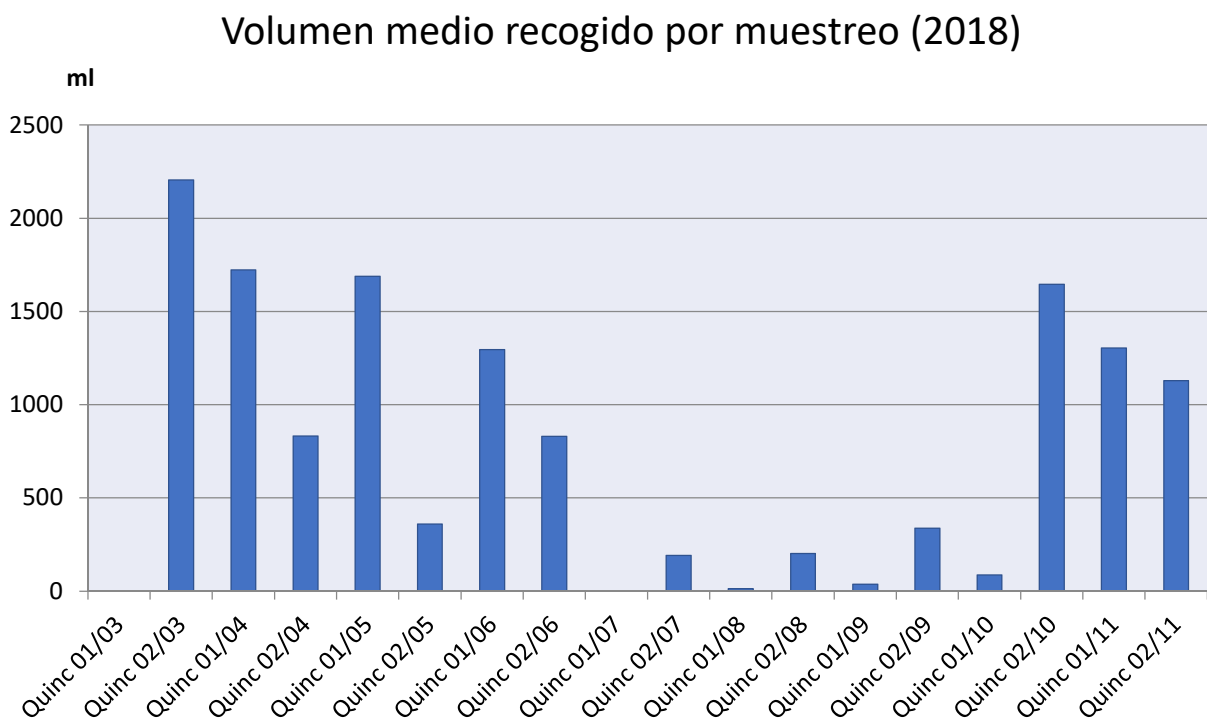




Figura 3.V
Porcentaje de días de lluvia según estación de deposición
(2018)

% Días Precipitación

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

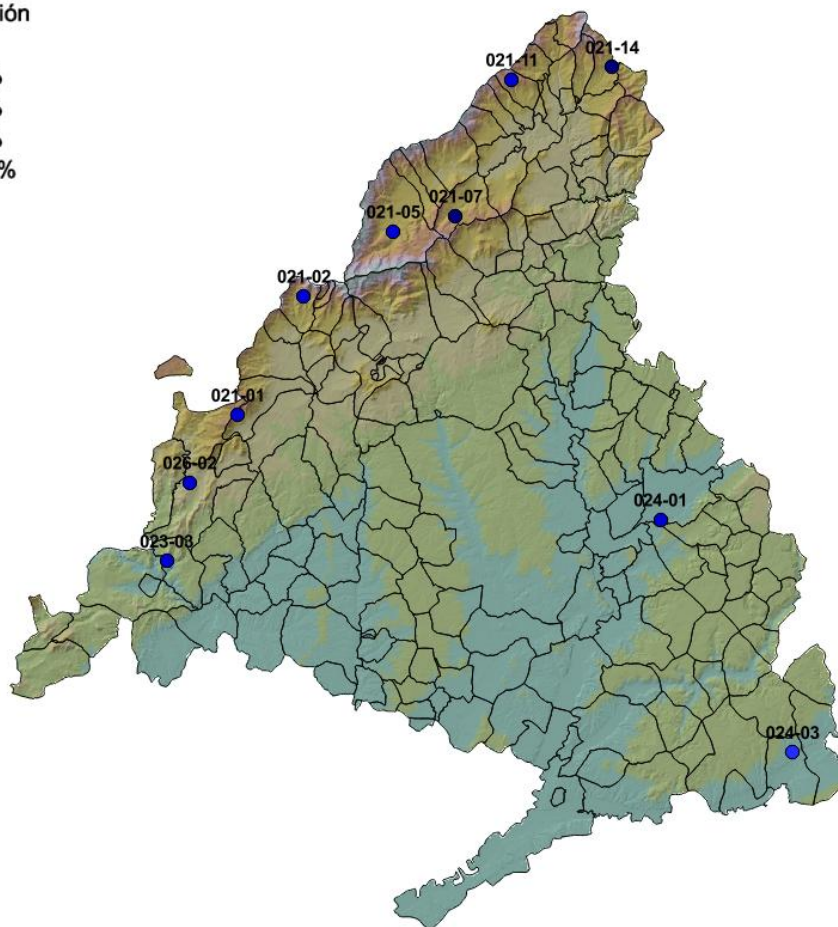
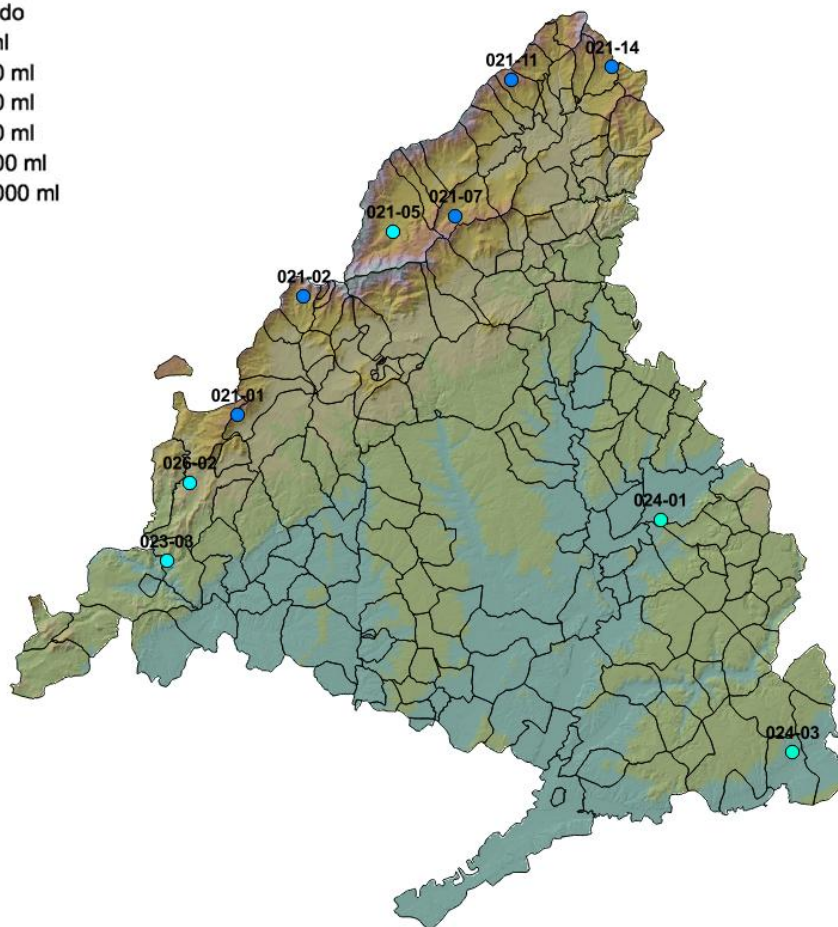
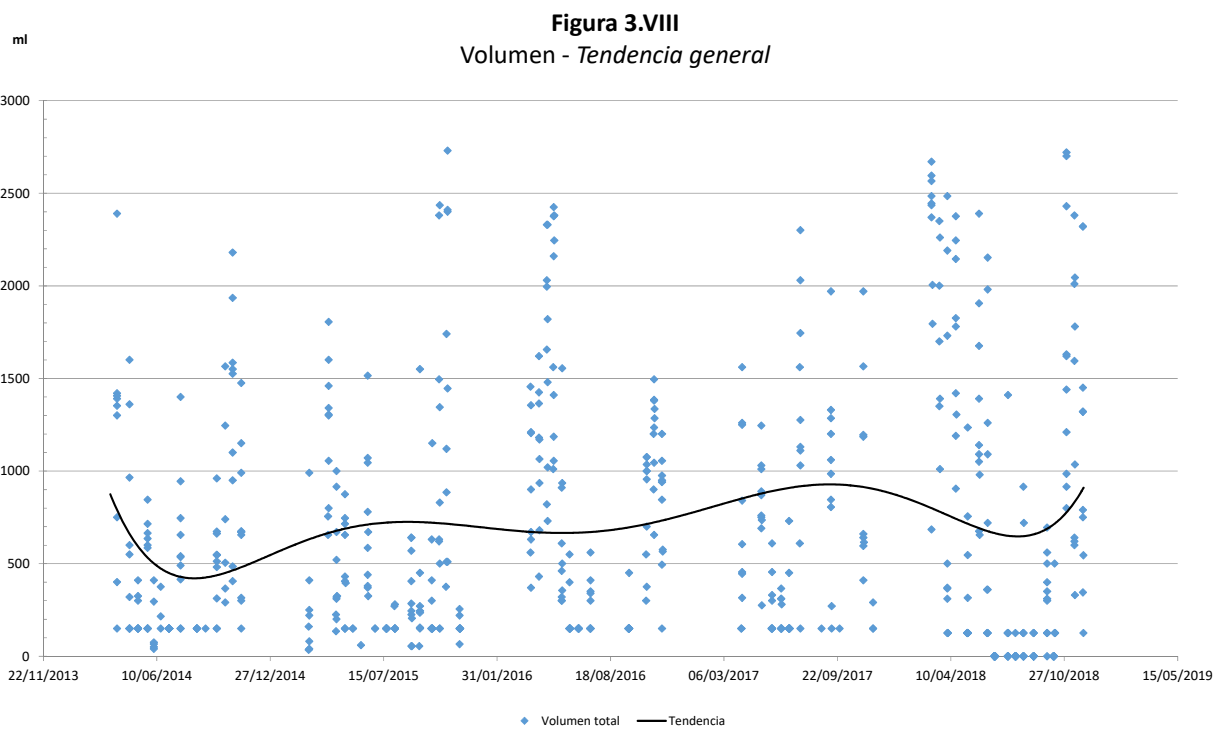
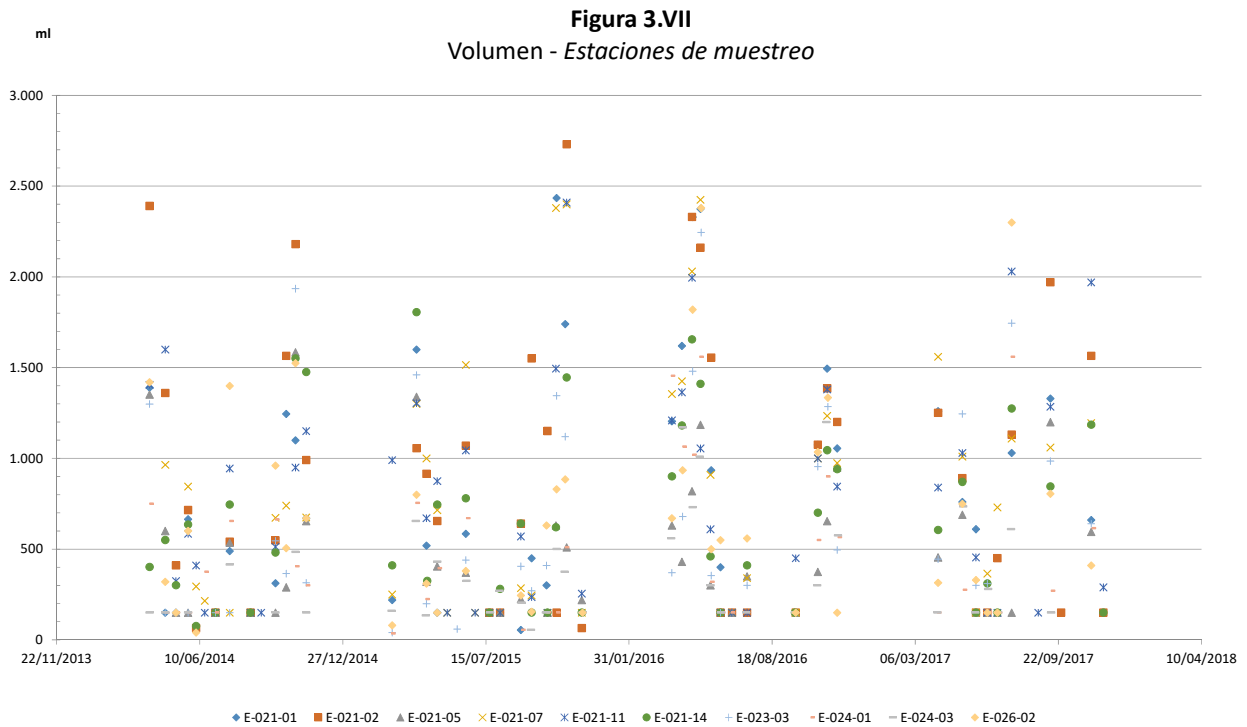




Figura 3.VI
Volumen recogido según estación de deposición
(2018)

- 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 2018 fueron relativamente normales, pues la mayor parte de ellos (65%) superaron los 6 puntos de pH. Oscilaron entre los 4,62 obtenidos en la muestra de Robledo de Chavela en la primera quincena de marzo (muestreo o viaje nº2) y los 8,40 obtenidos en la muestra de Nava del Rey en la segunda quincena de septiembre (muestreo nº14).

En la Figura 3.IX se observa por estaciones el reducido número de muestras de agua con pH's 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). Destacó la estación de Montejo de la Sierra con la menor cantidad de muestras de lluvia ácida, seguida por las de Braojos y El Escorial. En el resto de estaciones la frecuencia de episodios de lluvia ácida se situó por encima del 20%, destacando la de Cercedilla con más del 35%.

Atendiendo a los valores medios por estación, tal y como se recoge en la Figura 3.X, todas ellas obtuvieron registros superiores a los de la lluvia ácida, permaneciendo con un valor de acidez inferior a los 6,0 puntos las de Cercedilla y Fuentidueña del Tajo. En el lado opuesto destacaron la estaciones de Rascafría, Braojos, Alcalá de

Henares y Robledo de Chavela con pH's medios superiores a los 6,2 puntos. El pH medio de todas las muestras se situó en los 6,15 puntos.

Atendiendo a la distribución temporal de las precipitaciones en 2018 (véase Figura 3.XI) cabría destacar como los valores de pH más reducidos se dieron con los mayores volúmenes de agua recogida tras periodos previos más secos, tal y como ocurriera en marzo y abril, así como en el mes de octubre. Destacaron los registros obtenidos en la primeras quincenas de marzo y abril con niveles de pH de 5,05 y 5,17 puntos respectivamente.

Es de destacar que casi el 75% de las muestras obtenidas en 2018 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 a partir de entonces. En ellas puede apreciarse el incremento o recuperación registrado en los valores de pH en los últimos muestreos tras varios años de claro descenso.

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

ESTACIÓN	2018		
	% <5,65	pH medio	pH min
021-01 El Escorial	18,18	6,17	5,01
021-02 Cercedilla	36,36	5,94	4,89
021-05 Rascafría	23,08	6,24	4,85
021-07 Canencia de la Sierra	21,43	6,13	5,14
021-11 Braojos	16,67	6,28	5,16
021-14 Montejo de la Sierra	14,29	6,15	5,00
023-03 Navas del Rey	25,00	6,16	4,90
024-01 Alcalá de Henares	30,77	6,21	5,23
024-03 Fuentidueña del Tajo	30,00	5,95	4,97
026-02 Robledo de Chavela	23,08	6,21	4,62

Figura 3.IX
Porcentaje de muestras con pH<5,65 o "lluvia ácida"
(2018)

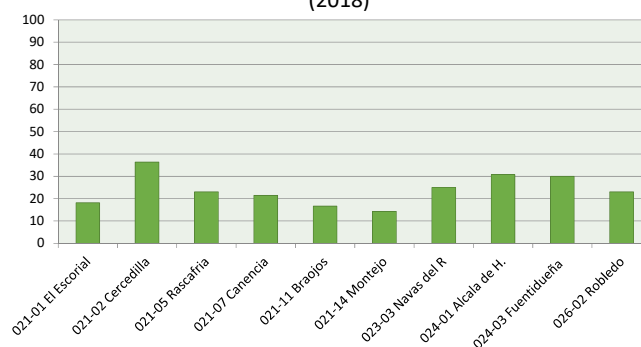




Figura 3.X

pH medio en las muestras de agua (2018)

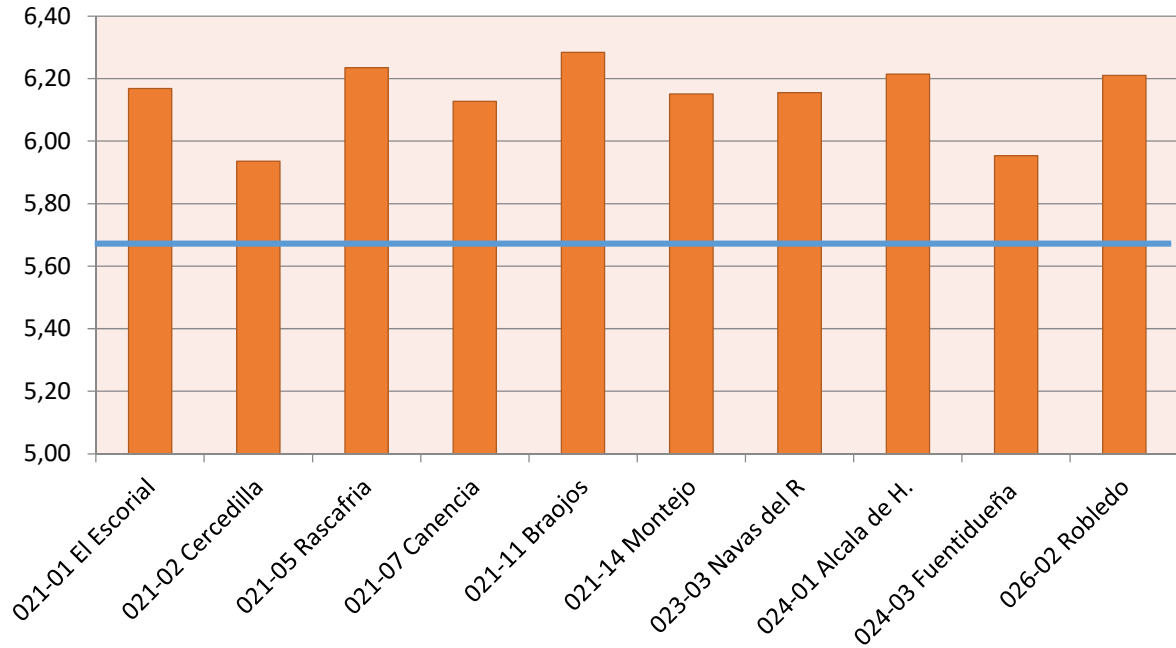


Figura 3.XI

pH medio por muestreo (2018)

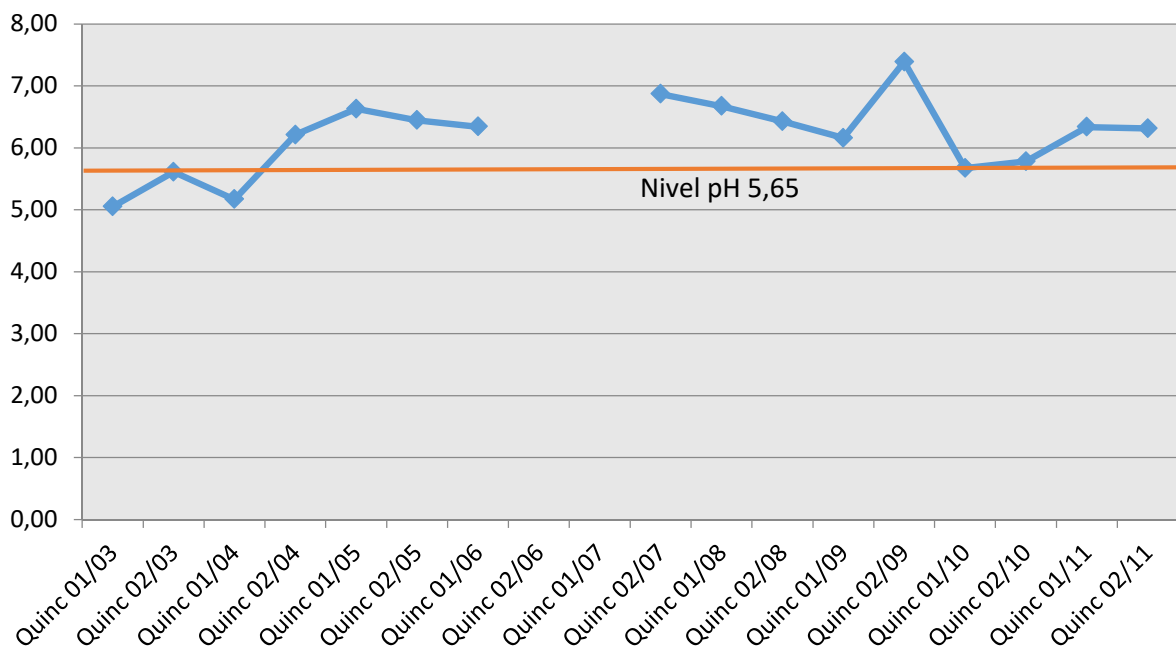




Figura 3.XII
Porcentaje de días con lluvia ácida
(2018)

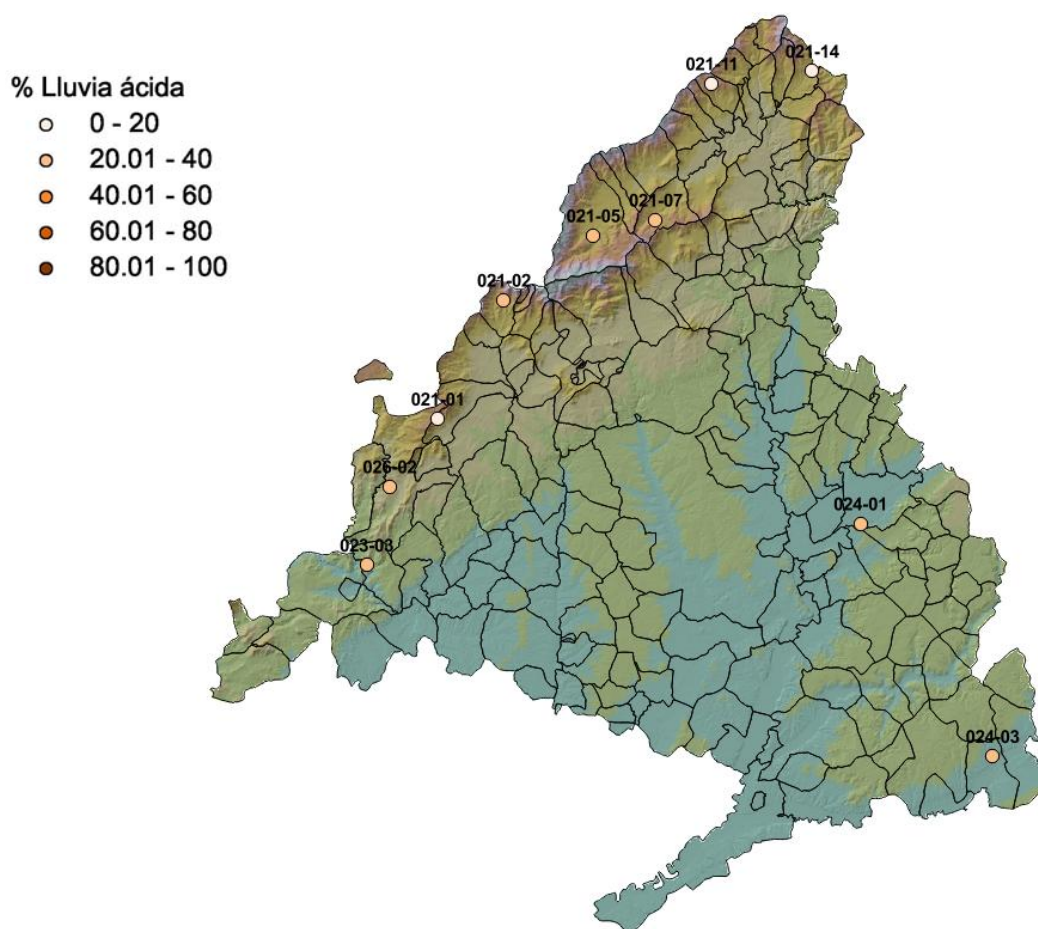




Figura 3.XIII
pH medio según estación de deposición
(2018)

pH

- < 5.65 (lluvia ácida)
- 5.66 - 6
- 6.01 - 6.5
- 6.51 - 7
- 7.01 - 7.5
- >7.5
- No Data

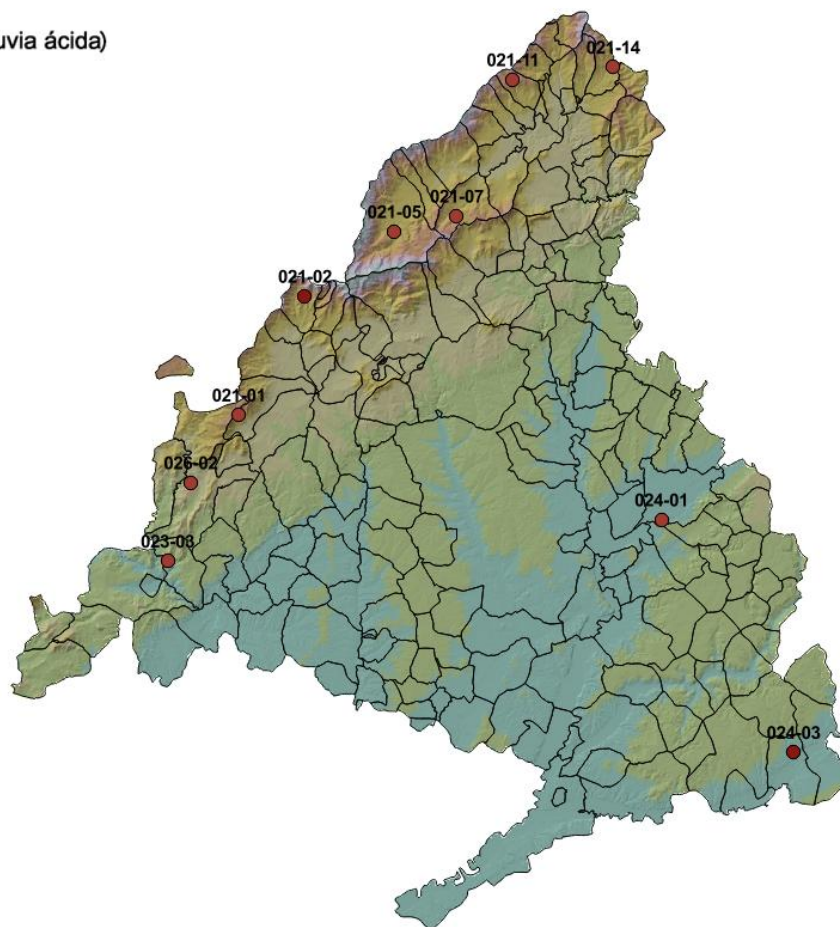




Figura 3.XIV
pH - Estaciones de muestreo

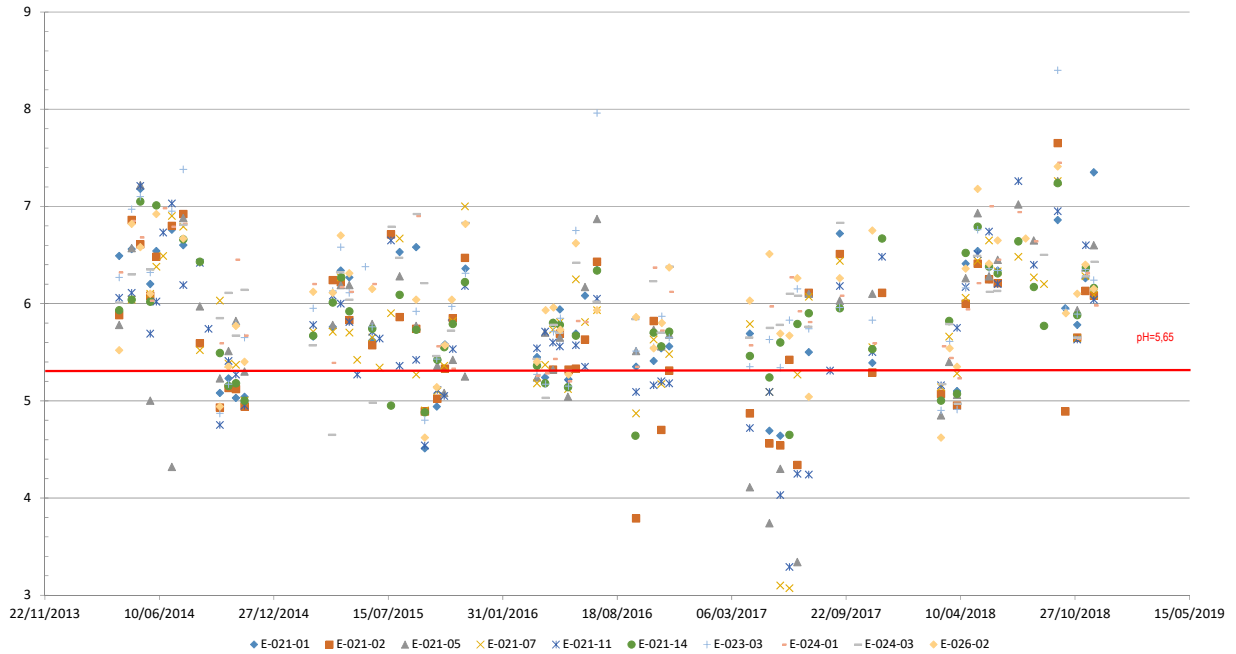
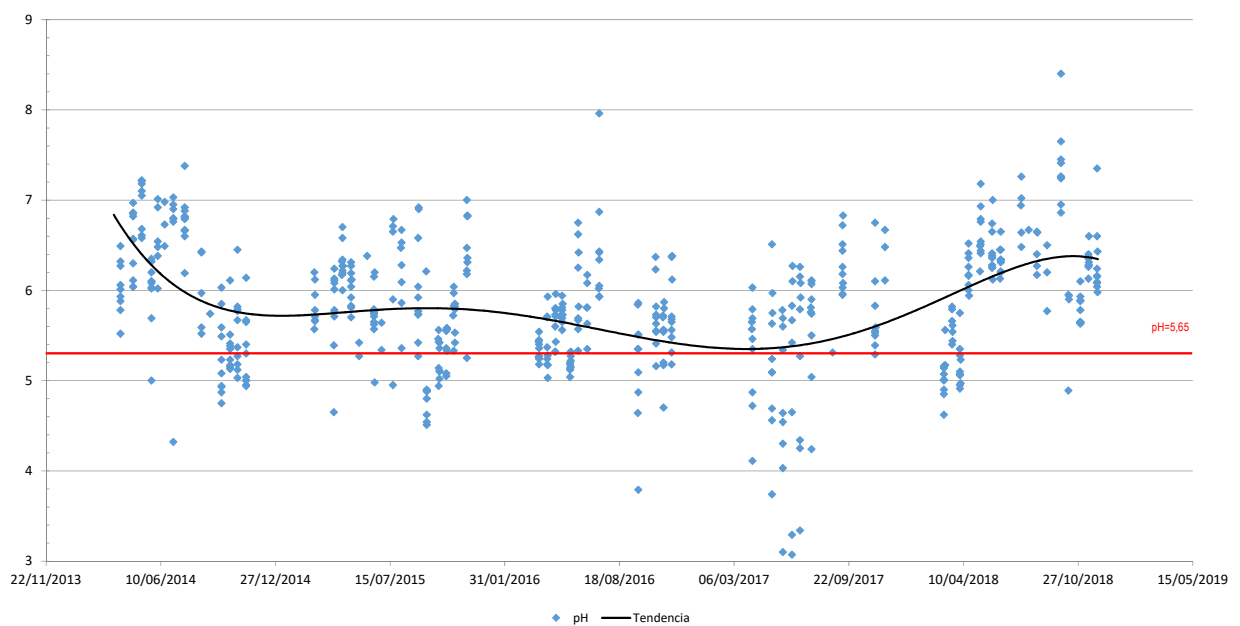


Figura 3.XV
pH - Tendencia general



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 70,1 $\mu\text{S}/\text{cm}$, registrándose el mínimo con 6 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Montejo de la Sierra en la primera quincena de junio (muestreo nº8), y el máximo con 391 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Cercedilla en la primera quincena de octubre (muestreo nº15). En la Figura 3.XVI, con los registros medios de deposición por estación, destacó la ubicación de Alcalá de Henares con el agua menos “limpia”, seguida de las de Rascafría y Cercedilla, claramente por encima de la media. Por el contrario, con el agua más “limpia” destacó la estación de El Escorial.

En cuanto al comportamiento de la serie anual de datos en 2018 (véase Figura 3.XVII), los valores más elevados de conductividad se registraron tras el verano, de tal forma que las precipitaciones tras periodos de sequía o escasez de precipitaciones arrastran buena cantidad de los solutos procedentes de la deposición seca (aquella que se

deposita y no es arrastrada por el agua), comportamiento ya observado en años anteriores. Habría que destacar en este sentido el pico de conductividad alcanzado en la primera quincena de octubre, con 206,0 $\mu\text{S}/\text{cm}$, periodo de lluvias muy abundantes tras la sequía del verano previo. En sentido contrario, la conductividad de las muestras de agua recogidas tras periodos húmeros son, en términos generales, más reducidas que las primeras, tal y como ocurre en la primera mitad del año así como a partir de la segunda quincena del mes de octubre.

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 a partir de entonces. En ellas puede apreciarse como tras varios años siendo clara la tendencia creciente de la variable, con valores extremos cada vez más abundantes y de mayor cuantía, en este último año dichos máximos se redujeron notablemente, siendo 2014 y 2018 los años con los registros de conductividad más reducidos.

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

ESTACIÓN	2018		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	40,64	181	9
021-02 Cercedilla	83,00	391	12
021-05 Rascafría	94,77	369	12
021-07 Canencia de la Sierra	52,79	156	9
021-11 Braojos	52,25	167	11
021-14 Montejo de la Sierra	54,36	149	6
023-03 Navas del Rey	67,17	203	14
024-01 Alcalá de Henares	129,62	265	46
024-03 Fuentidueña del Tajo	62,60	157	15
026-02 Robledo de Chavela	60,77	163	17



Figura 3.XVI

Conductividad media de las muestras recogidas (2018)

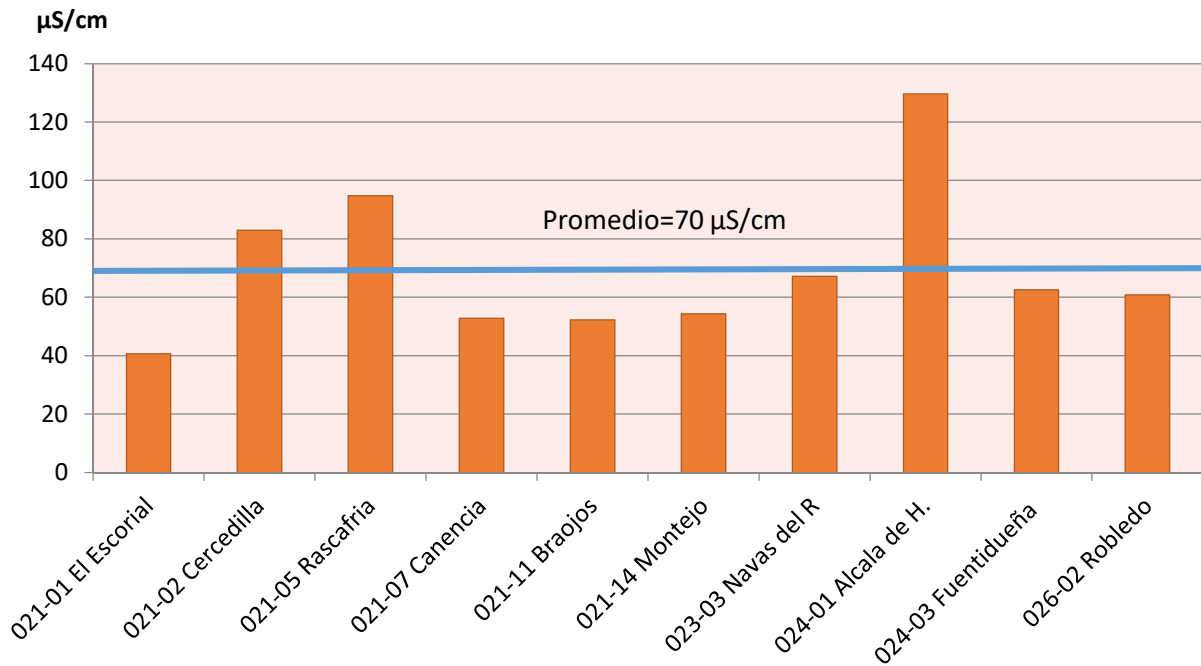


Figura 3.XVII

Conductividad media por muestreo (2018)

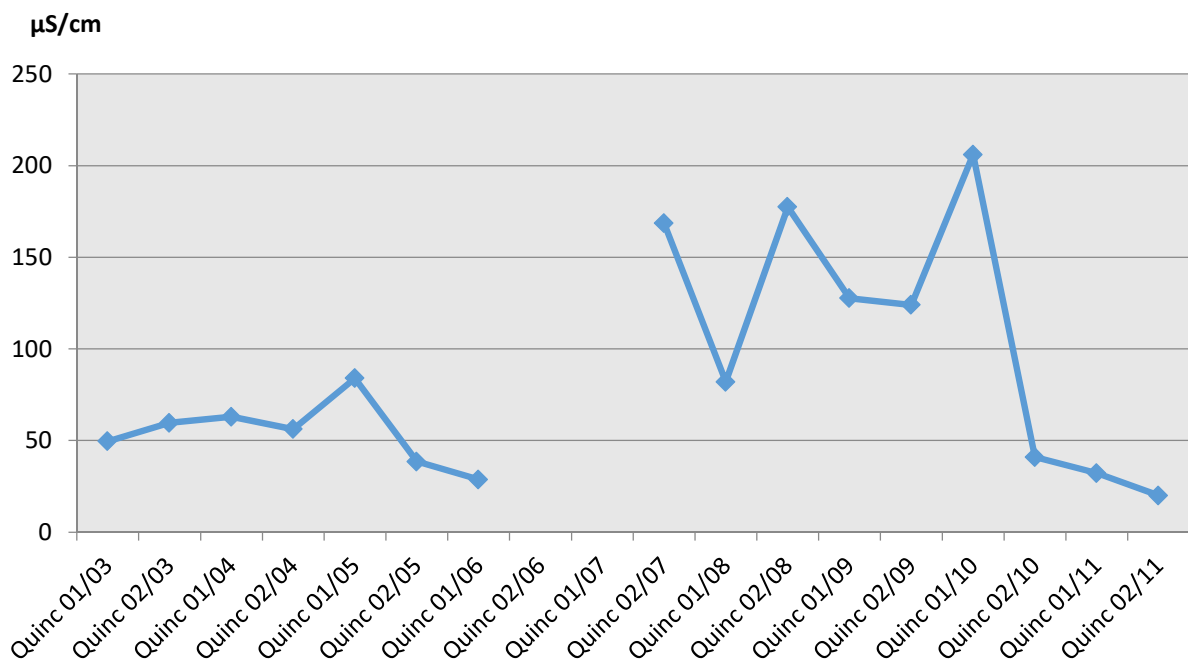
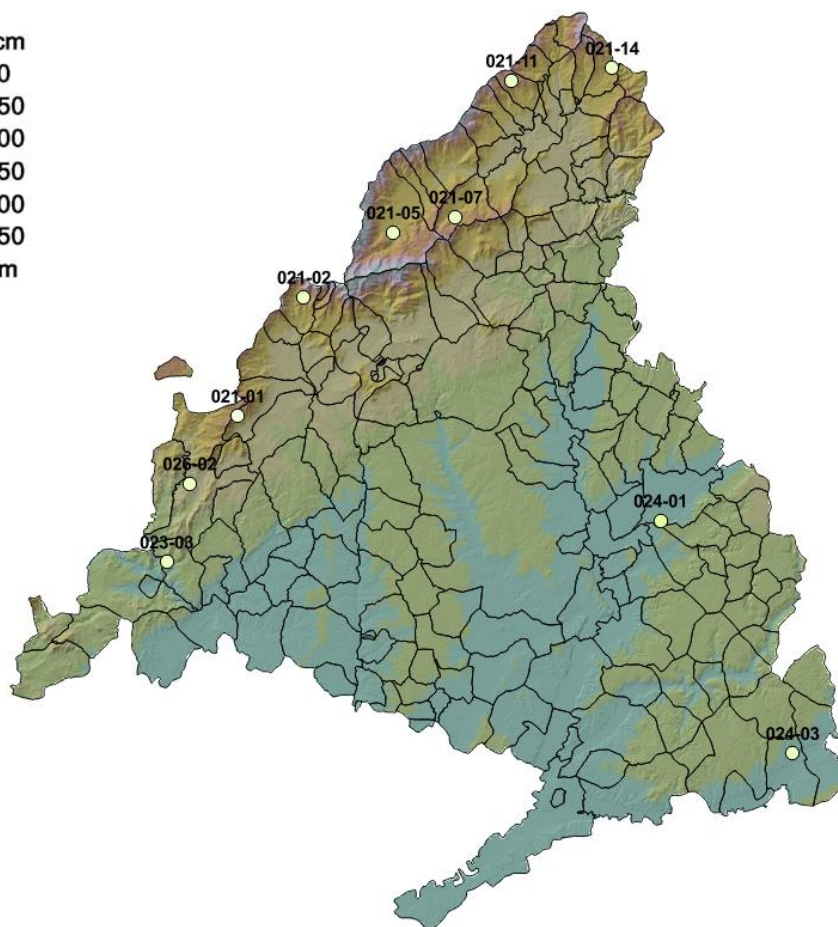


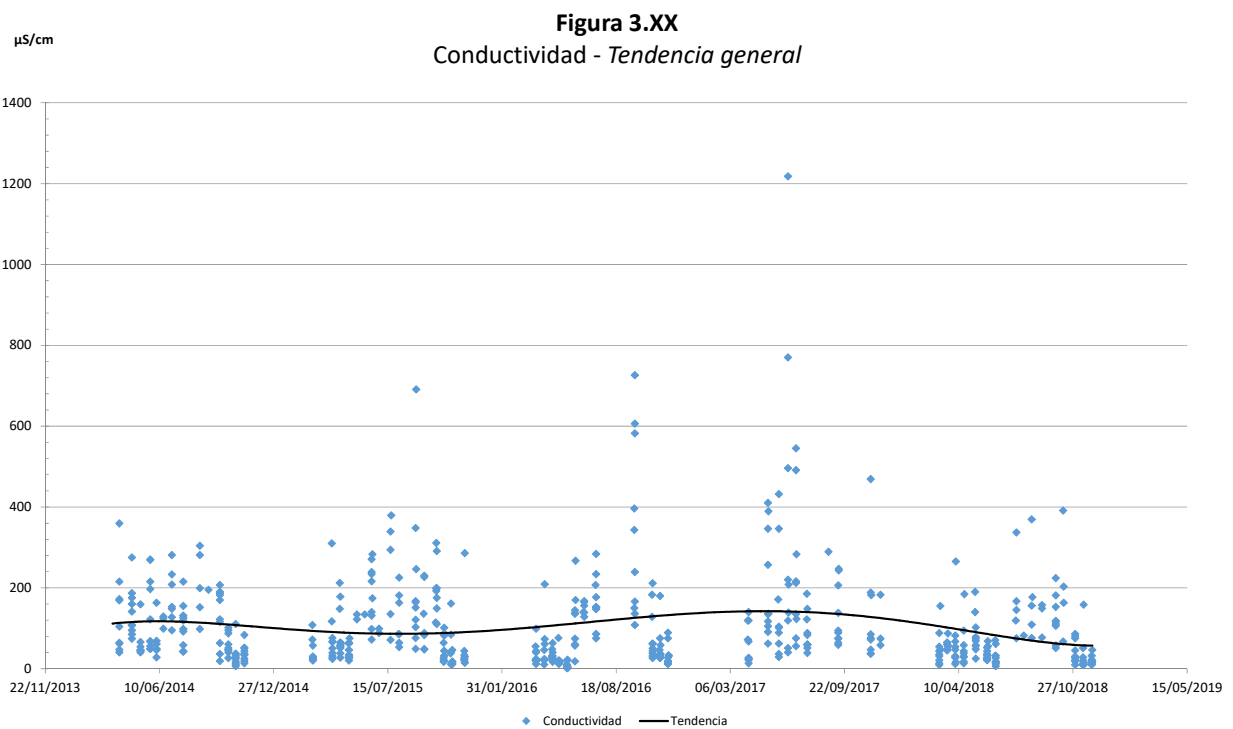
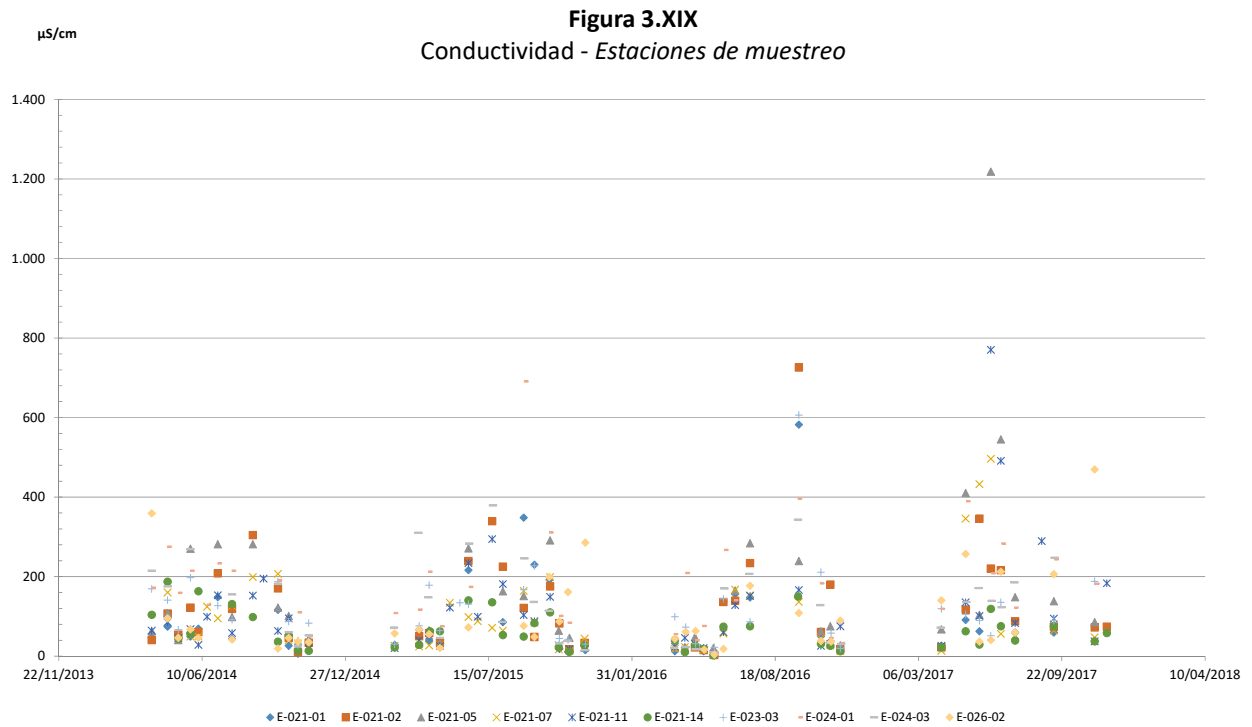


Figura 3.XVIII
Conductividad media por estación de deposición
(2018)

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 2018 se situó en los 3,40 mg/l, oscilando los extremos de la serie entre las frecuentes “concentraciones traza” inferiores a 5 mg/l registradas con elevada frecuencia en todas las estaciones, y los 33,89 mg/l de máxima obtenidos en Alcalá de Henares en la primera quincena de abril (muestreo nº4). Según las concentraciones medias por estaciones de deposición (véase Figura 3.XXI) destacaron las localizaciones de Alcalá de Henares, Cercedilla, Navas del Rey y Rascafría 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 1,65 mg/l.

En lo que respecta a la serie anual de 2018, recogida en la Figura 3.XXII, era de destacar la ausencia de patrón alguno en su comportamiento. Tan sólo cabría destacar los picos o máximos de concentración registrados en las primeras quincenas de abril y agosto que superaron los 8,0 mg/l, así como el máximo registrado en la primera quincena de octubre, con casi 9,8 mg/l. Cabe hacer

constar 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 a partir de entonces. No pudiendo apreciarse una evolución clara en la concentración de estos solutos a los largo de estos años, las concentraciones de este último año sí parecerían perfilar cierta tendencia decreciente. En todo caso, al igual que ocurriera en 2016 y 2017, destacaron los picos de concentración obtenidos para la estación de Cercedilla en la misma época del año (segunda quincena de septiembre y primera de octubre).

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

ESTACIÓN	2018		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	1,65	6,50	0,68
021-02 Cercedilla	4,68	25,43	1,11
021-05 Rascafría	4,15	11,74	0,83
021-07 Canencia de la Sierra	2,22	6,30	0,58
021-11 Braojos	1,83	7,03	0,62
021-14 Montejo de la Sierra	2,43	6,70	0,44
023-03 Navas del Rey	4,61	17,81	1,02
024-01 Alcalá de Henares	6,75	33,89	2,02
024-03 Fuentidueña del Tajo	2,07	4,88	0,84
026-02 Robledo de Chavela	3,35	10,25	0,64



Figura 3.XXI

Concentración media de cloruros por estación (2018)

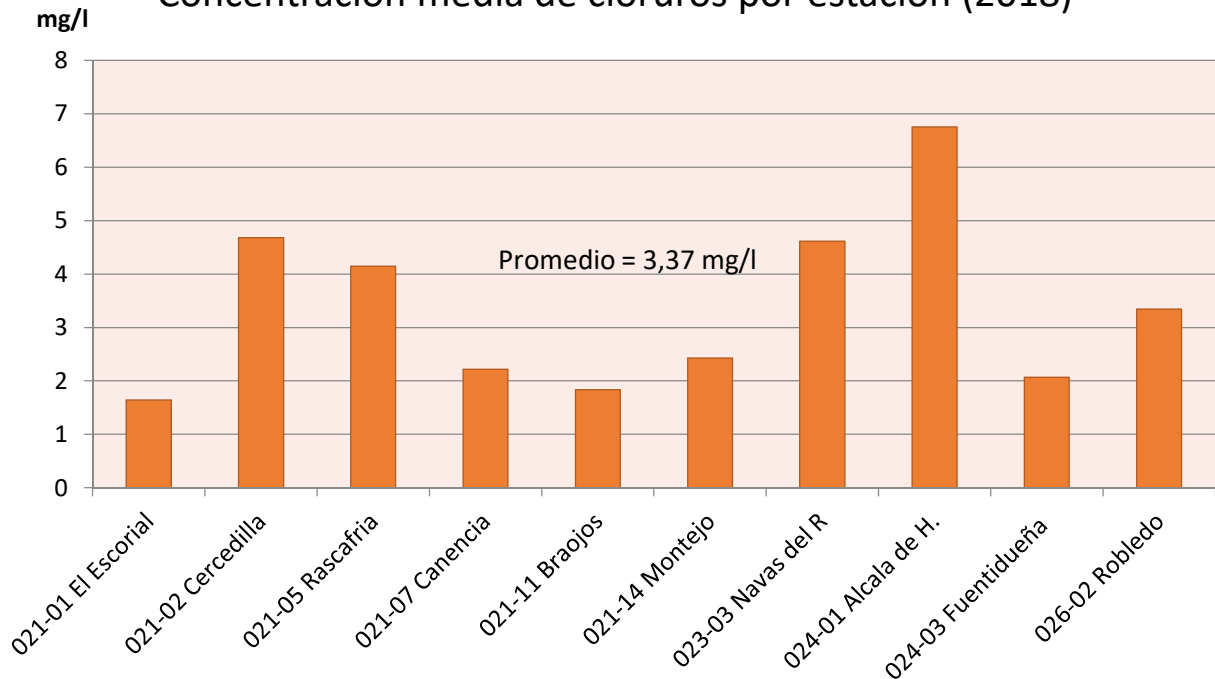


Figura 3.XXII

Concentración de cloruros por muestreo (2018)

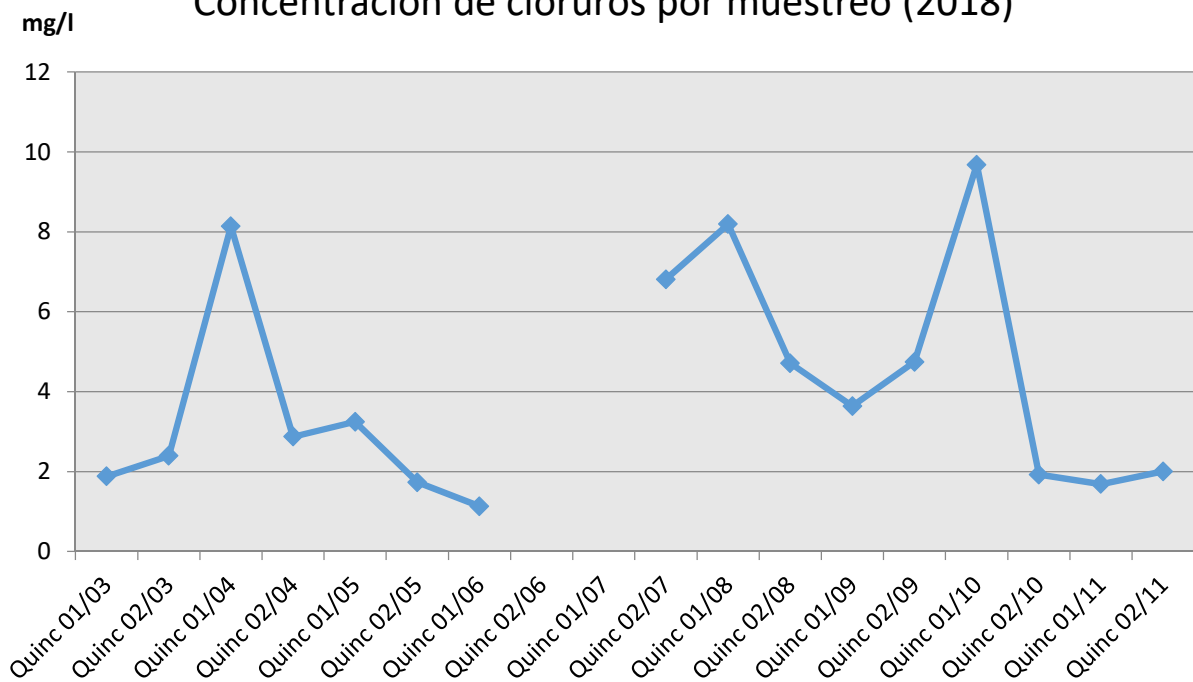
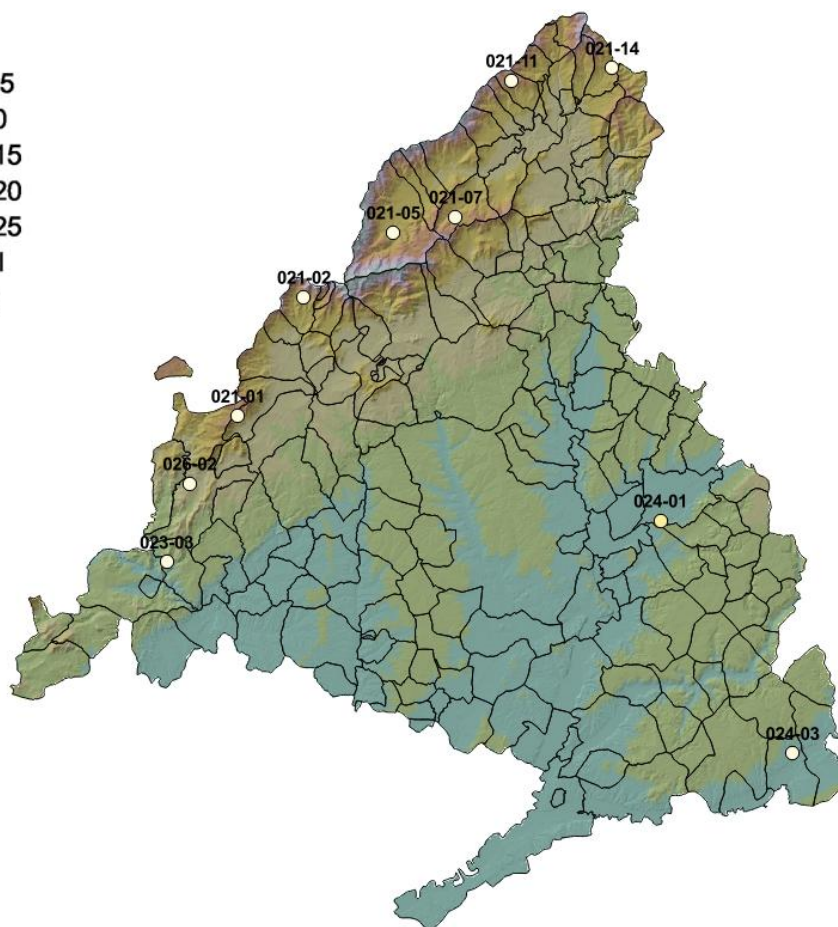


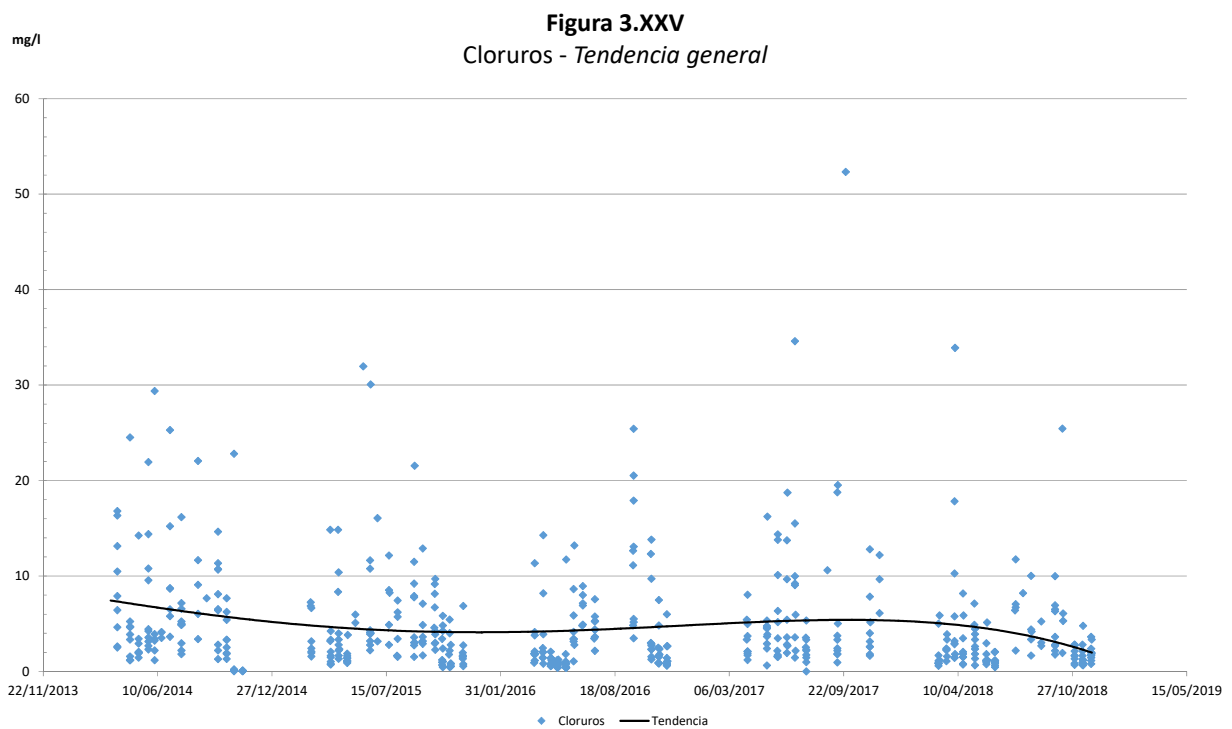
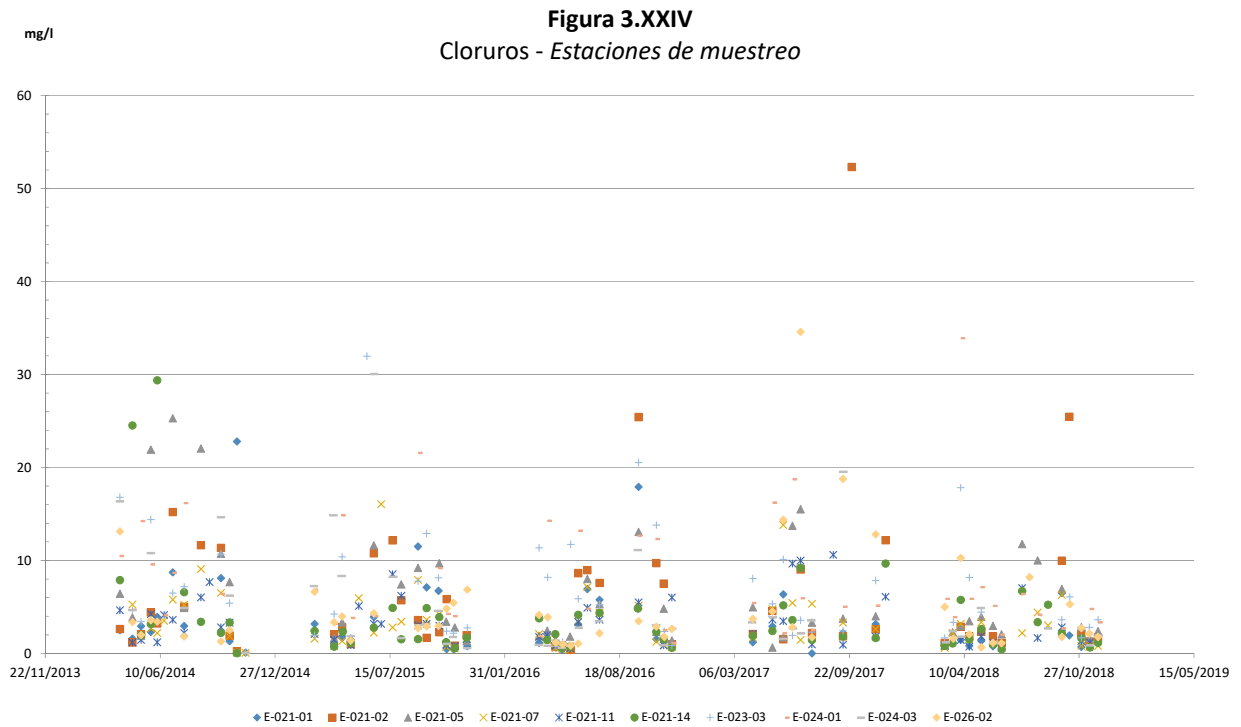


Figura 3.XXIII
Concentración media de cloruros por estación de deposición
(2018)

Cloruros

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





3.3.5. NITRATOS

La concentración media de nitratos en el presente año se situó en los 5,99 mg/l, registrándose extremos de la serie de 0,05 mg/l en Rascafría en la segunda quincena de marzo (viaje nº3), y 43,14 mg/l en El Escorial en la segunda quincena de septiembre (viaje nº14). En casi el 22% 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 Alcalá de Henares, mientras que las menores se dieron en el arco montañoso de la Comunidad (véase Figura 3.XXVIII), principalmente en Rascafría, Canencia de la Sierra, Braojos y Montejo de la Sierra.

En la evolución temporal de las concentraciones en 2018 destacó la presencia del máximo obtenido en la

primera quincena de octubre, (muestreo o viaje nº6) con 29,59 mg/l.

Todas las muestras analizadas cumplían con 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 a partir de entonces. Sin una tendencia general definida, sí podría decirse que en este último año las concentraciones de nitratos fueron notablemente inferiores al resto, apreciándose en todo caso cierto aumento de las concentraciones en el tramo central o final del año, generalmente a partir del mes de agosto y septiembre.

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

ESTACIÓN	2018		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	5,72	43,14	0,21
021-02 Cercedilla	5,65	42,40	0,14
021-05 Rascafría	1,32	6,02	0,05
021-07 Canencia de la Sierra	2,38	10,86	0,06
021-11 Braojos	4,97	28,48	0,06
021-14 Montejo de la Sierra	4,10	15,88	0,06
023-03 Navas del Rey	8,52	29,61	0,96
024-01 Alcalá de Henares	12,31	32,80	1,03
024-03 Fuentidueña del Tajo	8,76	28,37	0,36
026-02 Robledo de Chavela	5,98	42,59	0,27

Figura 3.XXVI

Concentración media de nitratos por estación (2018)

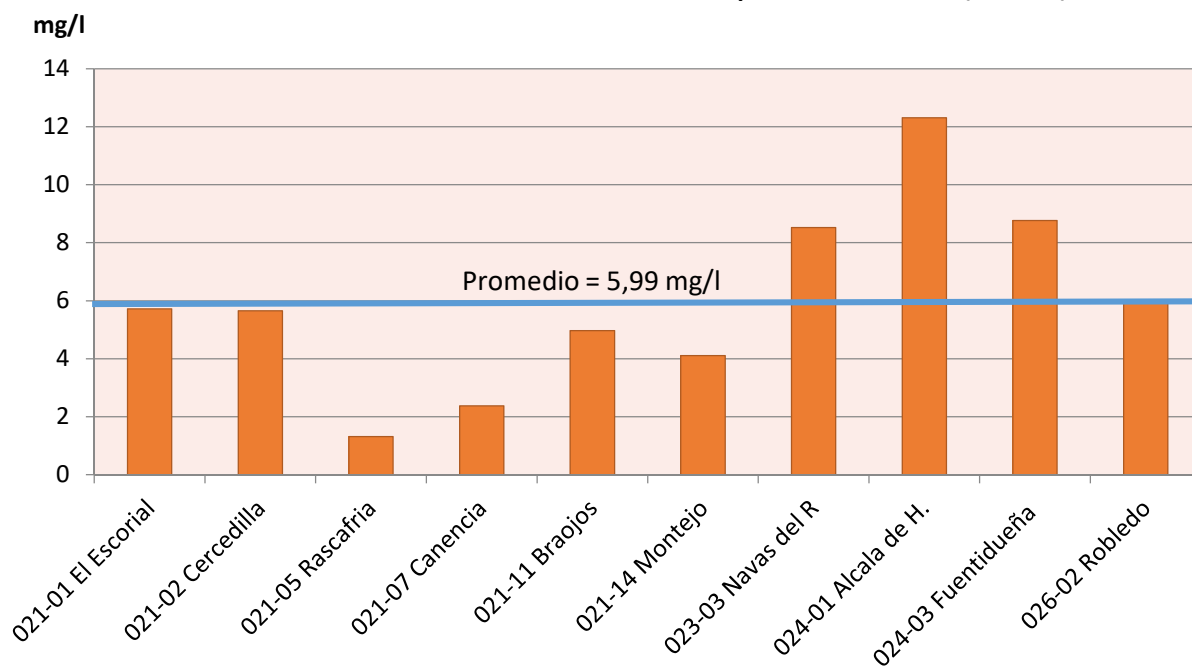


Figura 3.XIX

Concentración de nitratos por muestreo (2017)

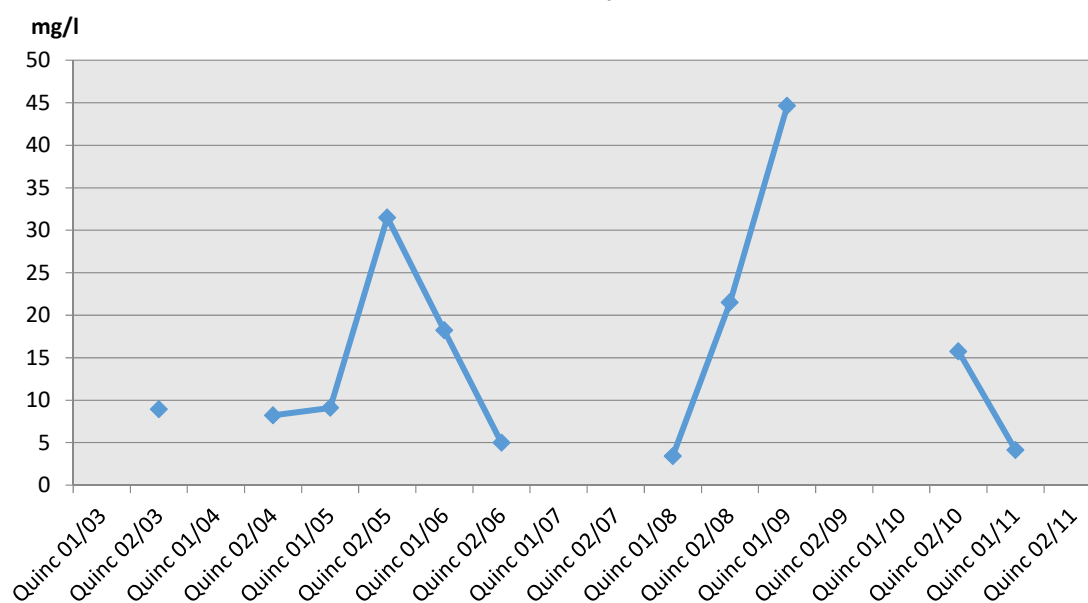


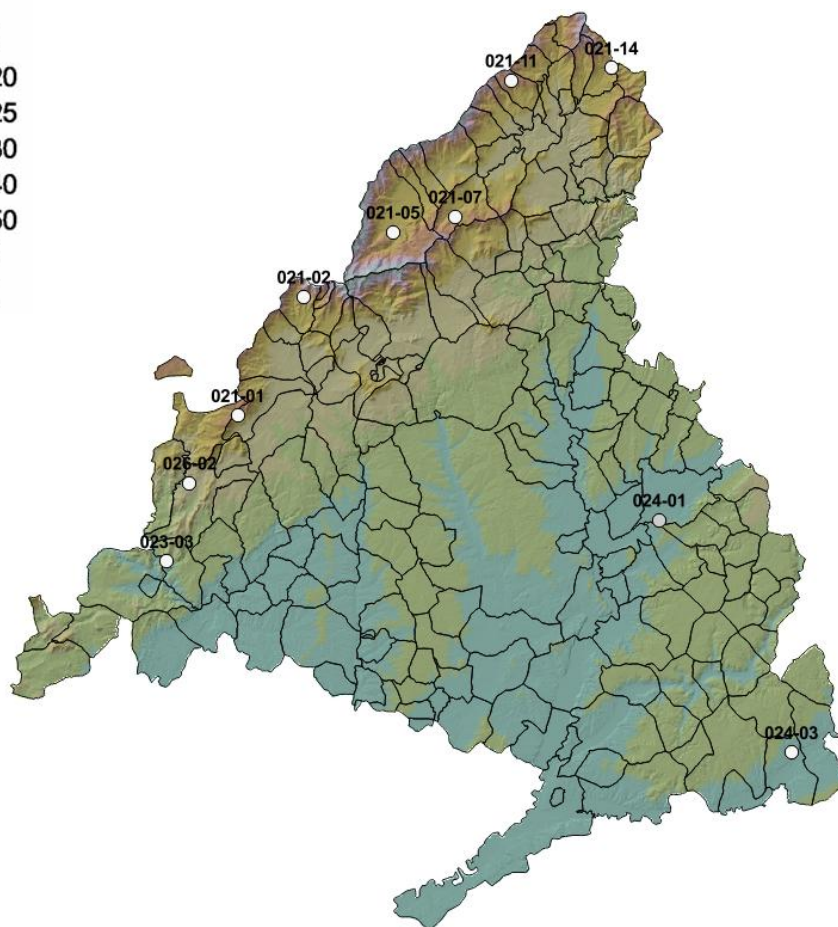


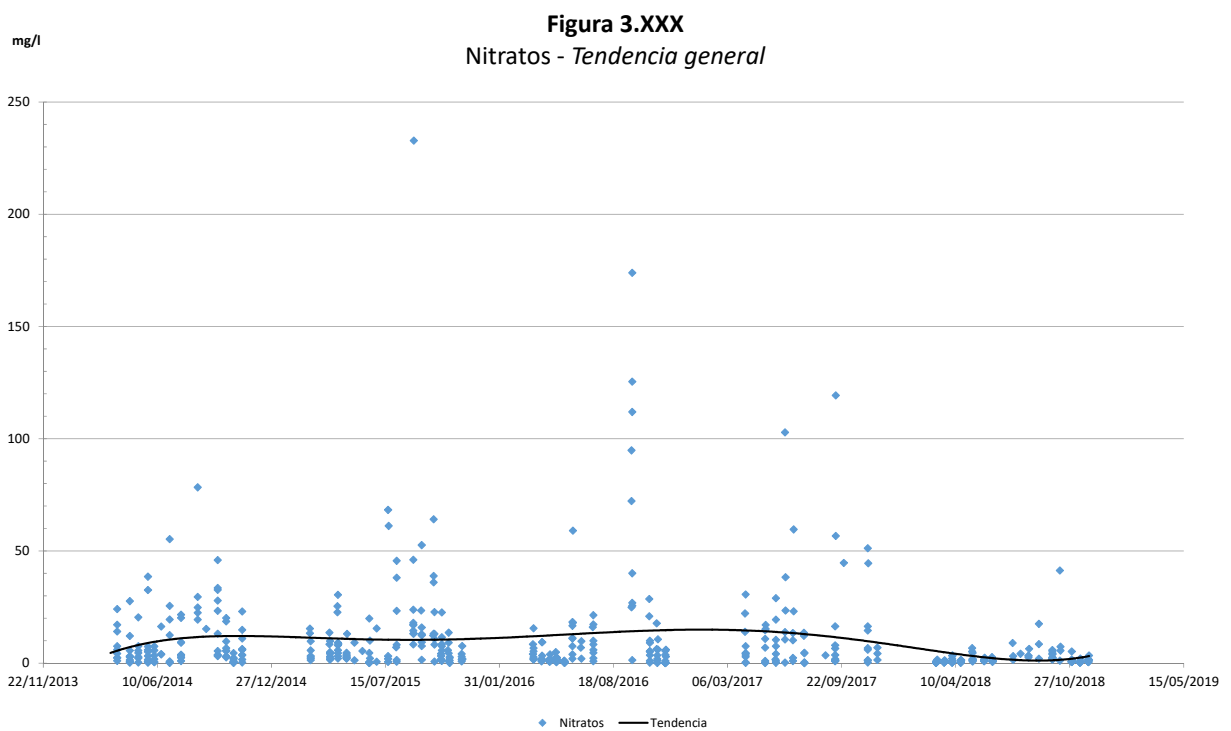
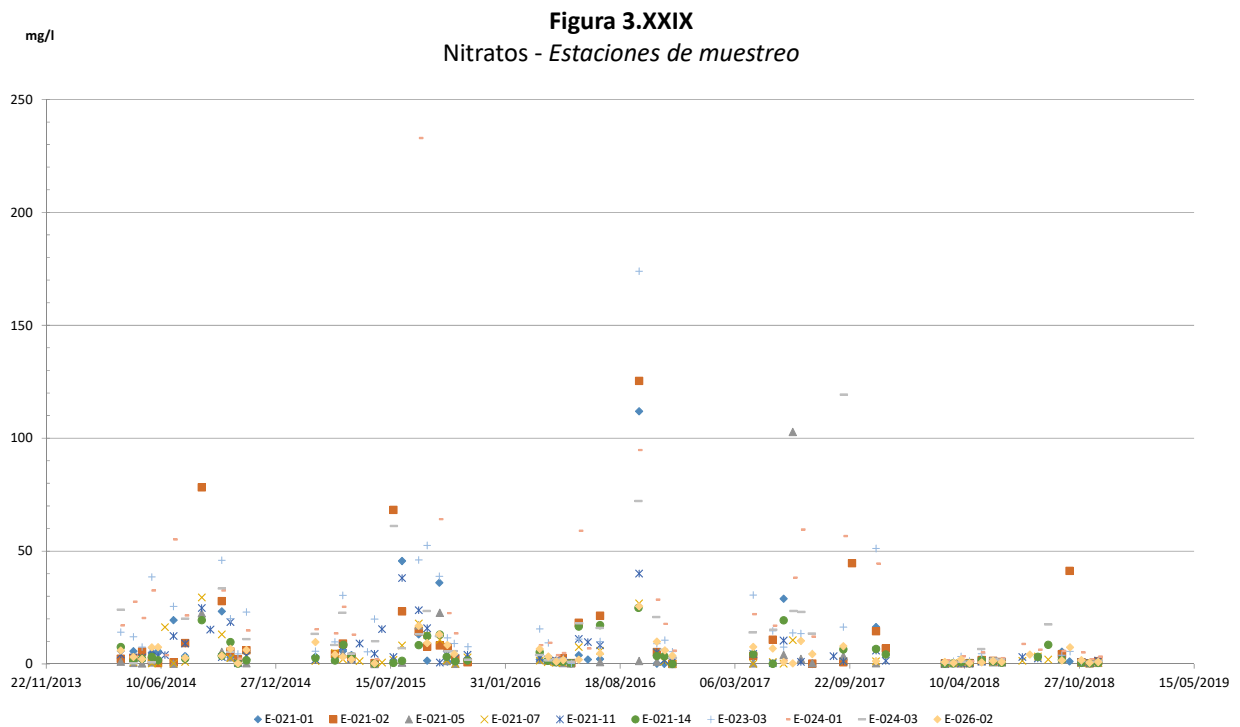
Figura 3.XXVIII

Concentración media de nitratos por estación de deposición
(2018)

Nitratos

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







3.3.6. SULFATOS

La concentración media de sulfatos en la serie analizada es de 2,09 mg/l, oscilando entre un valor mínimo de 0,11 mg/l en Rascafría en la primera quincena de marzo (viaje nº2) y un máximo de 41,20 mg/l en Cercedilla en la primera quincena de octubre (viaje nº15). La presencia de valores traza de sulfatos fue elevada, siendo 35 las muestras (casi el 30% del total) con concentraciones inferiores a los 0,5 mg/l. Según estaciones de muestreo (véase Figura 3.XXXI) destacaron con registros notablemente superiores a la media las estaciones de Cercedilla, Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo. Por el contrario, con el promedio de concentración más reducido de 0,66 mg/l destacó Rascafría, si bien las concentraciones medias de estaciones como las de El Escorial, Canencia de la Sierra, Braojos, Montejo de la

Sierra y Robledo de Chavela fueron también reducidas, siempre inferiores a los 2 mg/l.

El comportamiento de la variable a lo largo de 2018 (véase Figura 3.XXXII) seguía una pauta muy parecida a la seguida por los nitratos, con la presencia de un máximo muy destacado en la primera quincena de octubre (muestreo o viaje nº15) con 13,77 mg/l.

En todo caso, todas las muestras analizadas cumplieron con el estándar RTSAP-2003.

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 a partir de entonces. No pudiendo apreciarse una evolución clara a lo largo de todos estos años, los valores registrados en este último año fueron relativamente bajos.

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

ESTACIÓN	2018		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	1,08	5,41	0,16
021-02 Cercedilla	4,80	41,20	0,22
021-05 Rascafría	0,66	2,11	0,11
021-07 Canencia de la Sierra	1,04	3,24	0,13
021-11 Braojos	1,18	3,09	0,15
021-14 Montejo de la Sierra	1,51	8,45	0,14
023-03 Navas del Rey	2,14	5,56	0,31
024-01 Alcalá de Henares	3,71	8,89	0,90
024-03 Fuentidueña del Tajo	3,63	17,50	0,41
026-02 Robledo de Chavela	1,73	7,28	0,39



Figura 3.XXXI

Concentración media de sulfatos por estación (2018)

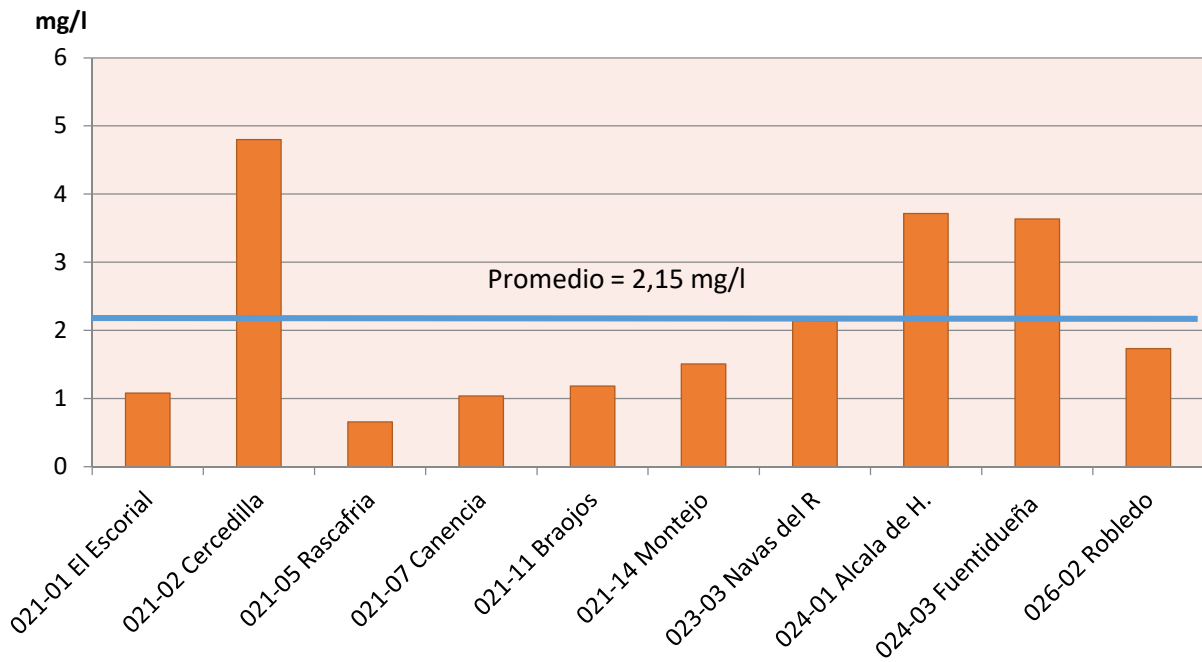


Figura 3.XXXII

Concentración de sulfatos por muestreo (2018)

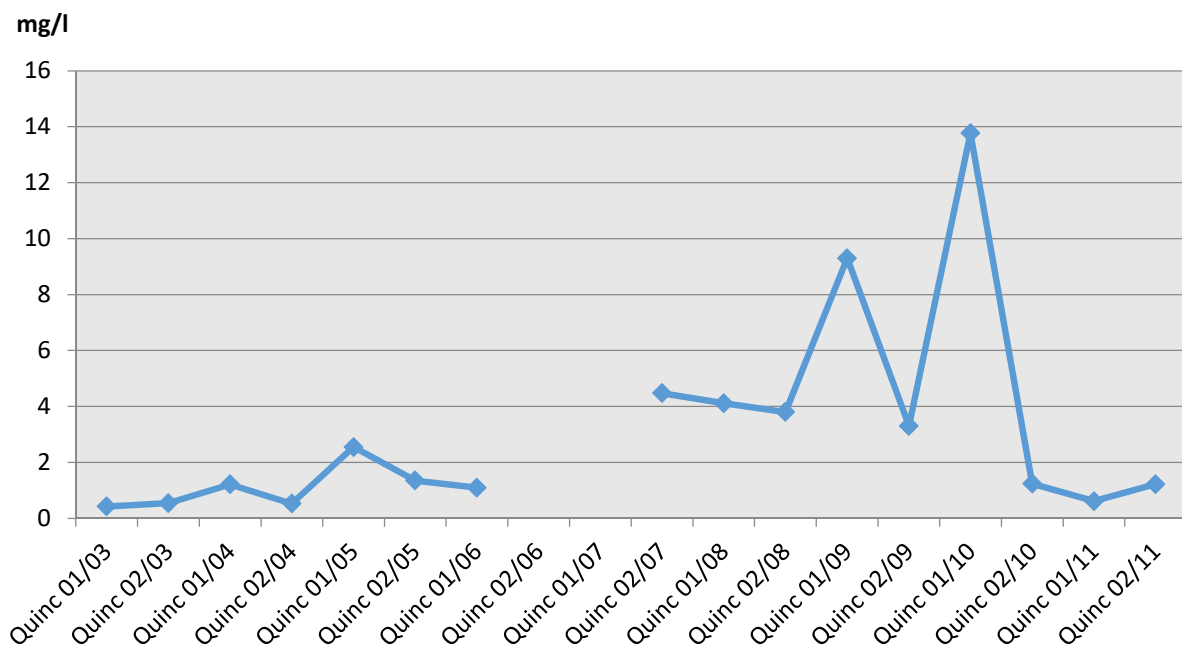
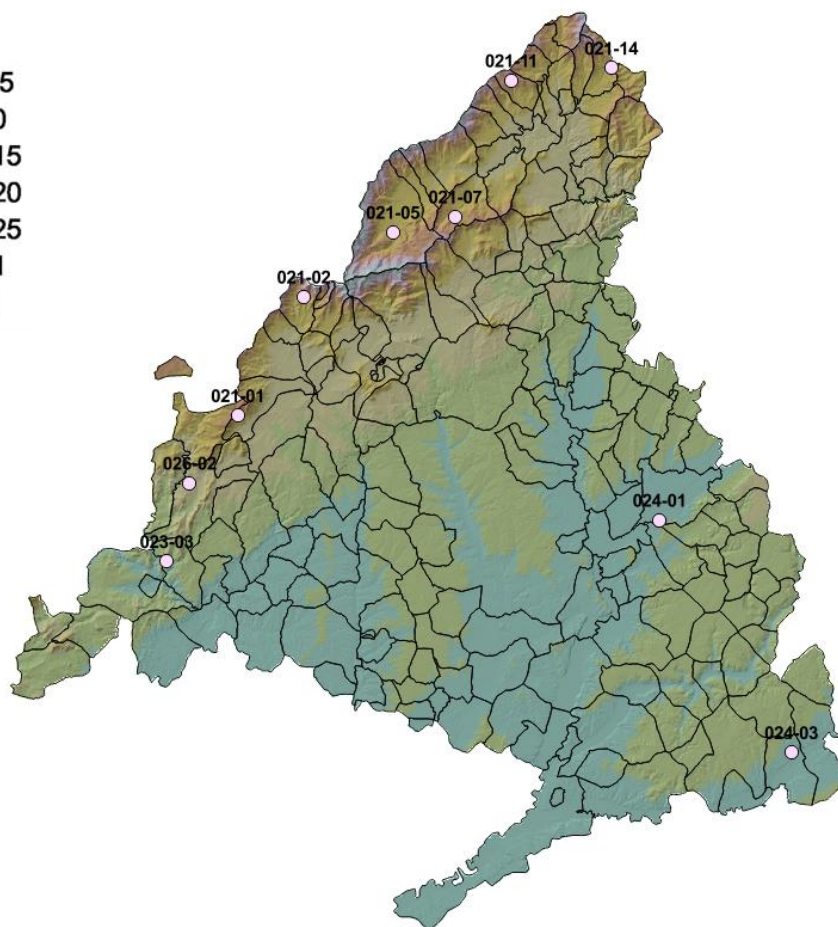


Figura 3.XXXIII
Concentración media de sulfatos por estación de deposición
(2018)

Sulfatos

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



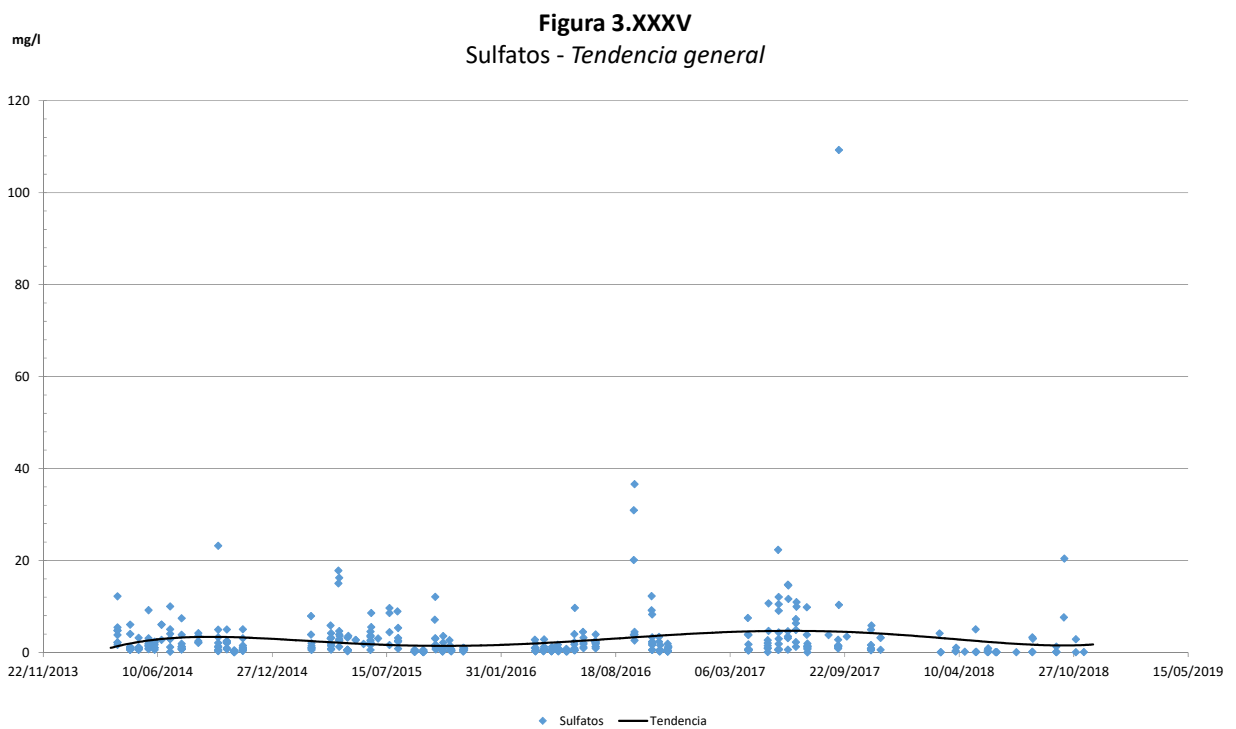
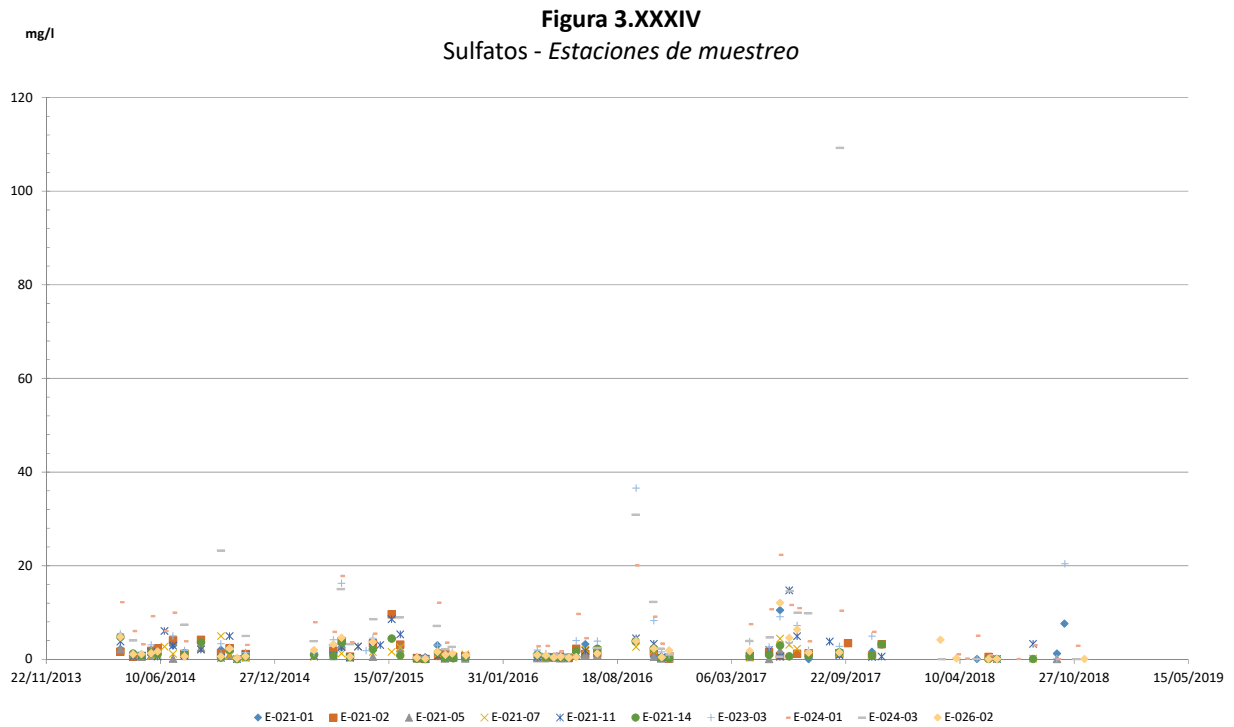




Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2018 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(μ S/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
1	E-021-01	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-02	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-05	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-07	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-11	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-021-14	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-023-03	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-024-01	22/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-024-03	22/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
	E-026-02	21/02/2018		INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO			
2	E-021-01	07/03/2018	5,01	35	0,90	1,21	0,16
	E-021-02	07/03/2018	5,07	54	1,11	1,11	0,22
	E-021-05	07/03/2018	4,85	13	0,83	0,15	0,11
	E-021-07	07/03/2018	5,14	9	0,58	0,20	0,13
	E-021-11	07/03/2018	5,16	21	0,83	0,76	0,15
	E-021-14	07/03/2018	5,00	31	0,82	0,98	0,14
	E-023-03	07/03/2018	4,90	43	1,67	3,24	0,31
	E-024-01	09/03/2018	5,56	155	5,86	4,43	1,56
	E-024-03	09/03/2018	5,17	47	1,18	1,38	0,57
	E-026-02	07/03/2018	4,62	88	4,99	0,48	0,86
3	E-021-01	22/03/2018	-	-	-	-	-
	E-021-02	22/03/2018	-	-	-	-	-
	E-021-05	21/03/2018	5,40	48	2,28	0,05	0,27
	E-021-07	21/03/2018	5,66	45	2,22	0,63	0,31
	E-021-11	21/03/2018	-	-	-	-	-
	E-021-14	21/03/2018	5,82	60	1,07	-	0,24
	E-023-03	22/03/2018	5,61	55	3,33	-	1,18
	E-024-01	22/03/2018	5,44	57	3,89	1,87	0,90
	E-024-03	21/03/2018	5,79	65	2,39	0,36	0,41
	E-026-02	22/03/2018	5,54	87	1,56	0,35	0,46
4	E-021-01	04/04/2018	5,10	31	1,46	0,72	0,23
	E-021-02	04/04/2018	4,95	27	2,85	1,39	0,34
	E-021-05	04/04/2018	5,06	12	2,93	0,98	0,38
	E-021-07	04/04/2018	5,28	54	3,19	0,65	0,47
	E-021-11	04/04/2018	5,75	47	1,42	0,46	0,20
	E-021-14	04/04/2018	5,07	28	5,76	3,11	0,75
	E-023-03	04/04/2018	4,91	82	17,81	7,71	3,24
	E-024-01	05/04/2018	5,23	265	33,89	17,01	3,37



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2018 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(μ S/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	E-024-03	05/04/2018	4,97	16	1,80	3,45	1,08
	E-026-02	04/04/2018	5,35	67	10,25	4,18	2,04
5	E-021-01	19/04/2018	6,41	17	0,79	0,55	0,19
	E-021-02	19/04/2018	6,00	30	1,81	1,48	0,42
	E-021-05	19/04/2018	6,26	43	3,46	0,83	0,30
	E-021-07	19/04/2018	6,06	29	1,51	0,59	0,29
	E-021-11	19/04/2018	6,17	13	0,71	0,88	0,24
	E-021-14	19/04/2018	6,52	58	1,51	1,22	0,28
	E-023-03	19/04/2018	6,16	94	8,16	6,42	1,32
	E-024-01	20/04/2018	5,94	184	5,86	4,82	1,26
	E-024-03	20/04/2018	-	-	-	-	-
	E-026-02	19/04/2018	6,36	38	2,04	1,31	0,39
	6	E-021-01	10/05/2018	6,54	48	1,34	6,27
E-021-02		10/05/2018	6,41	78	2,34	5,47	1,70
E-021-05		10/05/2018	6,93	58	3,91	2,39	1,14
E-021-07		10/05/2018	6,44	74	3,34	3,27	1,39
E-021-11		10/05/2018	6,51	69	1,83	4,24	1,08
E-021-14		10/05/2018	6,79	56	2,61	6,95	1,76
E-023-03		10/05/2018	6,76	102	4,43	18,89	4,49
E-024-01		09/05/2018	6,21	190	7,11	1,03	5,12
E-024-03		09/05/2018	6,49	140	4,88	19,87	6,65
E-026-02		10/05/2018	7,18	25	0,64	1,30	0,69
7	E-021-01	30/05/2018	6,25	21	0,76	4,00	0,98
	E-021-02	30/05/2018	6,25	36	1,81	6,53	1,43
	E-021-05	30/05/2018	6,28	43	2,94	1,94	0,81
	E-021-07	30/05/2018	6,65	33	1,16	1,98	0,92
	E-021-11	30/05/2018	6,74	52	1,18	7,94	1,22
	E-021-14	30/05/2018	6,38	23	0,97	4,23	1,12
	E-023-03	30/05/2018	6,36	25	1,02	4,33	1,28
	E-024-01	31/05/2018	7,00	68	5,11	7,41	2,08
	E-024-03	31/05/2018	6,12	56	1,20	8,79	2,36
	E-026-02	30/05/2018	6,41	28	1,13	3,69	1,28
8	E-021-01	14/06/2018	6,34	12	0,83	1,80	0,74
	E-021-02	14/06/2018	6,21	26	1,11	2,92	0,87
	E-021-05	14/06/2018	6,45	61	2,03	-	0,85
	E-021-07	14/06/2018	6,33	32	0,93	-	0,75
	E-021-11	14/06/2018	6,20	16	0,62	2,11	0,68
	E-021-14	14/06/2018	6,31	6	0,44	0,12	0,57



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2018 en las estaciones de deposición.

Viaje	Estación	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				(μ S/cm)	(mg/l)	(mg/l)	(mg/l)
	E-023-03	14/06/2018	6,34	14	1,16	0,96	1,05
	E-024-01	13/06/2018	6,45	70	2,02	16,97	2,60
	E-024-03	13/06/2018	6,13	32	1,09	4,96	1,94
	E-026-02	14/06/2018	6,65	18	1,07	2,60	0,83
9	E-021-01	27/06/2018	-	-	-	-	-
	E-021-02	26/06/2018	-	-	-	-	-
	E-021-05	26/06/2018	-	-	-	-	-
	E-021-07	26/06/2018	-	-	-	-	-
	E-021-11	26/06/2018	-	-	-	-	-
	E-021-14	26/06/2018	-	-	-	-	-
	E-023-03	27/06/2018	-	-	-	-	-
	E-024-01	27/06/2018	-	-	-	-	-
	E-024-03	27/06/2018	-	-	-	-	-
10	E-026-02	27/06/2018	-	-	-	-	-
	E-021-01	20/07/2018	-	-	-	-	-
	E-021-02	20/07/2018	-	-	-	-	-
	E-021-05	20/07/2018	7,02	337	11,74	0,36	-
	E-021-07	20/07/2018	6,48	75	2,18	0,06	1,43
	E-021-11	20/07/2018	7,26	167	7,03	0,06	3,09
	E-021-14	20/07/2018	6,64	145	6,70	0,06	-
	E-023-03	20/07/2018	-	-	-	-	-
	E-024-01	19/07/2018	6,94	119	6,39	32,80	8,89
11	E-024-03	19/07/2018	-	-	-	-	-
	E-026-02	20/07/2018	-	-	-	-	-
	E-021-01	02/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-02	02/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-05	02/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-07	02/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-11	02/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-14	02/08/2018	-	-	-	-	-
	E-023-03	02/08/2018	-	-	-	-	-
12	E-024-01	03/08/2018	-	-	-	-	-
	E-024-03	03/08/2018	-	-	-	-	-
	E-026-02	02/08/2018	6,67	82	8,19	0,27	4,11
	E-021-01	16/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-02	16/08/2018	-	-	-	-	-
	E-021-05	16/08/2018	6,65	369	10,00	0,07	-
	E-021-07	16/08/2018	6,27	156	4,38	10,86	3,24



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2018 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	16/08/2018	6,40	76	1,65	6,96	2,47
	E-021-14	16/08/2018	6,17	109	3,36	15,88	3,17
	E-023-03	16/08/2018	-	-	-	-	-
	E-024-01	17/08/2018	6,64	177	4,16	24,38	6,30
	E-024-03	17/08/2018	-	-	-	-	-
	E-026-02	16/08/2018	-	-	-	-	-
13	E-021-01	03/09/2018	-	-	-	-	-
	E-021-02	03/09/2018	-	-	-	-	-
	E-021-05	03/09/2018	-	-	-	-	-
	E-021-07	03/09/2018	6,20	77	3,01	7,17	1,94
	E-021-11	03/09/2018	-	-	-	-	-
	E-021-14	03/09/2018	5,77	149	5,22	11,07	8,45
	E-023-03	03/09/2018	-	-	-	-	-
	E-024-01	03/09/2018	-	-	-	-	-
	E-024-03	03/09/2018	6,50	157	2,67	28,37	17,50
	E-026-02	03/09/2018	-	-	-	-	-
14	E-021-01	27/09/2018	6,86	181	6,50	43,14	5,41
	E-021-02	27/09/2018	7,65	224	9,96	0,27	4,39
	E-021-05	27/09/2018	7,26	153	6,93	6,02	2,11
	E-021-07	27/09/2018	7,26	118	6,30	4,01	2,44
	E-021-11	27/09/2018	6,95	116	2,80	28,48	2,37
	E-021-14	27/09/2018	7,24	57	2,16	7,89	1,85
	E-023-03	27/09/2018	8,40	106	3,61	10,16	3,86
	E-024-01	27/09/2018	7,45	110	2,66	22,80	5,73
	E-024-03	27/09/2018	-	-	-	-	-
E-026-02	27/09/2018	7,41	51	1,76	10,03	1,56	
15	E-021-01	10/10/2018	5,95	67	1,93	3,76	1,06
	E-021-02	10/10/2018	4,89	391	25,43	42,40	41,20
	E-021-05	08/10/2018	-	-	-	-	-
	E-021-07	08/10/2018	-	-	-	-	-
	E-021-11	09/10/2018	-	-	-	-	-
	E-021-14	09/10/2018	-	-	-	-	-
	E-023-03	11/10/2018	5,94	203	6,07	29,61	5,56
	E-024-01	09/10/2018	-	-	-	-	-
	E-024-03	09/10/2018	-	-	-	-	-
	E-026-02	11/10/2018	5,90	163	5,28	42,59	7,28
16	E-021-01	31/10/2018	5,78	9	0,68	0,41	0,40
	E-021-02	31/10/2018	5,65	20	2,12	0,14	0,66



Tabla 3.VIII Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2018 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	31/10/2018	5,93	45	2,82	0,36	0,51
	E-021-07	31/10/2018	5,64	18	0,82	1,16	0,49
	E-021-11	31/10/2018	5,63	26	1,32	4,73	0,76
	E-021-14	31/10/2018	5,88	20	1,62	1,39	0,52
	E-023-03	31/10/2018	5,89	30	1,67	6,49	1,02
	E-024-01	31/10/2018	5,64	86	2,73	12,24	5,13
	E-024-03	31/10/2018	5,65	80	2,73	16,23	-
	E-026-02	31/10/2018	6,10	75	2,71	-	1,59
17	E-021-01	14/11/2018	6,26	9	0,93	0,21	0,38
	E-021-02	14/11/2018	6,13	12	1,27	0,14	0,30
	E-021-05	14/11/2018	6,37	28	1,64	-	0,28
	E-021-07	14/11/2018	6,28	9	0,67	0,18	0,26
	E-021-11	15/11/2018	6,60	11	1,18	1,09	0,41
	E-021-14	15/11/2018	6,37	9	0,64	0,24	0,27
	E-023-03	14/11/2018	6,35	20	2,80	2,32	0,72
	E-024-01	15/11/2018	6,31	158	4,77	7,80	2,03
	E-024-03	15/11/2018	6,28	15	0,84	1,83	0,86
E-026-02	14/11/2018	6,40	51	2,11	2,39	0,58	
18	E-021-01	29/11/2018	7,35	17	1,98	0,84	0,92
	E-021-02	29/11/2018	6,08	15	1,66	0,34	1,26
	E-021-05	29/11/2018	6,60	22	2,38	-	0,47
	E-021-07	29/11/2018	6,09	10	0,79	0,18	0,47
	E-021-11	29/11/2018	6,04	13	1,44	1,87	1,49
	E-021-14	29/11/2018	6,16	10	1,14	0,22	0,45
	E-023-03	29/11/2018	6,24	32	3,61	3,58	1,63
	E-024-01	30/11/2018	5,98	46	3,34	6,43	3,30
	E-024-03	30/11/2018	6,43	18	1,91	2,38	1,34
E-026-02	29/11/2018	6,15	17	1,76	2,53	0,82	



Figura 3.XXXVI
pH Throughfall - 2018

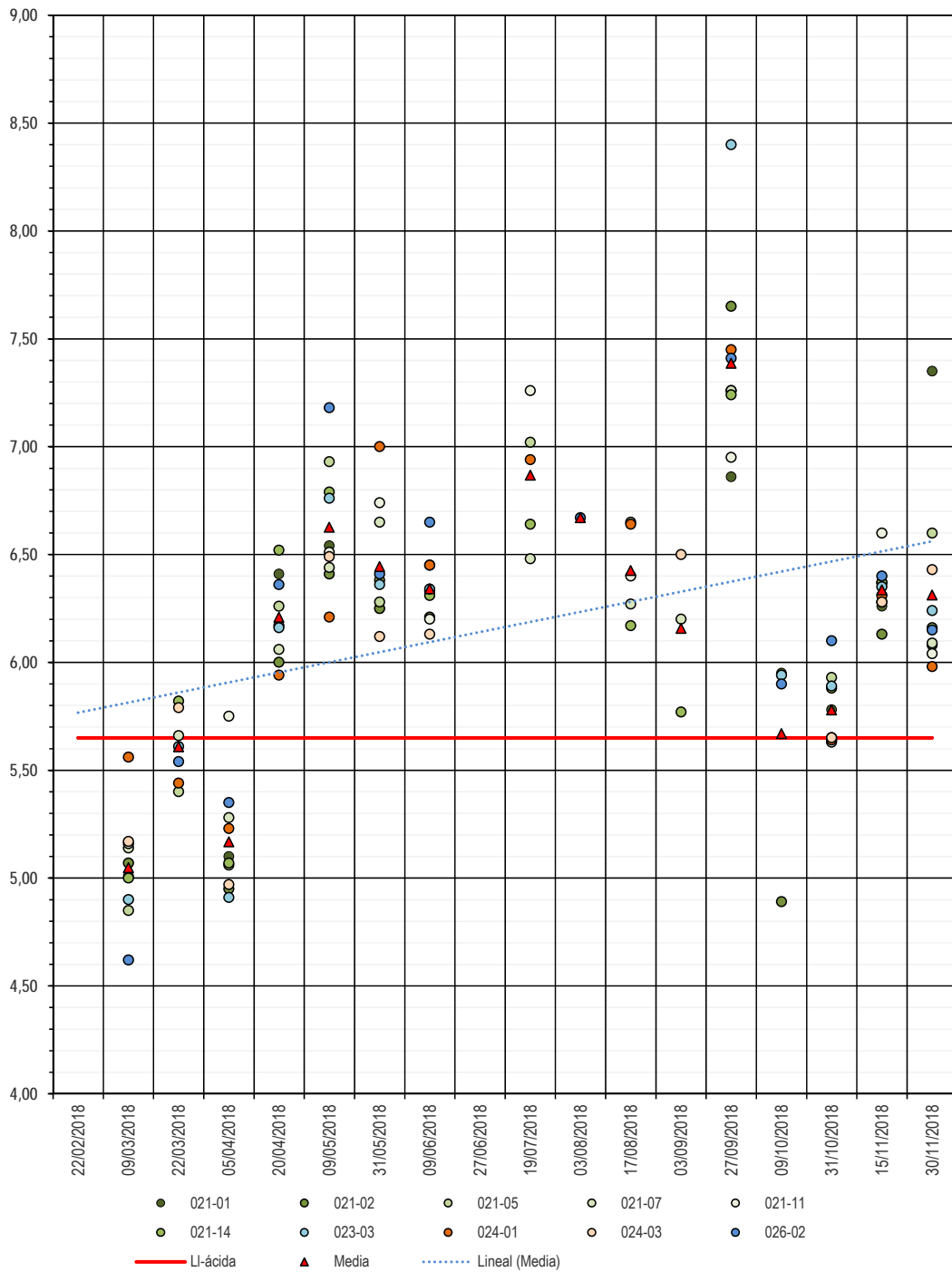




Figura 3.XXXVII
Conductividad (uS/cm) Throughfall - 2018

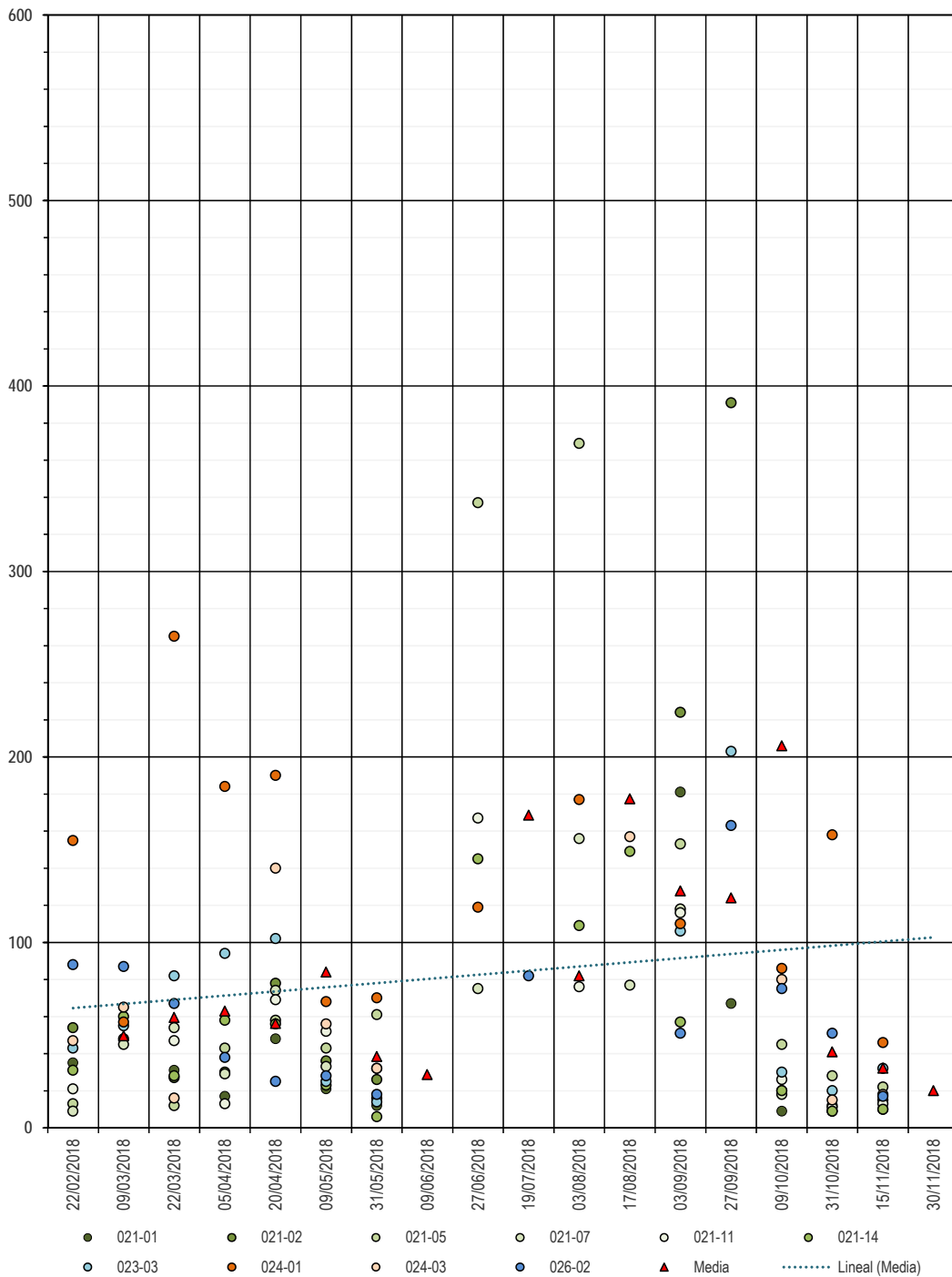




Figura 3.XXXVIII
Cloruros (mg/l) Throughfall - 2018

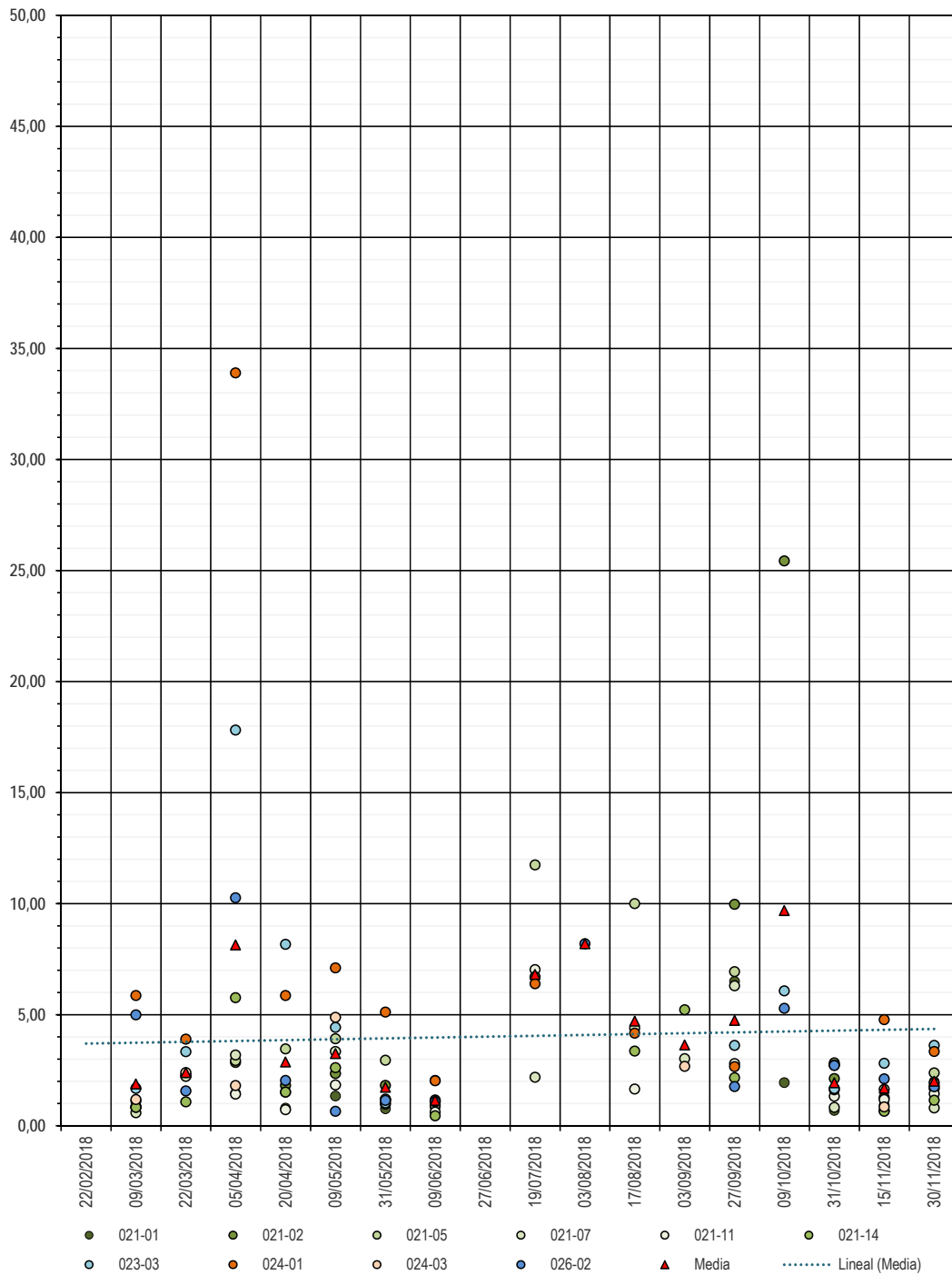




Figura 3.XXXIX
Nitratos (mg/l) Throughfall - 2018

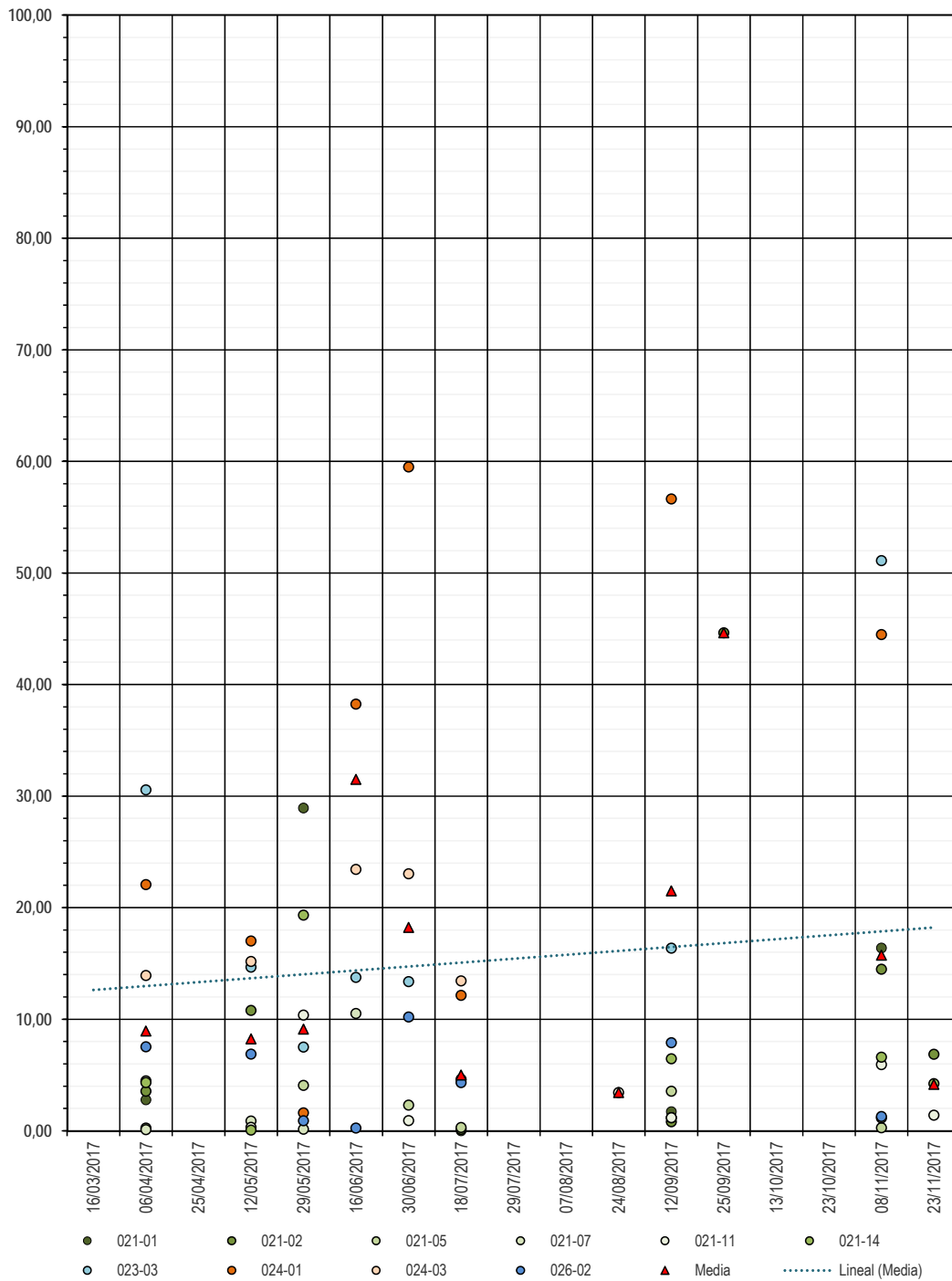
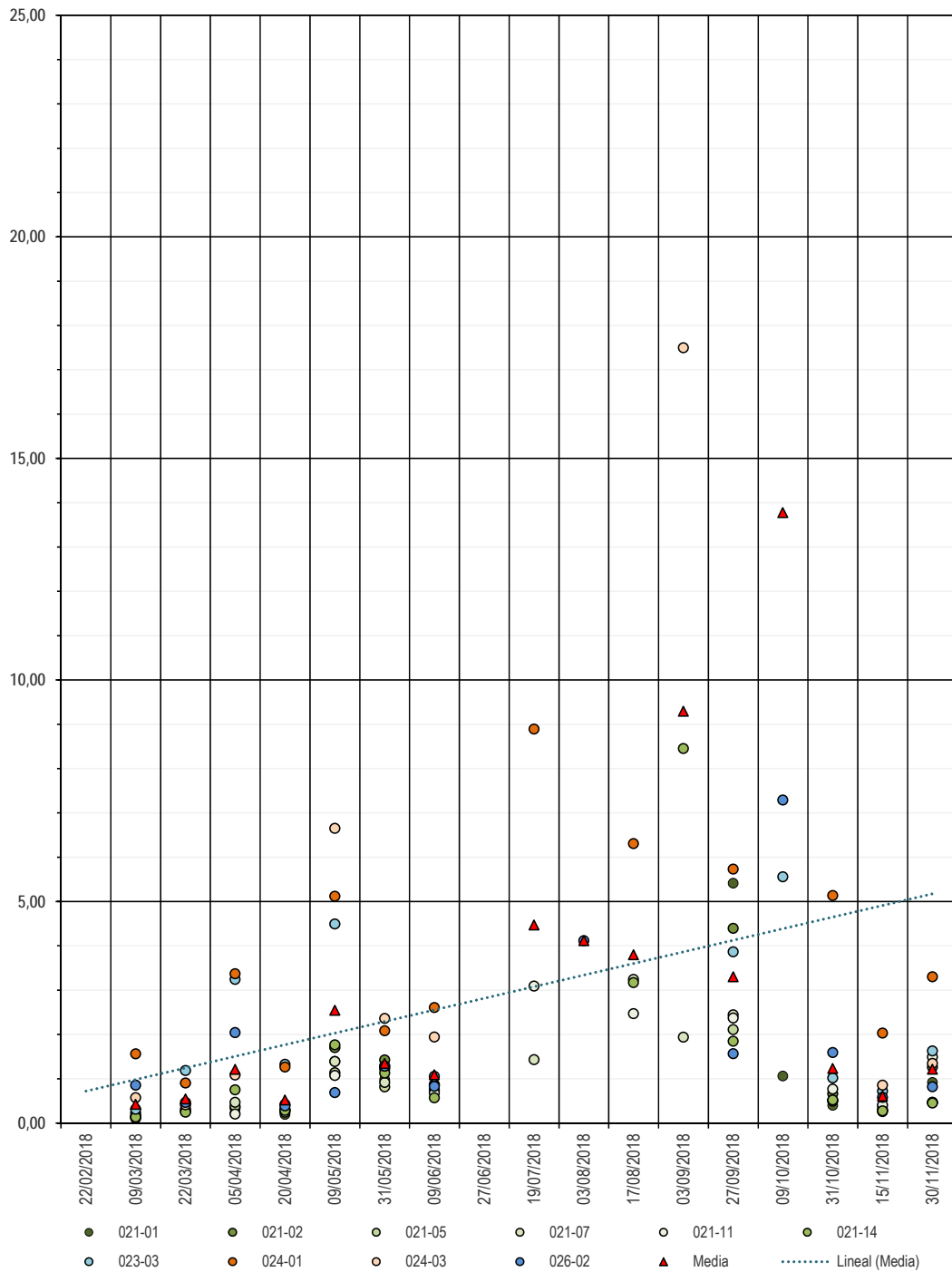




Figura 3.XL
Sulfatos (mg/l) Throughfall - 2018





4. DAÑOS POR OZONO

4.1. INTRODUCCIÓN

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

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

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

4.2. EL OZONO TROPOSFÉRICO

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

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



1995). Existe una gran cantidad de compuestos orgánicos volátiles en las atmósferas contaminadas cada uno de los cuales presenta distintas tasas de reactividad, por lo que resulta extremadamente complejo caracterizar estos procesos y desarrollar una estrategia de control de los niveles de ozono. Además, otro factor importante a tener en cuenta es la emisión natural de hidrocarburos por parte de la vegetación, que en ocasiones puede resultar comparable o incluso superior a las emisiones provocadas por las actividades humanas (Kotzias *et al.*, 1989; Finlayson-Pitts y Pitts, 1993). Algunos de estos compuestos son altamente reactivos por lo que pueden actuar eficazmente como precursores de formación de ozono.

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

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

4.3. EFECTOS DEL OZONO SOBRE LA VEGETACIÓN

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

- **Efectos agudos**, producidos por altas concentraciones de O₃ durante cortos períodos de tiempo, que generalmente se observan como síntomas visibles. En las especies de hoja ancha, estos síntomas se caracterizan por una pigmentación en forma de punteaduras de color marrón, rojizo o púrpura. Se trata de una respuesta fotosensible que afecta a las células más superficiales del parénquima en empalizada mientras que las nervaduras permanecen intactas. Cuando los daños se extienden se puede detectar una necrosis bifacial. En las coníferas, estos efectos se observan como un bandeado clorótico difuso y la aparición de puntas quemadas, observándose una defoliación que evoluciona desde la base de la copa hacia la parte superior (Guderian *et al.*, 1985; Manning y Krupa, 1992). La aparición de estos síntomas visibles se debe a cambios a nivel bioquímico y no siempre está relacionada con reducciones en el crecimiento o en la producción de biomasa (Schraudner *et al.*, 1997; Chappelka y Samuelson, 1998; Davison y Barnes, 1998), por lo que sería necesario desarrollar modelos más detallados para poder evaluar cuál es la relación entre los efectos a nivel celular y las respuestas a nivel de organismo.
- **Efectos crónicos**, provocados por concentraciones de O₃ pequeñas durante largos períodos de tiempo que ocasionalmente pueden presentar incrementos puntuales de ozono. En estos casos se registran alteraciones a nivel metabólico, a menudo sin que se observen síntomas visibles, que conducen a una senescencia prematura de las hojas y a cambios en el crecimiento y la productividad de las plantas. Este tipo de exposiciones pueden inducir otro tipo de respuestas más difíciles de apreciar como son una mayor sensibilidad frente a otros factores de estrés tanto bióticos como abióticos (Sandermann, 1996; Schraudner *et al.*, 1997; Pell *et al.*, 1997). Además, en las plantas perennes pueden aparecer efectos memoria que integran las exposiciones acumuladas durante varios períodos de crecimiento (Manning y Krupa, 1992).

La fitotoxicidad de un contaminante está determinada principalmente por tres procesos: su absorción, las reacciones químicas que induce en los lugares concretos donde actúa y la capacidad de la planta para activar los mecanismos de defensa (Mehlhorn, 1992). Estos mecanismos de defensa pueden actuar limitando la absorción del contaminante, evitando la formación de productos tóxicos o destruyendo los ya generados. La resistencia de las plantas a su vez depende de la especie considerada, de su estado de desarrollo y de la estrategia



que desarrolle frente a situaciones de estrés (Guderian *et al.*, 1985; 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.

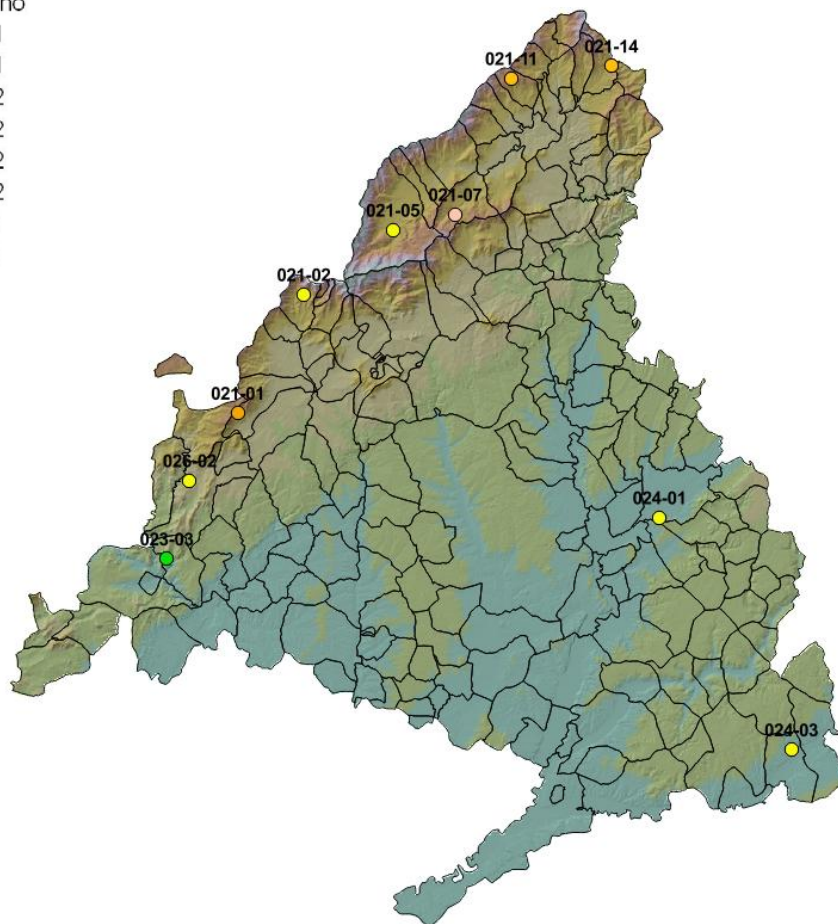
En las Figuras 4.IV y 4.V se muestra la evolución mostrada por el porcentaje de superficie foliar afectada por el ozono en todos estos años para cada estación y especie botánica. En ellas destaca el pino silvestre como la especie más afectada por el ozono, siendo el pino piñonero por el contrario la menos dañada. Tras el repunte registrado en 2017, en el presente año se habrían retomado los niveles de daño previos, con reducciones leves en la superficie foliar dañada por el ozono para las cuatro especies evaluadas (pino silvestre, pino carrasco, piñonero y negral).

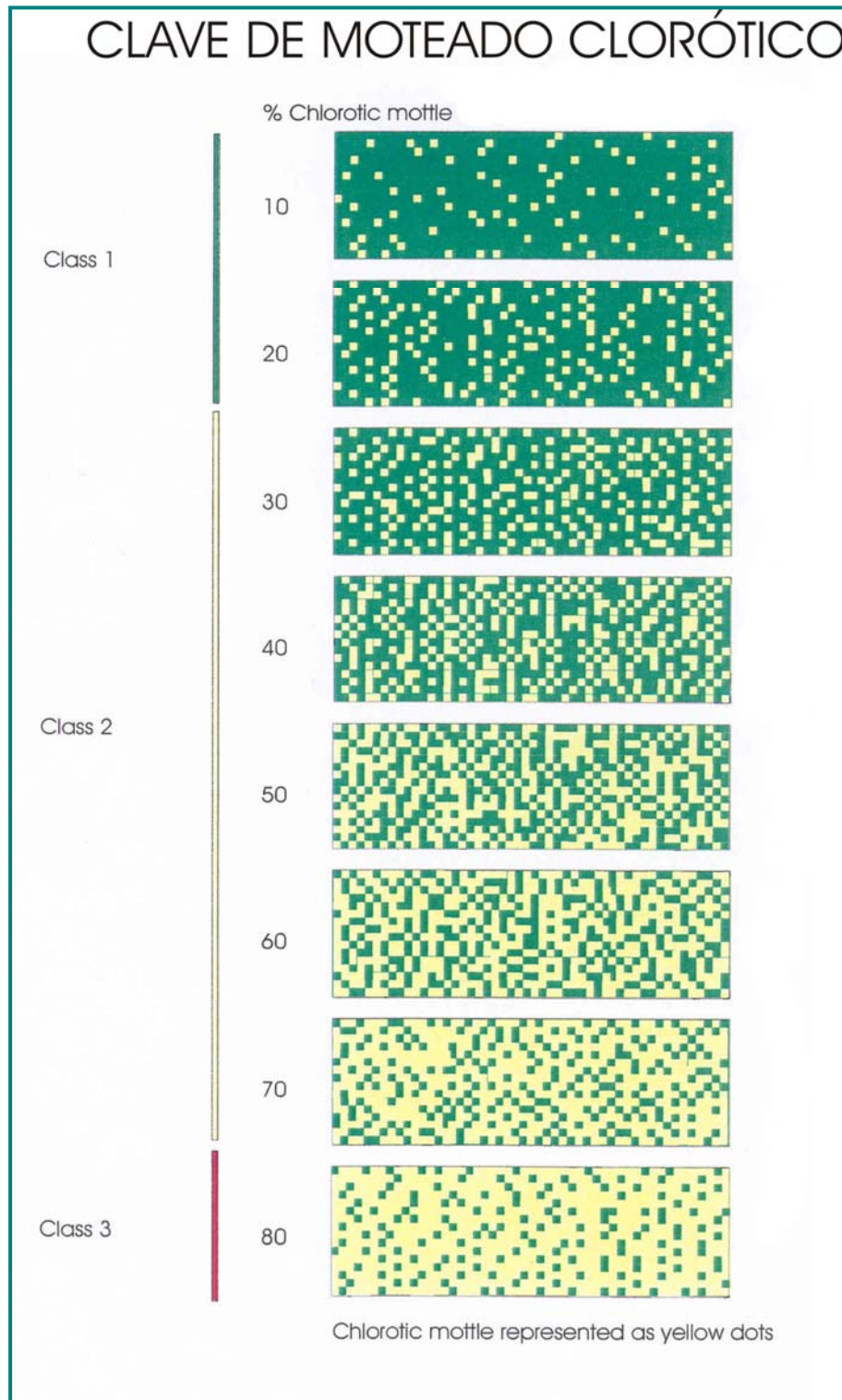


Figura 4.1
Punteaduras necróticas atribuidas a la acción del ozono
(2018)

Punteaduras Ozono

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





e moteado clorótico



Tabla 4.I Punteaduras necróticas asociadas al ozono en cada estación (2018)

ESTACIÓN	TERMINO MUNICIPAL	ESPECIE	% de superficie
021-01	San Lorenzo de El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	60
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	30
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	26
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	41
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	51
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	48
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	13
024-01	Alcala de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	26
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	30
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	22

Figura 4.III

Porcentaje de punteaduras necróticas en acículas (2018)

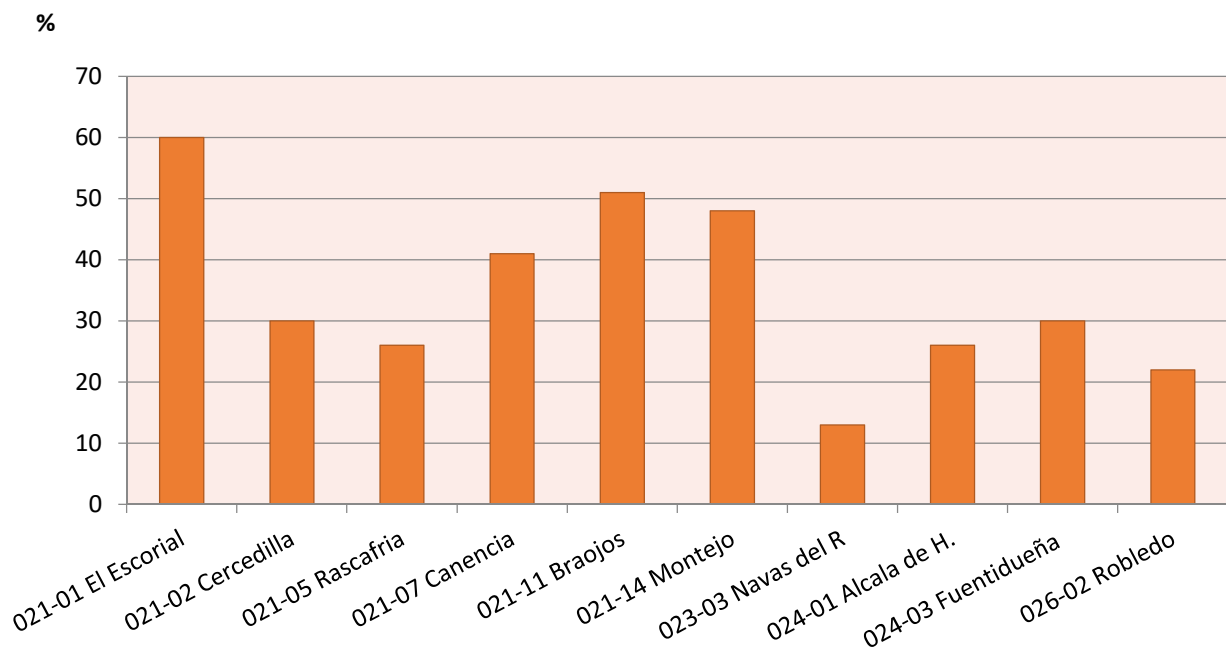




Figura 4.IV Porcentaje medio por estación y especie de superficie foliar afectada por O₃ (2014-2018)

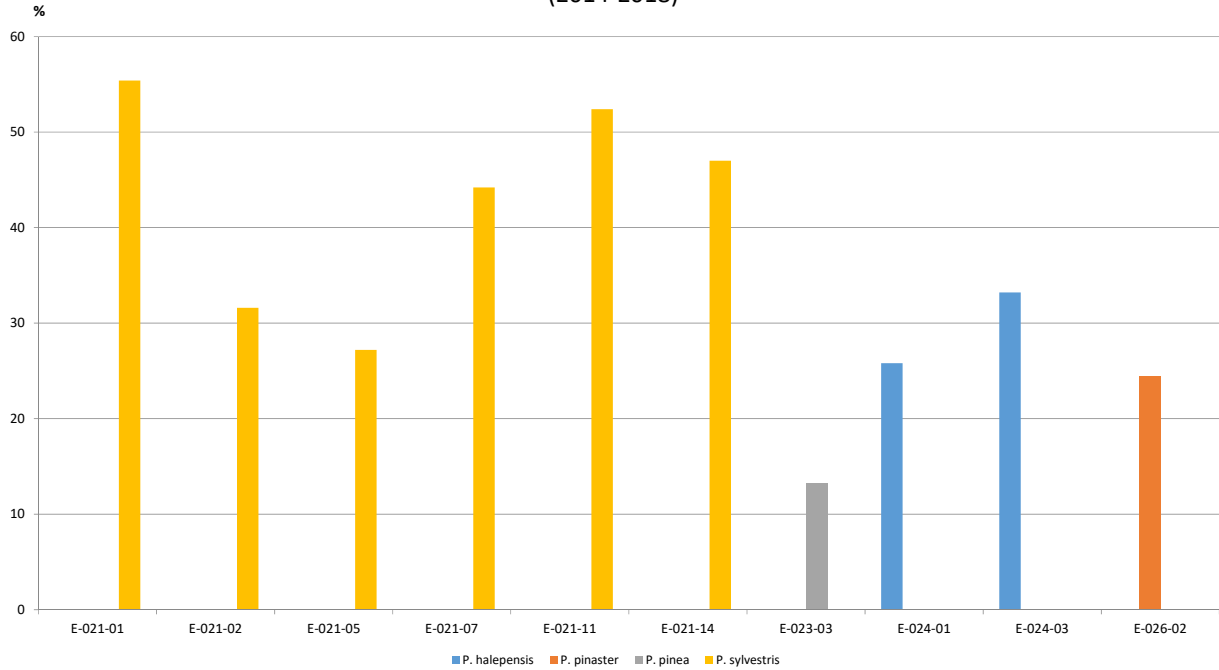
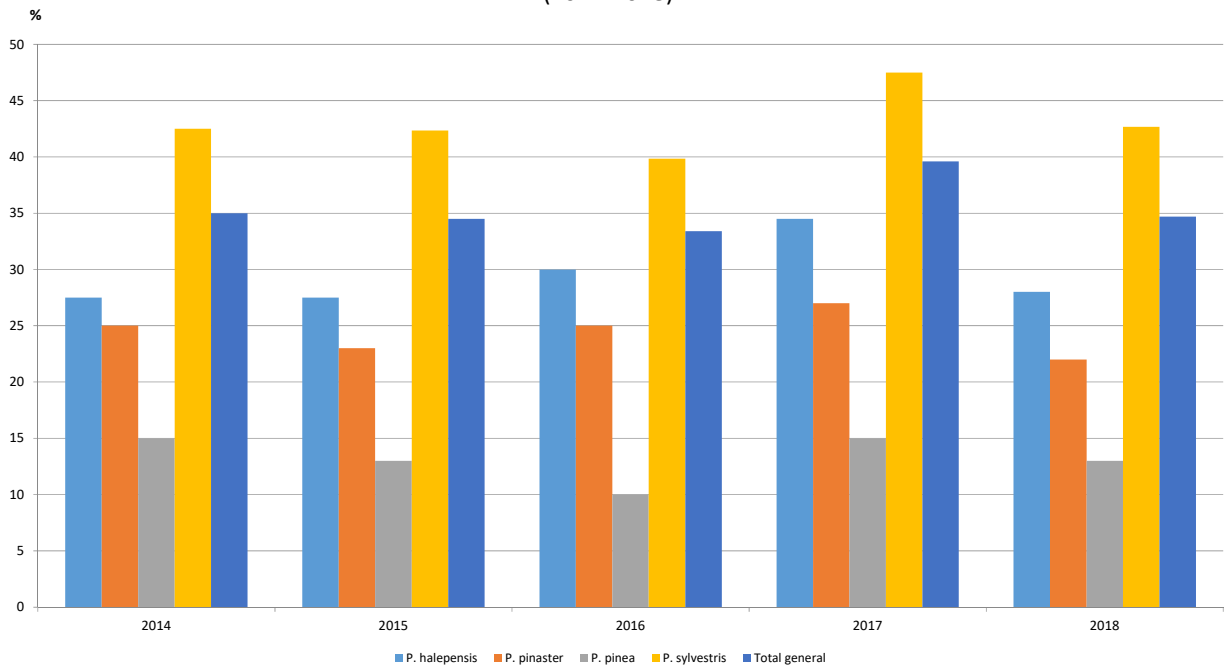


Figura 4.V Porcentaje medio por año y especie de superficie foliar afectada por O₃ (2014-2018)





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 primeros de marzo y principios de diciembre de 2018 oscilaron entre los 0,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en Braojos en la segunda quincena de octubre (viaje nº16) y los 135,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Navas del Rey en la segunda quincena de julio (viaje nº10), tal y como recoge la Tabla 5.I. La concentración media para la campaña de 2018 fueron 61,82 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En la Figura 5.I se recogen los valores medios, máximos y mínimos obtenidos en cada estación, entre las que destacaron las estaciones de El Escorial y Cercedilla con medias anuales superiores a los 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En el lado opuesto, con un registro medio anual inferior a los 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ destacó la estación de Montejo de la Sierra.

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 hasta 2017 la tendencia era en las concentraciones de ozono era aparentemente decreciente, evolución rota por las concentraciones de este último año, notablemente superiores a las de años previos. En 2018 volvía a apreciarse cierta estacionalidad en las concentraciones apenas reconocible en 2017. En líneas generales la evolución anual esperada y sí observada en 2014, 2015 y 2016, 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 2018 fueron notables los máximos alcanzados tanto en la primera quincena de marzo (viaje nº4) en la estación de Cercedilla

(102,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), así como los obtenidos meses más tarde en esta misma estación (viajes nº10 con 132,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y nº14 con 124,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) así como en las estaciones de El Escorial (viajes nº10 con 135,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y nº14 con 135,06 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) y Navas del Rey (viaje nº10 con 135,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

En años anteriores las pautas geográfico-temporales apreciadas en las concentraciones de ozono perfilaban mayores niveles de ozono en el mes de agosto así como en el arco norte de la sierra de Madrid, donde se advirtieron mayores tasas de ozono a mayores altitudes, lo que indicaría un patrón de acción muy condicionado por el viento. En 2018 ambas pautas se verían parcialmente satisfecha, con elevadas concentraciones de ozono en los meses de verano en todas las estaciones, pudiéndose aislar en todo caso la de Montejo de la Sierra con una media algo inferior en el periodo estival, y notablemente más elevadas en las de El Escorial y Cercedilla en la segunda quincena de septiembre.

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.I Concentraciones medias quincenales de O₃ (µg/m³) obtenidas mediante dosímetros pasivos en 2018

Localización	Muestreo																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Media
El Escorial	85,15	-	90,45	61,12	61,96	57,98	50,95	65,84	135,74	90,81	92,30	96,07	135,06	77,61	44,80	33,72	23,83	75,21
Cercedilla	72,11	-	102,57	56,29	68,01	56,89	43,69	71,77	132,57	86,11	89,79	95,61	124,68	77,61	36,67	35,70	23,93	73,37
Rascafría	28,26	60,05	83,89	57,60	59,31	41,04	34,30	55,33	74,32	72,49	74,75	78,57	56,28	47,33	32,89	32,92	23,00	53,67
Canencia	52,92	54,26	78,18	58,38	68,98	62,35	50,87	59,53	114,31	76,42	72,94	75,61	55,70	39,06	34,97	29,76	19,26	59,03
Braojos	22,39	-	82,42	58,00	68,62	56,19	46,85	56,77	122,90	83,53	79,86	82,59	56,79	0,00	0,36	13,72	11,25	52,64
Montejo	50,94	36,44	77,10	63,25	43,07	56,10	53,53	51,04	54,75	59,79	56,12	49,91	50,65	38,17	33,39	32,10	24,11	48,85
Navas del R	29,15	60,64	76,66	75,17	68,68	48,96	36,17	72,05	135,96	87,11	93,46	92,22	68,29	77,65	53,92	45,70	32,35	67,89
Alcalá de H	62,89	63,17	64,83	64,35	69,35	62,44	54,97	54,53	80,84	87,45	87,42	87,38	56,53	58,53	38,99	32,40	24,20	61,78
Fuentidueña	49,87	58,54	63,02	70,47	65,99	54,92	45,24	63,75	79,11	80,65	88,54	82,51	63,05	60,38	44,60	35,21	33,34	61,13
Robledo	26,05	65,20	77,80	73,28	57,45	52,19	45,52	69,06	124,91	82,85	84,18	88,69	60,55	76,80	53,68	45,82	29,68	65,51
Media	47,97	56,90	79,69	63,79	63,14	54,91	46,21	61,97	105,54	80,72	81,94	82,92	72,76	55,31	37,43	33,71	24,49	61,91

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

Figura 5.I

Valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de O₃ por estación (2018)

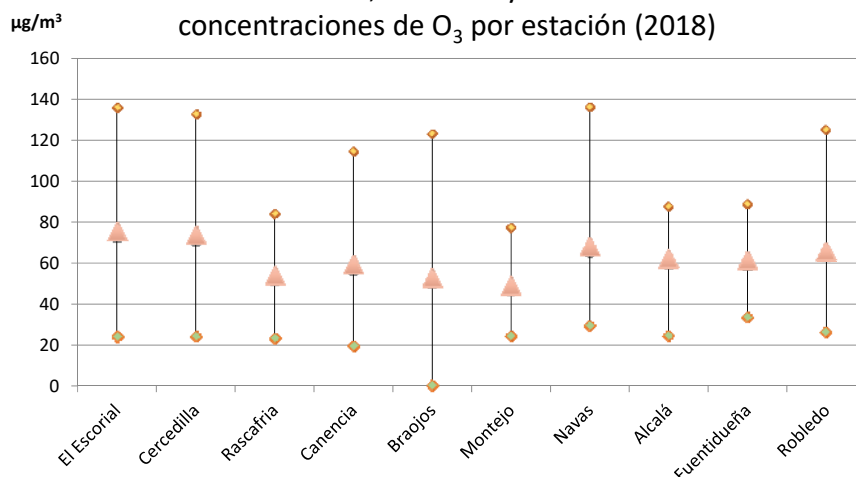
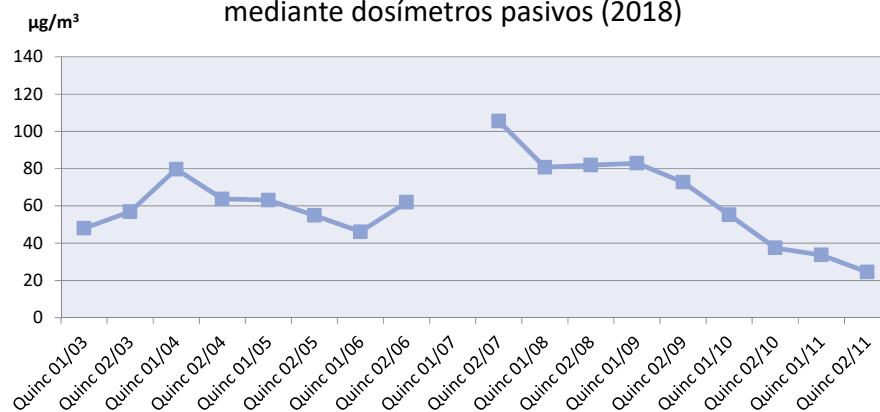
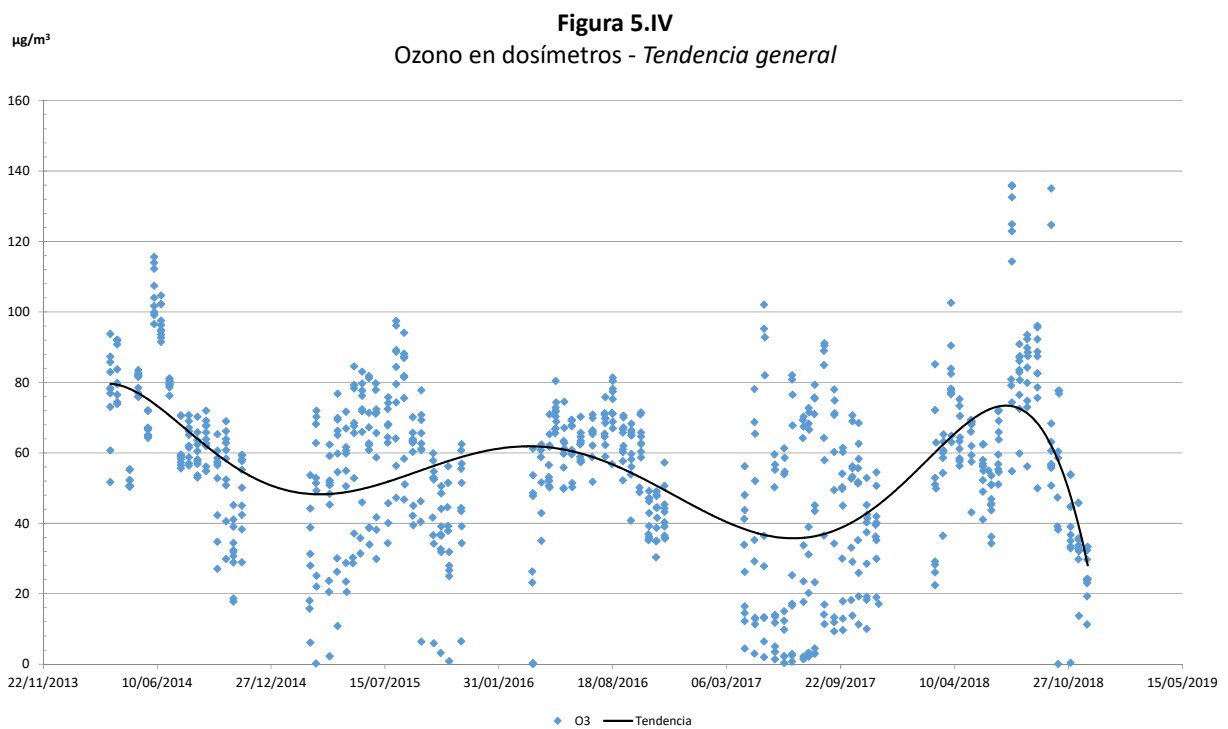
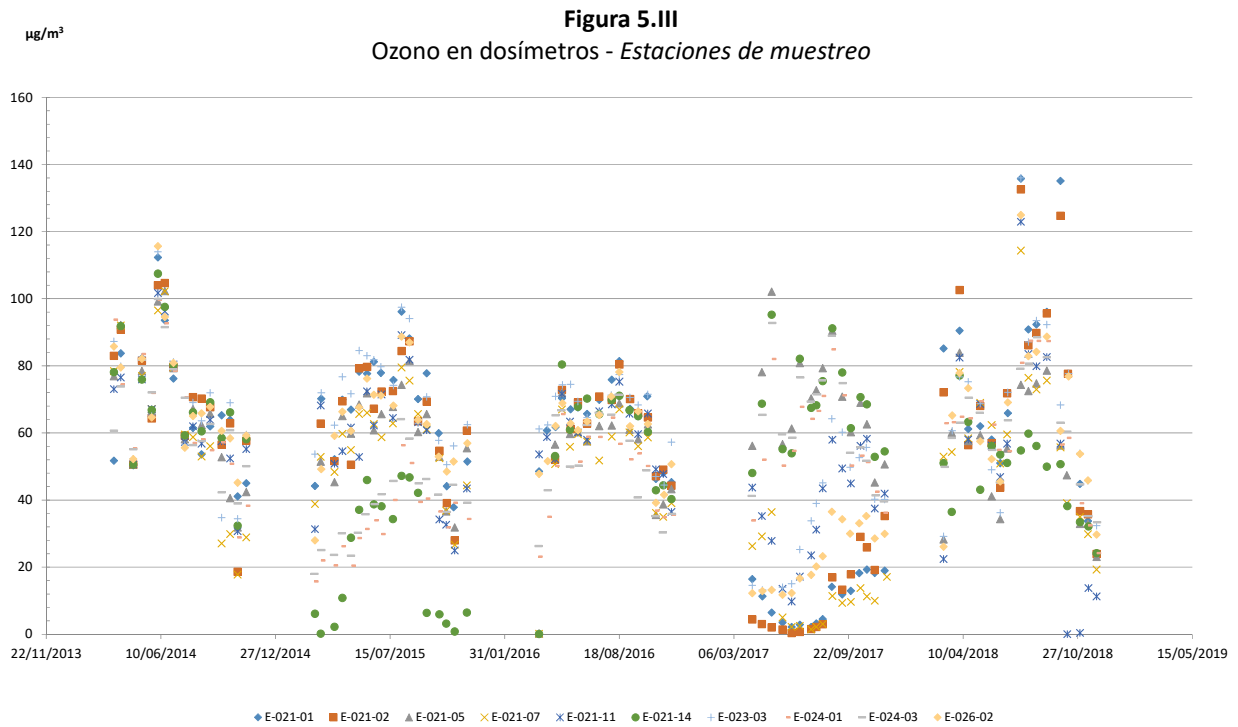


Figura 5.II

Promedio de las concentraciones de O₃ obtenidas mediante dosímetros pasivos (2018)





5.2. NIVELES DE NO₂ EN LA COMUNIDAD DE MADRID

La concentración media obtenida para el NO₂ durante la campaña de 2018 fue de 1,49 µg/m³. Los registros oscilaron entre los 0,01 µg/m³ registrados en Cercedilla la primera quincena de noviembre (muestreo nº17), y los 7,67 µg/m³ obtenidos en Alcalá de Henares en la segunda quincena de septiembre (muestreo nº14). 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). En el resto de estaciones los registros fueron bastante reducidos, si bien podrían destacarse con mínimos más frecuentes las de Cercedilla y Rascafría. Los valores obtenidos en 2018 quedaron en términos generales muy por debajo de los umbrales de protección de la vegetación y de la salud humana, reduciéndose

sensiblemente respecto los de 2017, lo que perfila una tendencia estable en las concentraciones de estos óxidos desde 2014 (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 influenciadas 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 2018 destacó el aumento que tuvieron los registros de forma generalizada a partir del mes de junio, permaneciendo relativamente elevados durante los meses de julio y agosto para descender con posterioridad (véase Figura 5.VI). Este comportamiento podría explicar en parte el aumento apreciado en el ozono a partir del mes de junio, 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 NO₂ (µg/m³) obtenidas mediante dosímetros pasivos en 2018

Localización	Muestreo																	
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	Media
El Escorial	0,49	-	1,11	0,65	0,97	0,84	0,71	1,26	0,79	1,00	1,19	1,55	1,84	1,15	0,61	0,19	0,13	0,91
Cercedilla	0,08	-	0,33	0,00	0,06	0,05	0,04	0,63	0,54	0,93	1,50	0,87	0,50	1,56	0,07	0,01	0,01	0,45
Rascafría	0,25	0,16	0,16	0,04	0,05	0,02	0,03	0,17	0,35	0,85	0,68	0,71	0,36	0,55	0,11	0,10	0,01	0,27
Canencia	1,18	0,65	0,29	2,33	0,66	0,64	0,76	1,12	1,24	1,68	1,78	1,54	3,44	3,45	0,94	0,51	0,26	1,32
Braojos	0,25	-	0,60	0,31	0,54	0,60	0,66	0,92	1,02	1,05	1,30	0,96	1,32	0,00	0,61	0,29	0,10	0,66
Montejo	0,61	0,00	0,00	0,00	0,40	0,43	0,57	0,87	0,82	0,96	1,22	1,14	1,20	1,11	1,01	0,84	1,00	0,72
Navas del R	0,17	0,55	0,47	0,96	1,06	0,78	0,40	1,69	1,25	1,24	1,54	1,76	1,69	2,12	0,93	0,19	0,59	1,02
Alcalá de H	5,94	5,13	3,70	5,07	4,99	4,42	3,49	6,38	5,00	5,61	5,43	5,42	7,67	6,17	6,86	7,11	5,06	5,50
Fuentidueña	1,61	1,21	2,11	2,20	1,86	1,68	1,66	2,30	1,98	2,38	2,80	2,57	3,28	2,10	2,89	1,94	2,12	2,16
Robledo	1,84	0,78	0,73	1,22	1,17	1,23	1,29	2,12	2,02	1,82	2,56	2,63	3,35	2,39	1,92	1,05	1,49	1,74
Media	1,24	1,21	0,95	1,28	1,18	1,07	0,96	1,74	1,50	1,75	2,00	1,91	2,47	2,06	1,60	1,22	1,08	1,47

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

Figura 5.V

Valores medios, máximos y mínimos de las concentraciones de NO₂ por estación (2018)

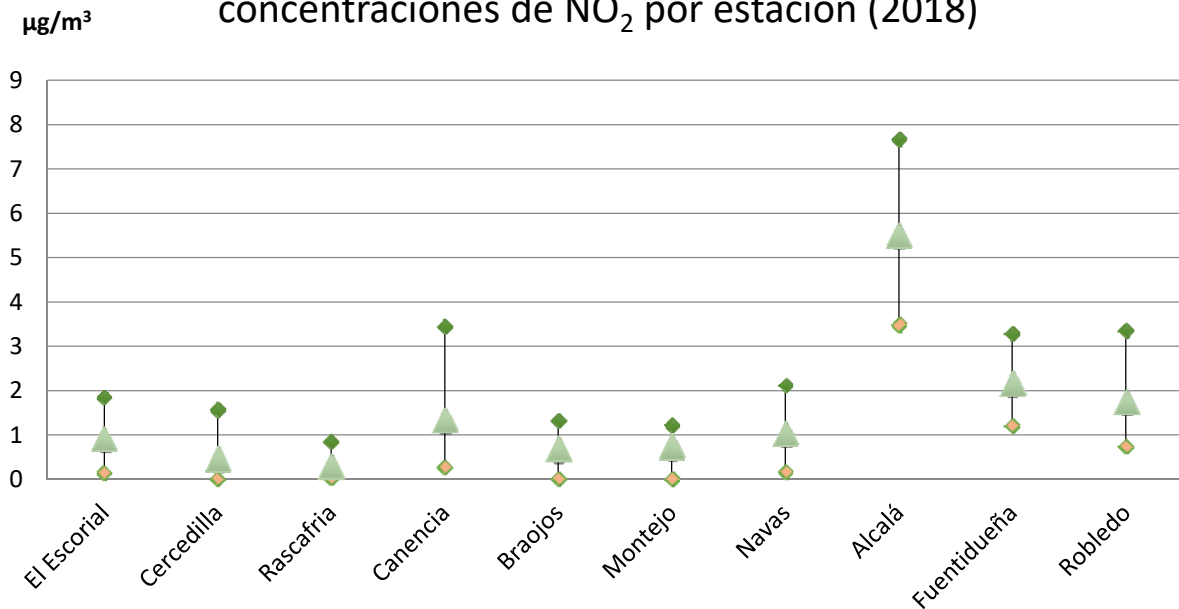
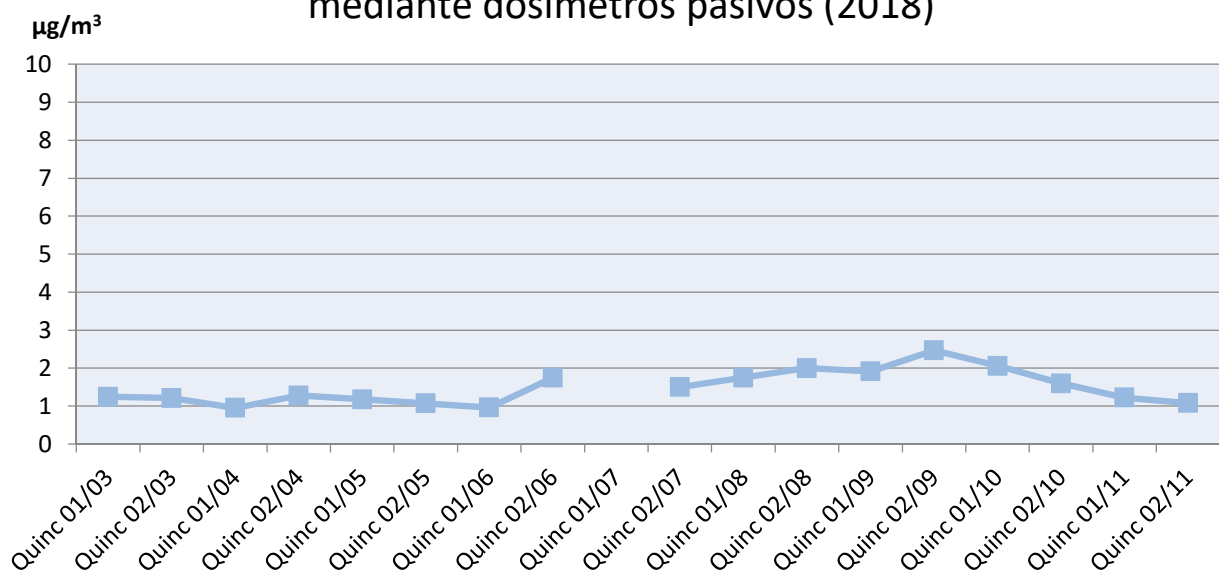
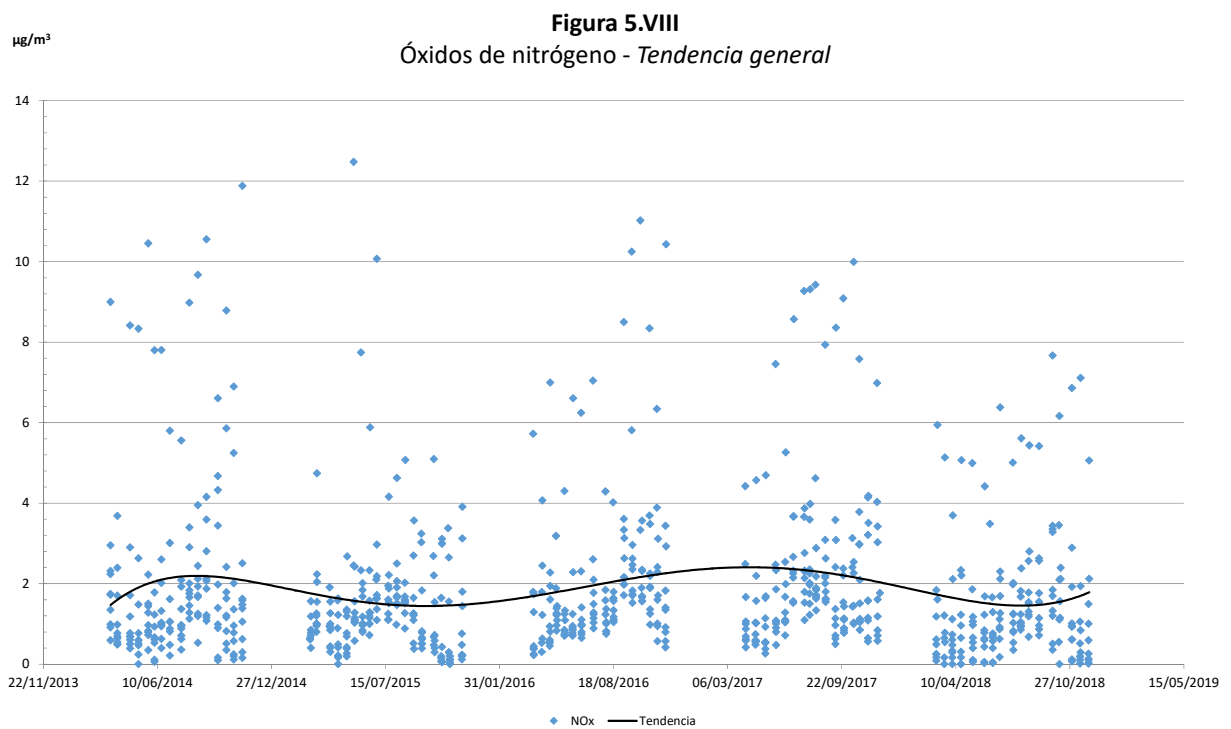
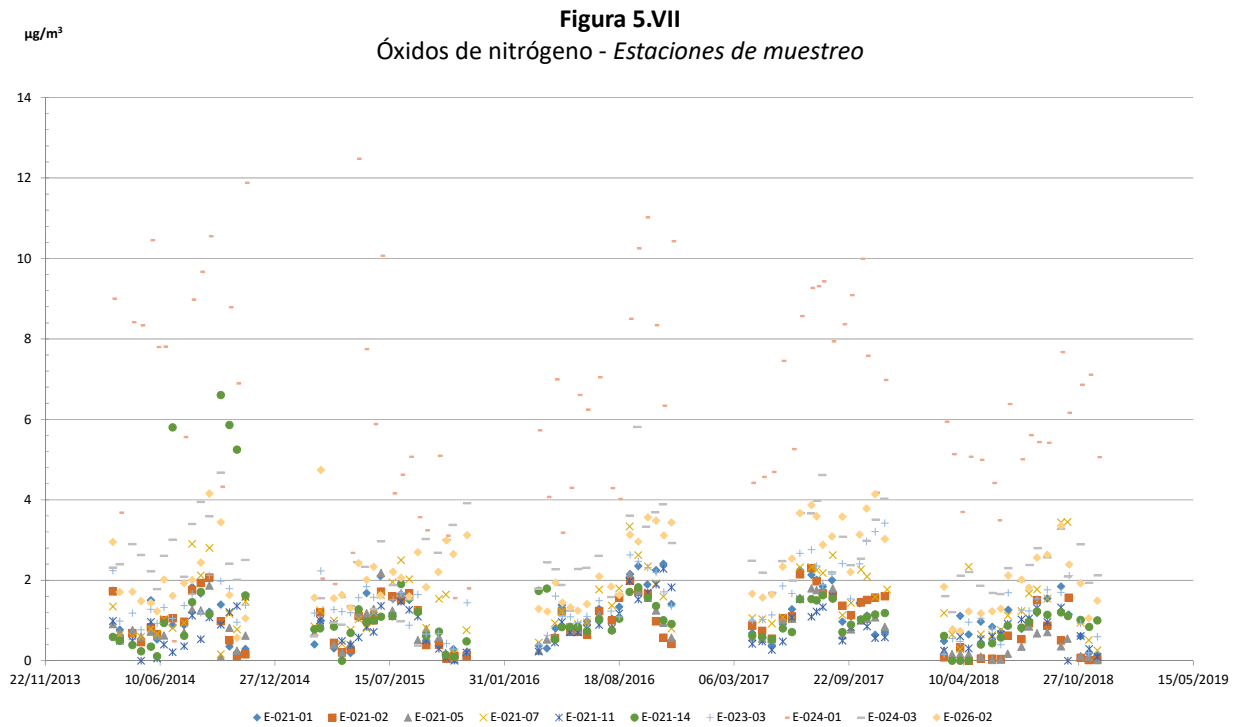


Figura 5.VI

Promedio de las concentraciones de NO₂ obtenidas mediante dosímetros pasivos (2018)







5.3. NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR MUESTREOS

5.3.1. OZONO

Muestreo 2 (07-09/03/2018)

Tabla MO2 Concentración de O₃ en el muestreo n°2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	85,15
E-021-02	Cercedilla	72,11
E-021-05	Rascafría	28,26
E-021-07	Canencia	52,92
E-021-11	Braojos	22,39
E-021-14	Montejo de la Sierra	50,94
E-023-03	Navas del Rey	29,15
E-024-01	Alcalá de Henares	62,89
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	49,87
E-026-02	Robledo de Chavela	26,05
Media		47,97

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

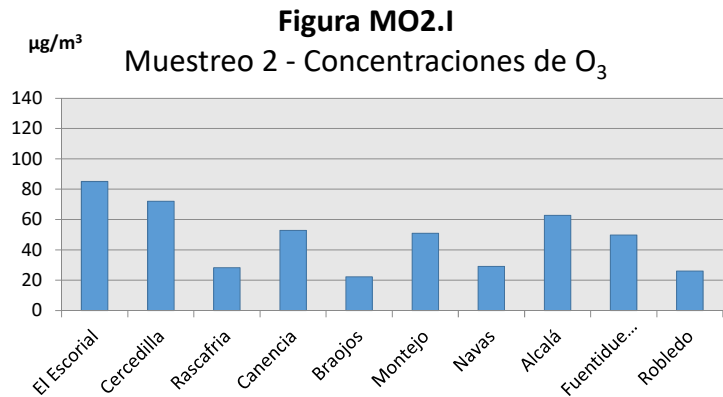
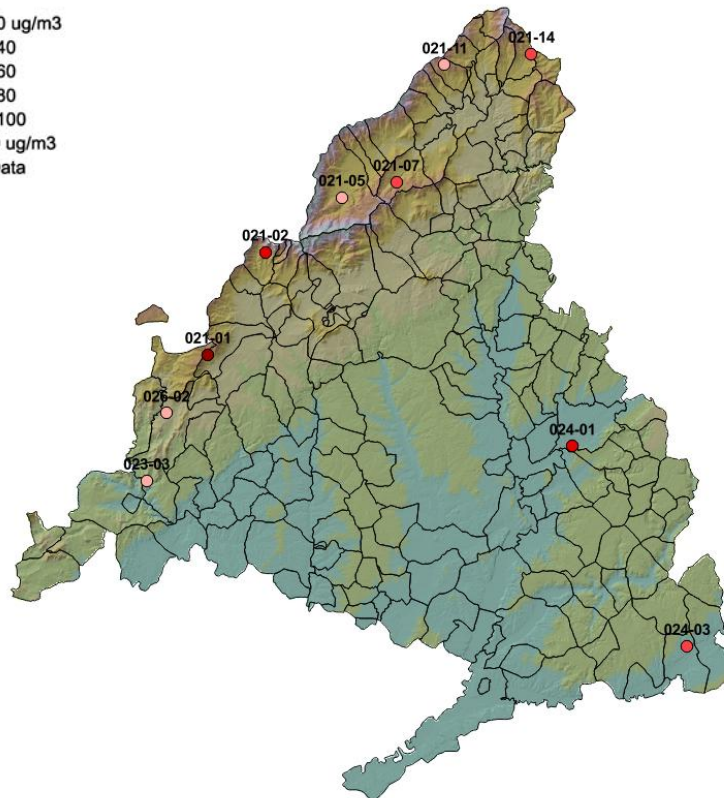


Figura MO2.II
Muestreo 2 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 3 (21-22/03/2018)

Tabla MO₃ Concentración de O₃ en el muestreo nº3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	-
E-021-02	Cercedilla	-
E-021-05	Rascafría	60,05
E-021-07	Canencia	54,26
E-021-11	Braojos	-
E-021-14	Montejo de la Sierra	36,44
E-023-03	Navas del Rey	60,64
E-024-01	Alcalá de Henares	63,17
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	58,54
E-026-02	Robledo de Chavela	65,20
Media		56,90

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

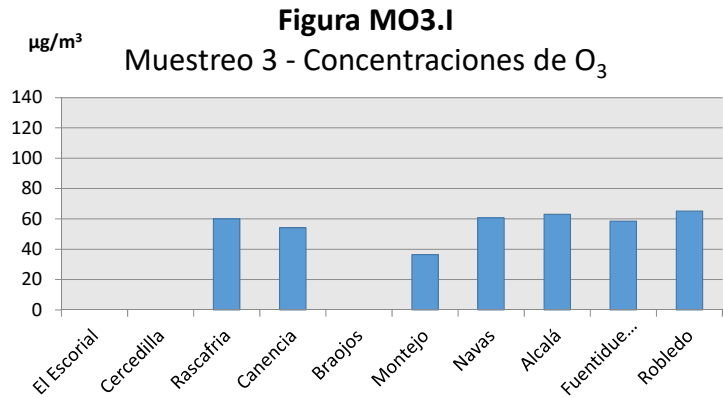
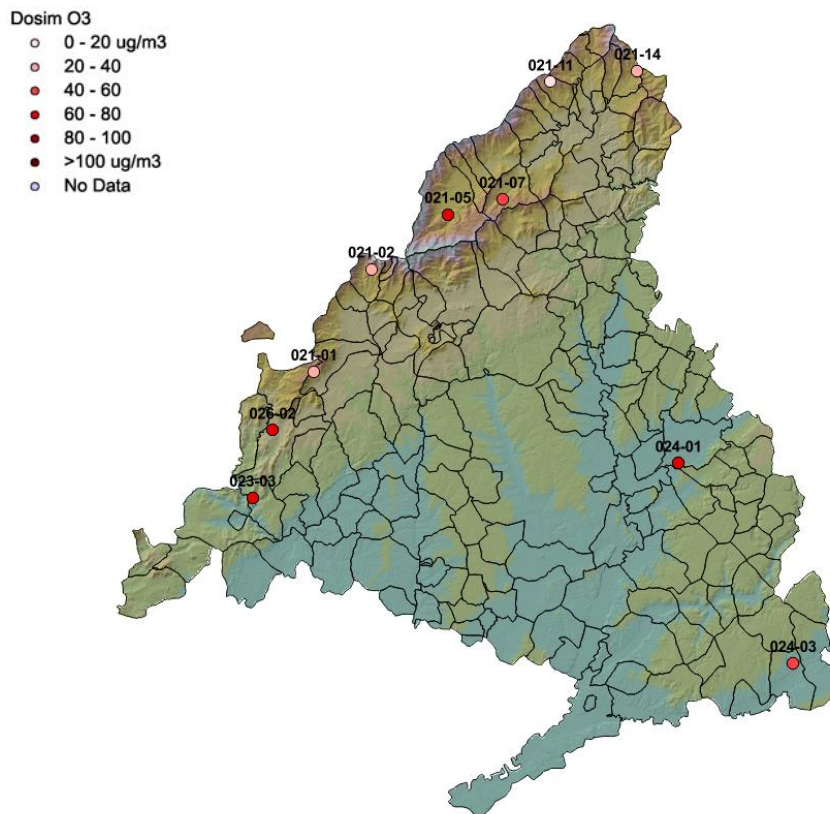


Figura MO3.II
Muestreo 3 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 4 (04-05/04/2018)

Tabla MO4 Concentración de O₃ en el muestreo n°4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	90,45
E-021-02	Cercedilla	102,57
E-021-05	Rascafría	83,89
E-021-07	Canencia	78,18
E-021-11	Braojos	82,42
E-021-14	Montejo de la Sierra	77,10
E-023-03	Navas del Rey	76,66
E-024-01	Alcalá de Henares	64,83
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	63,02
E-026-02	Robledo de Chavela	77,80
Media		79,69

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

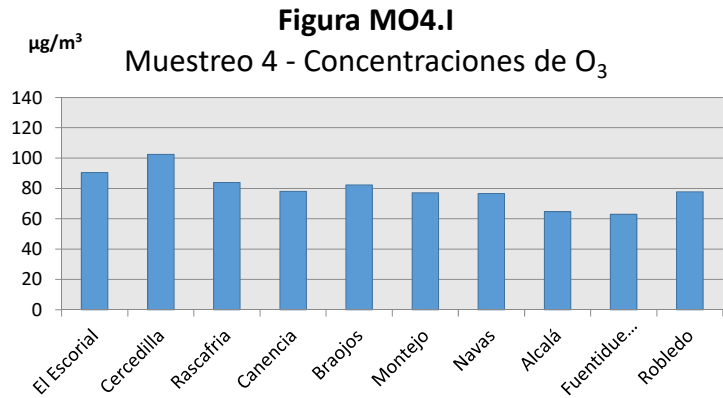
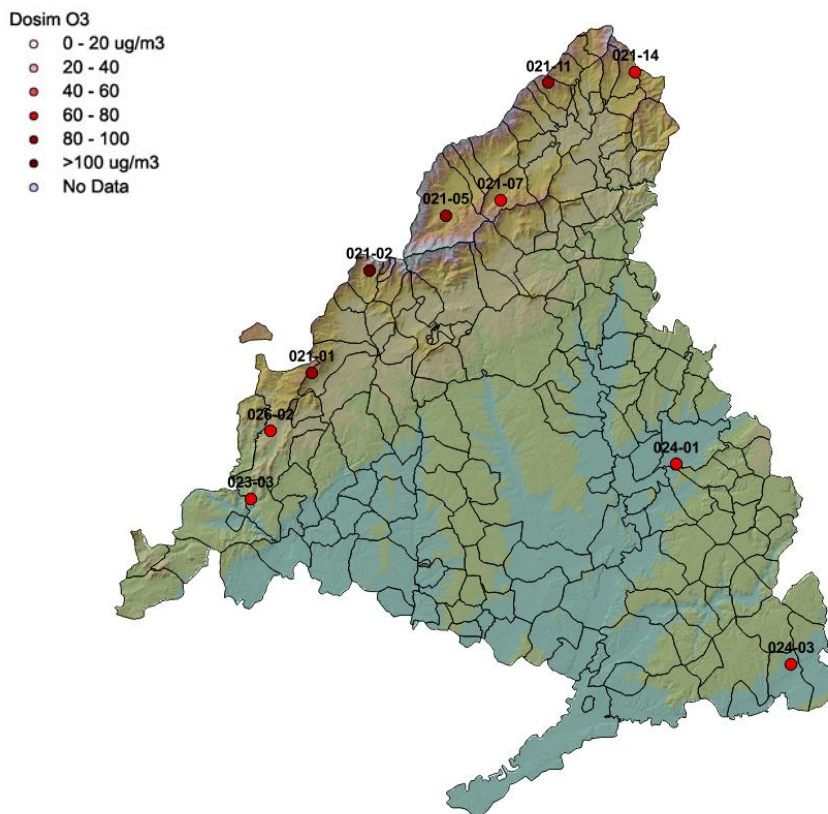


Figura MO4.II
Muestreo 4 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 5 (19-20/04/2018)

Tabla MO5 Concentración de O₃ en el muestreo n°5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	61,12
E-021-02	Cercedilla	56,29
E-021-05	Rascafría	57,60
E-021-07	Canencia	58,38
E-021-11	Braojos	58,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	63,25
E-023-03	Navas del Rey	75,17
E-024-01	Alcalá de Henares	64,35
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	70,47
E-026-02	Robledo de Chavela	73,28
Media		63,79

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

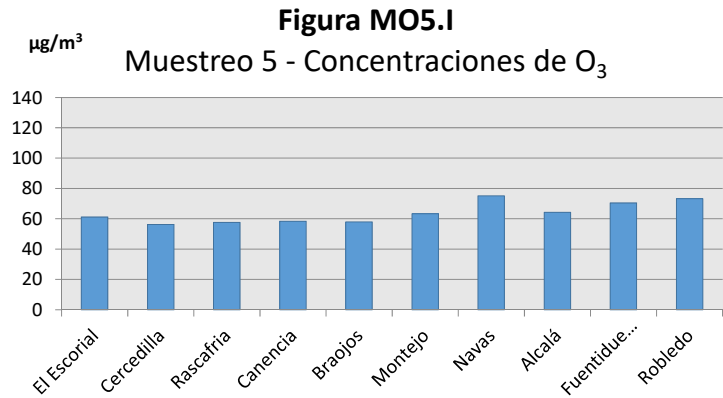
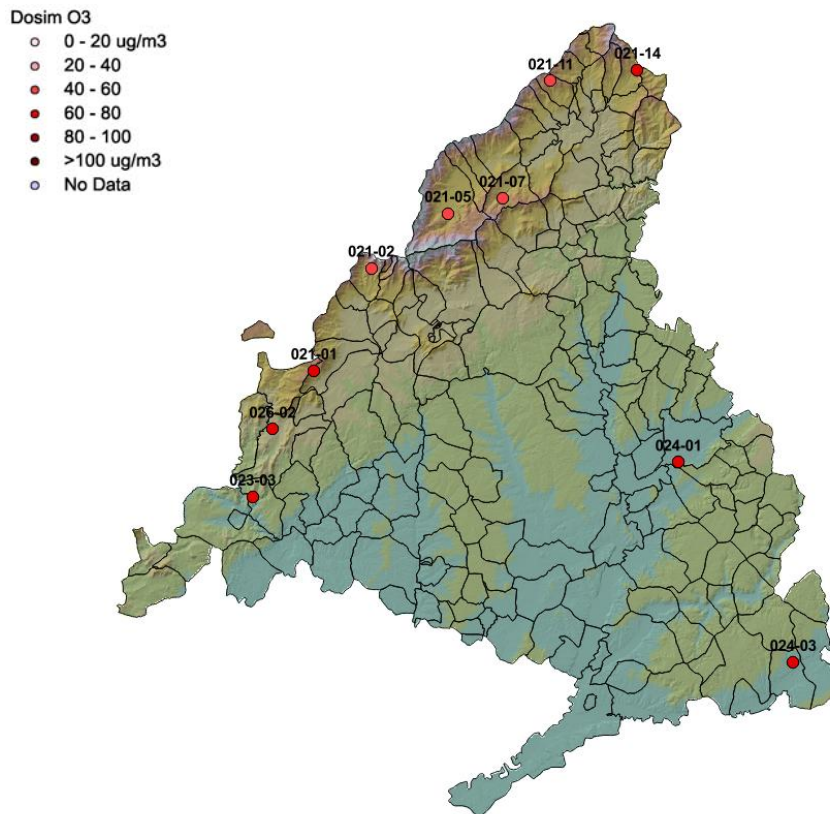


Figura MO5.II
Muestreo 5 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 6 (09-10/05/2018)

Tabla MO6 Concentración de O₃ en el muestreo n°6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	61,96
E-021-02	Cercedilla	68,01
E-021-05	Rascafría	59,31
E-021-07	Canencia	68,98
E-021-11	Braojos	68,62
E-021-14	Montejo de la Sierra	43,07
E-023-03	Navas del Rey	68,68
E-024-01	Alcalá de Henares	69,35
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	65,99
E-026-02	Robledo de Chavela	57,45
Media		63,14

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

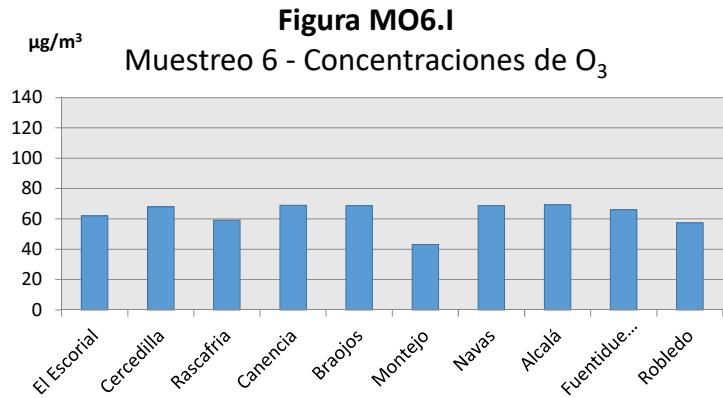
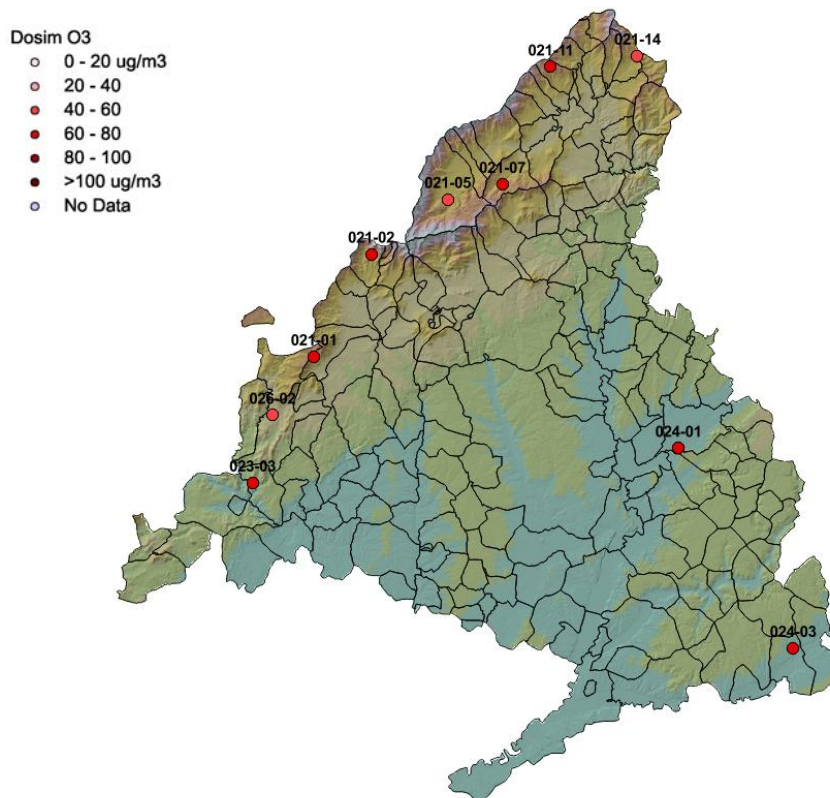


Figura MO6.II
Muestreo 6 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 7 (30-31/05/2018)

Tabla MO7 Concentración de O₃ en el muestreo n°7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	57,98
E-021-02	Cercedilla	56,89
E-021-05	Rascafría	41,04
E-021-07	Canencia	62,35
E-021-11	Braojos	56,19
E-021-14	Montejo de la Sierra	56,10
E-023-03	Navas del Rey	48,96
E-024-01	Alcalá de Henares	62,44
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	54,92
E-026-02	Robledo de Chavela	52,19
Media		54,91

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

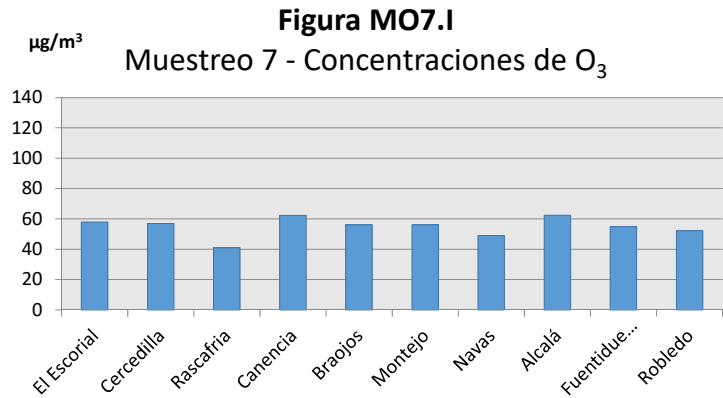
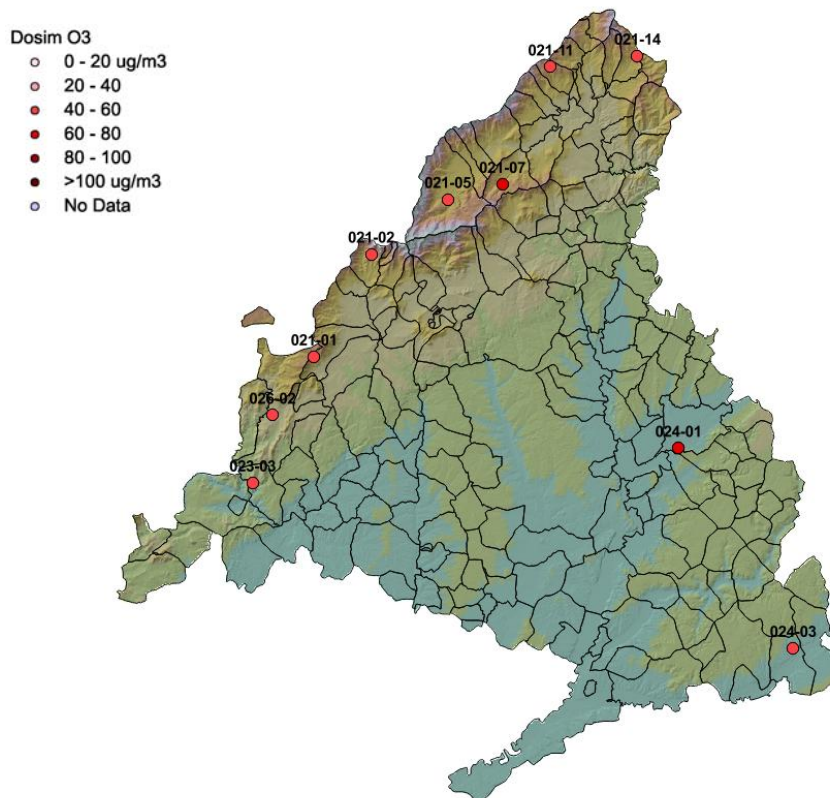


Figura MO7.II
Muestreo 7 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 8 (09-14/06/2018)

Tabla MO8 Concentración de O₃ en el muestreo n°8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	50,95
E-021-02	Cercedilla	43,69
E-021-05	Rascafría	34,30
E-021-07	Canencia	50,87
E-021-11	Braojos	46,85
E-021-14	Montejo de la Sierra	53,53
E-023-03	Navas del Rey	36,17
E-024-01	Alcalá de Henares	54,97
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	45,24
E-026-02	Robledo de Chavela	45,52
Media		46,21

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

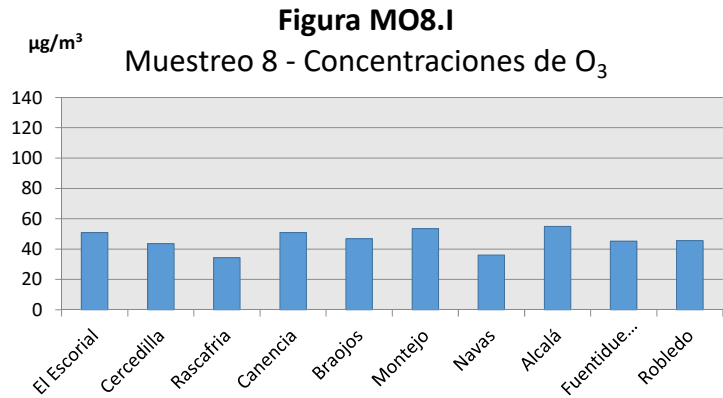
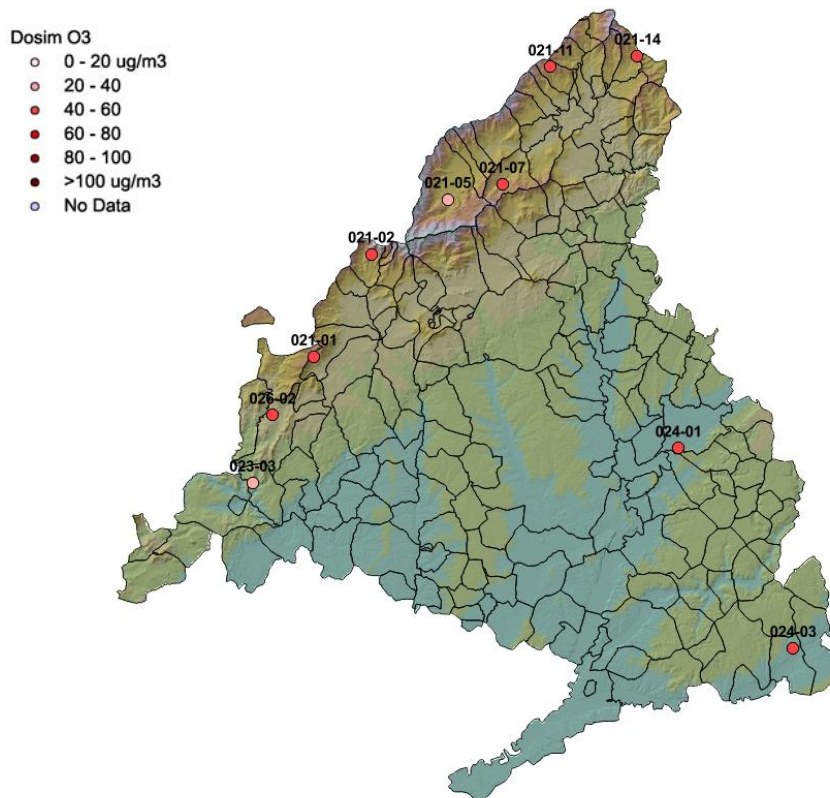


Figura MO8.II
Muestreo 8 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 9 (26-27/06/2018)

Tabla MO9 Concentración de O₃ en el muestreo n°9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	65,84
E-021-02	Cercedilla	71,77
E-021-05	Rascafría	55,33
E-021-07	Canencia	59,53
E-021-11	Braojos	56,77
E-021-14	Montejo de la Sierra	51,04
E-023-03	Navas del Rey	72,05
E-024-01	Alcalá de Henares	54,53
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	63,75
E-026-02	Robledo de Chavela	69,06
Media		61,97

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

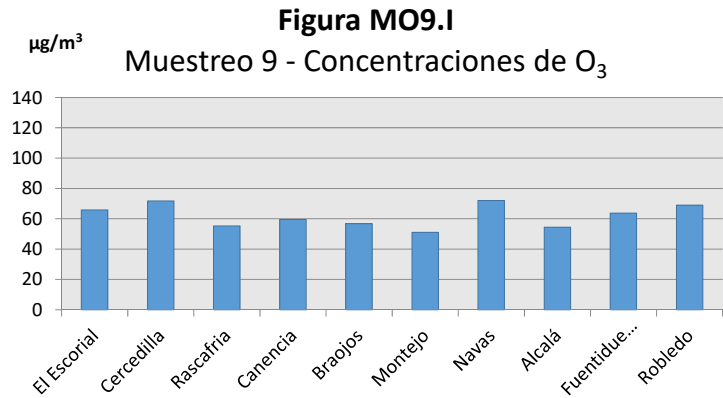
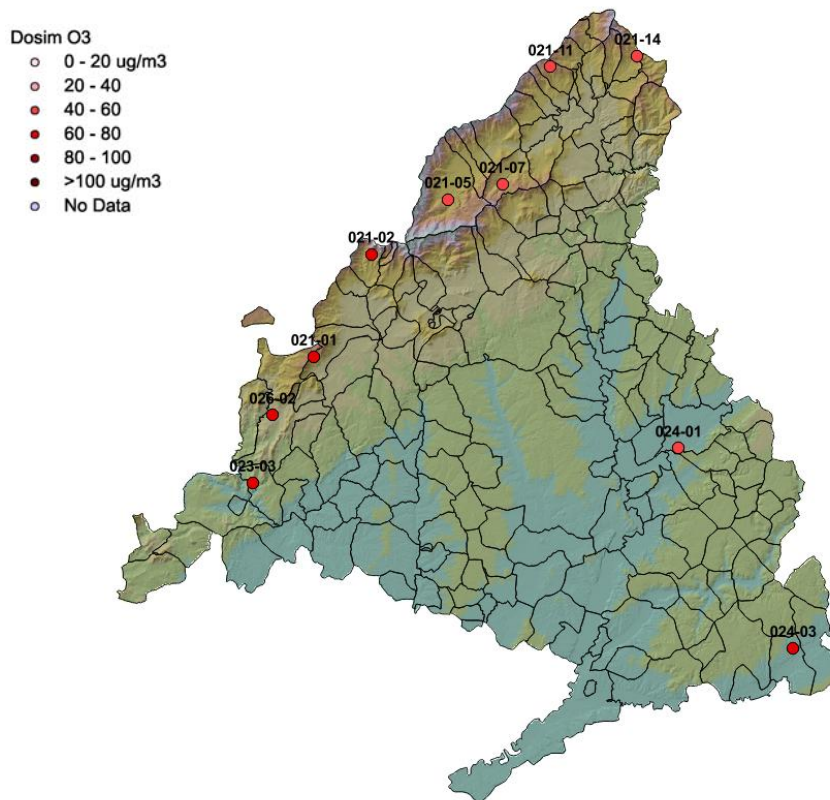


Figura MO9.II
Muestreo 9 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 10 (26-27/07/2018)

Tabla MO10 Concentración de O₃ en el muestreo nº10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	135,74
E-021-02	Cercedilla	132,57
E-021-05	Rascafría	74,32
E-021-07	Canencia	114,31
E-021-11	Braojos	122,90
E-021-14	Montejo de la Sierra	54,75
E-023-03	Navas del Rey	135,96
E-024-01	Alcalá de Henares	80,84
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	79,11
E-026-02	Robledo de Chavela	124,91
Media		105,54

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

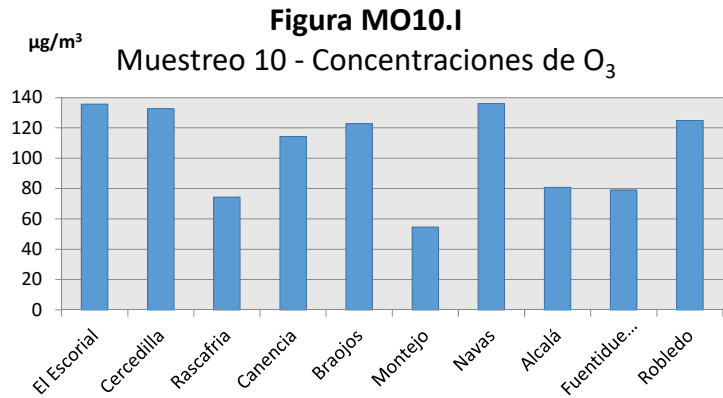
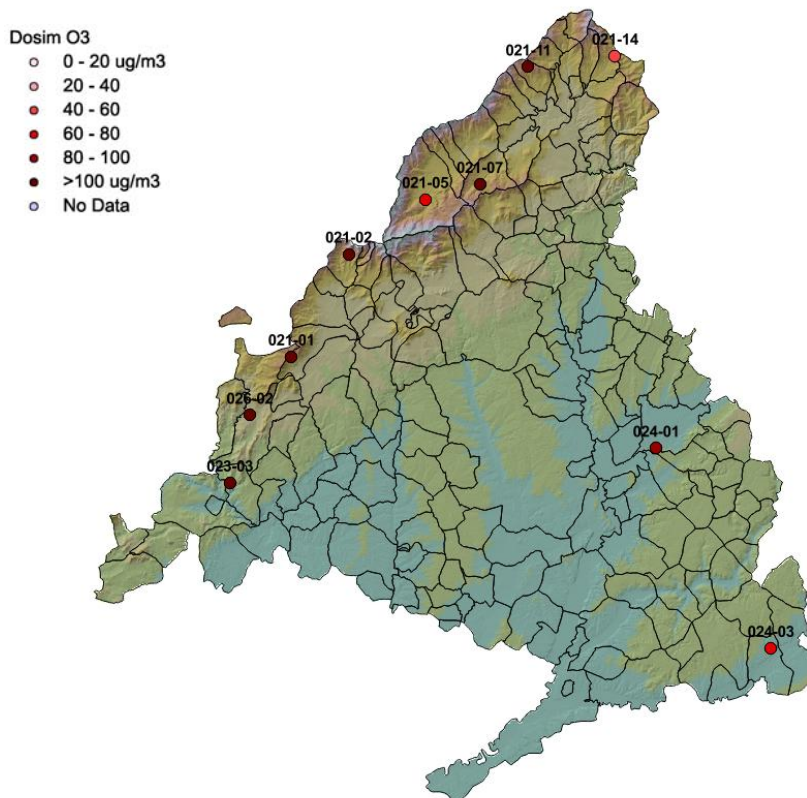


Figura MO10.II
Muestreo 10 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 11 (02-03/08/2018)

Tabla MO11 Concentración de O₃ en el muestreo nº11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	90,81
E-021-02	Cercedilla	86,11
E-021-05	Rascafría	72,49
E-021-07	Canencia	76,42
E-021-11	Braojos	83,53
E-021-14	Montejo de la Sierra	59,79
E-023-03	Navas del Rey	87,11
E-024-01	Alcalá de Henares	87,45
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	80,65
E-026-02	Robledo de Chavela	82,85
Media		80,72

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

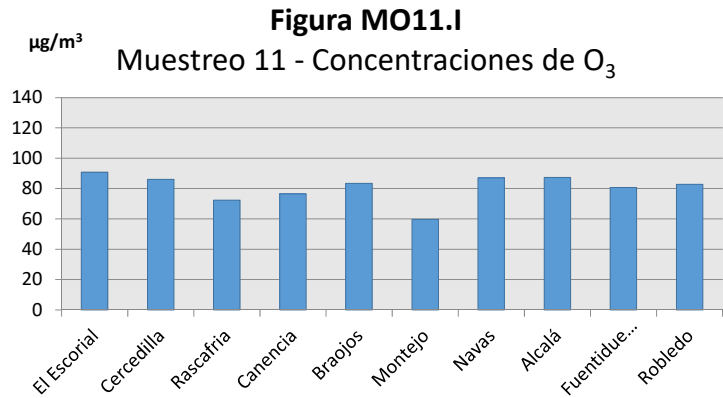
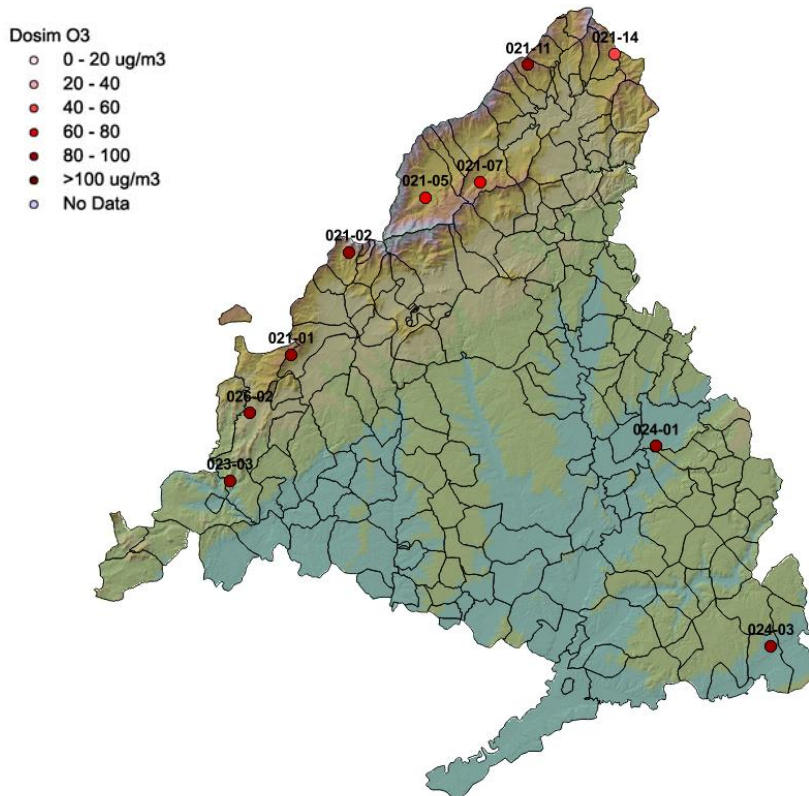


Figura MO11.II
Muestreo 11 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 12 (16-17/08/2018)

Tabla MO12 Concentración de O₃ en el muestreo nº12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	92,30
E-021-02	Cercedilla	89,79
E-021-05	Rascafría	74,75
E-021-07	Canencia	72,94
E-021-11	Braojos	79,86
E-021-14	Montejo de la Sierra	56,12
E-023-03	Navas del Rey	93,46
E-024-01	Alcalá de Henares	87,42
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	88,54
E-026-02	Robledo de Chavela	84,18
Media		81,94

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

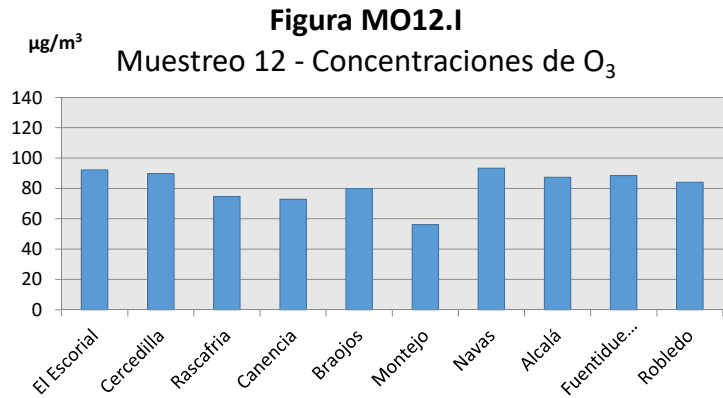
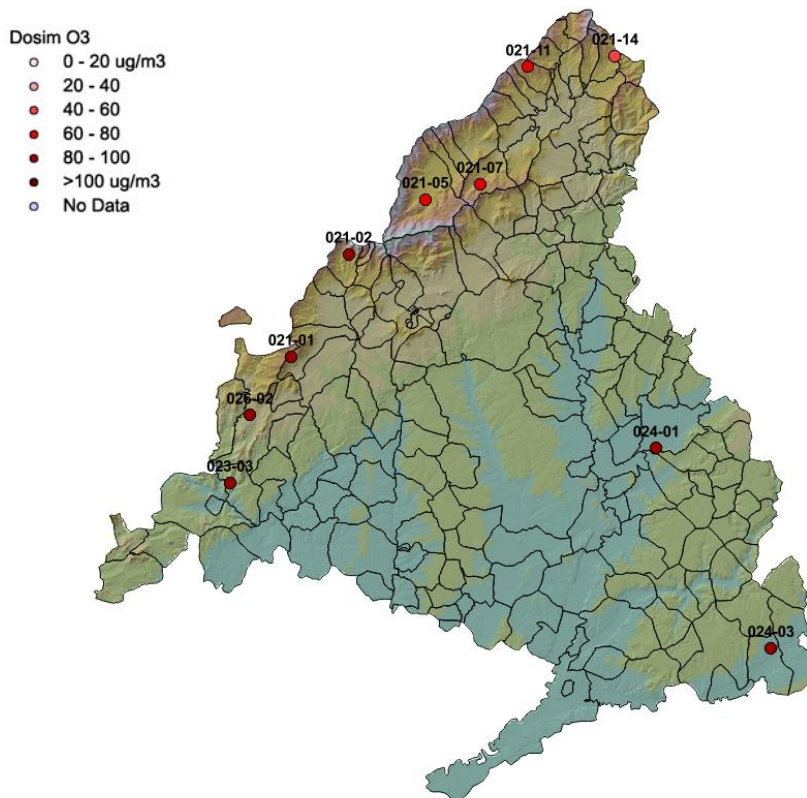


Figura MO12.II
Muestreo 12 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 13 (03/09/2018)

Tabla MO13 Concentración de O₃ en el muestreo nº13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	96,07
E-021-02	Cercedilla	95,61
E-021-05	Rascafría	78,57
E-021-07	Canencia	75,61
E-021-11	Braojos	82,59
E-021-14	Montejo de la Sierra	49,91
E-023-03	Navas del Rey	92,22
E-024-01	Alcalá de Henares	87,38
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	82,51
E-026-02	Robledo de Chavela	88,69
Media		82,92

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

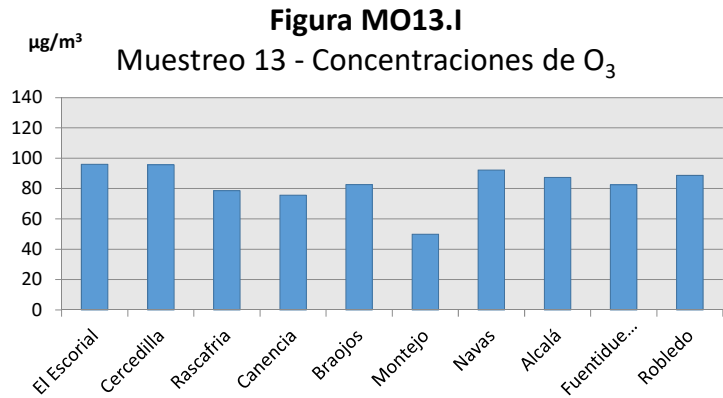
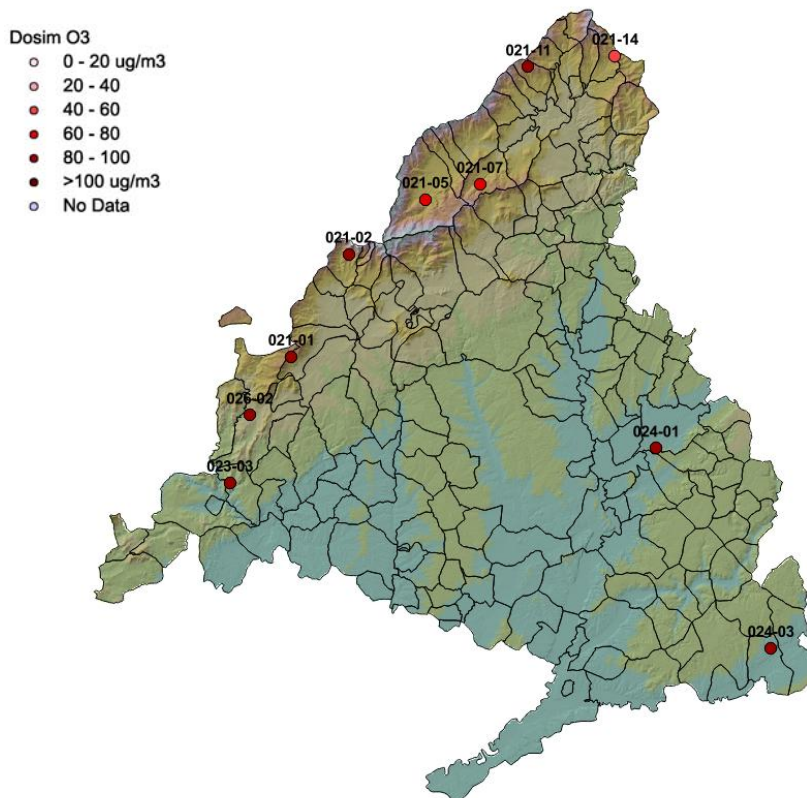


Figura MO13.II
Muestreo 13 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 14 (27/09/2018)

Tabla MO14 Concentración de O₃ en el muestreo nº14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	135,06
E-021-02	Cercedilla	124,68
E-021-05	Rascafría	56,28
E-021-07	Canencia	55,70
E-021-11	Braojos	56,79
E-021-14	Montejo de la Sierra	50,65
E-023-03	Navas del Rey	68,29
E-024-01	Alcalá de Henares	56,53
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	63,05
E-026-02	Robledo de Chavela	60,55
Media		72,76

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

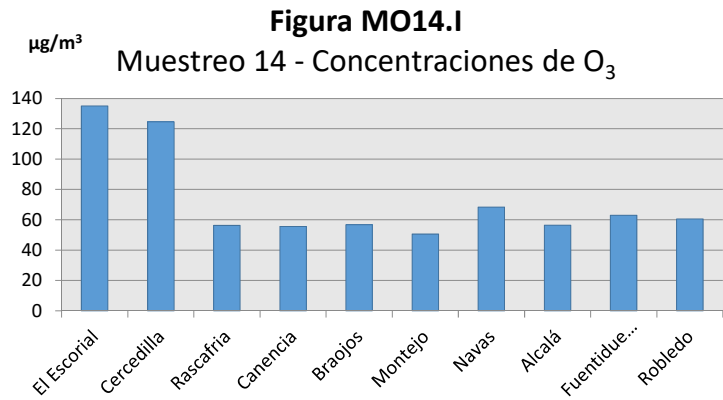
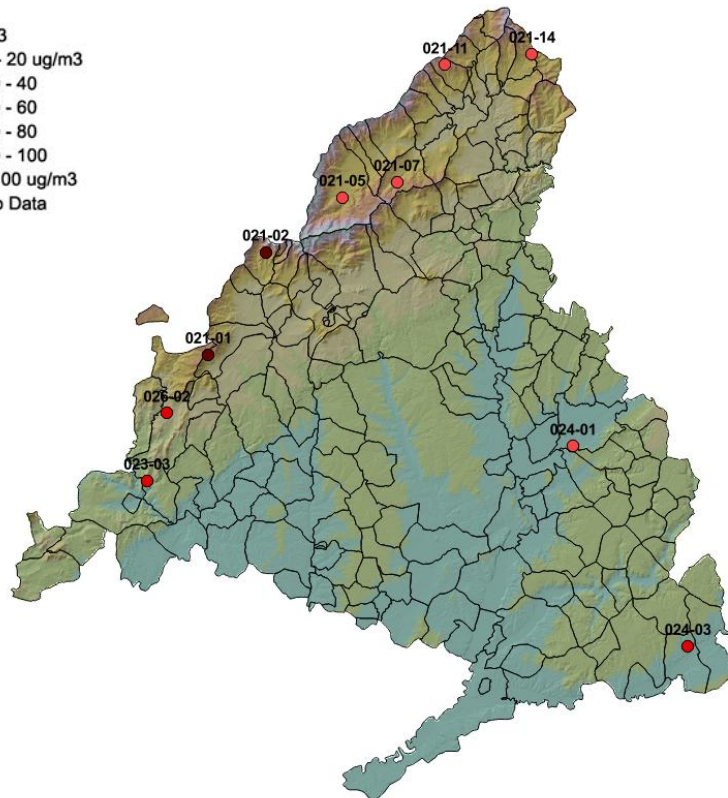


Figura MO14.II
Muestreo 14 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 15 (08-11/10/2018)

Tabla MO15 Concentración de O₃ en el muestreo nº15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	77,61
E-021-02	Cercedilla	77,61
E-021-05	Rascafría	47,33
E-021-07	Canencia	39,06
E-021-11	Braojos	0,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	38,17
E-023-03	Navas del Rey	77,65
E-024-01	Alcalá de Henares	58,53
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	60,38
E-026-02	Robledo de Chavela	76,80
Media		55,31

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

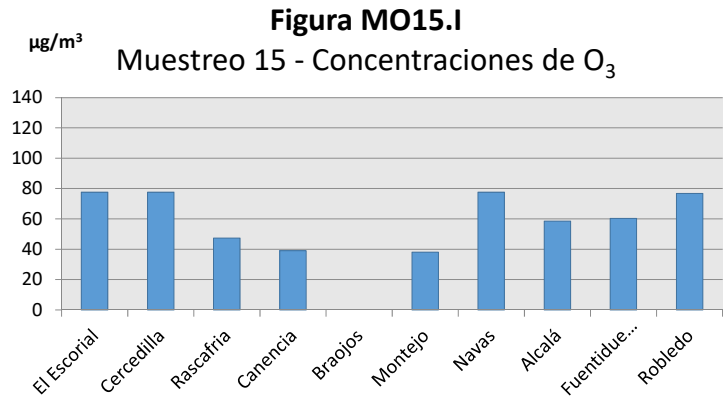
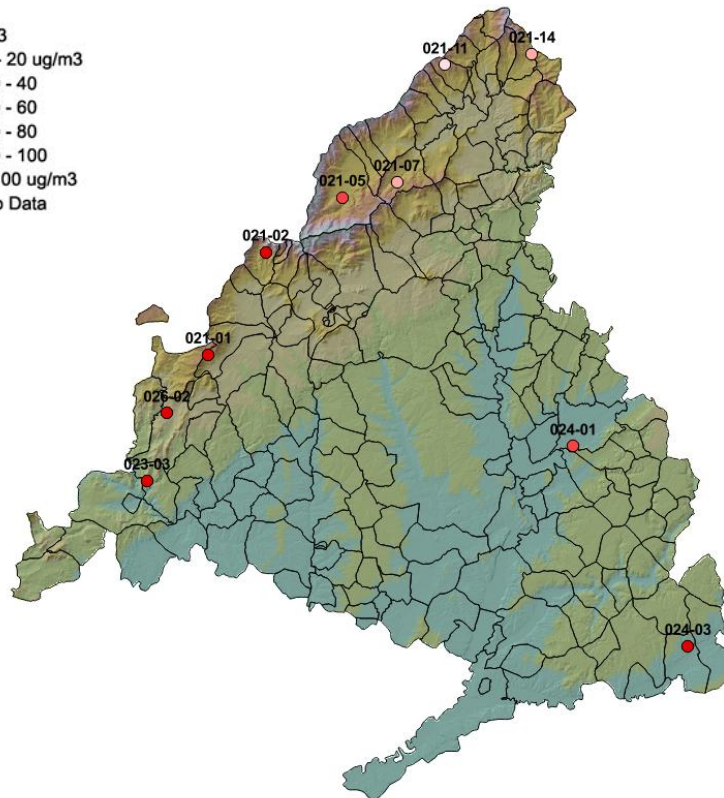


Figura MO15.II
Muestreo 15 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 16 (31/10/2018)

Tabla MO16 Concentración de O₃ en el muestreo nº16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	44,80
E-021-02	Cercedilla	36,67
E-021-05	Rascafría	32,89
E-021-07	Canencia	34,97
E-021-11	Braojos	0,36
E-021-14	Montejo de la Sierra	33,39
E-023-03	Navas del Rey	53,92
E-024-01	Alcalá de Henares	38,99
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	44,60
E-026-02	Robledo de Chavela	53,68
Media		37,43

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

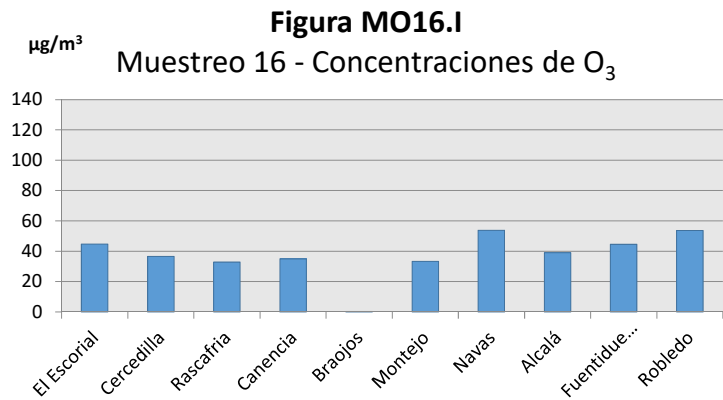
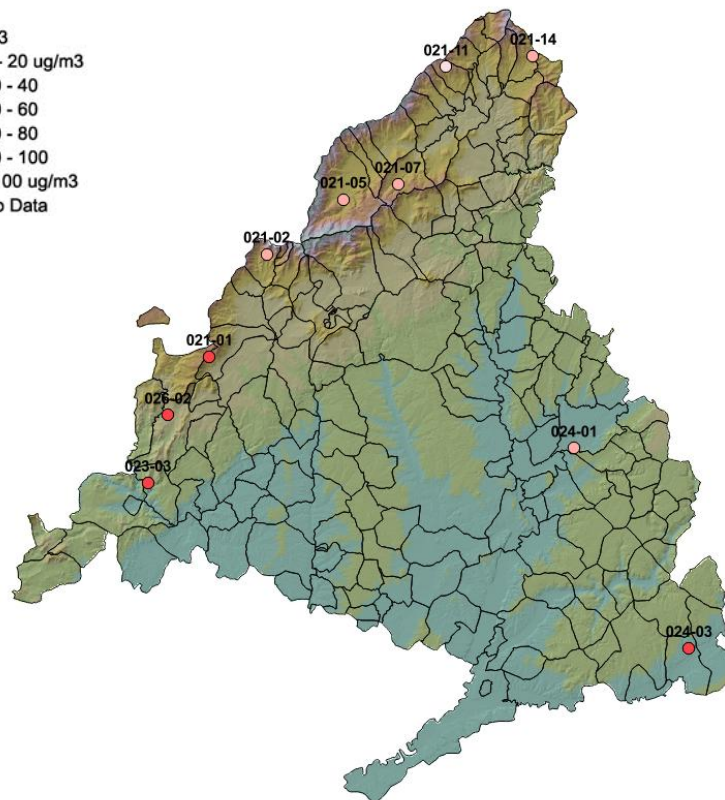


Figura MO16.II
Muestreo 16 - Mapa con la concentración de O₃ por estación

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





Muestreo 17 (14-15/11/2018)

Tabla MO17 Concentración de O₃ en el muestreo nº17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	33,72
E-021-02	Cercedilla	35,70
E-021-05	Rascafría	32,92
E-021-07	Canencia	29,76
E-021-11	Braojos	13,72
E-021-14	Montejo de la Sierra	32,10
E-023-03	Navas del Rey	45,70
E-024-01	Alcalá de Henares	32,40
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	35,21
E-026-02	Robledo de Chavela	45,82
Media		33,71

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

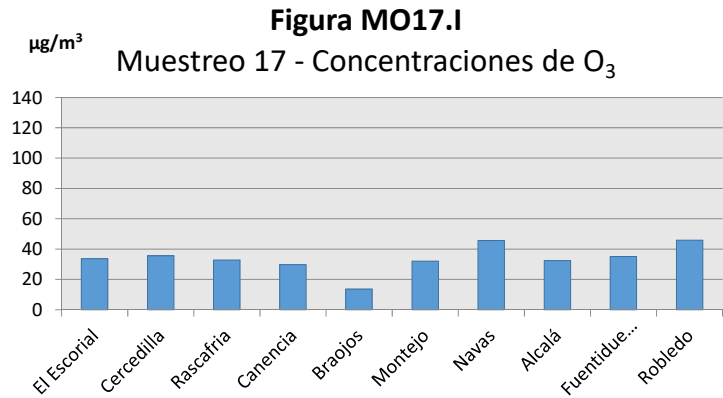
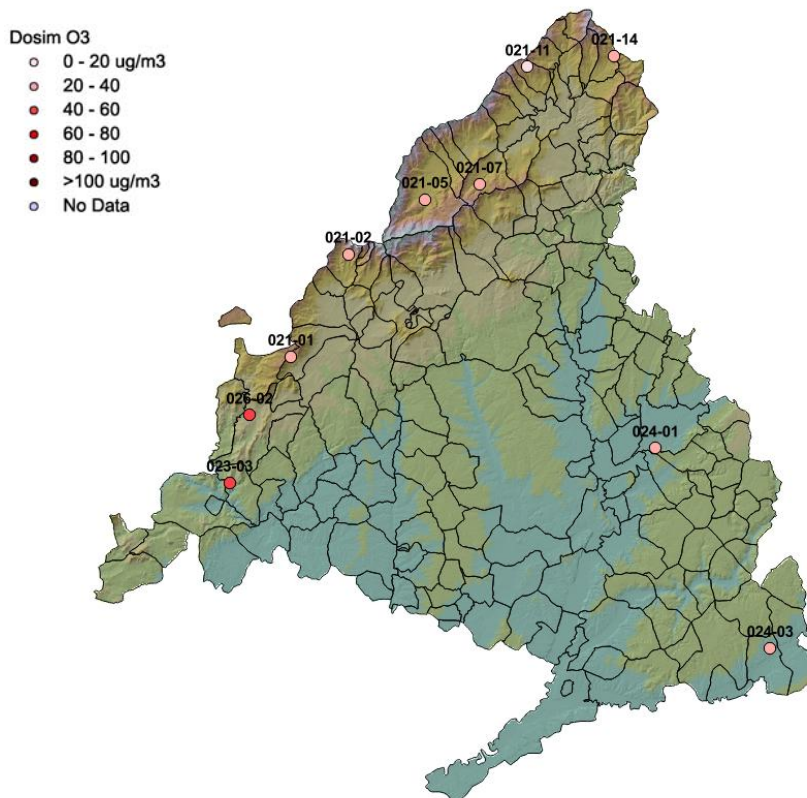


Figura MO17.II
Muestreo 17 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





Muestreo 18 (29-30/11/2018)

Tabla MO17 Concentración de O₃ en el muestreo nº18

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	23,83
E-021-02	Cercedilla	23,93
E-021-05	Rascafría	23,00
E-021-07	Canencia	19,26
E-021-11	Braojos	11,25
E-021-14	Montejo de la Sierra	24,11
E-023-03	Navas del Rey	32,35
E-024-01	Alcalá de Henares	24,20
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	33,34
E-026-02	Robledo de Chavela	29,68
Media		24,49

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

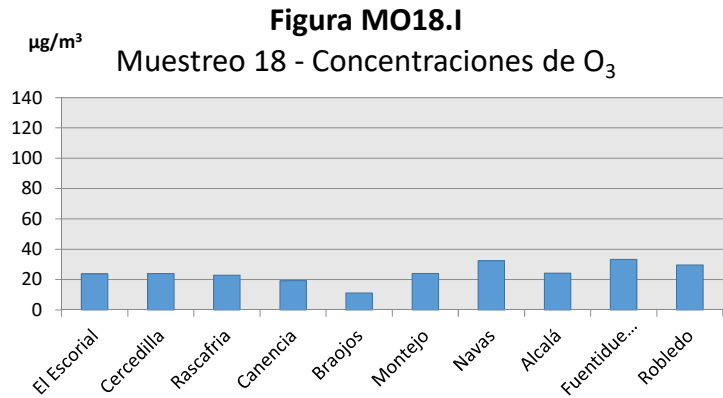
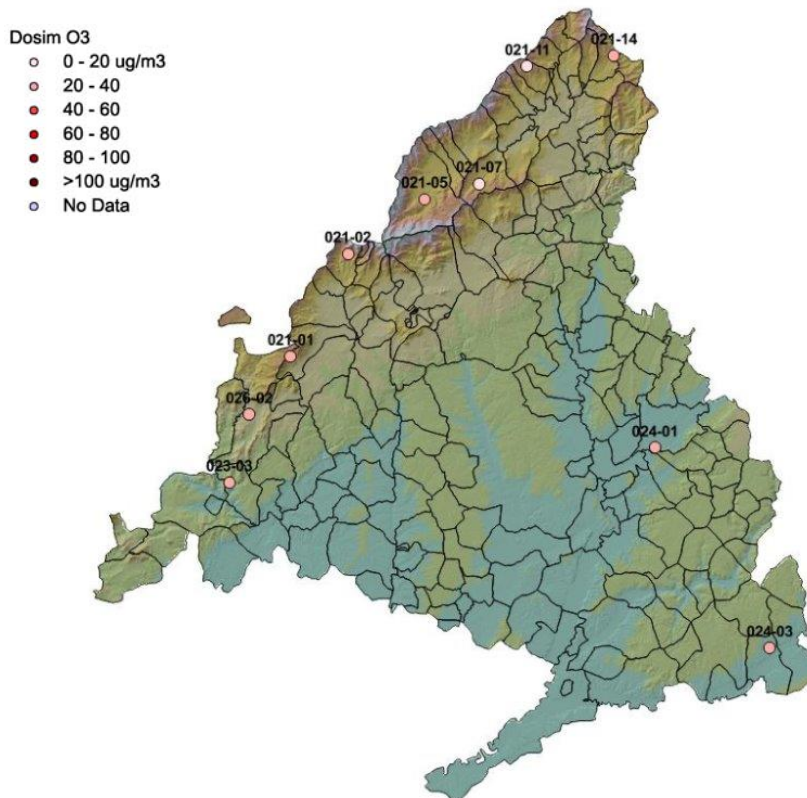


Figura MO18.II
Muestreo 18 - Mapa con la concentración de O₃ por estación





5.1.2. Dióxido de nitrógeno

Muestreo 2 (07-09/03/2018)

Tabla MNO2 Concentración de NO₂ en el muestreo nº2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,49
E-021-02	Cercedilla	0,08
E-021-05	Rascafría	0,25
E-021-07	Canencia	1,18
E-021-11	Braojos	0,25
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,61
E-023-03	Navas del Rey	0,17
E-024-01	Alcalá de Henares	5,94
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,61
E-026-02	Robledo de Chavela	1,84
Media		1,24

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

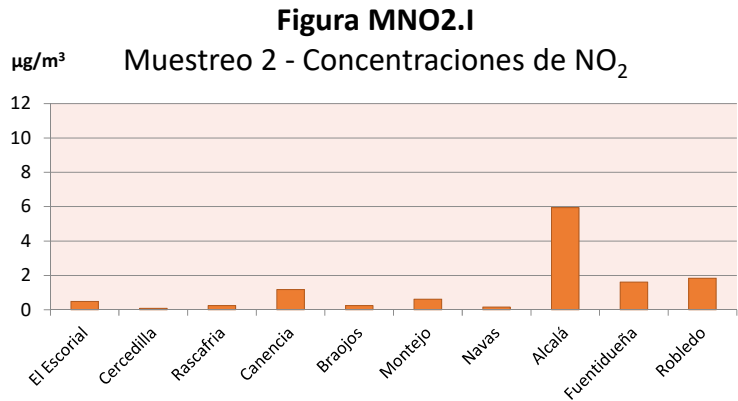
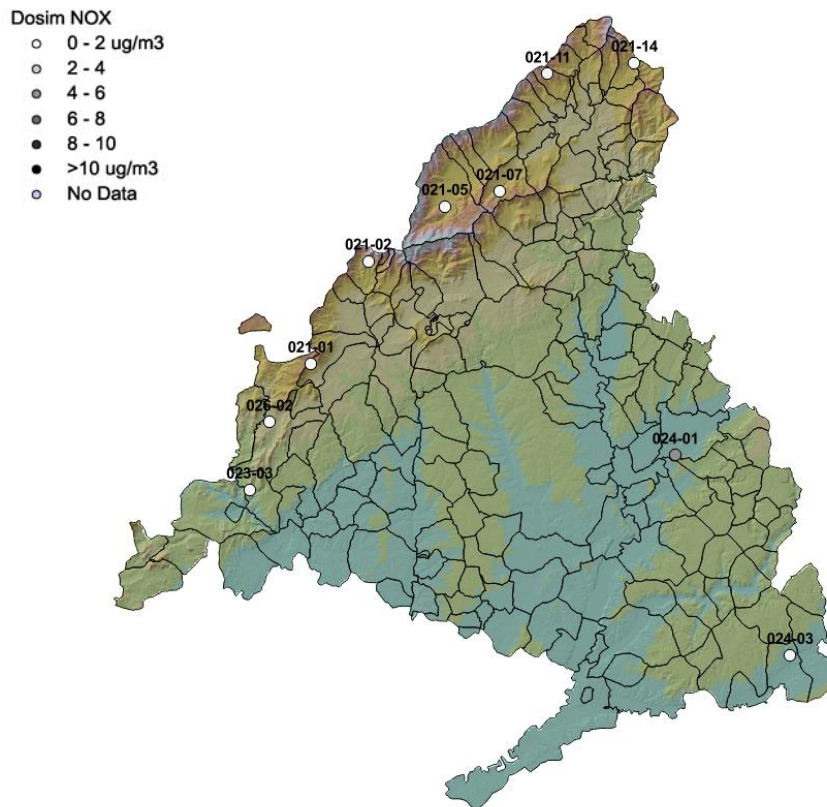


Figura MNO2.II
Muestreo 2 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 3 (21-22/03/2018)

Tabla MNO3 Concentración de NO₂ en el muestreo nº3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	-
E-021-02	Cercedilla	-
E-021-05	Rascafría	0,16
E-021-07	Canencia	0,65
E-021-11	Braojos	-
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,00
E-023-03	Navas del Rey	0,55
E-024-01	Alcalá de Henares	5,13
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,21
E-026-02	Robledo de Chavela	0,78
Media		1,21

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

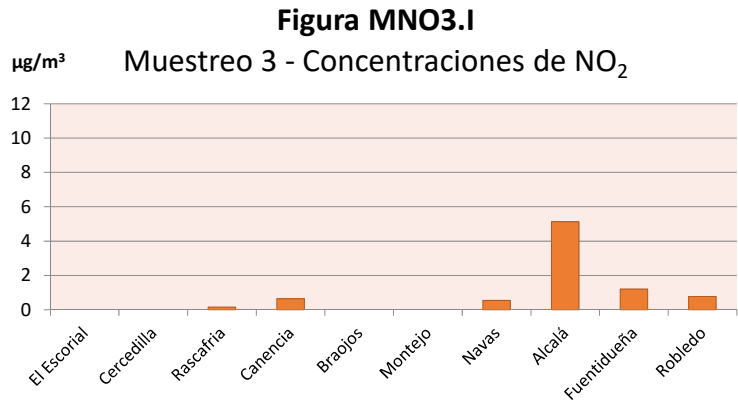
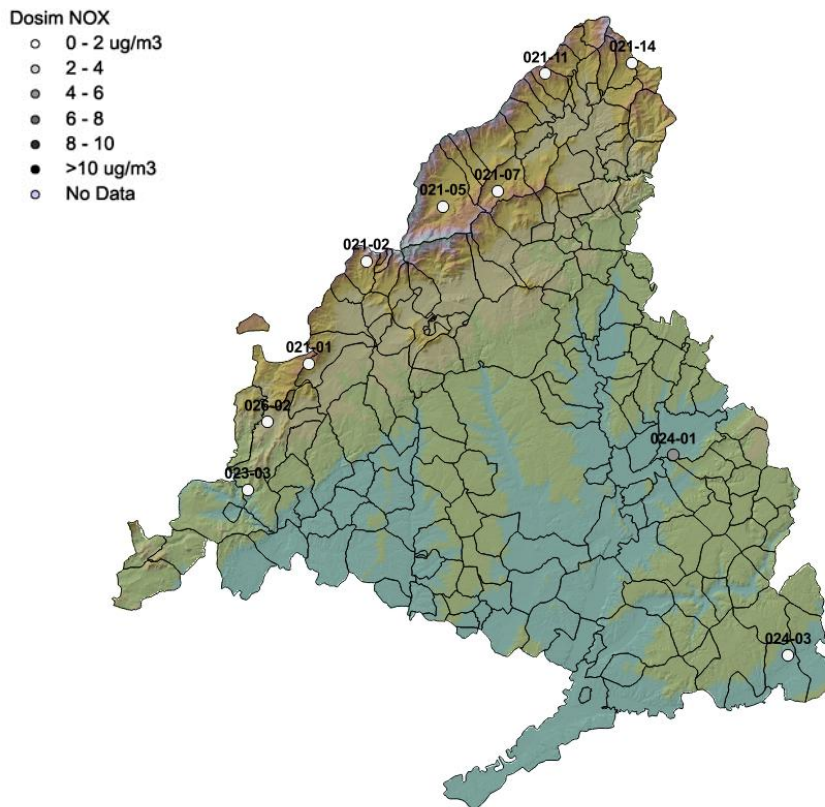


Figura MNO3.II
Muestreo 3 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 4 (04-05/04/2018)

Tabla MNO4 Concentración de NO₂ en el muestreo nº4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,11
E-021-02	Cercedilla	0,33
E-021-05	Rascafría	0,16
E-021-07	Canencia	0,29
E-021-11	Braojos	0,60
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,00
E-023-03	Navas del Rey	0,47
E-024-01	Alcalá de Henares	3,70
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,11
E-026-02	Robledo de Chavela	0,73
Media		0,95

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

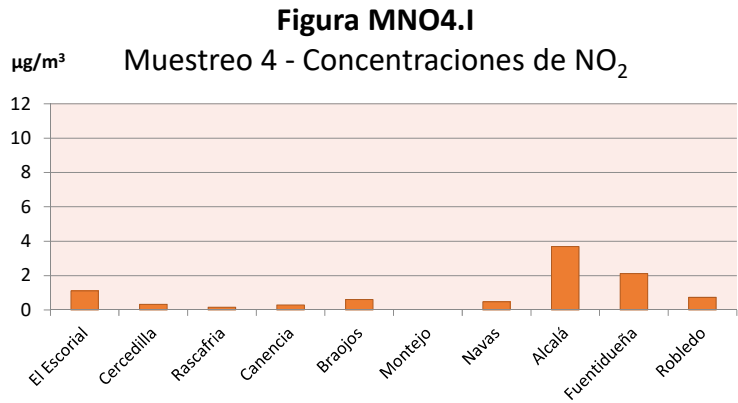
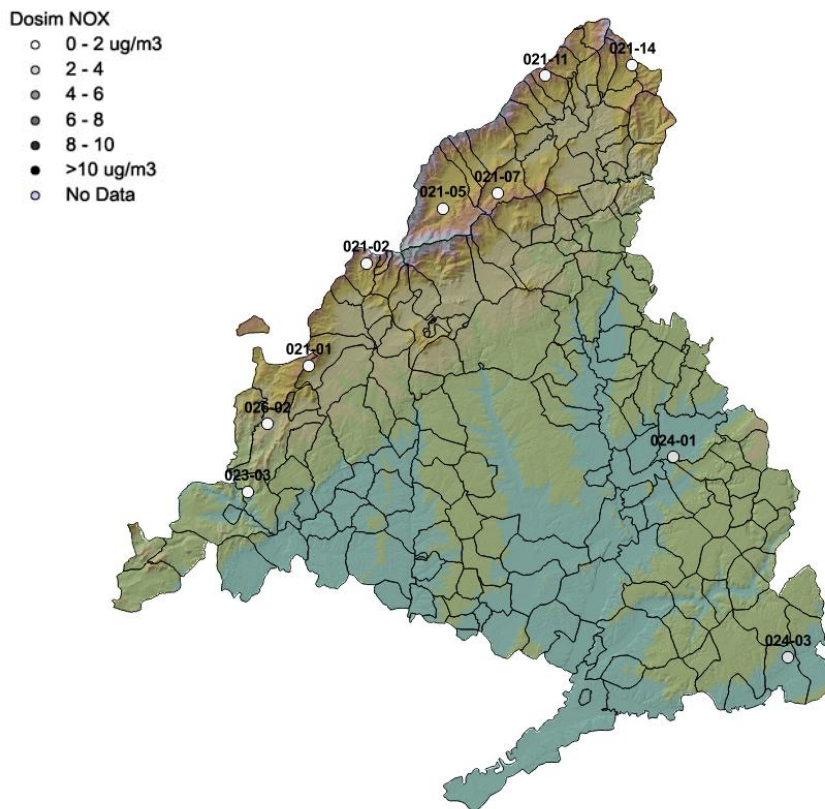


Figura MNO4.II
Muestreo 4 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 5 (19-20/04/2018)

Tabla MNO5 Concentración de NO₂ en el muestreo nº5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,65
E-021-02	Cercedilla	0,00
E-021-05	Rascafría	0,04
E-021-07	Canencia	2,33
E-021-11	Braojos	0,31
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,00
E-023-03	Navas del Rey	0,96
E-024-01	Alcalá de Henares	5,07
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,20
E-026-02	Robledo de Chavela	1,22
Media		1,28

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

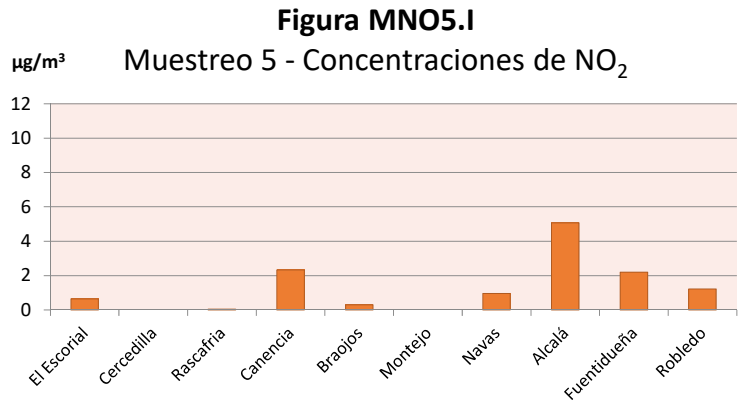
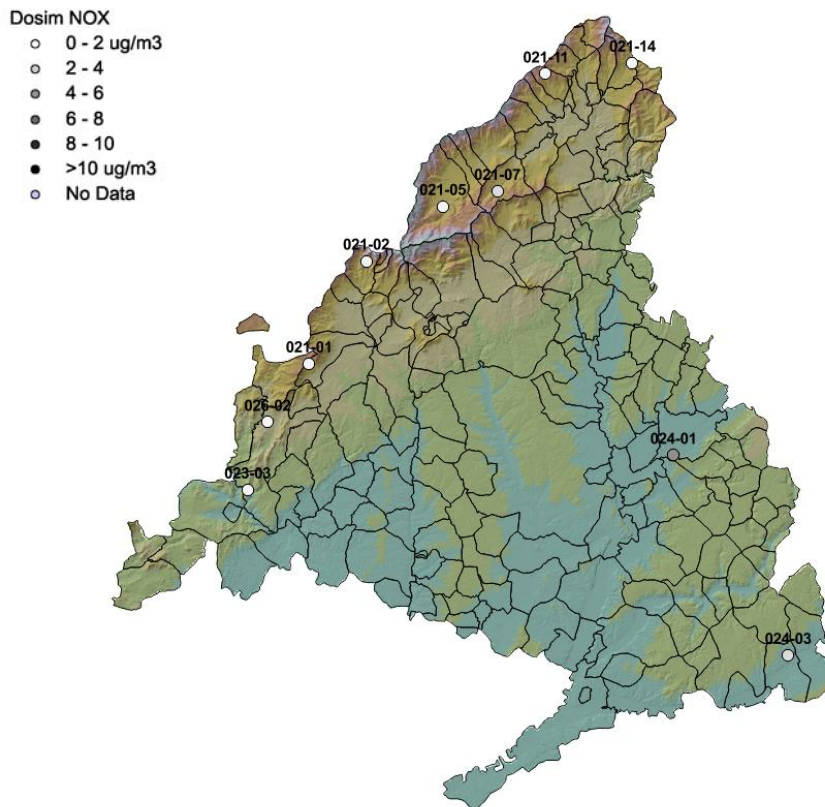


Figura MNO5.II
Muestreo 5 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 6

(09-10/05/2018)

Tabla MNO6 Concentración de NO₂ en el muestreo nº6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,97
E-021-02	Cercedilla	0,06
E-021-05	Rascafría	0,05
E-021-07	Canencia	0,66
E-021-11	Braojos	0,54
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,40
E-023-03	Navas del Rey	1,06
E-024-01	Alcalá de Henares	4,99
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,86
E-026-02	Robledo de Chavela	1,17
Media		1,18

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

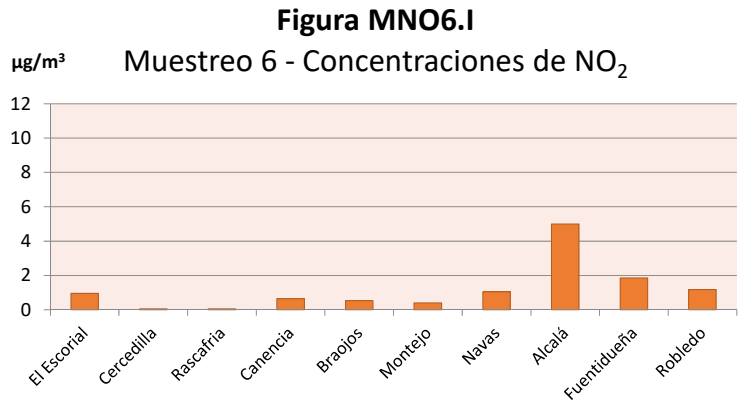
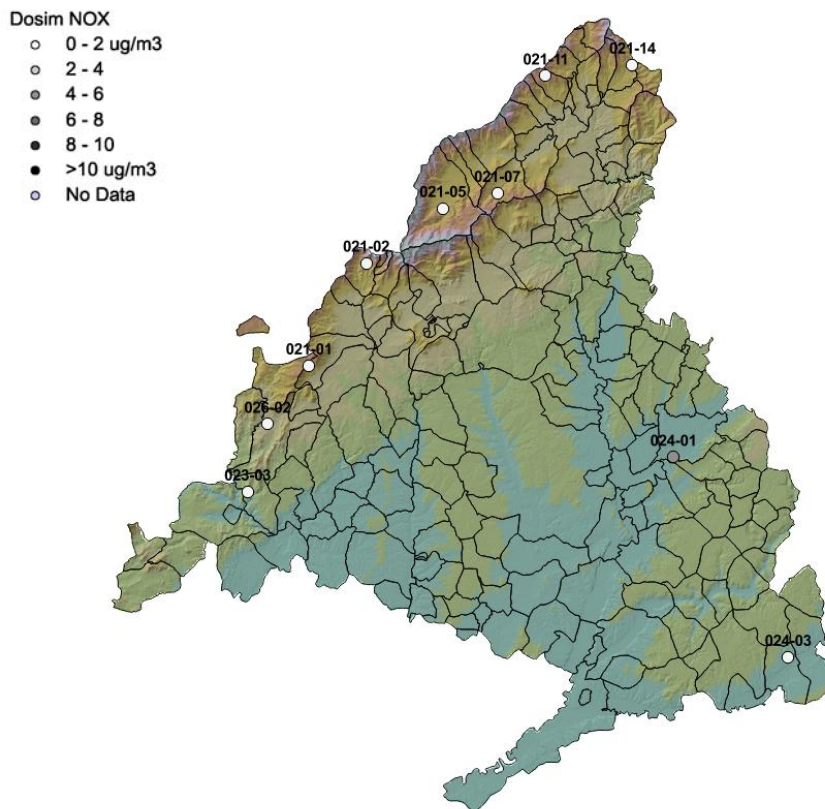


Figura MNO6.II
Muestreo 6 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 7 (30-31/05/2018)

Tabla MNO7 Concentración de NO₂ en el muestreo n°7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,84
E-021-02	Cercedilla	0,05
E-021-05	Rascafría	0,02
E-021-07	Canencia	0,64
E-021-11	Braojos	0,60
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,43
E-023-03	Navas del Rey	0,78
E-024-01	Alcalá de Henares	4,42
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,68
E-026-02	Robledo de Chavela	1,23
Media		1,07

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

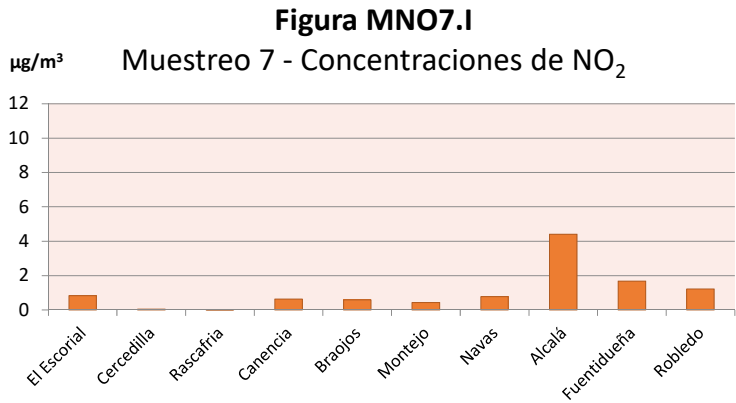
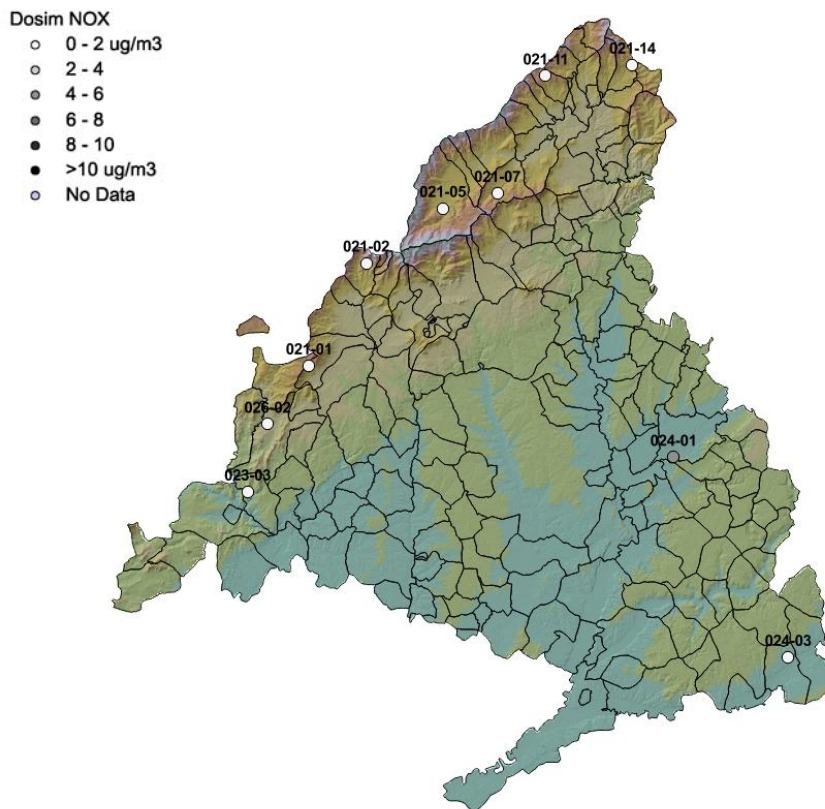


Figura MNO7.II
Muestreo 7 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 8

(09-14/06/2018)

Tabla MNO8 Concentración de NO₂ en el muestreo nº8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,71
E-021-02	Cercedilla	0,04
E-021-05	Rascafría	0,03
E-021-07	Canencia	0,76
E-021-11	Braojos	0,66
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,57
E-023-03	Navas del Rey	0,40
E-024-01	Alcalá de Henares	3,49
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	1,66
E-026-02	Robledo de Chavela	1,29
Media		0,96

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

Figura MNO8.I
Muestreo 8 - Concentraciones de NO₂

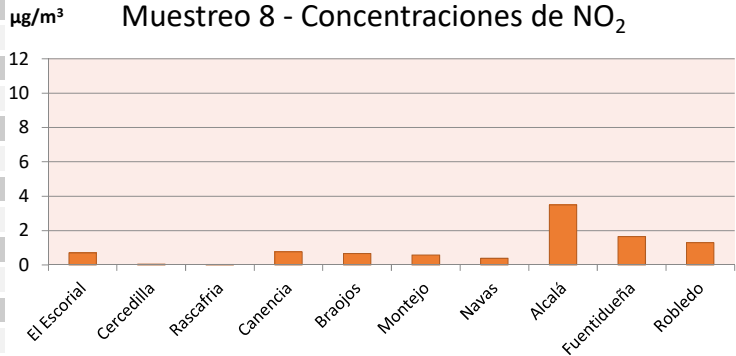
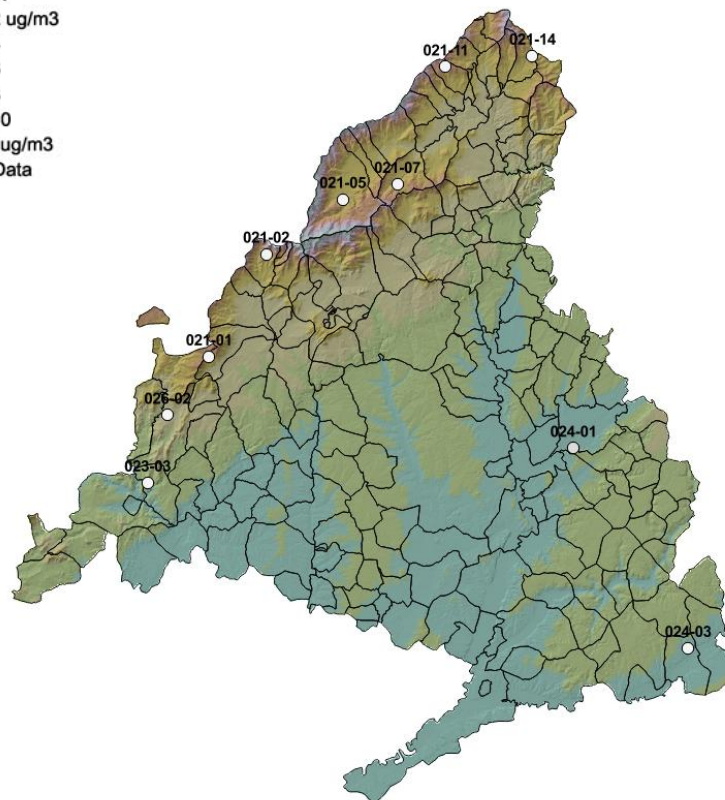


Figura MNO8.II
Muestreo 8 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

Dosim NOX

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





Muestreo 9 (26-27/06/2018)

Tabla MNO9 Concentración de NO₂ en el muestreo n°9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,26
E-021-02	Cercedilla	0,63
E-021-05	Rascafría	0,17
E-021-07	Canencia	1,12
E-021-11	Braojos	0,92
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,87
E-023-03	Navas del Rey	1,69
E-024-01	Alcalá de Henares	6,38
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,30
E-026-02	Robledo de Chavela	2,12
Media		1,74

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

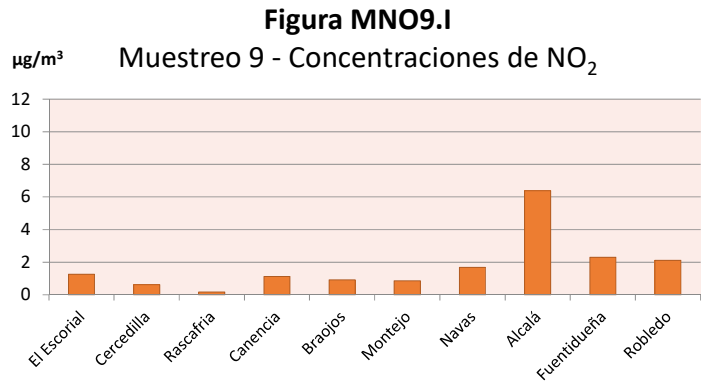
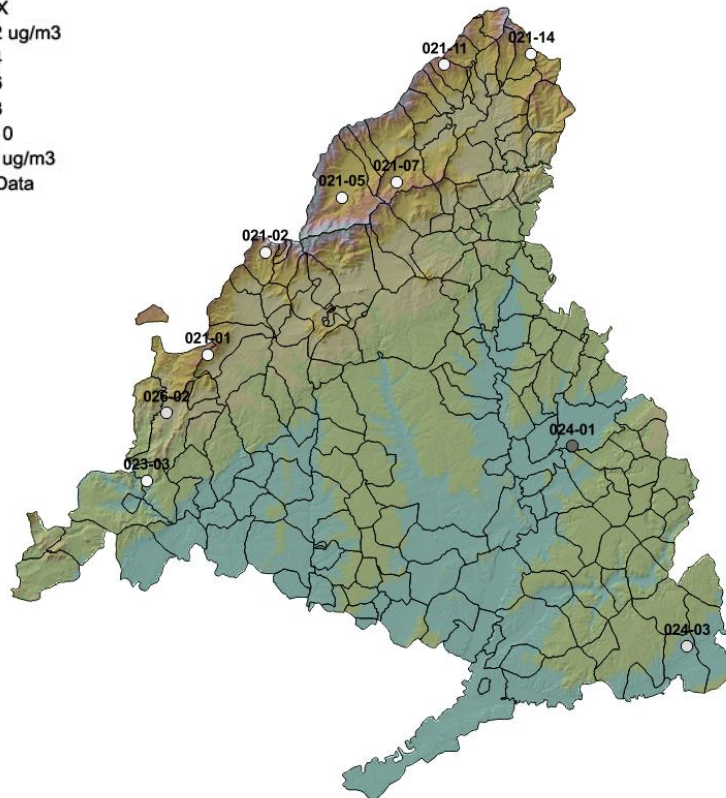


Figura MNO9.II
Muestreo 9 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 10 (19-20/08/2018)

Tabla MNO10 Concentración de NO₂ en el muestreo nº10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,79
E-021-02	Cercedilla	0,54
E-021-05	Rascafría	0,35
E-021-07	Canencia	1,24
E-021-11	Braojos	1,02
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,82
E-023-03	Navas del Rey	1,25
E-024-01	Alcalá de Henares	5,00
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,98
E-026-02	Robledo de Chavela	2,02
Media		1,50

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

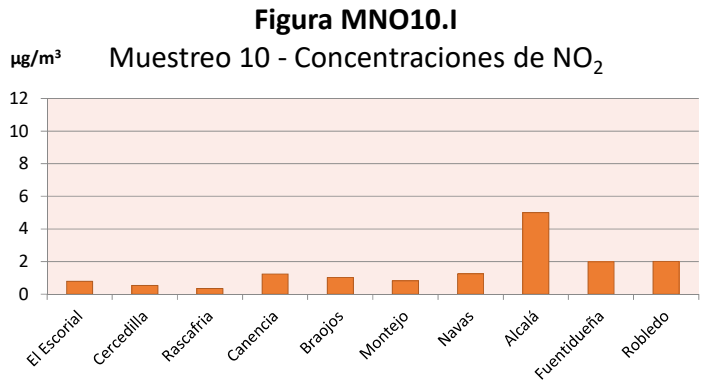
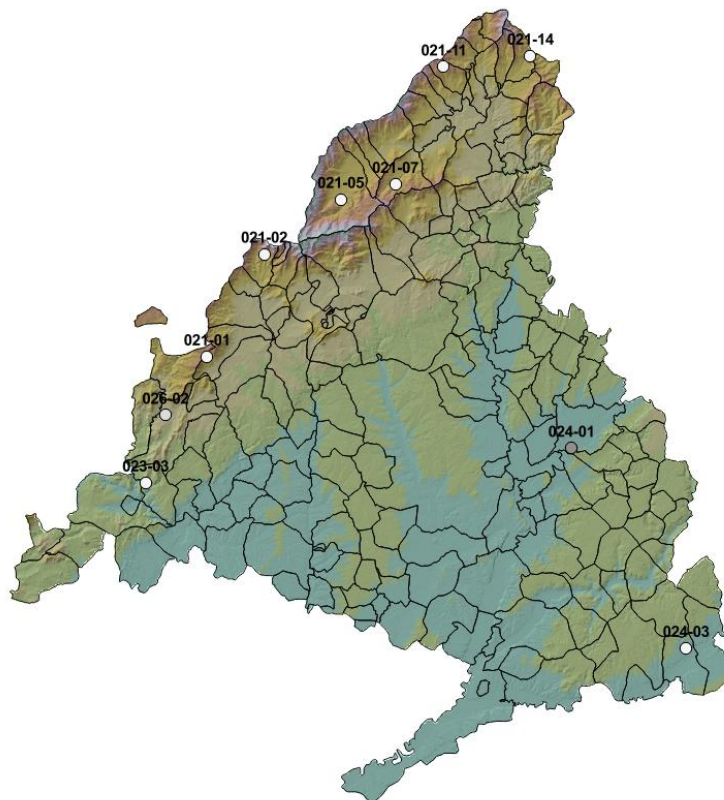


Figura MNO10.II
Muestreo 10 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

Dosim NOX

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





Muestreo 11 (02-03/08/2018)

Tabla MNO11 Concentración de NO₂ en el muestreo nº11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,00
E-021-02	Cercedilla	0,93
E-021-05	Rascafría	0,85
E-021-07	Canencia	1,68
E-021-11	Braojos	1,05
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,96
E-023-03	Navas del Rey	1,24
E-024-01	Alcalá de Henares	5,61
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,38
E-026-02	Robledo de Chavela	1,82
Media		1,75

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

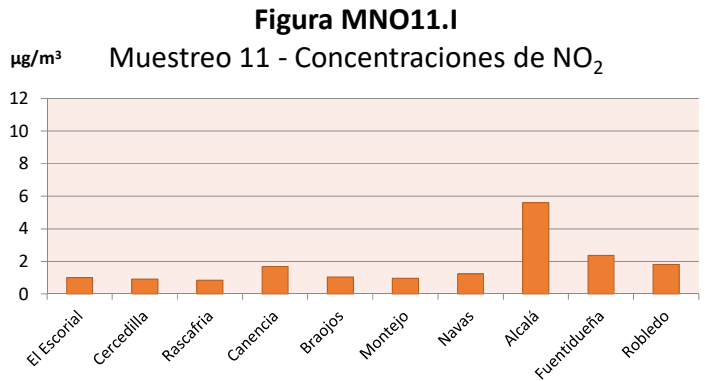
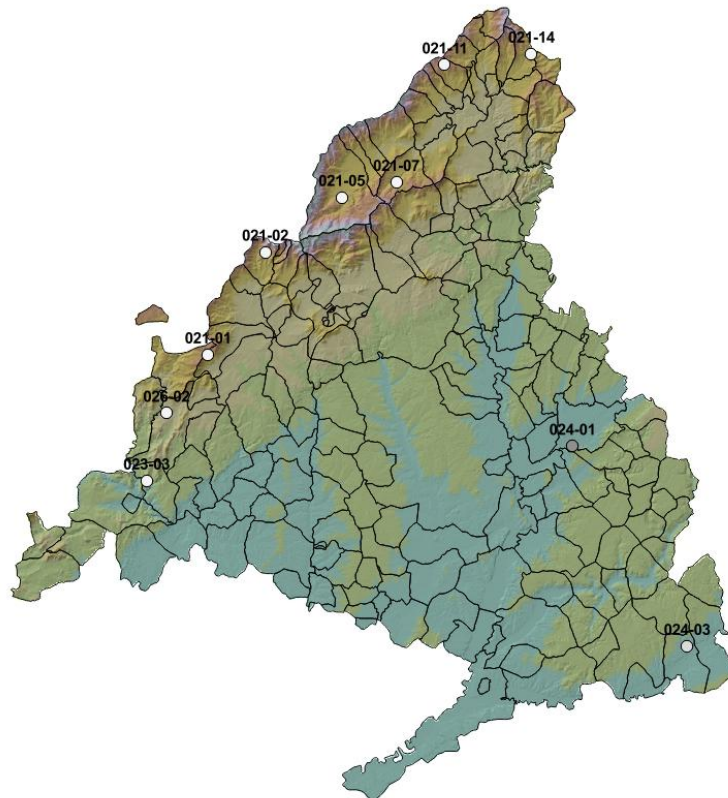


Figura MNO11.II
Muestreo 11 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación





Muestreo 12 (16-17/08/2018)

Tabla MNO12 Concentración de NO₂ en el muestreo nº12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,19
E-021-02	Cercedilla	1,50
E-021-05	Rascafría	0,68
E-021-07	Canencia	1,78
E-021-11	Braojos	1,30
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,22
E-023-03	Navas del Rey	1,54
E-024-01	Alcalá de Henares	5,43
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,80
E-026-02	Robledo de Chavela	2,56
Media		2,00

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

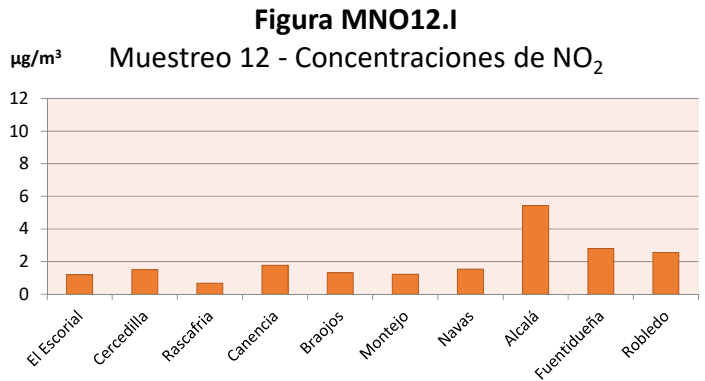
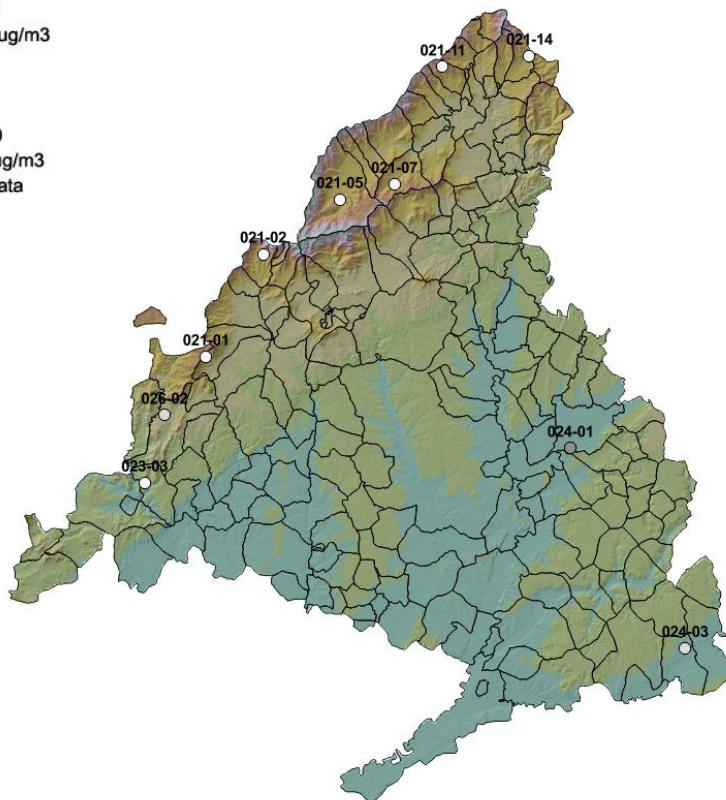


Figura MNO12.II
Muestreo 12 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 13 (03/09/2018)

Tabla MNO13 Concentración de NO₂ en el muestreo nº13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,55
E-021-02	Cercedilla	0,87
E-021-05	Rascafría	0,71
E-021-07	Canencia	1,54
E-021-11	Braojos	0,96
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,14
E-023-03	Navas del Rey	1,76
E-024-01	Alcalá de Henares	5,42
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,57
E-026-02	Robledo de Chavela	2,63
Media		1,91

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

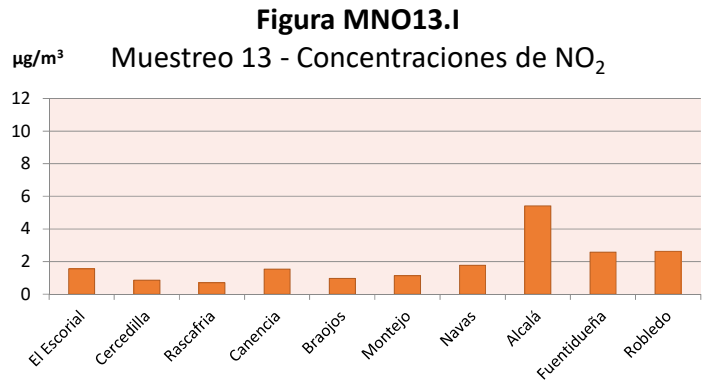
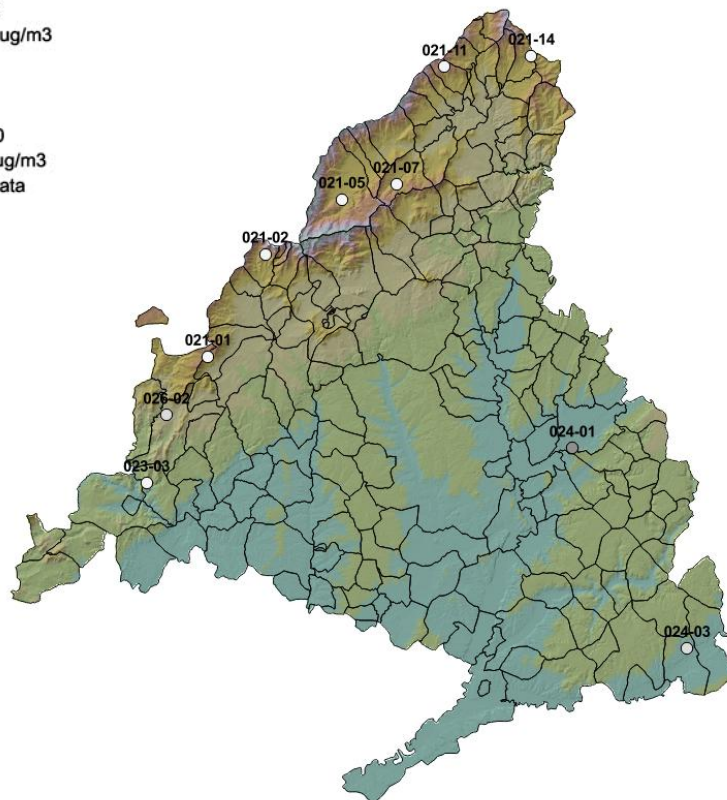


Figura MNO13.II
Muestreo 13 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 14 (27/09/2018)

Tabla MNO14 Concentración de NO₂ en el muestreo nº14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,84
E-021-02	Cercedilla	0,50
E-021-05	Rascafría	0,36
E-021-07	Canencia	3,44
E-021-11	Braojos	1,32
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,20
E-023-03	Navas del Rey	1,69
E-024-01	Alcalá de Henares	7,67
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,28
E-026-02	Robledo de Chavela	3,35
Media		2,47

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

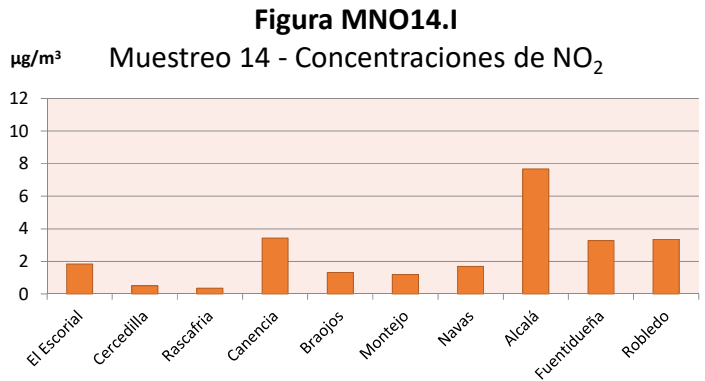
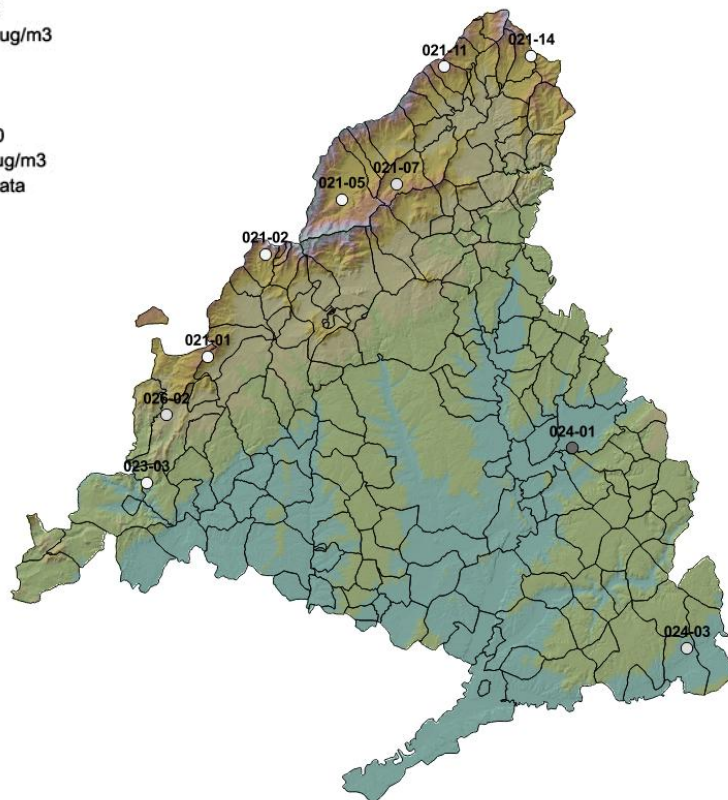


Figura MNO14.II
Muestreo 14 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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





Muestreo 15 (08-11/10/2018)

Tabla MNO15 Concentración de NO₂ en el muestreo nº15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,15
E-021-02	Cercedilla	1,56
E-021-05	Rascafría	0,55
E-021-07	Canencia	3,45
E-021-11	Braojos	0,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,11
E-023-03	Navas del Rey	2,12
E-024-01	Alcalá de Henares	6,17
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,10
E-026-02	Robledo de Chavela	2,39
Media		2,06

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

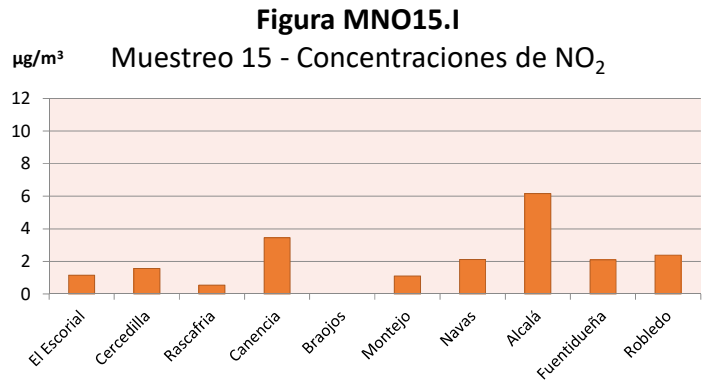
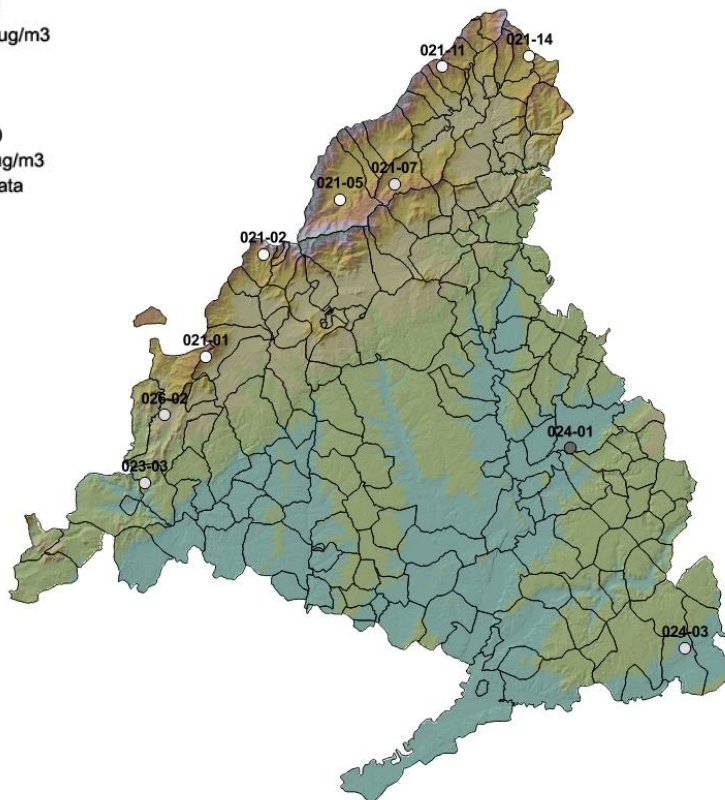


Figura MNO15.II
Muestreo 15 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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



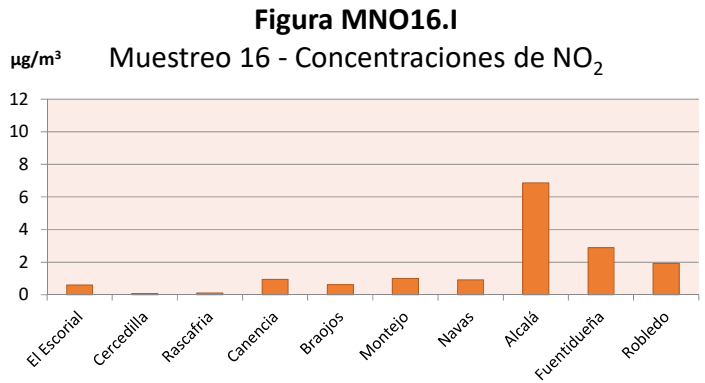


Muestreo 16 (31/10/2018)

Tabla MNO16 Concentración de NO₂ en el muestreo nº16

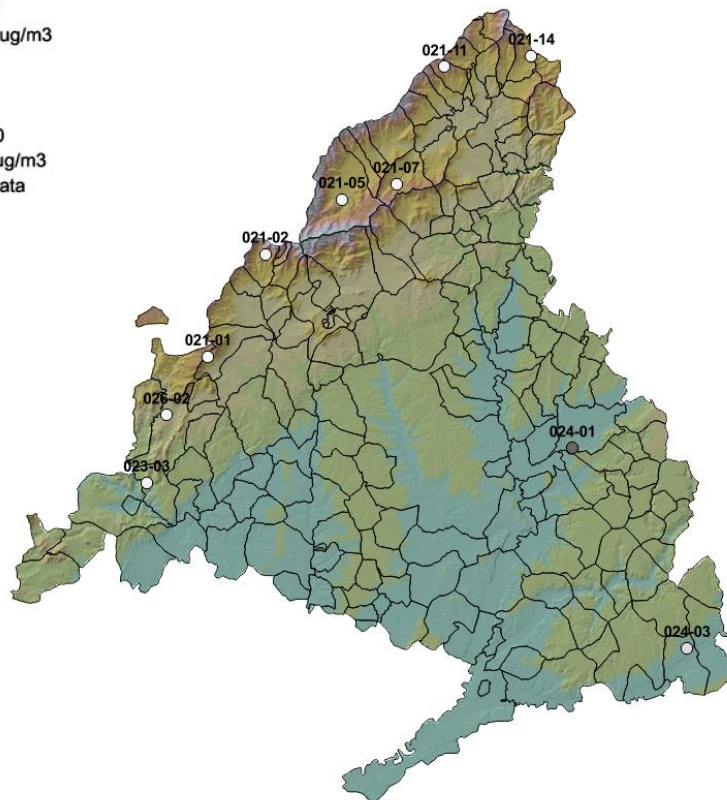
Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,15
E-021-02	Cercedilla	1,56
E-021-05	Rascafría	0,55
E-021-07	Canencia	3,45
E-021-11	Braojos	0,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,11
E-023-03	Navas del Rey	2,12
E-024-01	Alcalá de Henares	6,17
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,10
E-026-02	Robledo de Chavela	2,39
Media		2,06

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



Dosim NOX

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





Muestreo 17 (14-15/11/2018)

Tabla MNO17 Concentración de NO₂ en el muestreo nº17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,19
E-021-02	Cercedilla	0,01
E-021-05	Rascafría	0,10
E-021-07	Canencia	0,51
E-021-11	Braojos	0,29
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,84
E-023-03	Navas del Rey	0,19
E-024-01	Alcalá de Henares	7,11
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,94
E-026-02	Robledo de Chavela	1,05
Media		1,22

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

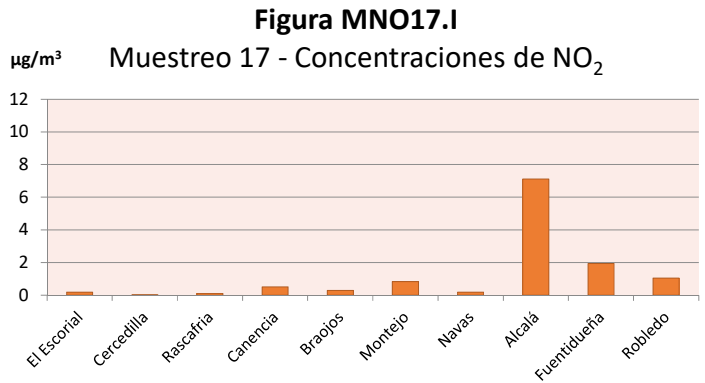
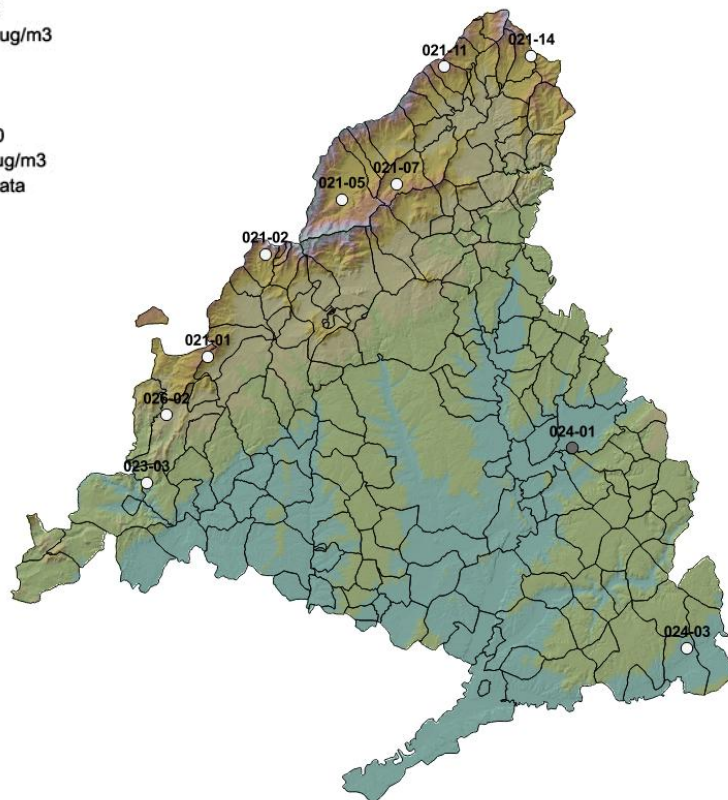


Figura MNO17.II
Muestreo 17 - Mapa con la concentración de NO₂ por estación

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



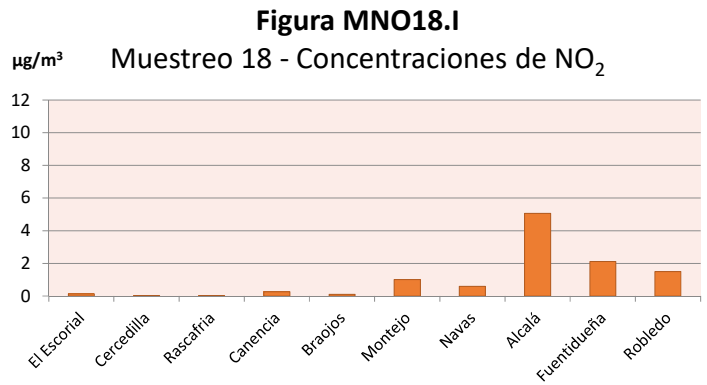


Muestreo 18 (29-30/11/2018)

Tabla MNO17 Concentración de NO₂ en el muestreo nº18

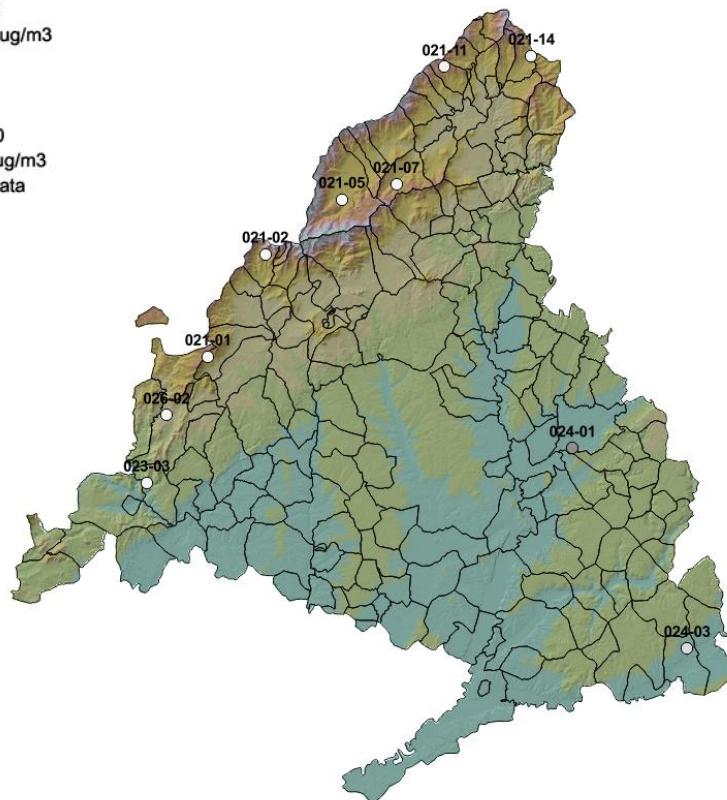
Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,13
E-021-02	Cercedilla	0,01
E-021-05	Rascafría	0,01
E-021-07	Canencia	0,26
E-021-11	Braojos	0,10
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,00
E-023-03	Navas del Rey	0,59
E-024-01	Alcalá de Henares	5,06
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,12
E-026-02	Robledo de Chavela	1,49
Media		1,08

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



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

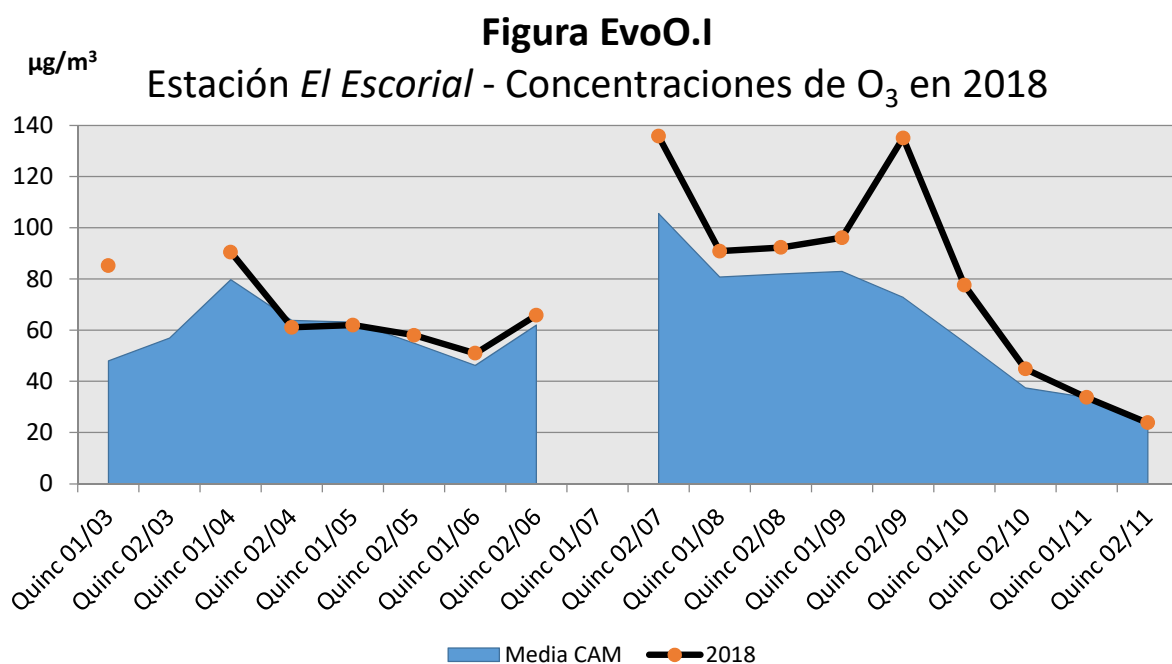
E-021-01 - San Lorenzo de El Escorial

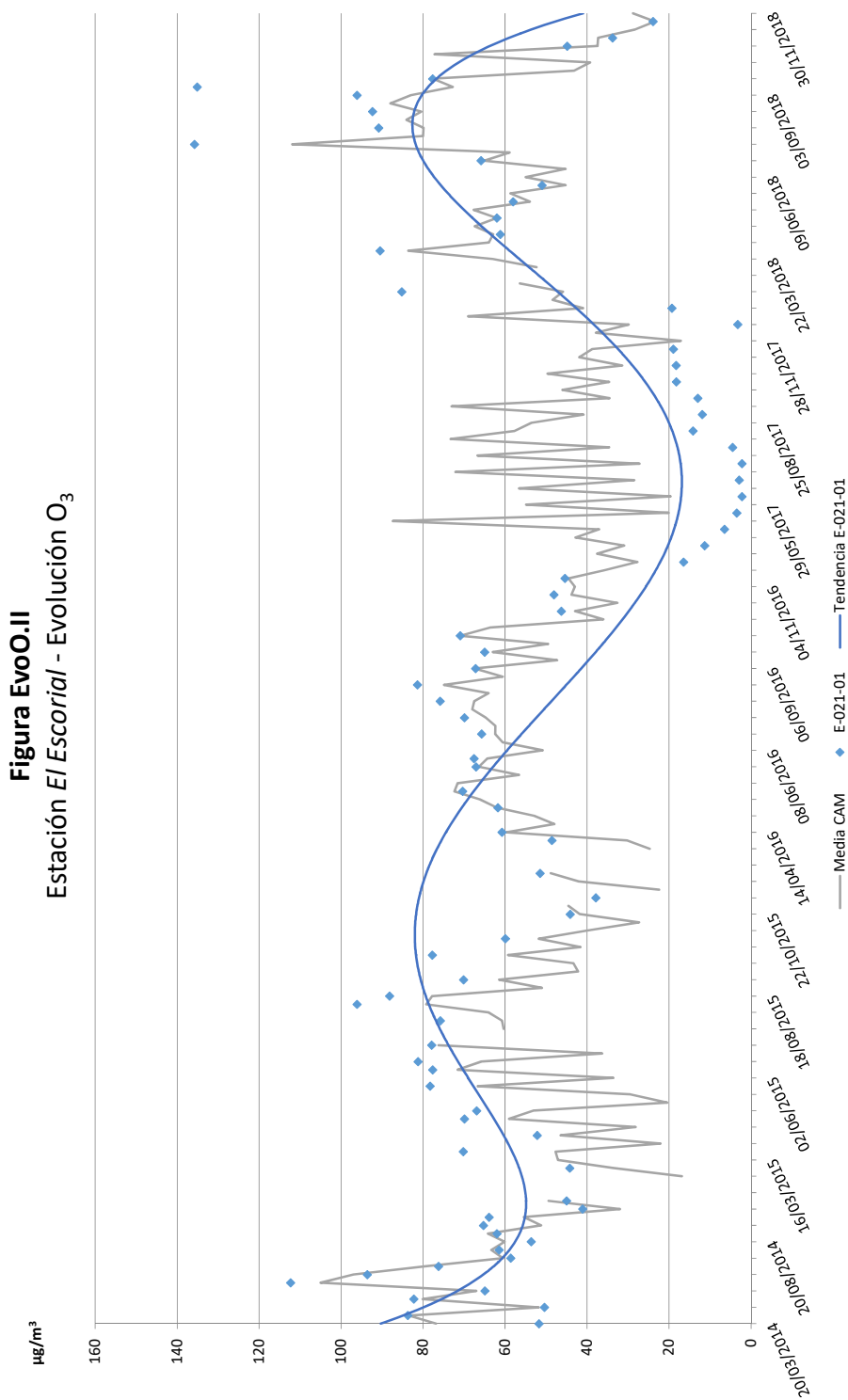
Tras el año atípico que fue 2017 en esta estación, con concentraciones de ozono bastante reducidas cuya media anual apenas superó los 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en el presente año se recuperaron los niveles de concentración de años previos, con una media anual para 2018 de 75,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En la presente revisión los valores fueron similares e incluso superiores a la media de todas las estaciones, con registros que oscilaron entre los 23,83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la segunda quincena de noviembre (viaje nº18) y los 135,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de julio (viaje nº10). Todos estos registros estarían en la tónica del modelo general de circulación del aire en la comunidad de Madrid, en la que se considera a este 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 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *San Lorenzo del Escorial* (E-021-01).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	85,15	11	1ª de agosto	02/08/2018	90,81
3	2ª de marzo	Impracticable por nieve	-	12	2ª de agosto	16/08/2018	92,30
4	1ª de abril	04/04/2018	90,45	13	1ª de septiembre	03/09/2018	96,07
5	2ª de abril	19/04/2018	61,12	14	2ª de septiembre	27/09/2018	135,06
6	1ª de mayo	10/05/2018	61,96	15	1ª de octubre	10/10/2018	77,61
7	2ª de mayo	30/05/2018	57,98	16	2ª de octubre	31/10/2018	44,80
8	1ª de junio	14/06/2018	50,95	17	1ª de noviembre	14/11/2018	33,72
9	2ª de junio	27/06/2018	65,84	18	2ª de noviembre	29/11/2018	23,83
10	2ª de julio	20/07/2018	135,74				
Media							75,21

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







E-021-02 - Cercedilla

Nuevamente las concentraciones de ozono obtenidas en 2018 fueron superiores a las de 2017, retomando los niveles de concentración propios de años previos. La concentración media anual pasó de los 10,97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2017 a los 73,37 de este último año, con valores que oscilaron entre los 23,93 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la segunda quincena del mes de noviembre (viaje o muestreo nº18) y los 132,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda de julio (viaje nº10), y siendo en términos generales similares o superiores a los registros medios del conjunto de estaciones para 2018. Al igual que en la estación de El Escorial, 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, no siendo de extrañar la aparición de niveles altos de ozono, tal y como ocurriera en la segunda quincena de julio ya referida así como en la segunda quincena de septiembre con 124,68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabla EvoO.II Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Cercedilla* (E-021-02).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	72,11	11	1ª de agosto	02/08/2018	86,11
3	2ª de marzo	Impracticable por la nieve	-	12	2ª de agosto	16/08/2018	89,79
4	1ª de abril	04/04/2018	102,57	13	1ª de septiembre	03/09/2018	95,61
5	2ª de abril	19/04/2018	56,29	14	2ª de septiembre	27/09/2018	124,68
6	1ª de mayo	10/05/2018	68,01	15	1ª de octubre	10/10/2018	77,61
7	2ª de mayo	30/05/2018	56,89	16	2ª de octubre	31/10/2018	36,67
8	1ª de junio	14/06/2018	43,69	17	1ª de noviembre	14/11/2018	35,70
9	2ª de junio	26/06/2018	71,77	18	2ª de noviembre	29/11/2018	23,93
10	2ª de julio	20/07/2018	132,57				
Media							73,37

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

Figura EvoO.III

Estación *Cercedilla* - Concentraciones de O_3 en 2018

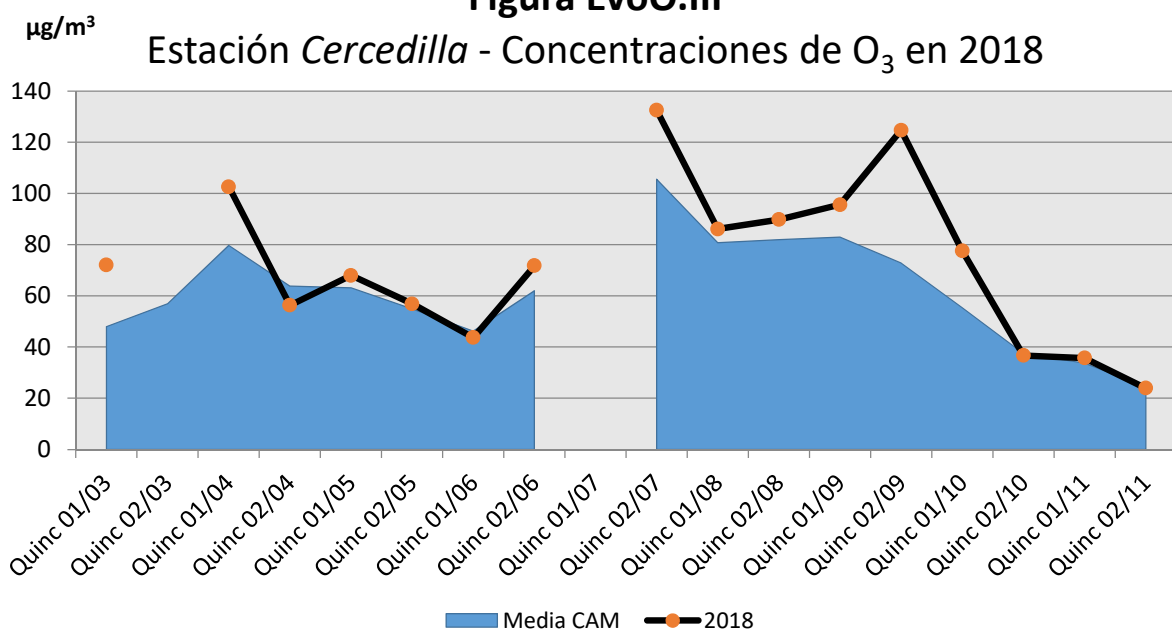
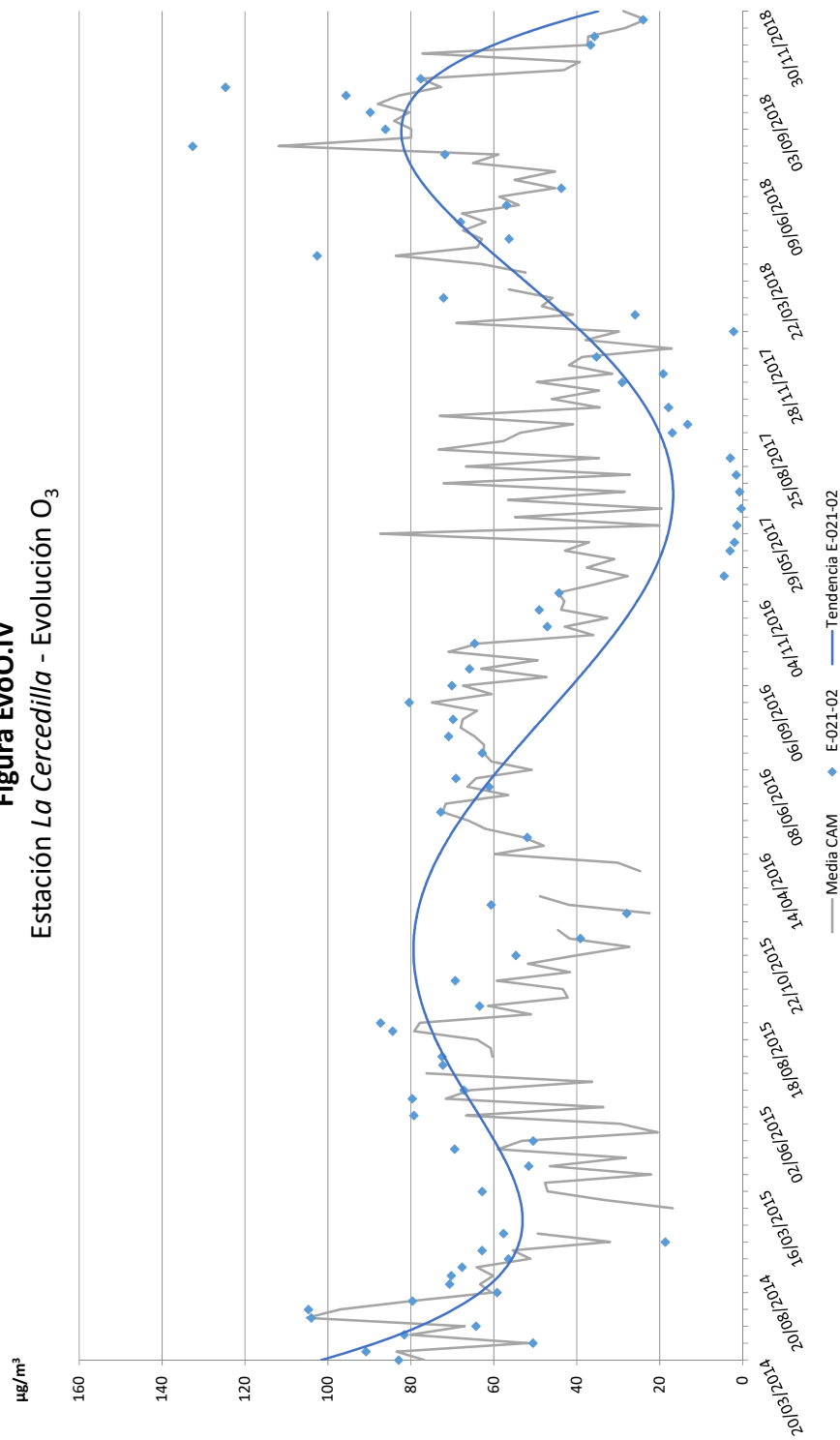




Figura EvoO.IV
Estación La Cercedilla - Evolución O₃





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 reducidas con una media de 53,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, siendo algo inferiores a los registros medios obtenidos en 2018 para el conjunto de las estaciones. Los valores oscilaron entre los 23,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la segunda quincena de noviembre (muestra nº18) y los 83,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la primera quincena de abril (viaje nº4). A lo largo del año las concentraciones mostraron dos máximos o picos relativos: uno el ya referido a principios de abril, así como otro en la primera quincena de septiembre alcanzando los 78,57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, manteniéndose elevados a lo largo del verano para descender a finales de año.

Tabla EvoO.III Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Rascafría* (E-021-05).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de marzo	07/03/2018	28,26	11	1ª de agosto	02/08/2018	72,49	
3	2ª de marzo	21/03/2018	60,05	12	2ª de agosto	16/08/2018	74,75	
4	1ª de abril	04/04/2018	83,89	13	1ª de septiembre	03/09/2018	78,57	
5	2ª de abril	19/04/2018	57,60	14	2ª de septiembre	27/09/2018	56,28	
6	1ª de mayo	10/05/2018	59,31	15	1ª de octubre	08/10/2018	47,33	
7	2ª de mayo	30/05/2018	41,04	16	2ª de octubre	31/10/2018	32,89	
8	1ª de junio	14/06/2018	34,30	17	1ª de noviembre	14/11/2018	32,92	
9	2ª de junio	26/06/2018	55,33	18	2ª de noviembre	29/11/2018	23,00	
10	2ª de julio	20/07/2018	74,32					
							Media	53,67

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

Figura EvoO.V

Estación *Rascafría* - Concentraciones de O_3 en 2018

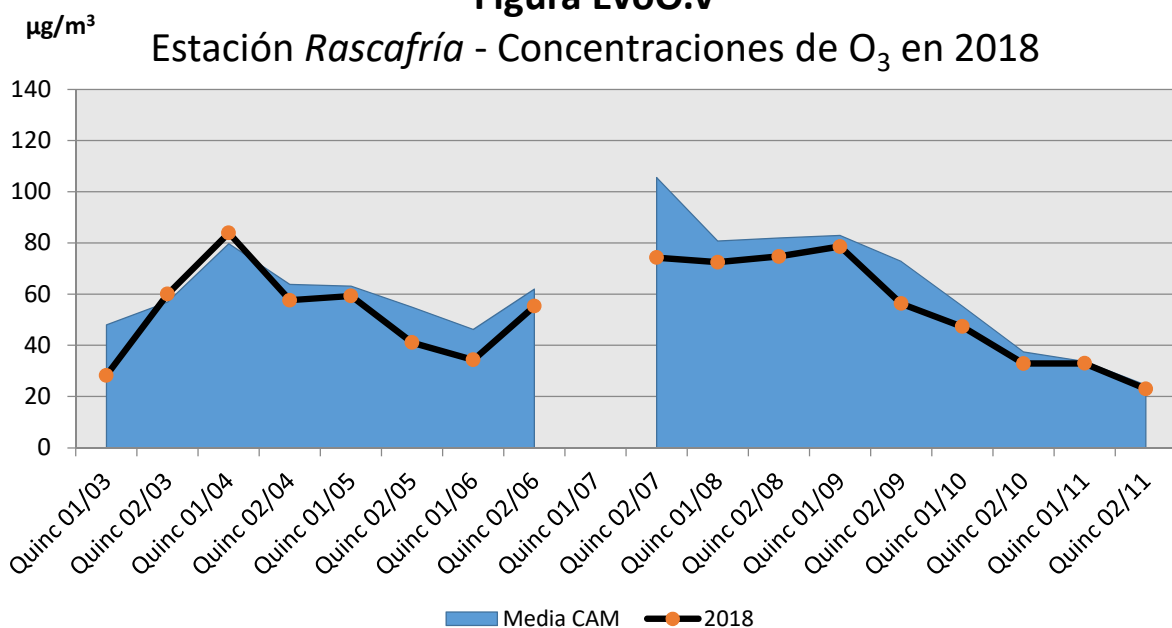
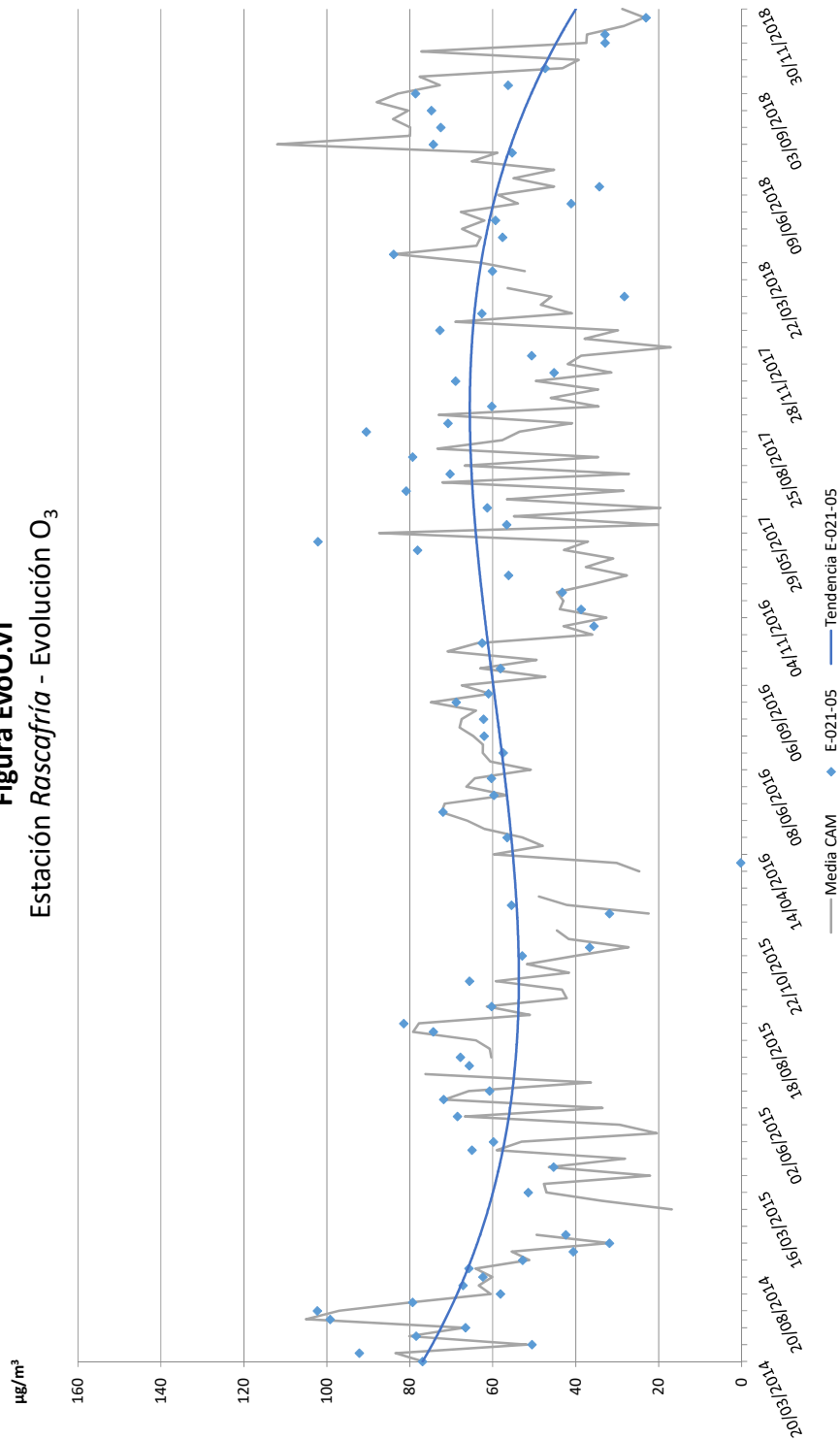




Figura EvoO.VI
Estación Rascafría - Evolución O₃





E-021-07 – Canencia de la Sierra

En el presente año, tal y como ocurriera con las estaciones de El Escorial y Cercedilla, las concentraciones de ozono fueron notablemente superiores a las de 2017, recuperándose los niveles de años anteriores. La concentración media en esta estación para 2017 fueron 11,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, situándose en los 59,03 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ para 2018, con unos registros en términos generales muy similares a las medias del conjunto de estaciones. Los registros oscilaron entre los 19,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la segunda quincena de noviembre (viaje n°18) y los 114,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de julio (viaje n°10), siendo paulatino el descenso en las concentraciones desde ese momento hasta finales de año.

Tabla EvoO.IV Evolución en 2018 de las concentraciones de O₃ en la estación de *Canencia de la Sierra* (E-021-07).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	52,92	11	1ª de agosto	02/08/2018	76,42
3	2ª de marzo	21/03/2018	54,26	12	2ª de agosto	16/08/2018	72,94
4	1ª de abril	04/04/2018	78,18	13	1ª de septiembre	03/09/2018	75,61
5	2ª de abril	19/04/2018	58,38	14	2ª de septiembre	27/09/2018	55,70
6	1ª de mayo	10/05/2018	68,98	15	1ª de octubre	08/10/2018	39,06
7	2ª de mayo	30/05/2018	62,35	16	2ª de octubre	31/10/2018	34,97
8	1ª de junio	14/06/2018	50,87	17	1ª de noviembre	14/11/2018	29,76
9	2ª de junio	26/06/2018	59,53	18	2ª de noviembre	29/11/2018	19,26
10	2ª de julio	20/07/2018	114,31				
Media							59,03

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

Figura EvoO.VII

Estación *Canencia* - Concentraciones de O₃ en 2018

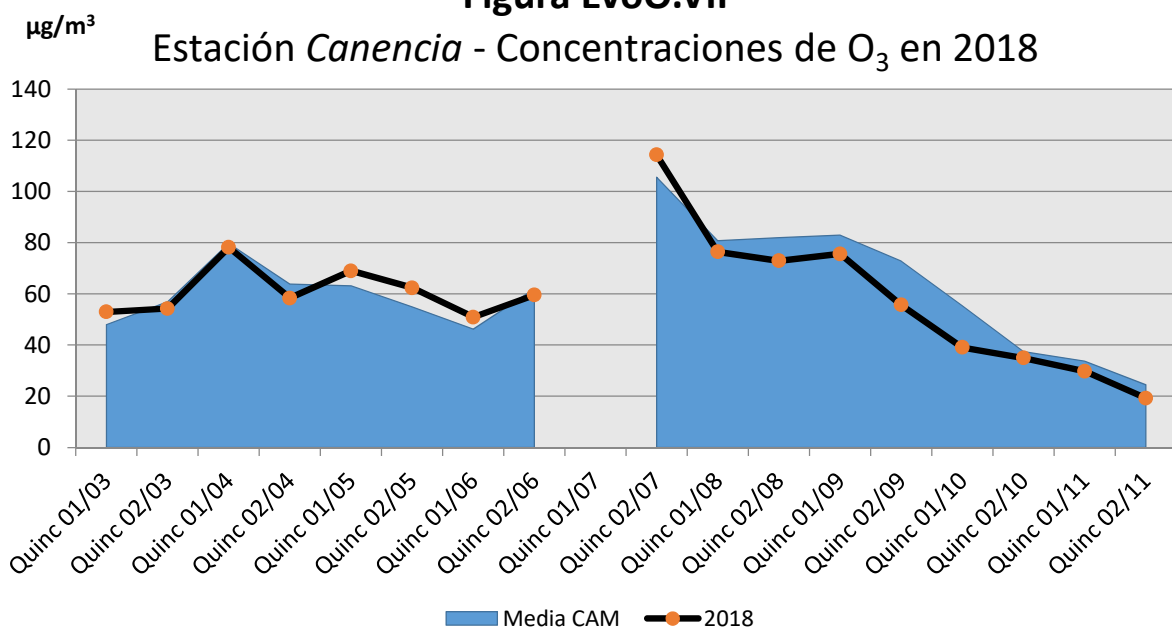
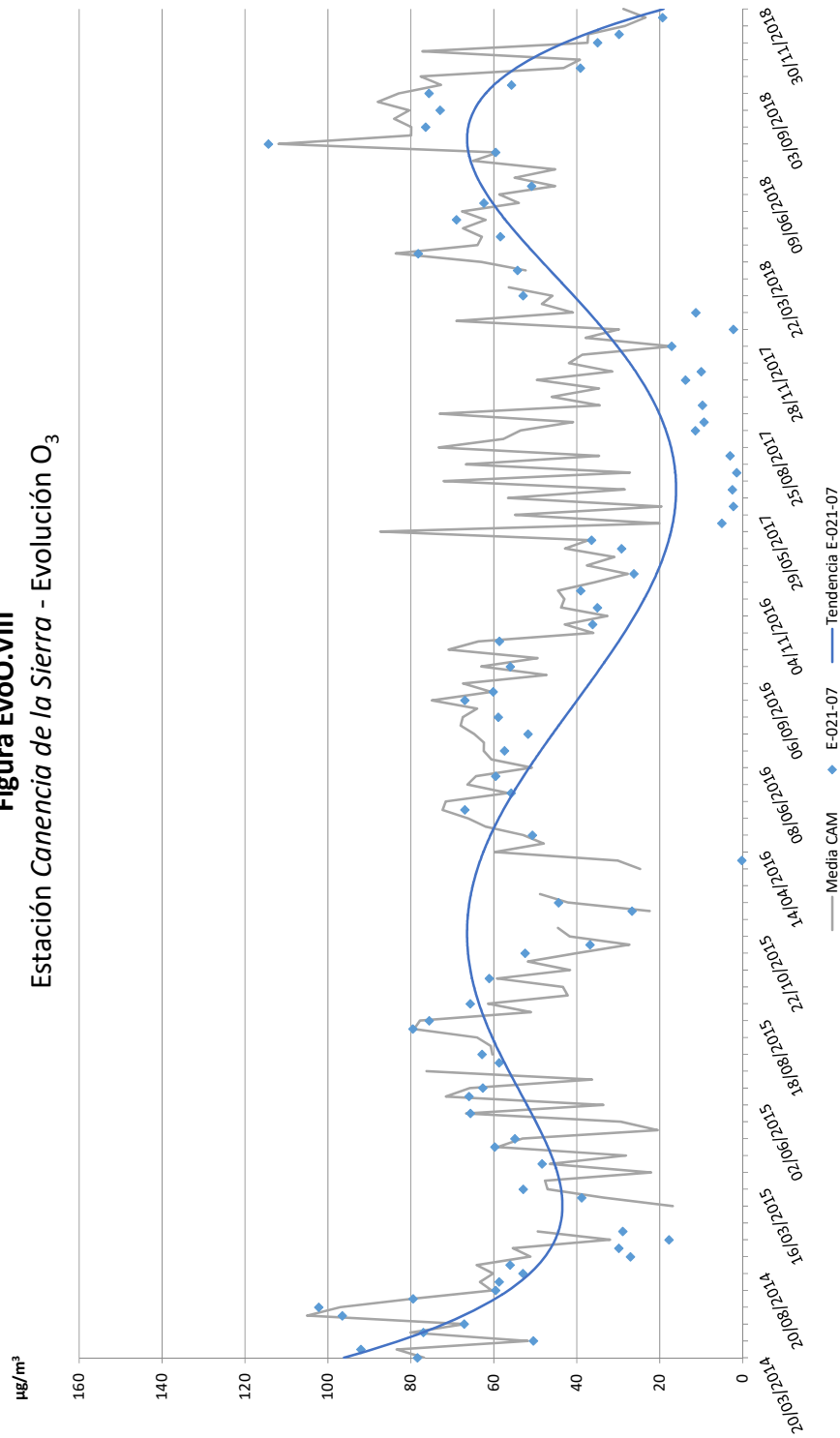




Figura EvoO.VIII
Estación Canencia de la Sierra - Evolución O₃





E-021-11 – Braojos

Las concentraciones en esta estación fueron similares o estuvieron en tónica con los registros medios en 2017 y años anteriores, con una media en este último año de 52,64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta presente revisión los valores oscilaron entre los 0,00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valores por debajo del límite de detección) de la primera quincena de octubre (viaje nº15) o la concentración traza de 0,36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la siguiente quincena (viaje nº16), y los 122,90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de julio (viaje nº10), con registros en términos generales similares a las medias del conjunto de estaciones salva para los mínimos obtenidos en el mes de octubre.

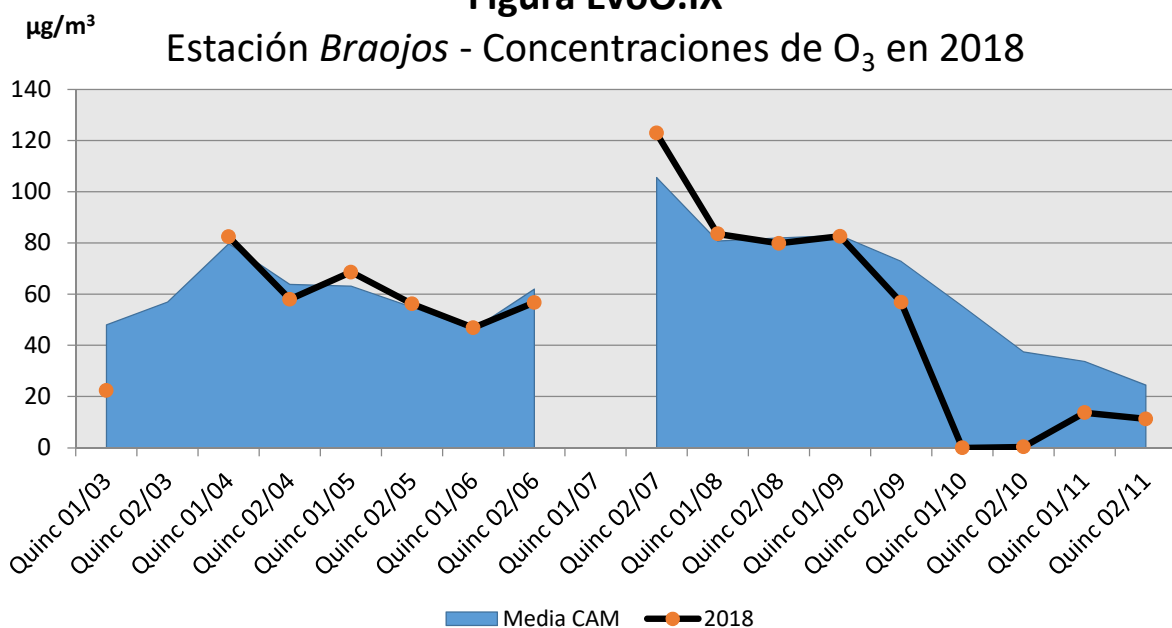
Tabla EvoO.V Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Braojos* (E-021-11).

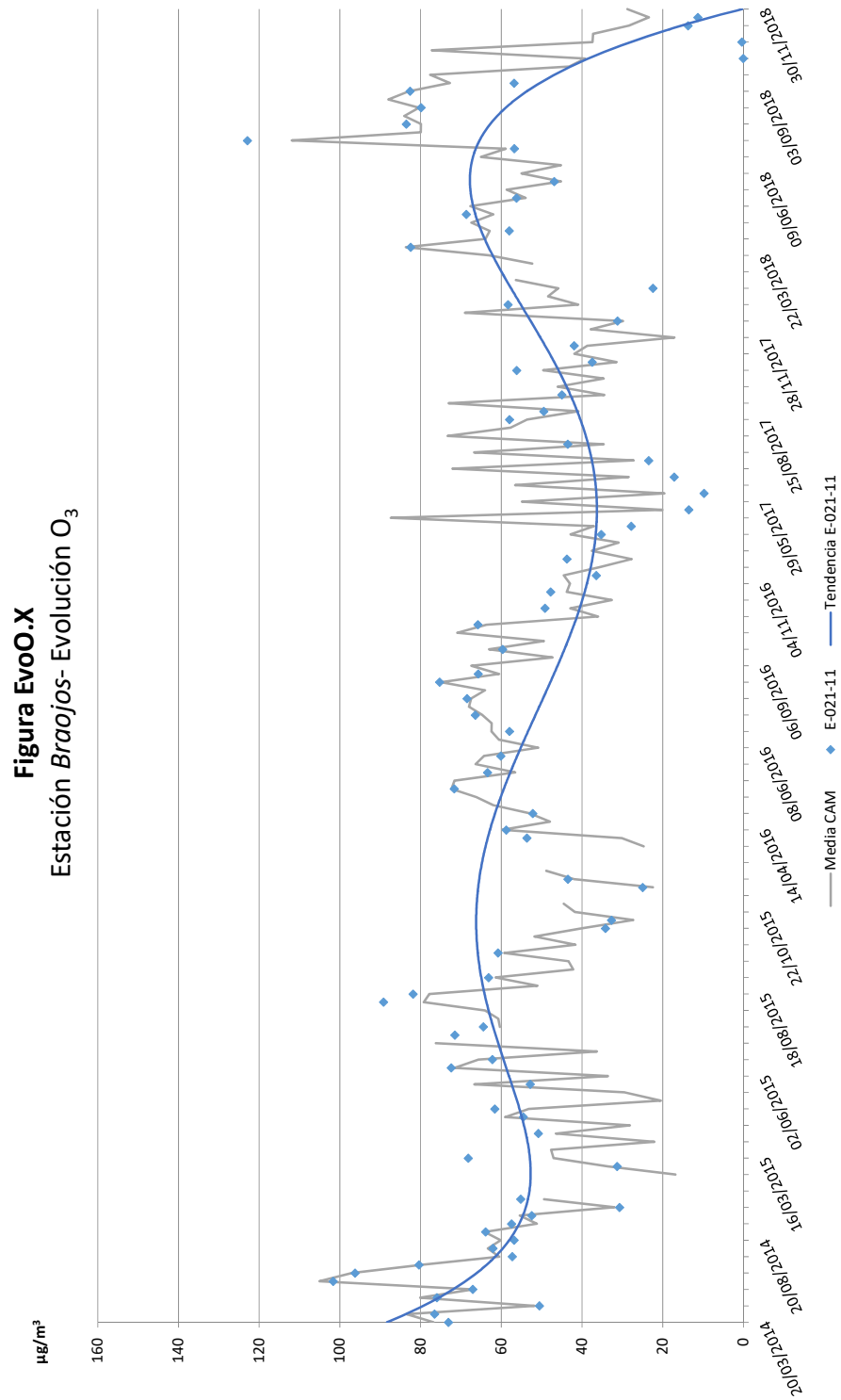
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	22,39	11	1ª de agosto	02/08/2018	83,53
3	2ª de marzo	Impracticable por la nieve	-	12	2ª de agosto	16/08/2018	79,86
4	1ª de abril	04/04/2018	82,42	13	1ª de septiembre	03/09/2018	82,59
5	2ª de abril	19/04/2018	58,00	14	2ª de septiembre	27/09/2018	56,79
6	1ª de mayo	10/05/2018	68,62	15	1ª de octubre	09/10/2018	0,00
7	2ª de mayo	30/05/2018	56,19	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,36
8	1ª de junio	14/06/2018	46,85	17	1ª de noviembre	15/11/2018	13,72
9	2ª de junio	26/06/2018	56,77	18	2ª de noviembre	29/11/2018	11,25
10	2ª de julio	20/07/2018	122,90				
Media							52,64

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

Figura EvoO.IX

Estación *Braojos* - Concentraciones de O_3 en 2018







E-021-14 – Montejo de la Sierra

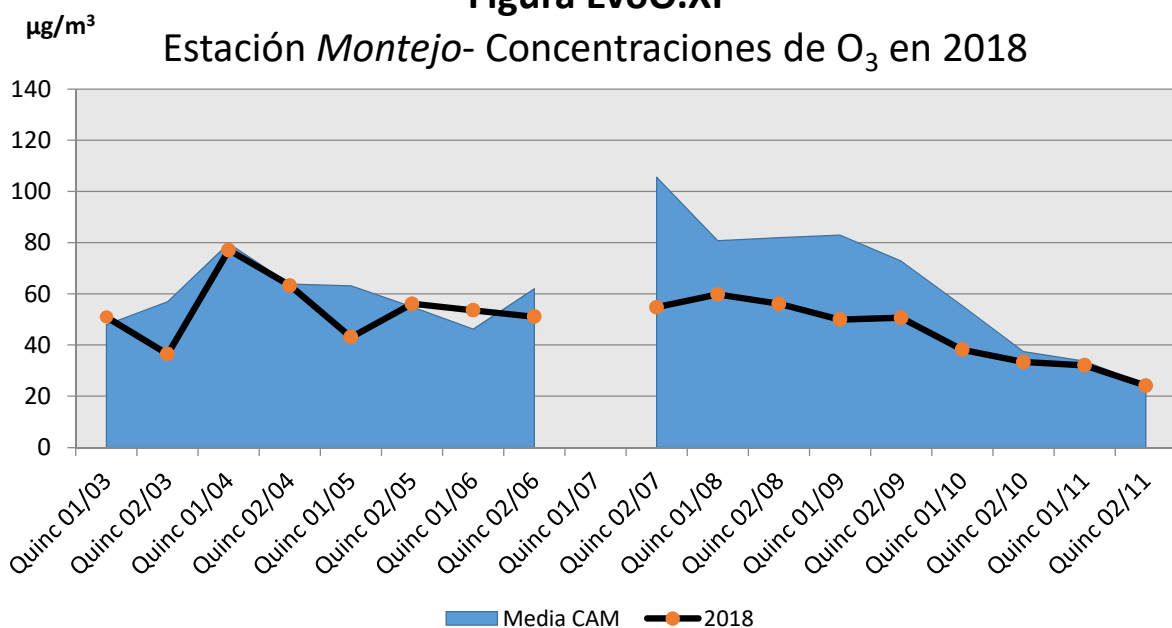
En este año las concentraciones de ozono se mantuvieron en la tónica de 2014, 2016 y 2017, con una concentración media para 2018 que se situó en los 48,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los registros en este año oscilaron entre los 24,11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de noviembre (viaje nº18) y los 77,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de abril (muestreo o viaje nº4). Siendo de esperar elevadas concentraciones de ozono en esta estación dada su situación geográfica, la realidad es que los valores se mantuvieron generalmente por debajo de la media para la red o conjunto de estaciones, sobre todo en los meses de verano con registros que rondaron los 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. El valor máximo en esta estación fue el registrado en la primera quincena de abril, para descender en los muestreos sucesivos y mantener desde entonces una evolución ligeramente descendente hasta finales de año.

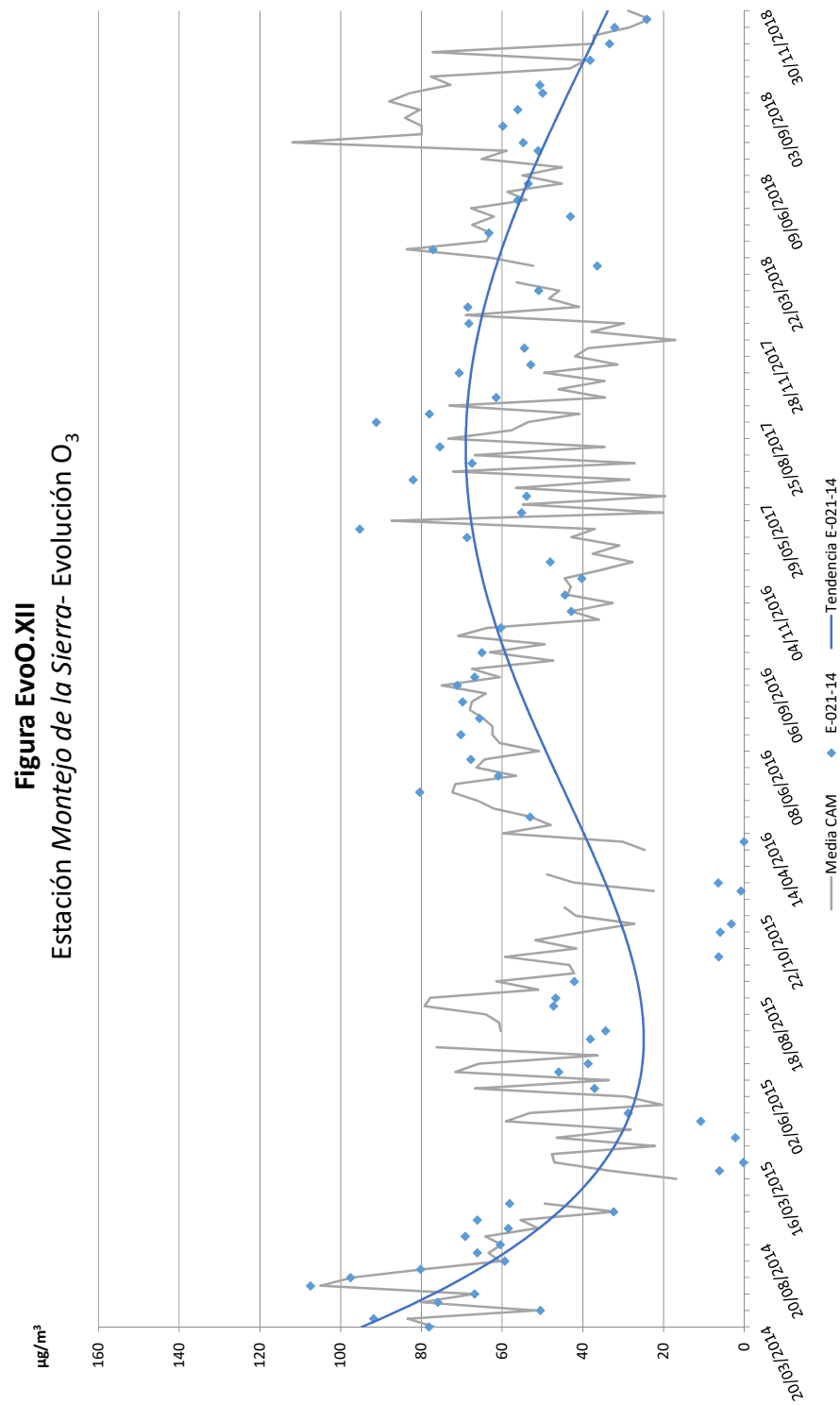
Tabla EvoO.VI Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Montejo de la Sierras* (E-021-14).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	50,94	11	1ª de agosto	02/08/2018	59,79
3	2ª de marzo	21/03/2018	36,44	12	2ª de agosto	16/08/2018	56,12
4	1ª de abril	04/04/2018	77,10	13	1ª de septiembre	03/09/2018	49,91
5	2ª de abril	19/04/2018	63,25	14	2ª de septiembre	27/09/2018	50,65
6	1ª de mayo	10/05/2018	43,07	15	1ª de octubre	09/10/2018	38,17
7	2ª de mayo	30/05/2018	56,10	16	2ª de octubre	31/10/2018	33,39
8	1ª de junio	14/06/2018	53,53	17	1ª de noviembre	15/11/2018	32,10
9	2ª de junio	26/06/2018	51,04	18	2ª de noviembre	29/11/2018	24,11
10	2ª de julio	20/07/2018	54,75				
Media							48,85

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

Figura EvoO.XI







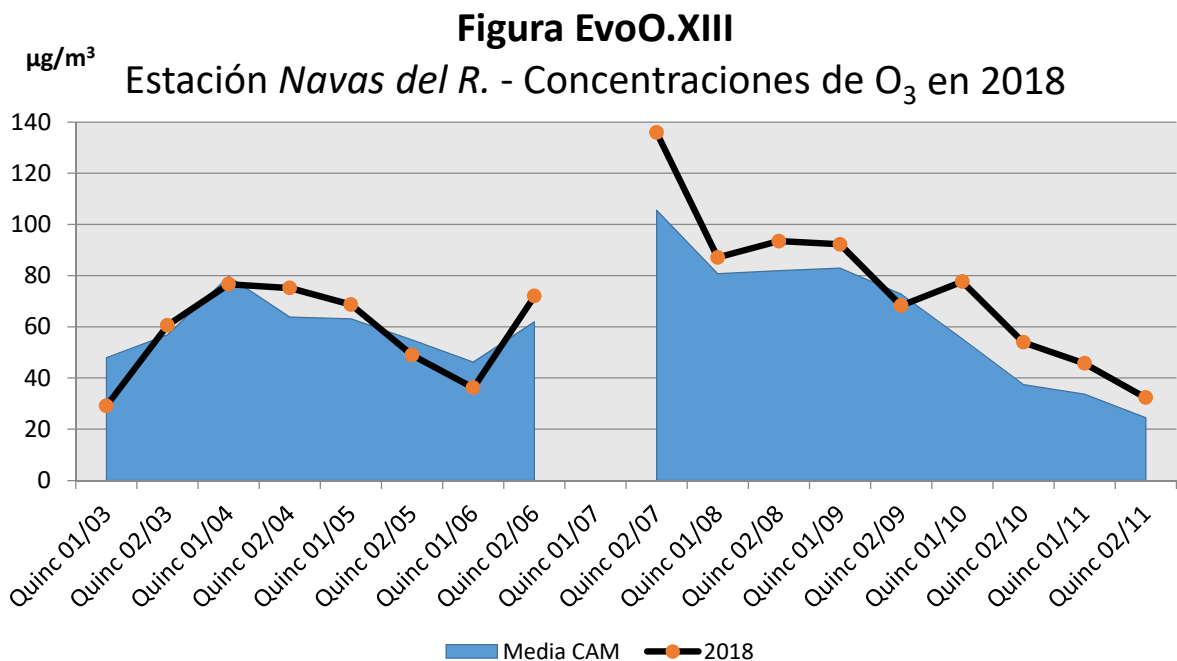
E-023-03 – Navas del Rey

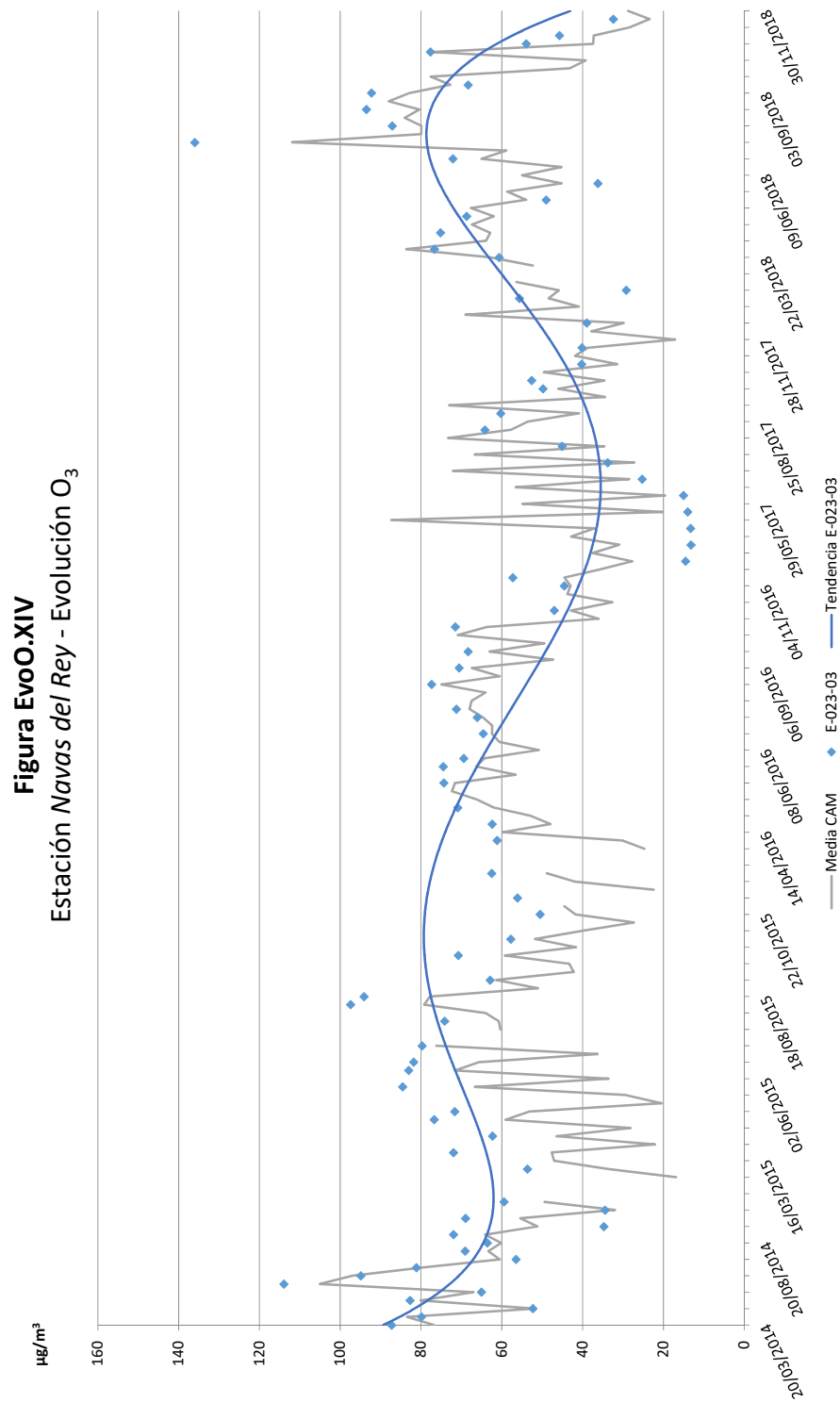
Las concentraciones de ozono en esta estación fueron superiores a las de 2017, retomando la media anual de 2018 (67,89 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) niveles de años previos si bien la dispersión de los registros fue bastante elevada. Estos valores oscilaron entre los 29,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de marzo (viaje nº2) y los 135,96 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de julio (viaje nº10), siendo en muchas de las ocasiones registros superiores a los de la media del conjunto de estaciones. La evolución temporal de los registros siguió la tónica apreciada en muchas de las estaciones este último año, con un máximo relativo a principios de la primavera para incrementarse notablemente en los meses de verano sin duda favorecidos por el incremento de la radiación solar y temperaturas, reduciéndose en muestreos posteriores para alcanzar mínimos a finales de año.

Tabla EvoO.VII Evolución en 2018 de las concentraciones de O₃ en la estación de Navas del Rey (E-023-03).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	29,15	11	1ª de agosto	02/08/2018	87,11
3	2ª de marzo	22/03/2018	60,64	12	2ª de agosto	16/08/2018	93,46
4	1ª de abril	04/04/2018	76,66	13	1ª de septiembre	03/09/2018	92,22
5	2ª de abril	19/04/2018	75,17	14	2ª de septiembre	27/09/2018	68,29
6	1ª de mayo	10/05/2018	68,68	15	1ª de octubre	11/10/2018	77,65
7	2ª de mayo	30/05/2018	48,96	16	2ª de octubre	31/10/2018	53,92
8	1ª de junio	14/06/2018	36,17	17	1ª de noviembre	14/11/2018	45,70
9	2ª de junio	27/06/2018	72,05	18	2ª de noviembre	29/11/2018	32,35
10	2ª de julio	20/07/2018	135,96				
Media							67,89

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







E-024-01 – Alcalá de Henares

En 2018 las concentraciones medias de ozono en esta estación se mantuvieron en la tónica de años anteriores con una media anual de 61,78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, oscilando entre los 24,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de noviembre (viaje nº18) y los 87,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de agosto (viaje nº11). En términos generales los registros, sin grandes oscilaciones, se mantuvieron muy similares a los registros medios de la Comunidad, con máximos en los meses de verano para descender a mínimos anuales en los últimos muestreos.

Tabla EvoO.VIII Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Alcalá de Henares* (E-024-01).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	09/03/2018	62,89	11	1ª de agosto	03/08/2018	87,45
3	2ª de marzo	22/03/2018	63,17	12	2ª de agosto	17/08/2018	87,42
4	1ª de abril	05/04/2018	64,83	13	1ª de septiembre	03/09/2018	87,38
5	2ª de abril	20/04/2018	64,35	14	2ª de septiembre	27/09/2018	56,53
6	1ª de mayo	09/05/2018	69,35	15	1ª de octubre	09/10/2018	58,53
7	2ª de mayo	31/05/2018	62,44	16	2ª de octubre	31/10/2018	38,99
8	1ª de junio	09/06/2018	54,97	17	1ª de noviembre	15/11/2018	32,40
9	2ª de junio	27/06/2018	54,53	18	2ª de noviembre	30/11/2018	24,20
10	2ª de julio	19/07/2018	80,84				
Media							61,78

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

Figura EvoO.XV

Estación *Alcalá de H.* - Concentraciones de O_3 en 2018

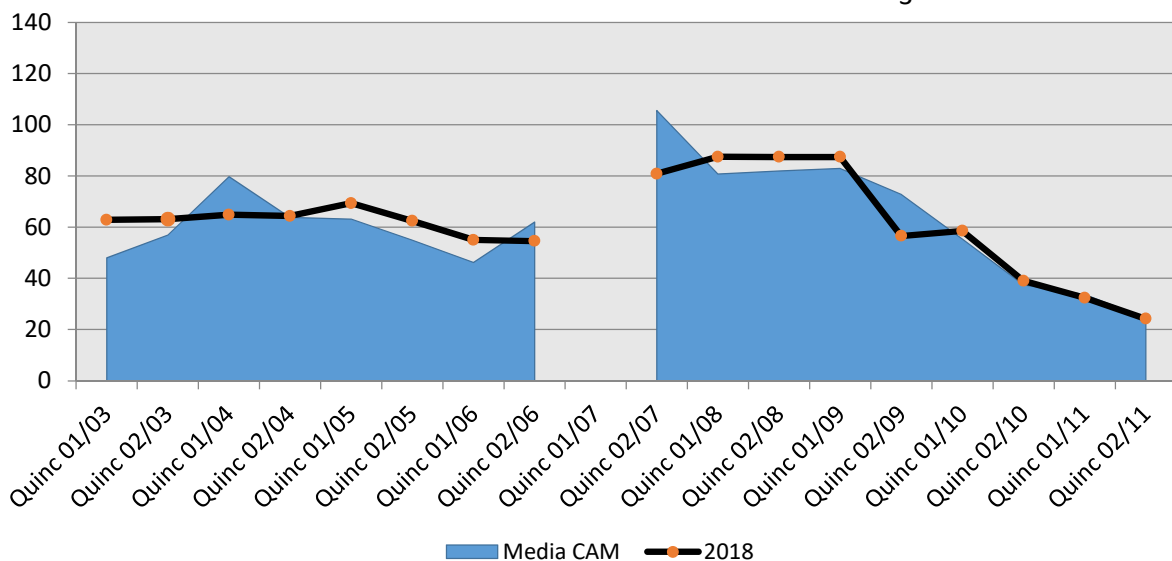
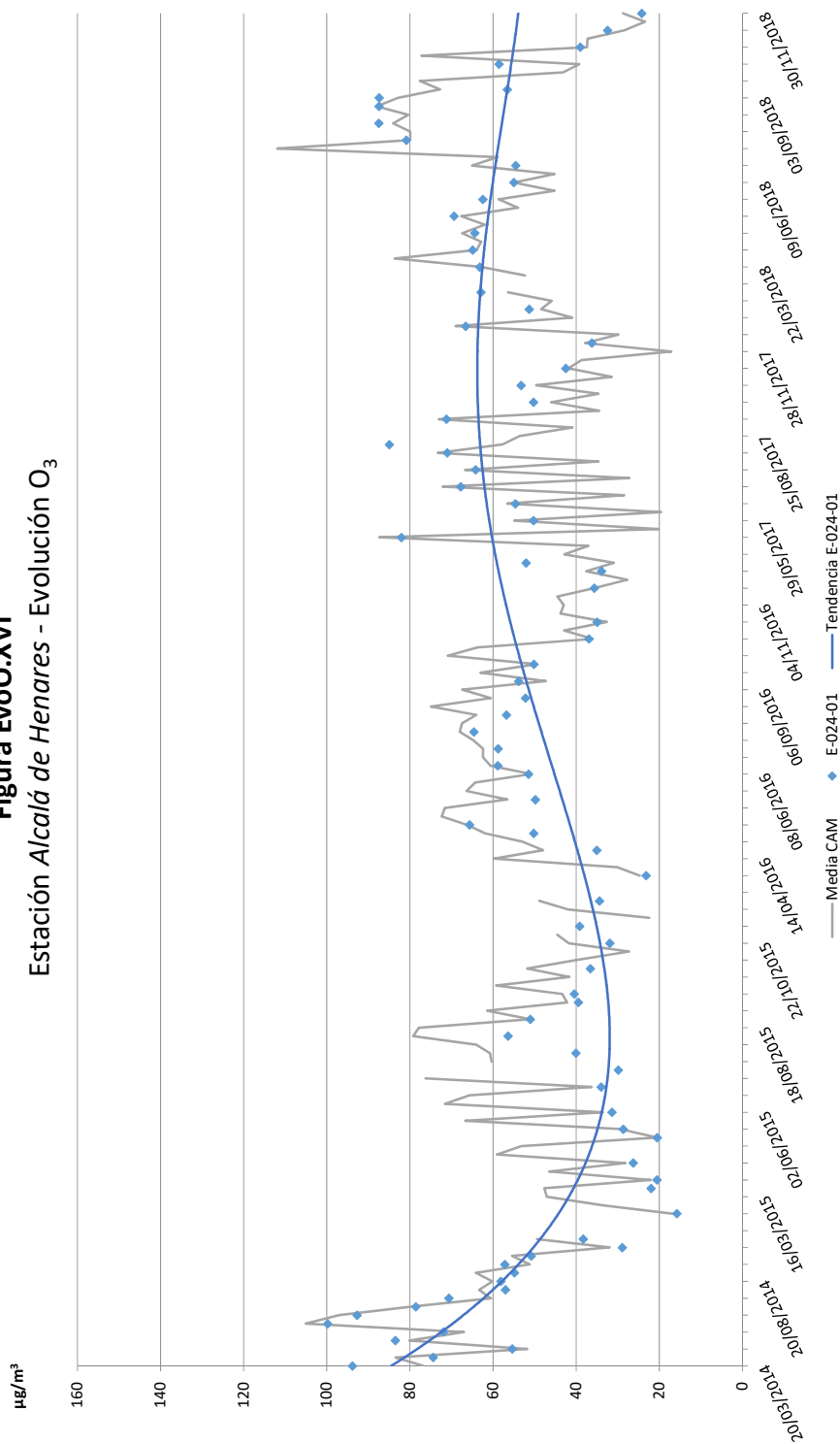




Figura EvoO.XVI
Estación Alcalá de Henares - Evolución O₃





E-024-03 – Fuentidueña del Tajo

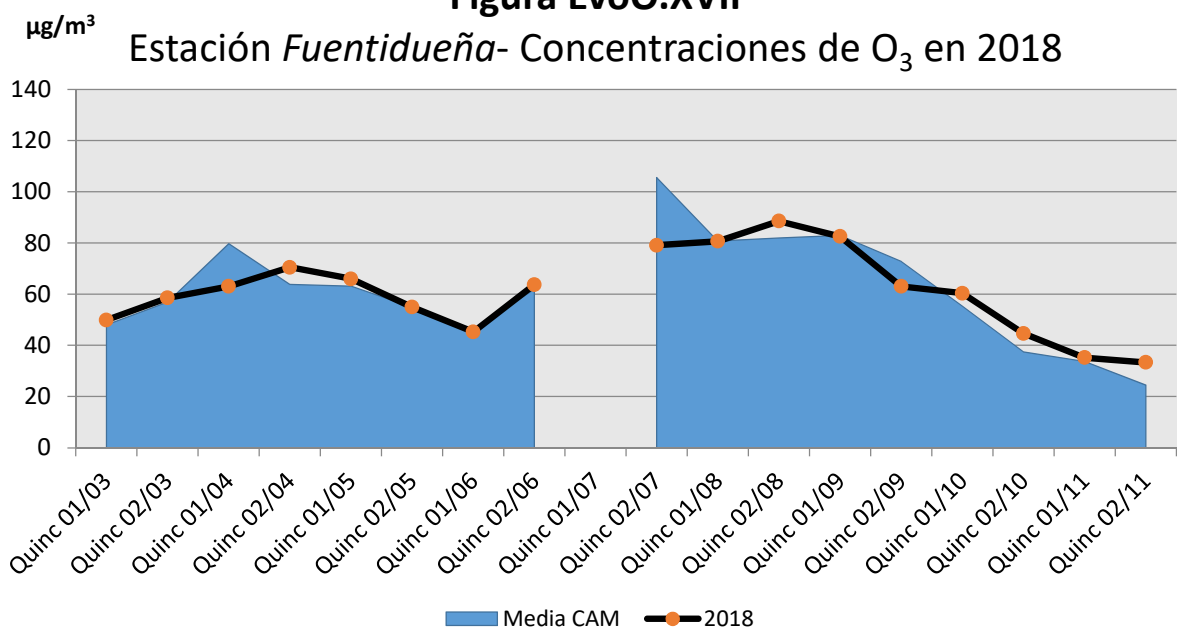
Nuevamente los valores de esta estación se mantuvieron en la tónica de años anteriores, aunque fueron ligeramente superiores a los de 2015 y 2016. La media en 2018 fue de 61,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros mínimos a principios y finales de años (33,34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de noviembre) y máximos en la segunda quincena de agosto (88,54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) coincidiendo con amplios periodos de radiación solar y episodios de altas temperaturas. Los valores fueron similares a los registros medios del conjunto de las estaciones.

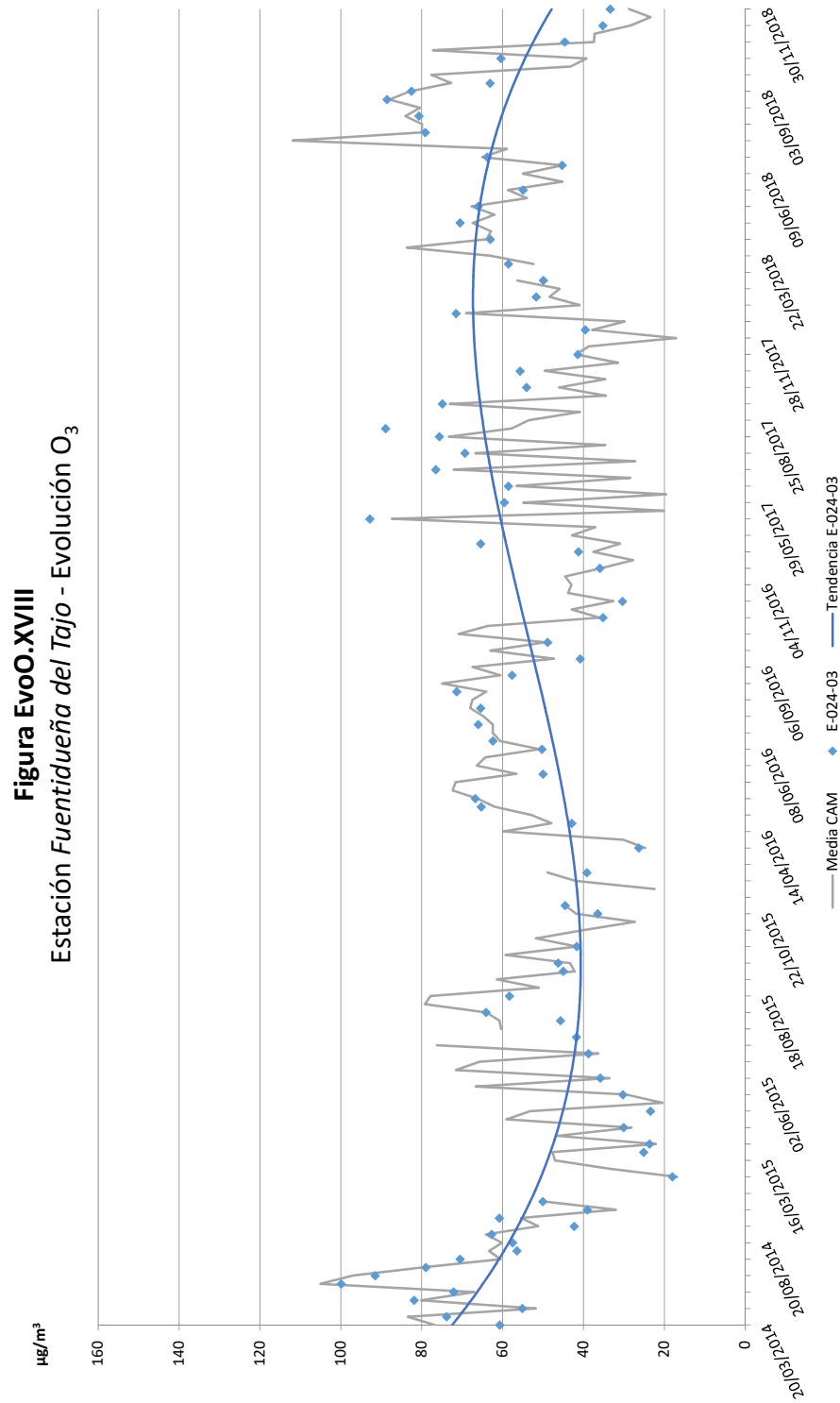
Tabla EvoO.IX Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Fuentidueña del Tajo* (E-024-03).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de marzo	09/03/2018	49,87	11	1ª de agosto	03/08/2018	80,65	
3	2ª de marzo	21/03/2018	58,54	12	2ª de agosto	17/08/2018	88,54	
4	1ª de abril	05/04/2018	63,02	13	1ª de septiembre	03/09/2018	82,51	
5	2ª de abril	20/04/2018	70,47	14	2ª de septiembre	27/09/2018	63,05	
6	1ª de mayo	09/05/2018	65,99	15	1ª de octubre	09/10/2018	60,38	
7	2ª de mayo	31/05/2018	54,92	16	2ª de octubre	31/10/2018	44,60	
8	1ª de junio	13/06/2018	45,24	17	1ª de noviembre	15/11/2018	35,21	
9	2ª de junio	27/06/2018	63,75	18	2ª de noviembre	30/11/2018	33,34	
10	2ª de julio	19/07/2018	79,11					
							Media	61,13

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

Figura EvoO.XVII







E-026-02 – Robledo de Chavela

En esta ocasión volvía a repetirse el notable incremento de las concentraciones de ozono respecto 2017 recuperándose niveles de años previos, con una media anual para 2018 de 65,51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los registros de este año, que se mantuvieron en la tónica de los valores medios para la Comunidad e incluso algo superiores, oscilaron los 26,05 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de marzo (viaje nº2) y los 124,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de julio (viaje nº10). Volvía a repetirse aquí el patrón de máximos relativos a principios de la primavera para en los meses de verano ser aún más elevados y descender posteriormente hasta mínimos anuales en los últimos viajes.

Tabla EvoO.X Evolución en 2018 de las concentraciones de O_3 en la estación de *Robledo de Chavela* (E-026-02).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	26,05	11	1ª de agosto	02/08/2018	82,85
3	2ª de marzo	22/03/2018	65,20	12	2ª de agosto	16/08/2018	84,18
4	1ª de abril	04/04/2018	77,80	13	1ª de septiembre	03/09/2018	88,69
5	2ª de abril	19/04/2018	73,28	14	2ª de septiembre	27/09/2018	60,55
6	1ª de mayo	10/05/2018	57,45	15	1ª de octubre	11/10/2018	76,80
7	2ª de mayo	30/05/2018	52,19	16	2ª de octubre	31/10/2018	53,68
8	1ª de junio	14/06/2018	45,52	17	1ª de noviembre	14/11/2018	45,82
9	2ª de junio	27/06/2018	69,06	18	2ª de noviembre	29/11/2018	29,68
10	2ª de julio	20/07/2018	124,91				
Media							65,51

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

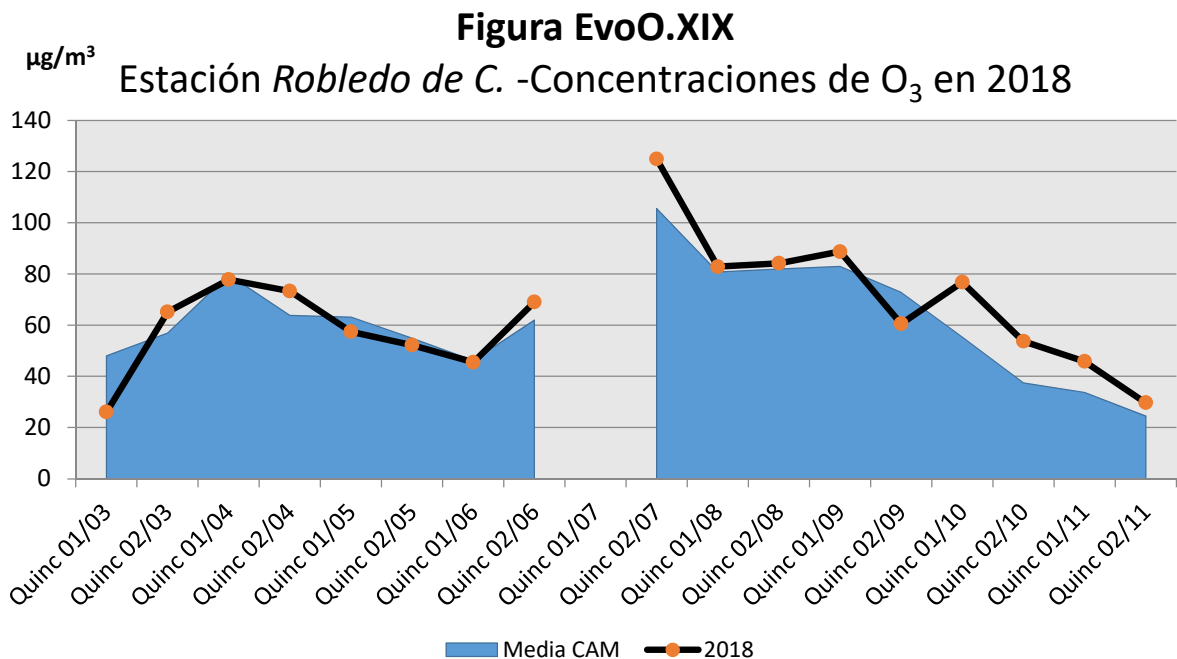
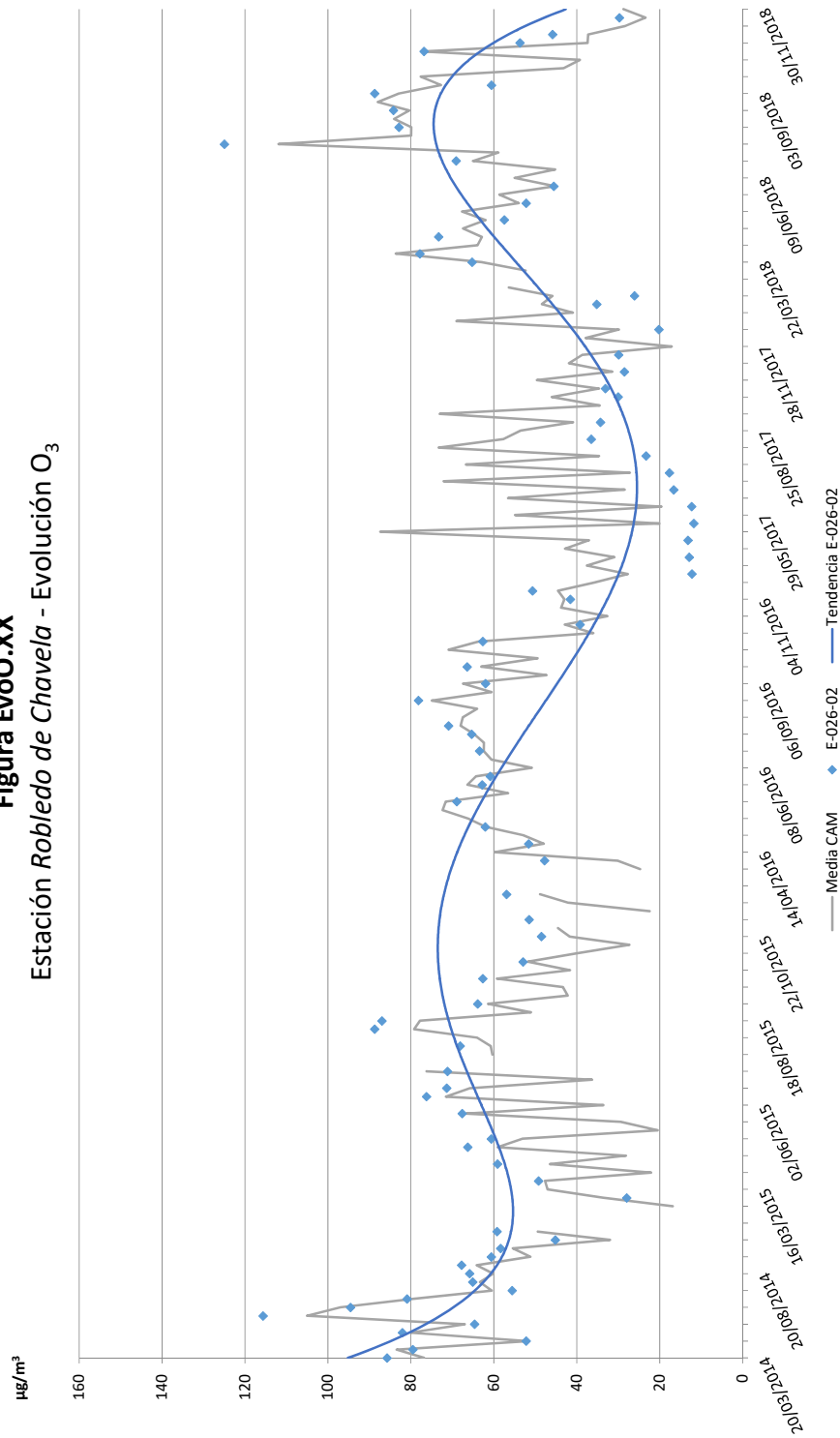




Figura EvoO.XX
Estación Robledo de Chavela - Evolución O₃





5.4.2. DIÓXIDO DE NITRÓGENO

E-021-01 - San Lorenzo de El Escorial

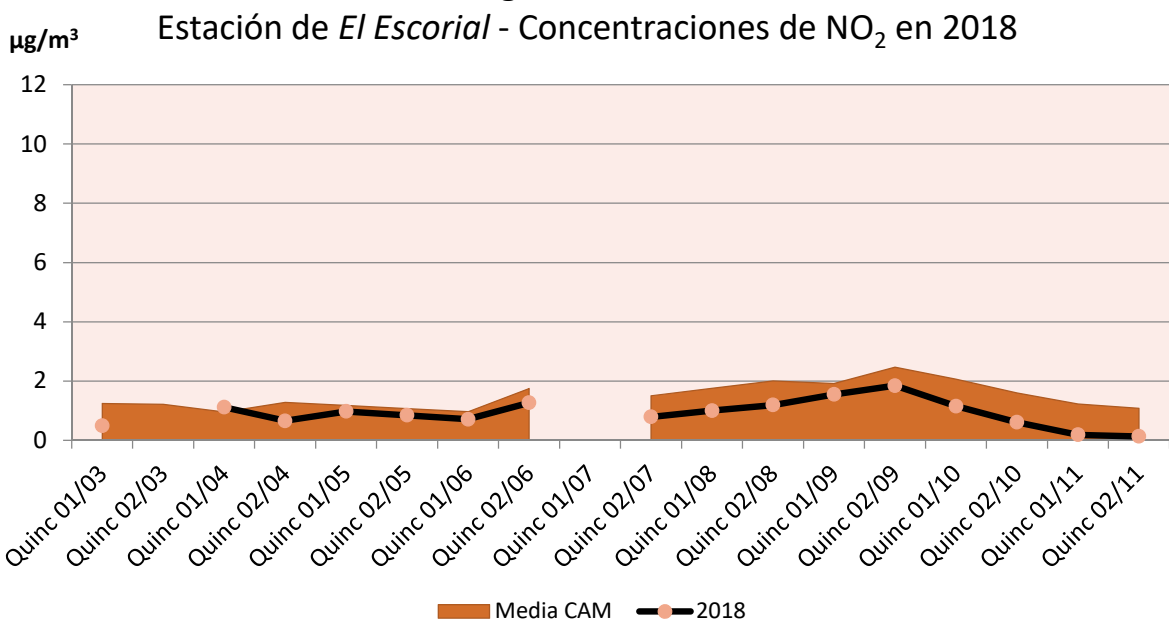
Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en El Escorial fueron similares a las de años anteriores (levemente inferiores), con una media para 2018 de 0,91 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los registros oscilaron entre los 0,13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la segunda quincena de noviembre (viaje nº18) y los 1,84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en la segunda quincena de septiembre (viaje o muestro nº14). 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 O₃. Los niveles observados así en El Escorial se disponen por debajo de las concentraciones medias de la comunidad.

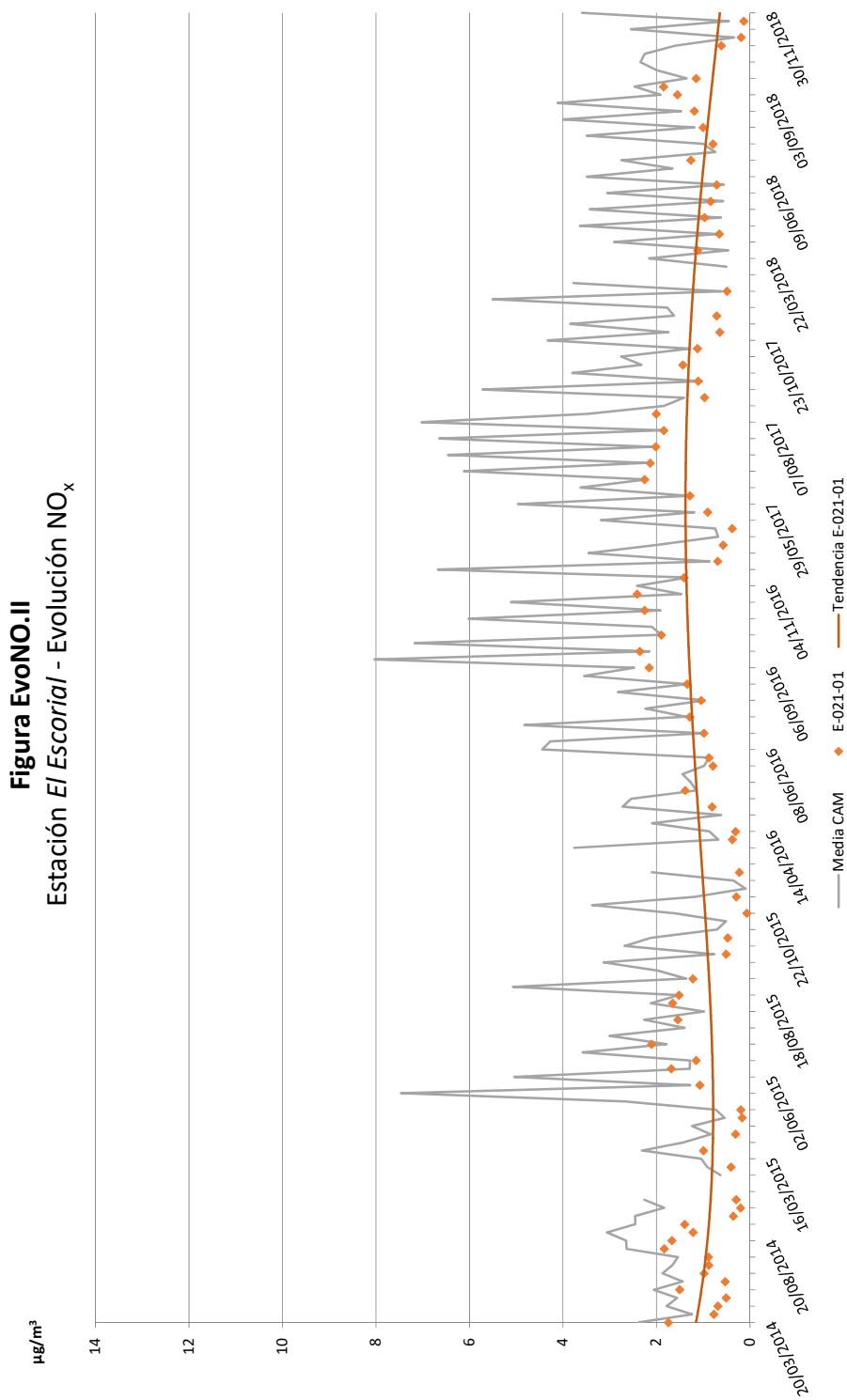
Tabla EvoNO.I Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de *San Lorenzo de El Escorial* (E-021-01).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de marzo	07/03/2018	0,49	11	1ª de agosto	02/08/2018	1,00	
3	2ª de marzo	Impracticable por la nieve	-	12	2ª de agosto	16/08/2018	1,19	
4	1ª de abril	04/04/2018	1,11	13	1ª de septiembre	03/09/2018	1,55	
5	2ª de abril	19/04/2018	0,65	14	2ª de septiembre	27/09/2018	1,84	
6	1ª de mayo	10/05/2018	0,97	15	1ª de octubre	10/10/2018	1,15	
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,84	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,61	
8	1ª de junio	14/06/2018	0,71	17	1ª de noviembre	14/11/2018	0,19	
9	2ª de junio	27/06/2018	1,26	18	2ª de noviembre	29/11/2018	0,13	
10	2ª de julio	20/07/2018	0,79					
							Media	0,91

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

Figura EvoNO.I







E-021-02 - Cercedilla

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en la estación de Cercedilla fueron similares a las de años anteriores, ligeramente inferiores a los de 2016 y 2017 con una media en 2018 de 0,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores oscilaron entre las concentraciones indetectables de la segunda quincena del mes de abril (viaje nº5) y los 0,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de junio (viaje nº8), y los 1,56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de octubre (viaje nº15), con registros claramente inferiores a los valores medios regionales debido a 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).

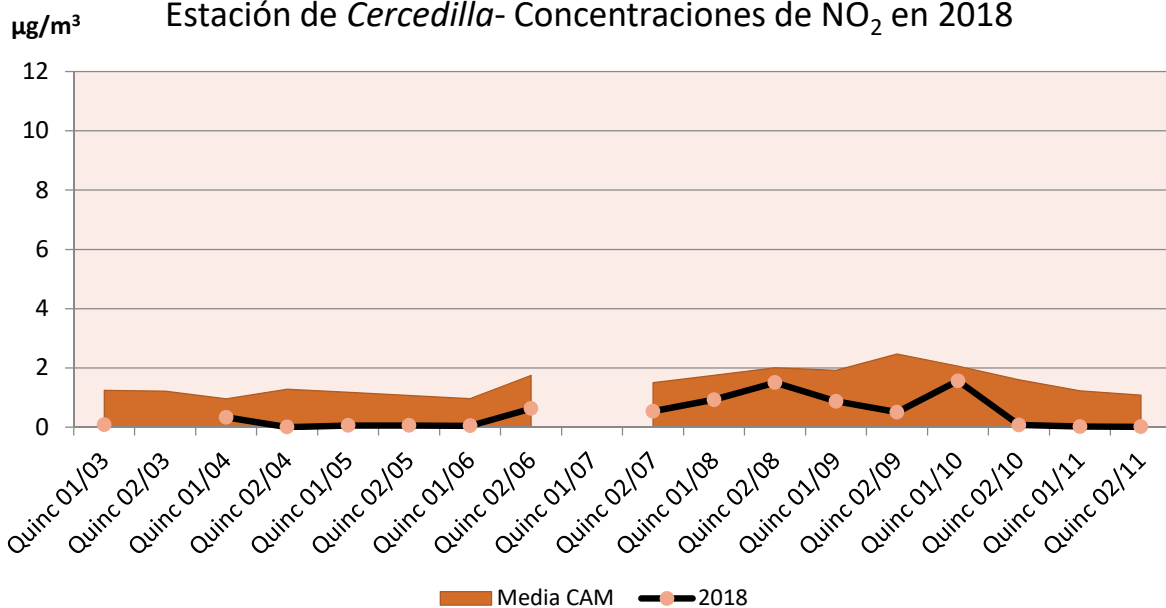
Tabla EvoNO.II Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Cercedilla (E-021-02).

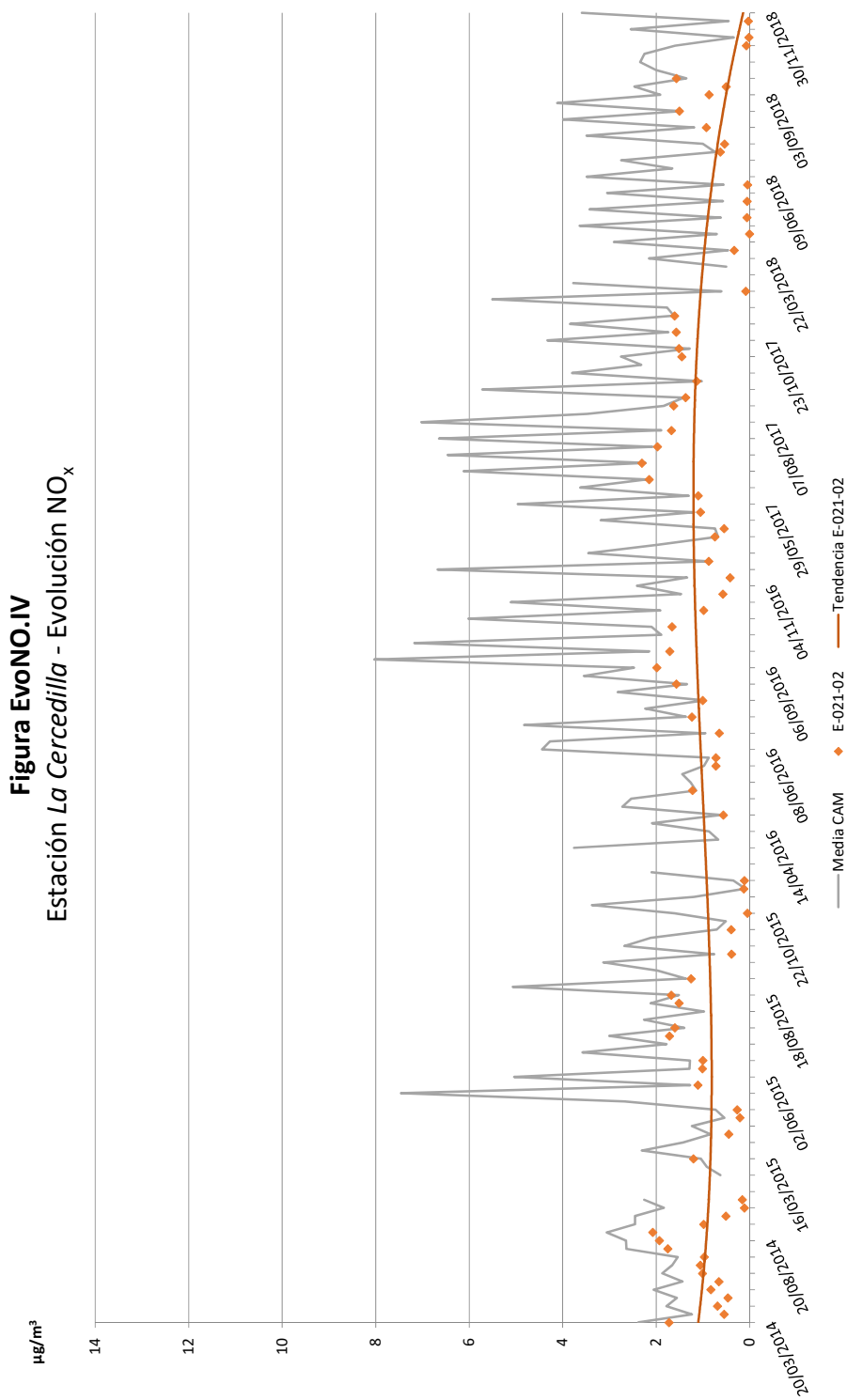
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	0,08	11	1ª de agosto	02/08/2018	0,93
3	2ª de marzo	Impracticable por la nieve	-	12	2ª de agosto	16/08/2018	1,50
4	1ª de abril	04/04/2018	0,33	13	1ª de septiembre	03/09/2018	0,87
5	2ª de abril	19/04/2018	0,00	14	2ª de septiembre	27/09/2018	0,50
6	1ª de mayo	10/05/2018	0,06	15	1ª de octubre	10/10/2018	1,56
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,05	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,07
8	1ª de junio	14/06/2018	0,04	17	1ª de noviembre	14/11/2018	0,01
9	2ª de junio	26/06/2018	0,63	18	2ª de noviembre	29/11/2018	0,03
10	2ª de julio	20/07/2018	0,54				
Media							0,45

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

Figura EvoNO.III

Estación de Cercedilla- Concentraciones de NO₂ en 2018







E-021-05 - Rascafría

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en la estación de Rascafría se redujeron respecto años anteriores, con una media para 2018 de 0,27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Las concentraciones oscilaron entre los 0,01 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de noviembre (viaje o muestro nº18) y los 0,85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de agosto (viaje nº11), con registros ligeramente más elevados en los meses de julio, agosto y septiembre. 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.

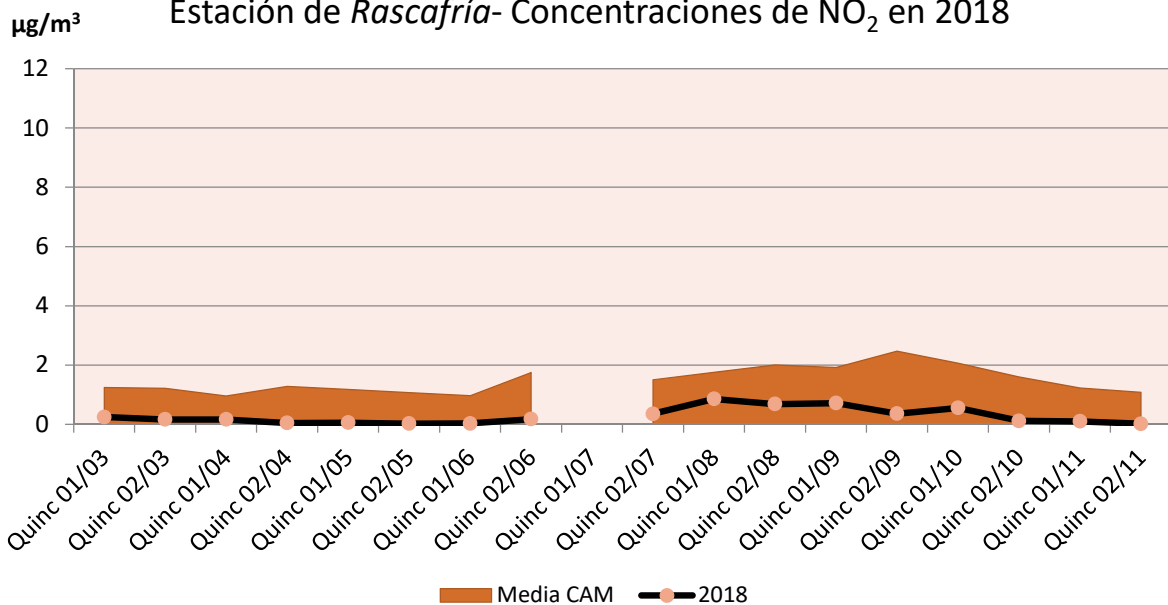
Tabla EvoNO.III Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Rascafría (E-021-05).

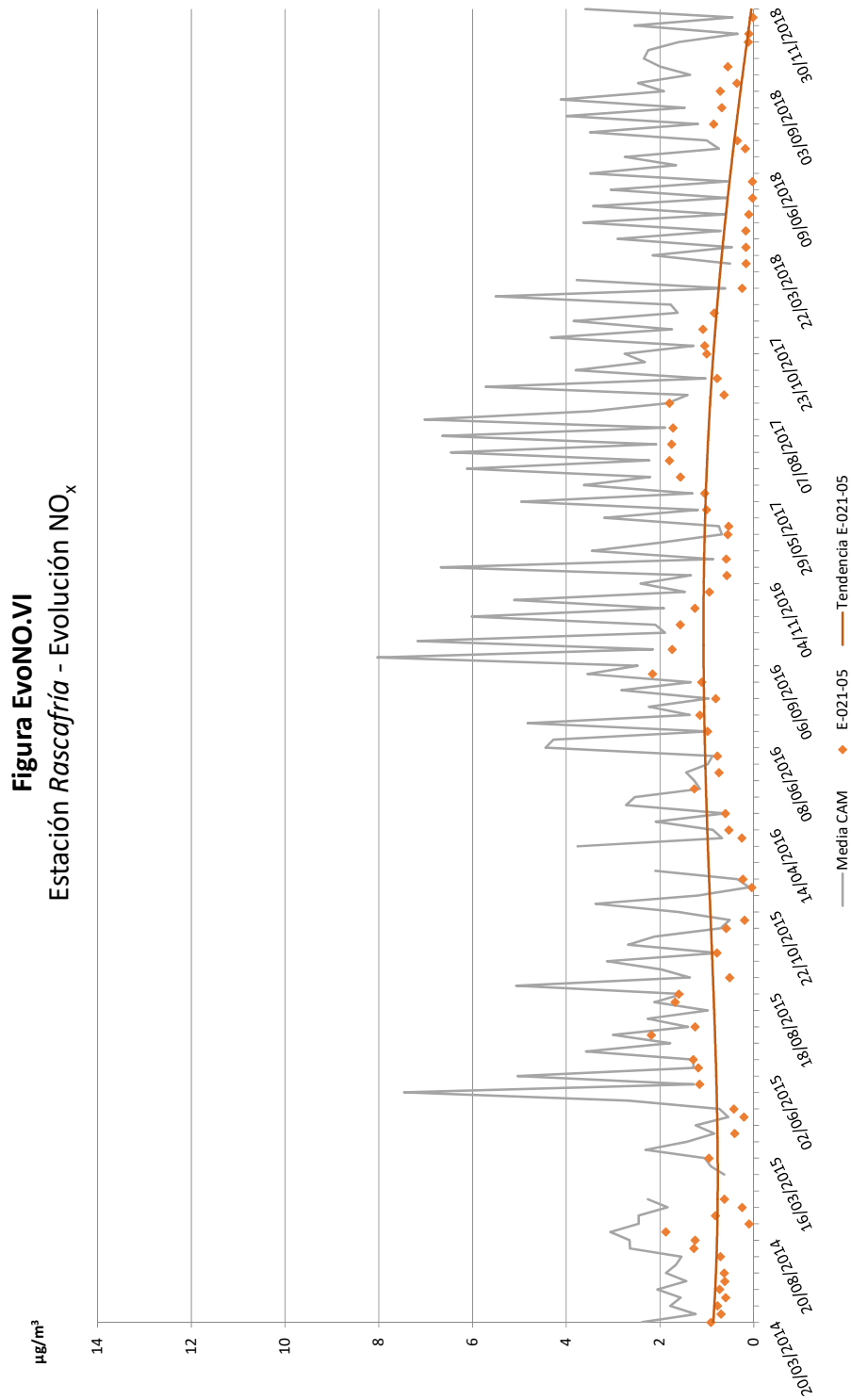
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	0,25	11	1ª de agosto	02/08/2018	0,85
3	2ª de marzo	21/03/2018	0,16	12	2ª de agosto	16/08/2018	0,68
4	1ª de abril	04/04/2018	0,16	13	1ª de septiembre	03/09/2018	0,71
5	2ª de abril	19/04/2018	0,17	14	2ª de septiembre	27/09/2018	0,36
6	1ª de mayo	10/05/2018	0,10	15	1ª de octubre	08/10/2018	0,55
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,02	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,11
8	1ª de junio	14/06/2018	0,03	17	1ª de noviembre	14/11/2018	0,10
9	2ª de junio	26/06/2018	0,17	18	2ª de noviembre	29/11/2018	0,01
10	2ª de julio	20/07/2018	0,35				
Media							0,28

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

Figura EvoNO.V

Estación de Rascafría- Concentraciones de NO₂ en 2018







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 2018 fue de 1,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros que oscilaron entre los 0,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de noviembre (viaje nº18) y los 3,45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de octubre (viaje nº15). En la mayor parte de los viajes las concentraciones fueron muy similares a las medias regionales, salvo por los picos registrados en la segunda quincena de abril y los meses de septiembre y octubre.

Tabla EvoNO.IV Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de *Canencia de la Sierra* (E-021-07).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	1,18	11	1ª de agosto	02/08/2018	1,68
3	2ª de marzo	21/03/2018	0,65	12	2ª de agosto	16/08/2018	1,78
4	1ª de abril	04/04/2018	0,29	13	1ª de septiembre	03/09/2018	1,54
5	2ª de abril	19/04/2018	2,33	14	2ª de septiembre	27/09/2018	3,44
6	1ª de mayo	10/05/2018	0,66	15	1ª de octubre	08/10/2018	3,45
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,64	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,94
8	1ª de junio	14/06/2018	0,76	17	1ª de noviembre	14/11/2018	0,51
9	2ª de junio	26/06/2018	1,12	18	2ª de noviembre	29/11/2018	0,26
10	2ª de julio	20/07/2018	1,24				
Media							1,32

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

Figura EvoNO.VII

Estación de *Canencia*- Concentraciones de NO₂ en 2018

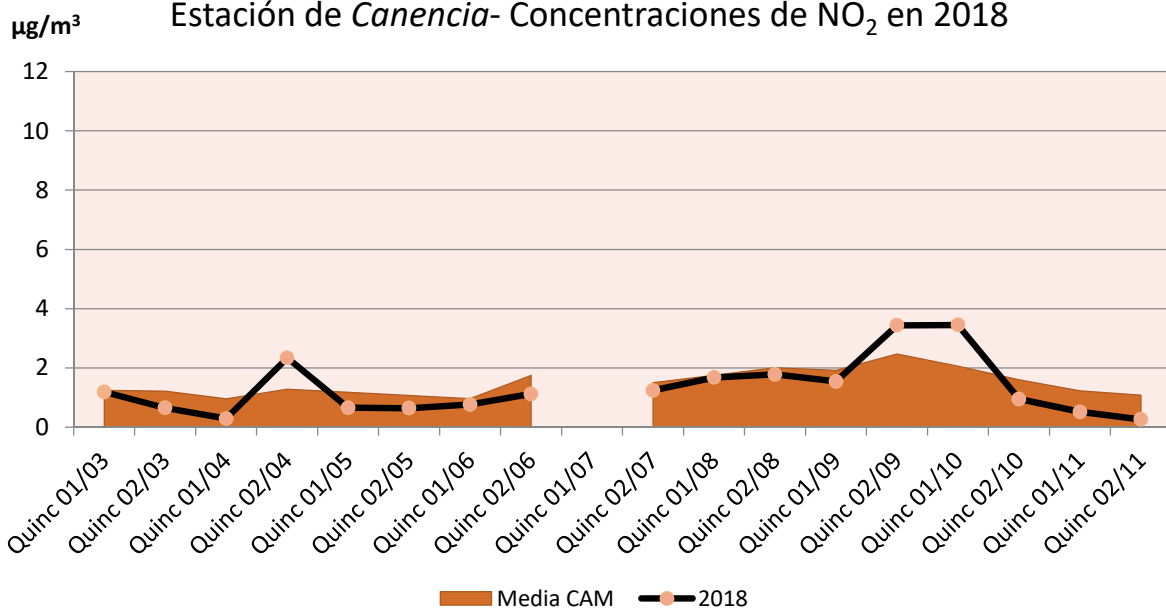
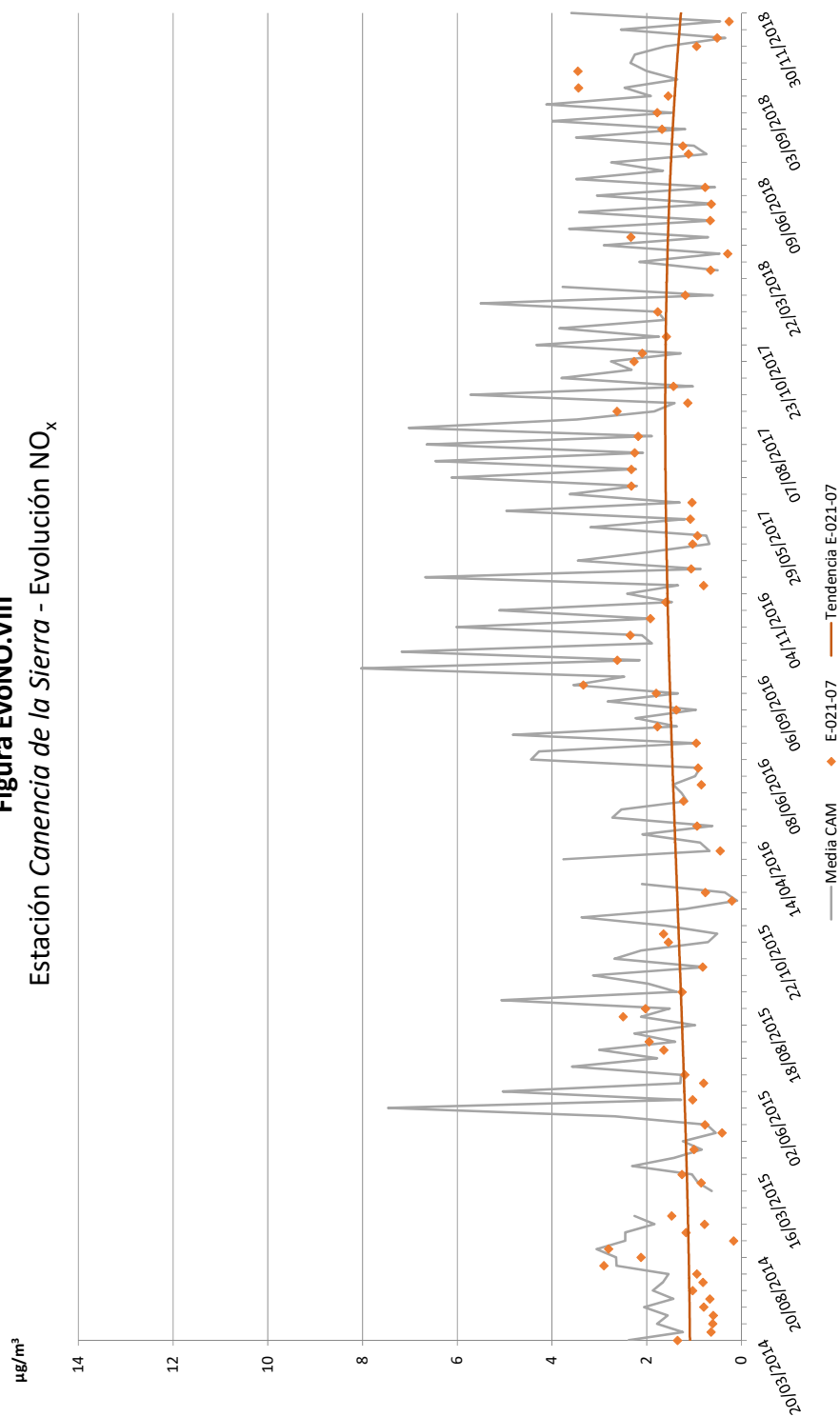




Figura EvoNO.VIII
Estación Canencia de la Sierra - Evolución NO_x





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 2018 de 0,66 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores oscilaron a lo largo del año entre los valores indetectables de la primera quincena de octubre (viaje nº15) o los 0,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de noviembre (viaje nº18), y los 1,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de septiembre (viaje nº14). 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.

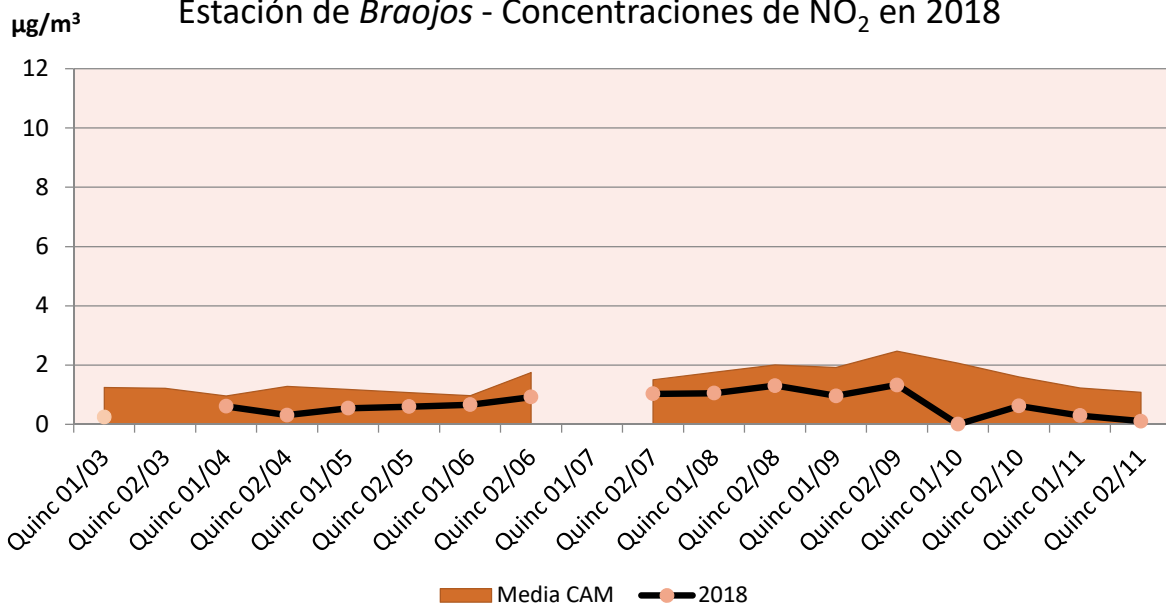
Tabla EvoNO.V Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Braojos (E-021-11).

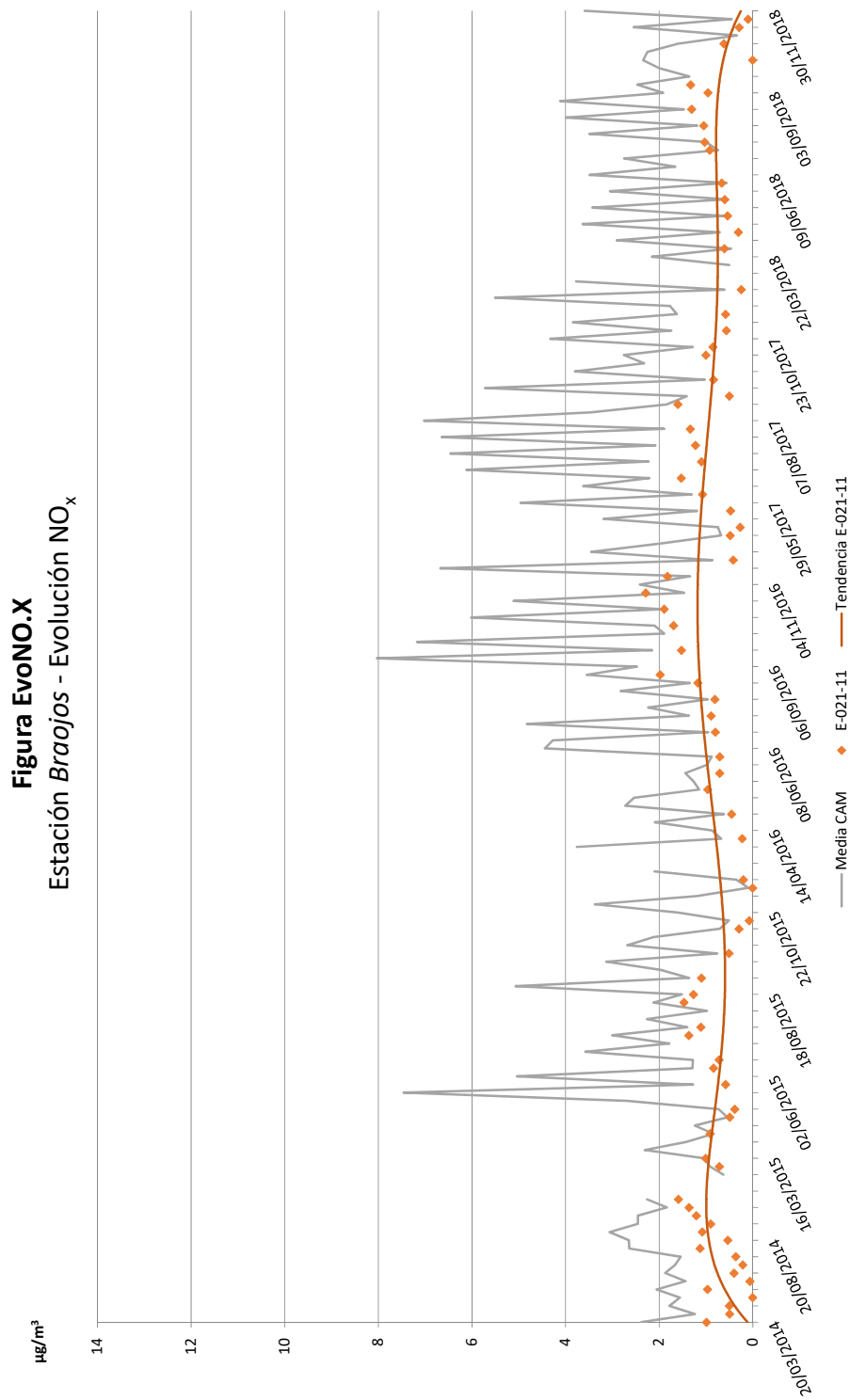
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	0,25	11	1ª de agosto	02/08/2018	1,05
3	2ª de marzo	Impracticable por la nieve	-	12	2ª de agosto	16/08/2018	1,30
4	1ª de abril	04/04/2018	0,60	13	1ª de septiembre	03/09/2018	0,96
5	2ª de abril	19/04/2018	0,31	14	2ª de septiembre	27/09/2018	1,32
6	1ª de mayo	10/05/2018	0,54	15	1ª de octubre	09/10/2018	0,00
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,60	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,61
8	1ª de junio	14/06/2018	0,66	17	1ª de noviembre	15/11/2018	0,29
9	2ª de junio	26/06/2018	0,92	18	2ª de noviembre	29/11/2018	0,10
10	2ª de julio	20/07/2018	1,02				
Media							0,66

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

Figura EvoNO.IX

Estación de Braojos - Concentraciones de NO₂ en 2018







E-021-14 – Montejo de la Sierra

Las tasas de óxidos de nitrógeno en la estación de Montejo de la Sierra fueron ligeramente más reducidas que en años anteriores, a excepción de los picos registrados a mediados y finales de 2014 que situaron entre los 5-7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. La media para 2018 fue de 0,72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con valores que oscilaron a lo largo de la campaña entre las concentraciones indetectables de los viajes nº3, nº4 y nº5, y los 1,22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena del mes de agosto (viaje nº12). Las concentraciones se mantuvieron en todo momento 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 2018 de las concentraciones de NO_2 en la estación de Montejo de la Sierra (E-021-14).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	0,61	11	1ª de agosto	02/08/2018	0,96
3	2ª de marzo	21/03/2018	0,00	12	2ª de agosto	16/08/2018	1,22
4	1ª de abril	04/04/2018	0,00	13	1ª de septiembre	03/09/2018	1,14
5	2ª de abril	19/04/2018	0,00	14	2ª de septiembre	27/09/2018	1,20
6	1ª de mayo	10/05/2018	0,40	15	1ª de octubre	09/10/2018	1,11
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,43	16	2ª de octubre	31/10/2018	1,01
8	1ª de junio	14/06/2018	0,57	17	1ª de noviembre	15/11/2018	0,84
9	2ª de junio	26/06/2018	0,87	18	2ª de noviembre	29/11/2018	1,00
10	2ª de julio	20/07/2018	0,82				
Media							0,72

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

Figura EvoNO.XI

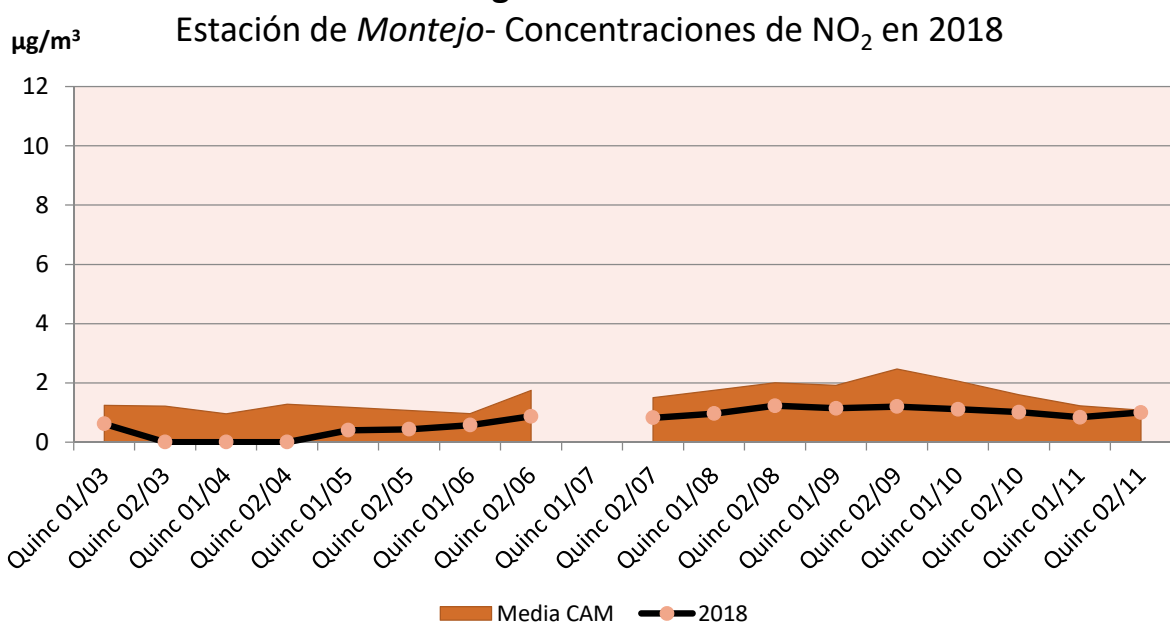
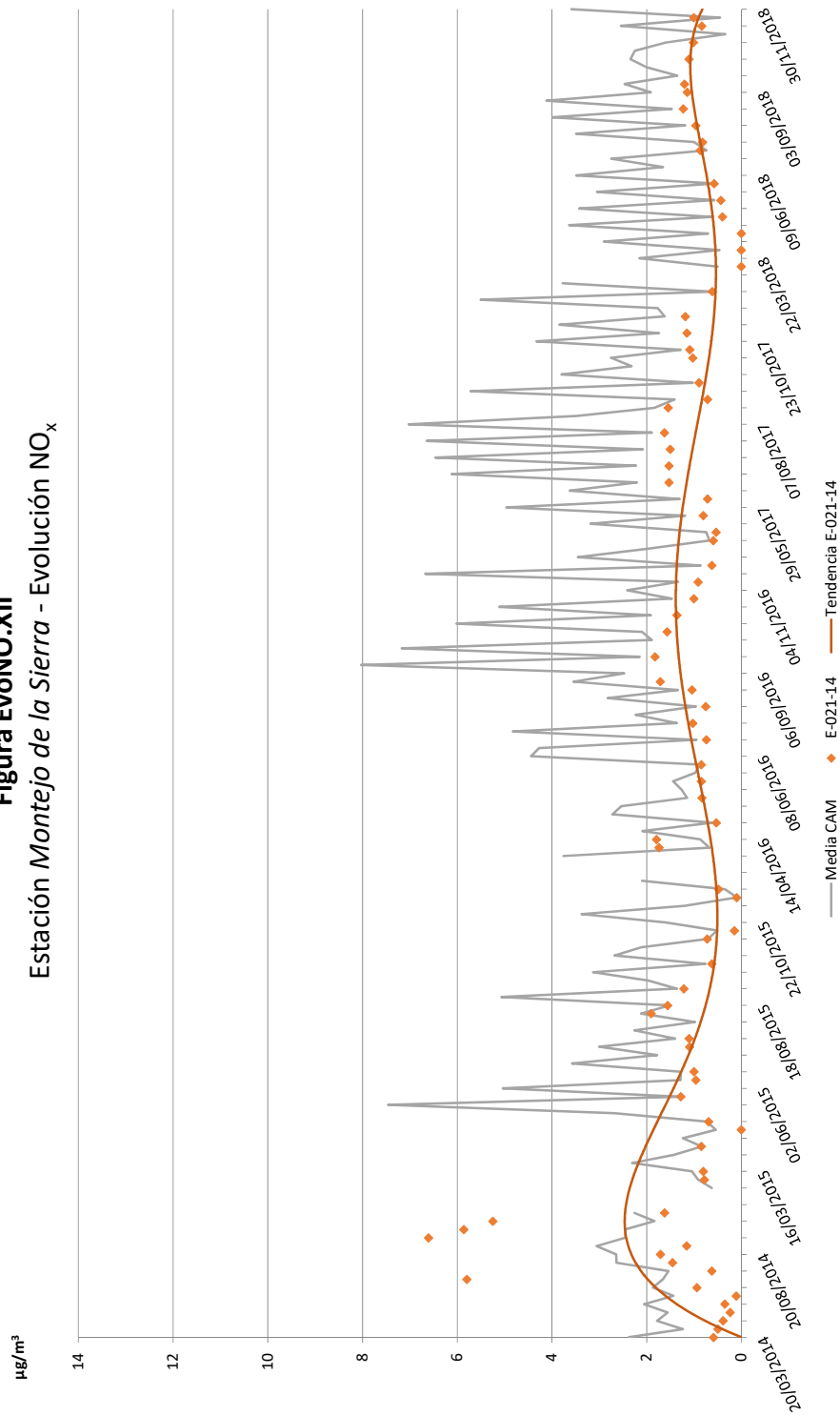




Figura EvoNO.XII
Estación Montejo de la Sierra - Evolución NO_x





E-023-03 – Navas del Rey

Los niveles de óxidos de nitrógeno en la estación de Navas del Rey fueron ligeramente inferiores a los de 2016 y 2017, retomándose así los niveles de 2014 y 2015 con una concentración media para 2018 de 1,02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. En este último año los valores oscilaron entre los 0,17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en la primera quincena de marzo (muestreo o viaje nº2) y los 2,12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la primera quincena de octubre (viaje nº15), con registros muy similares o levemente inferiores a los de la media de la Comunidad a los largo de todo el año para ser mínimos en los últimos viajes.

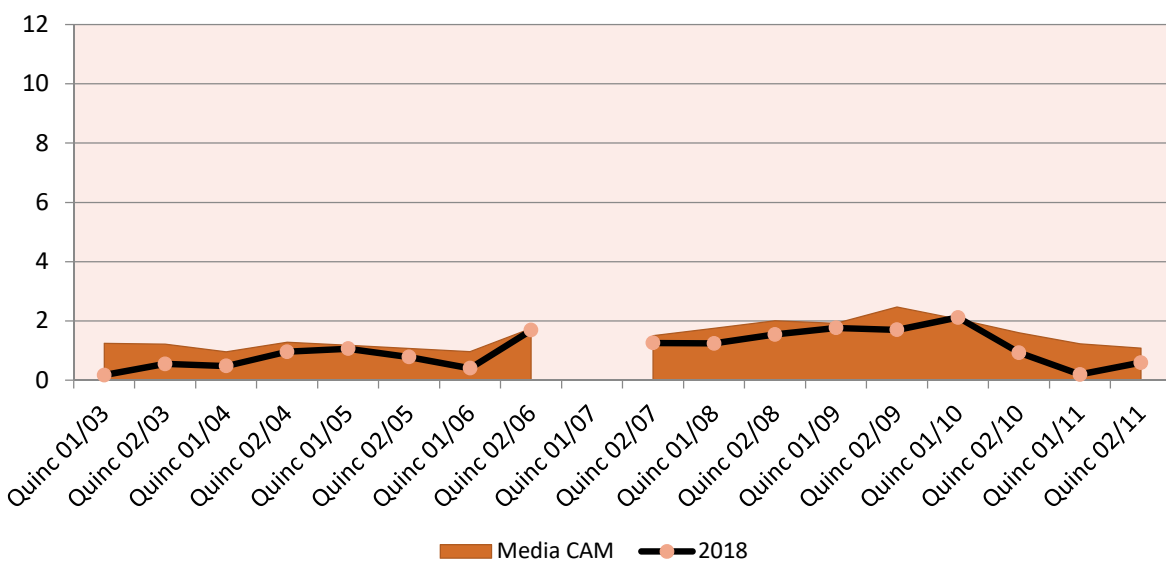
Tabla EvoNO.VII Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Navas del Rey (E-023-03).

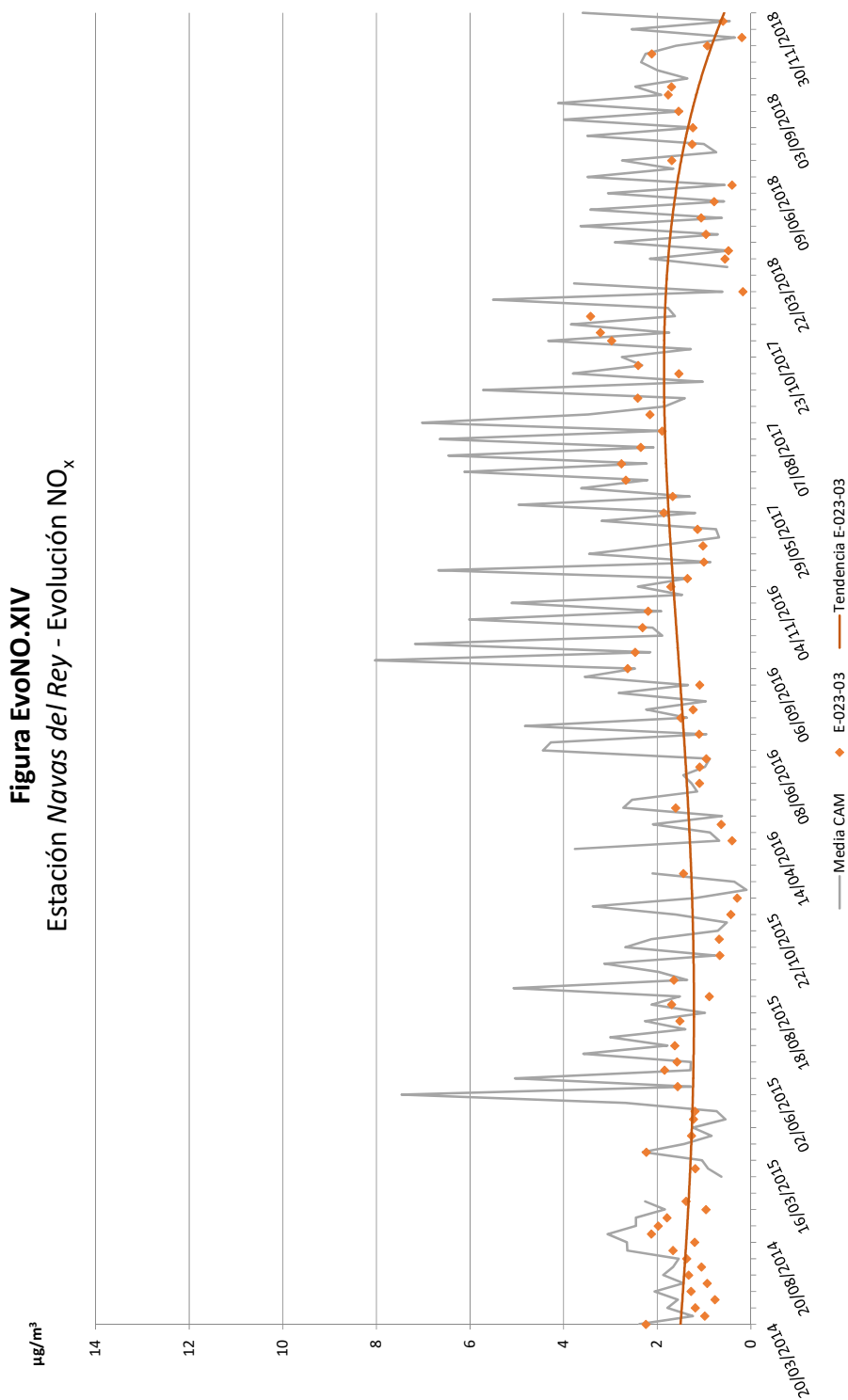
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	07/03/2018	0,17	11	1ª de agosto	02/08/2018	1,24
3	2ª de marzo	22/03/2018	0,55	12	2ª de agosto	16/08/2018	1,54
4	1ª de abril	04/04/2018	0,47	13	1ª de septiembre	03/09/2018	1,76
5	2ª de abril	19/04/2018	0,96	14	2ª de septiembre	27/09/2018	1,69
6	1ª de mayo	10/05/2018	1,06	15	1ª de octubre	11/10/2018	2,12
7	2ª de mayo	30/05/2018	0,78	16	2ª de octubre	31/10/2018	0,93
8	1ª de junio	14/06/2018	0,40	17	1ª de noviembre	14/11/2018	0,19
9	2ª de junio	27/06/2018	1,69	18	2ª de noviembre	29/11/2018	0,59
10	2ª de julio	20/07/2018	1,25				
Media							1,02

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

Figura EvoNO.XIII

Estación de Navas del R.- Concentraciones de NO₂ en 2018



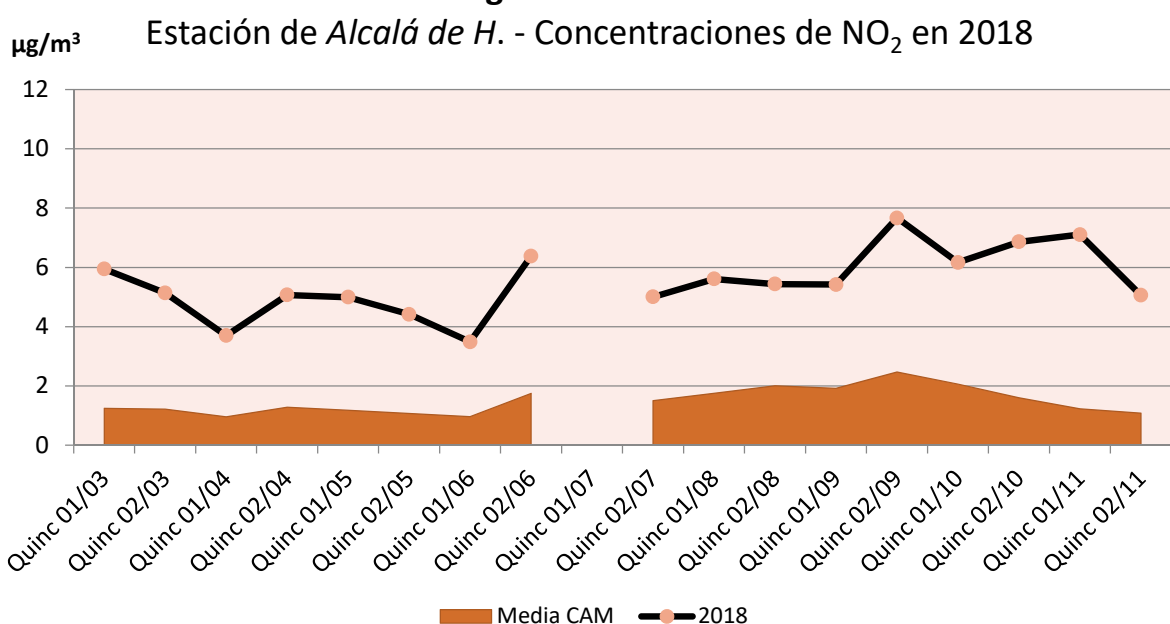


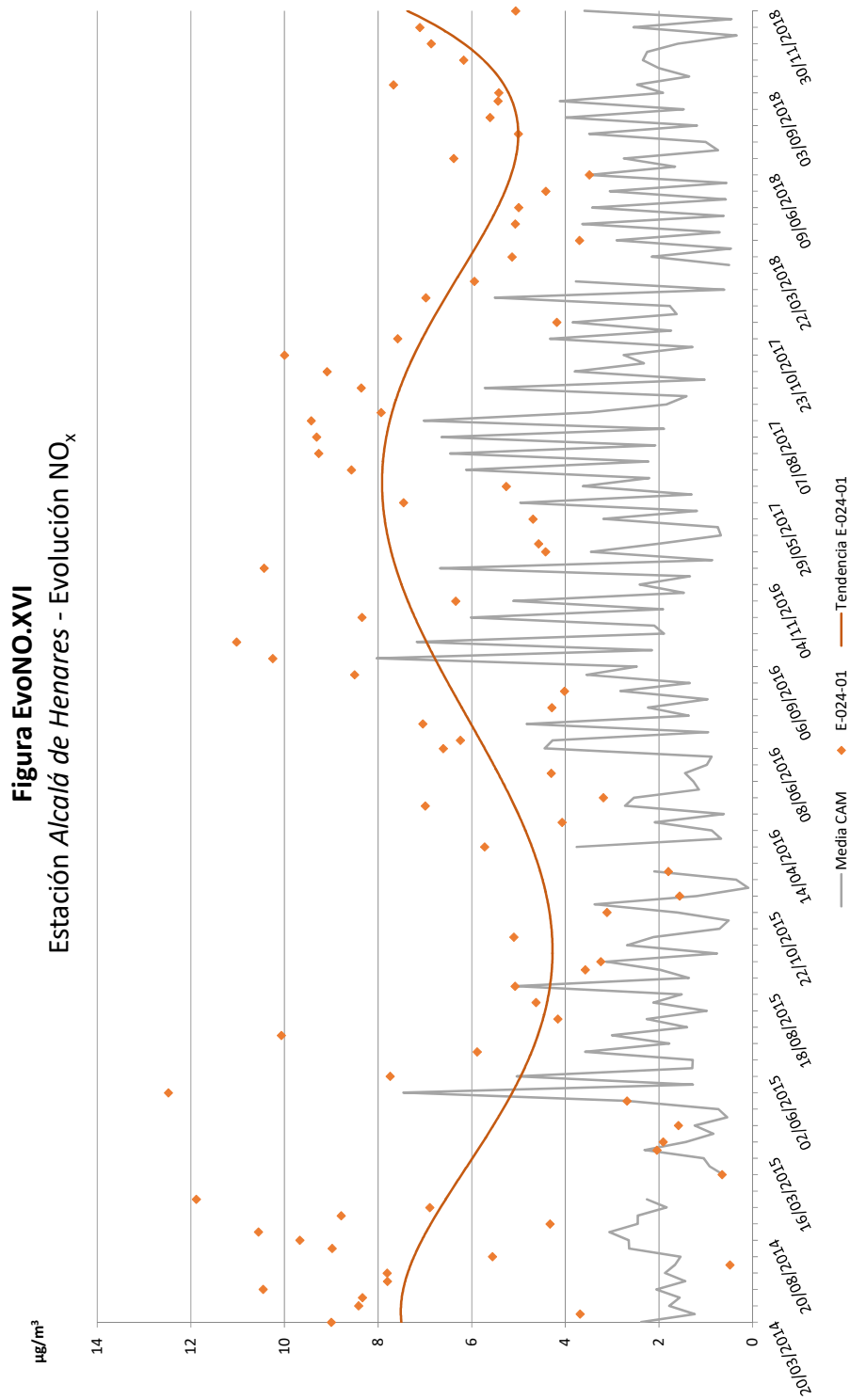


E-024-01 – Alcalá de Henares

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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en múltiples ocasiones y resultando el punto con mayores concentraciones en todos los muestreos o viajes efectuados. La tasa media para 2018 fue de $5,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (algo inferiores a los de 2017 y 2016) con registros extremos de $3,49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena de junio (viaje nº9) y de $7,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la segunda quincena de septiembre (viaje nº14). Los registros más elevados se dieron a partir del mes de junio hasta finales de año, con una ligera reducción en el mes de agosto (periodo estival).

Figura EvoNO.XV







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 2018 se situó en los 2,16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, con registros que oscilaron a lo largo del año entre los 1,21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de mayo (viaje nº4) y los 3,28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de septiembre (viaje nº14), dándose registros más elevados en los meses de agosto, septiembre y octubre. 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 2018 de las concentraciones de NO_2 en la estación de Fuentidueña del Tajo (E-024-03).

Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
2	1ª de marzo	09/03/2018	1,61	11	1ª de agosto	03/08/2018	2,38
3	2ª de marzo	21/03/2018	1,21	12	2ª de agosto	17/08/2018	2,80
4	1ª de abril	05/04/2018	2,11	13	1ª de septiembre	03/09/2018	2,57
5	2ª de abril	20/04/2018	2,20	14	2ª de septiembre	27/09/2018	3,28
6	1ª de mayo	09/05/2018	1,86	15	1ª de octubre	09/10/2018	2,10
7	2ª de mayo	31/05/2018	1,68	16	2ª de octubre	31/10/2018	2,89
8	1ª de junio	13/06/2018	1,66	17	1ª de noviembre	15/11/2018	1,94
9	2ª de junio	27/06/2018	2,30	18	2ª de noviembre	30/11/2018	2,12
10	2ª de julio	19/07/2018	1,98				
Media							2,16

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

Figura EvoNO.XVII

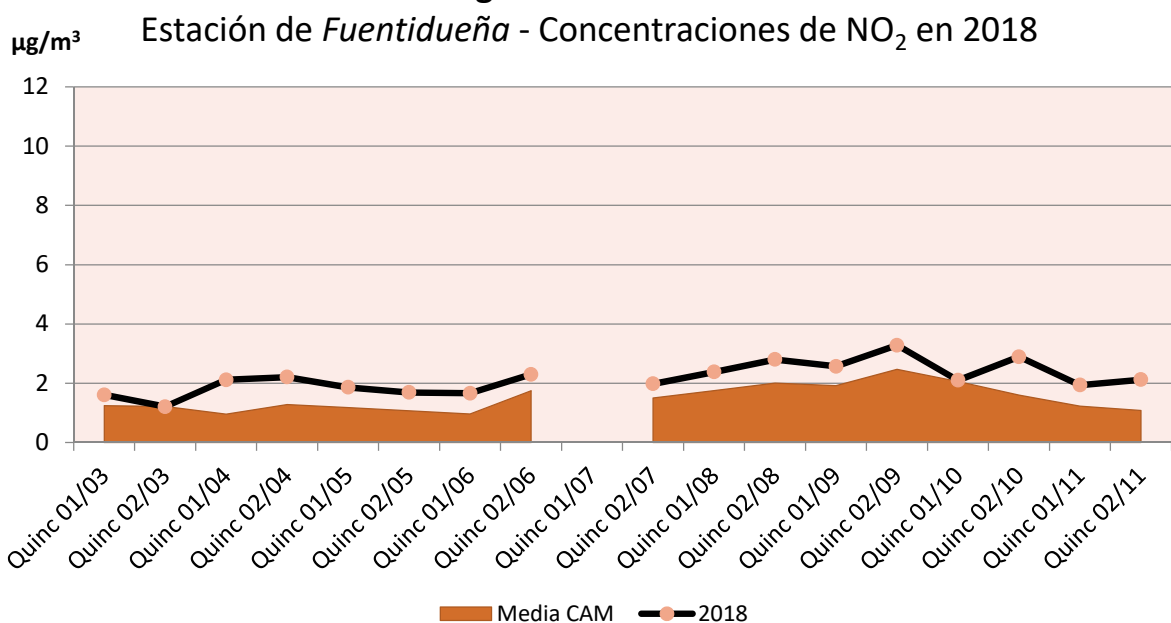
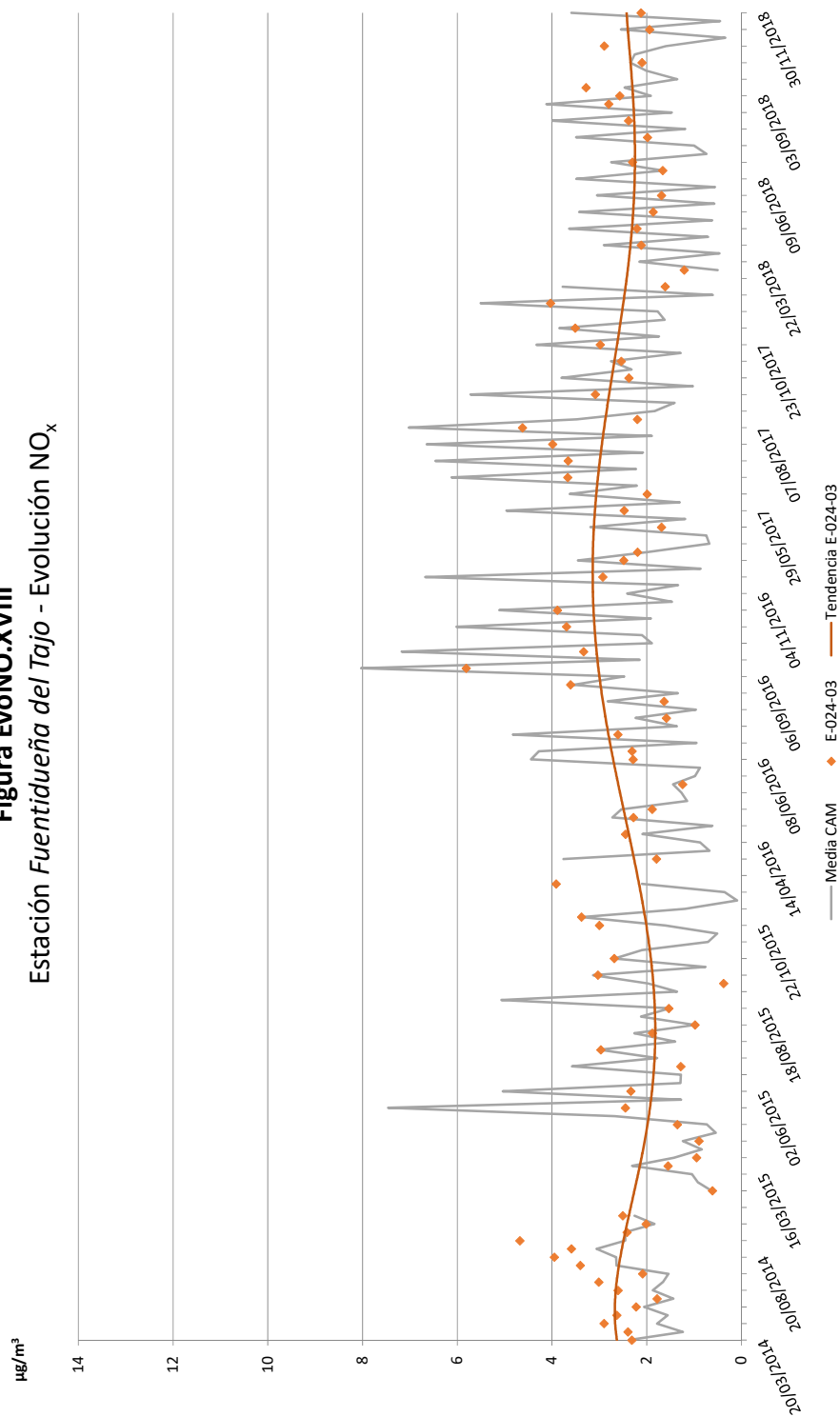




Figura EvoNO.XVIII
Estación Fuentidueña del Tajo - Evolución NO_x





E-026-02 – Robledo de Chavela

Las concentraciones de óxidos de nitrógeno en esta estación se redujeron sensiblemente respecto 2016 y 2017, situándose la media para 2018 en los 1,74 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Los valores a lo largo de esta última campaña fueron muy semejantes o superiores a los registros medios de la Comunidad, con valores extremos de 0,73 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en la primera quincena de abril (viaje nº4) y de 3,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de la segunda quincena de septiembre (viaje nº14), obteniéndose las concentraciones más elevadas en los meses de agosto, septiembre y octubre.

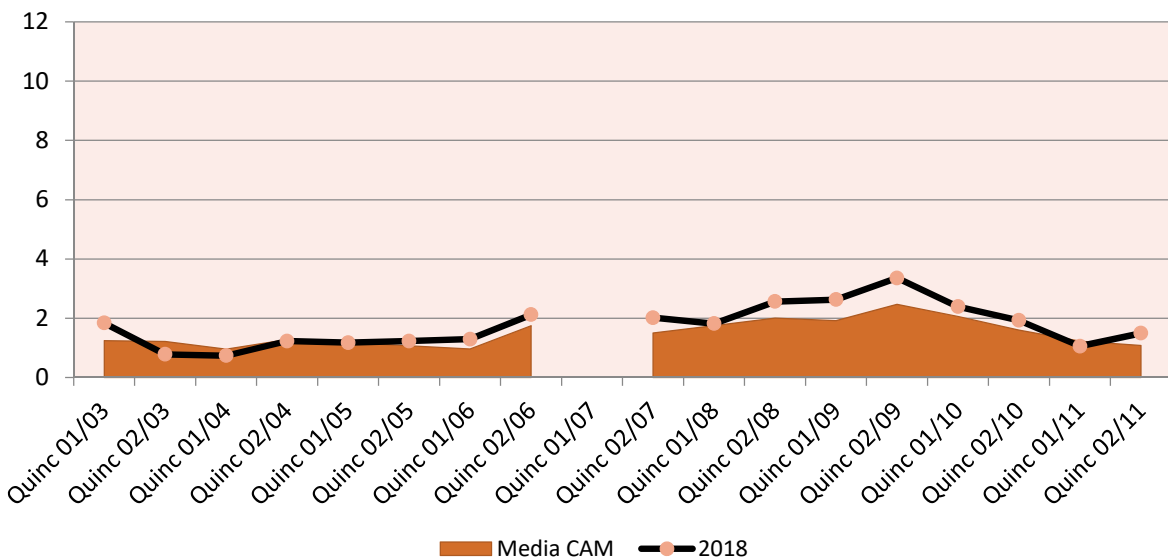
Tabla EvoNO.X Evolución en 2018 de las concentraciones de NO₂ en la estación de Robledo de Chavela (E-026-02).

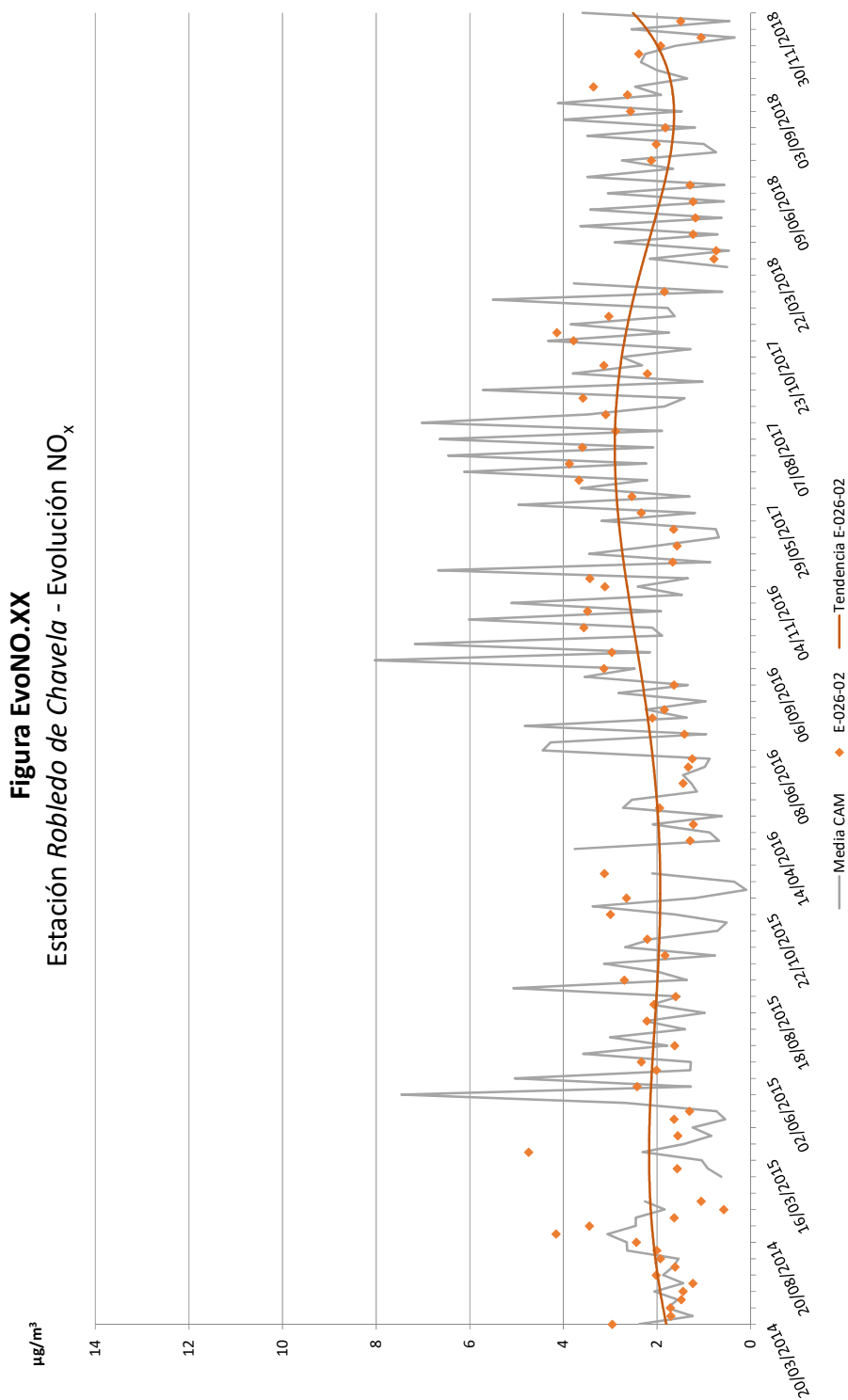
Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Muestreo	Quincena	Fecha	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
2	1ª de marzo	07/03/2018	1,84	11	1ª de agosto	02/08/2018	1,82	
3	2ª de marzo	22/03/2018	0,78	12	2ª de agosto	16/08/2018	2,56	
4	1ª de abril	04/04/2018	0,73	13	1ª de septiembre	03/09/2018	2,63	
5	2ª de abril	19/04/2018	1,22	14	2ª de septiembre	27/09/2018	3,35	
6	1ª de mayo	10/05/2018	1,17	15	1ª de octubre	11/10/2018	2,39	
7	2ª de mayo	30/05/2018	1,23	16	2ª de octubre	31/10/2018	1,92	
8	1ª de junio	14/06/2018	1,29	17	1ª de noviembre	14/11/2018	1,05	
9	2ª de junio	27/06/2018	2,12	18	2ª de noviembre	29/11/2018	1,49	
10	2ª de julio	20/07/2018	2,02					
							Media	1,74

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

Figura EvoNO.XIX

Estación de *Robledo de C.*- Concentraciones de NO₂ en 2018







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 vía 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 apreciable diferencia en contenido de esta fracción de azufre entre las diferentes estaciones y medidas o crecimientos anuales, 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 respecto años anteriores la drástica disminución del azufre hidrosoluble obtenido en las muestras en Fuentidueña del Tajo, con una media para la primera y segunda medidas de 77 µg/g frente a los 1136 µg/g de 2017, lo que indicaría una menor cantidad del contaminante en la atmósfera. En el resto de estaciones los valores se mantuvieron en la tónica de años anteriores. En 2018 destacaron en todo caso las muestras recogidas en las estaciones de Canencia de la Sierra (con una tendencia claramente alcista en los últimos años), Alcalá de Henares (en tendencia decreciente) y Robledo de Chavela, con medias para ambas medidas de más de 200 µg/g. Las cantidades del resto de estaciones fueron menores, lo que indicaría unos niveles de dióxido de azufre en la atmósfera más reducidos.

Tabla 6.1 Azufre hidrosoluble en µg/g de materia seca. Valores medios por estación (2018).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	170,9	44,0	107,5
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	100,8	73,9	87,3
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	55,2	50,7	52,9
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	177,4	262,6	220,0
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	151,0	71,0	111,0
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	106,6	92,0	99,3
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	211,1	115,9	163,5
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	338,1	139,5	238,8
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	70,5	84,3	77,4
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	82,0	344,8	213,4

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

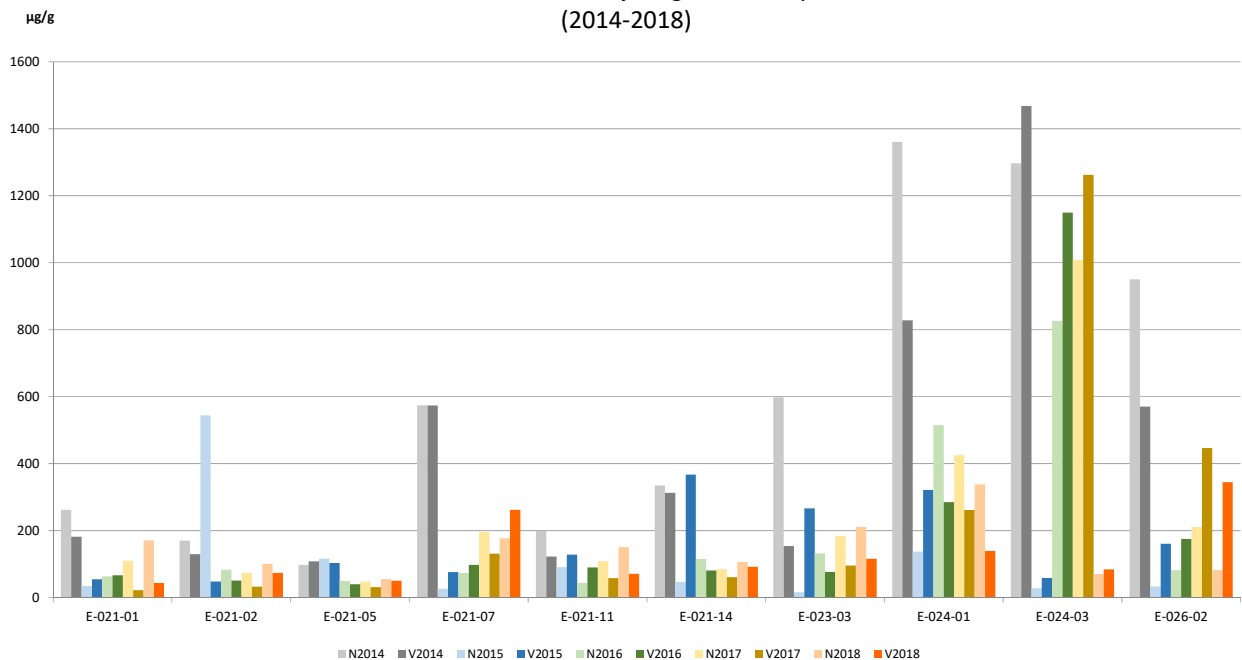


Tabla 6.II Azufre hidrosoluble en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por especie botánica (2018).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	204,3	189,2	133,8	35800,4	338,1	70,5	267,6	408,7
	Año previo	111,9	39,0	27,6	1521,8	139,5	84,3	55,2	223,9
	Promedio	158,1							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	82,0							
	Año previo	344,8							
	Promedio	213,4							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	211,1							
	Año previo	115,9							
	Promedio	163,5							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	127,0	47,6	19,4	2262,1	177,4	55,2	122,2	761,8
	Año previo	99,0	82,0	33,5	6717,9	262,6	44,0	218,6	594,1
	Promedio	113,0							

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.I
Azufre hidrosoluble en hoja según medida y estación
(2014-2018)



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

Atendiendo al azufre total en hoja durante 2018 habría que destacar la estación de Fuentidueña del Tajo, con valores notablemente superiores a los del resto de los emplazamientos siendo la concentración media de 1598 $\mu\text{g/g}$. Con concentraciones entorno a los 1000 $\mu\text{g/g}$ la seguían las estaciones de Alcalá de Henares, Cercedilla y Canencia de la Sierra. Por el contrario, la estación de Robledo de Chavela mostraba las concentraciones de azufre total más reducidas, con 607 $\mu\text{g/g}$.

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 la parcela de 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), prácticamente ausentes en el presente año.

Respecto años anteriores los valores fueron muy similares o ligeramente más reducidos en todas las estaciones, destacando en todo caso los descensos registrados en las concentraciones de Navas del Rey, Alcalá de Henares, Fuentidueña del Tajo y Robledo de Chavela (véase Tabla 6.II).

Tabla 6.III Azufre total en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por estación (2018).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	919,7	885,6	902,6
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	990,2	1003,4	996,8
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	792,9	785,7	789,3
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	900,9	984,1	942,5
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	738,0	854,5	796,2
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	902,3	791,2	846,7
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	678,5	625,0	651,7
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1007,9	1036,0	1021,9
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1520,6	1676,2	1598,4
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	385,6	827,9	606,8

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

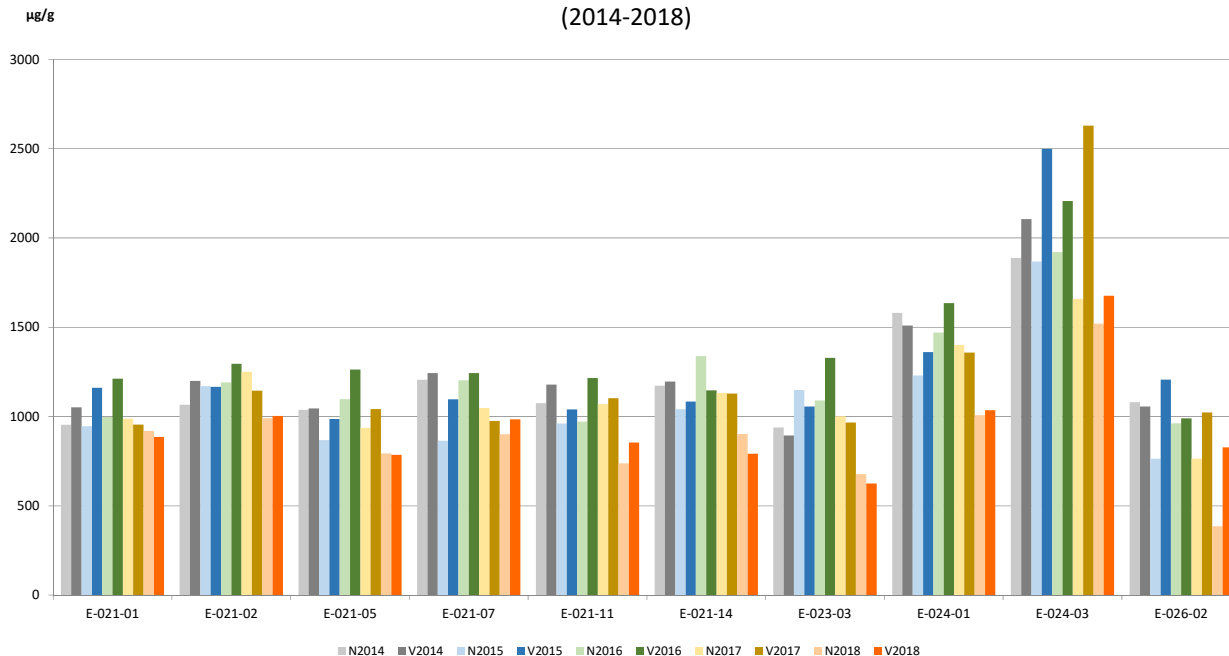
Tabla 6.IV Azufre total en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por especie botánica (2018).

Especie	Edad de las hojas	\bar{x}	S	$S_{\bar{x}}$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1264,3	362,6	256,4	131449,6	1520,6	1007,9	512,7	2528,5
	Año previo	1356,1	452,7	320,1	204914,1	1676,2	1036,0	640,2	2712,2
	Promedio	1310,2							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	385,6							
	Año previo	827,9							
	Promedio	606,8							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	678,5							
	Año previo	625,0							
	Promedio	651,7							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	874,0	91,9	37,5	8437,2	990,2	738,0	252,2	5244,0
	Año previo	884,1	93,2	38,1	8690,0	1003,4	785,7	217,7	5304,5
	Promedio	879,0							

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



Figura 6.II
Azufre total en hoja según metida y estación
(2014-2018)



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

Al igual que en años anteriores, en 2018 se registró una notable uniformidad en las muestras salvo por la estación de Fuentidueña del Tajo, que mostró la

concentración de azufre orgánico media entre metidas más elevada con 1521 µg/g. Tal y como puede apreciarse en la Figura 6.III las concentraciones respecto años anteriores fueron en general más reducidas, en algún caso de forma significativa, excepción hecha de la de Fuentidueña del Tajo, cuyas muestras tuvieron más cantidad de azufre orgánico que las de 2017.

Tabla 6.V Azufre orgánico en µg/g de materia seca. Valores medios por estación (2018).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	748,8	841,6	795,2
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	889,4	929,5	909,5
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	737,8	735,0	736,4
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	723,5	721,5	722,5
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	587,0	783,5	685,2
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	795,7	699,2	747,4
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	467,4	509,1	488,2
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	669,8	896,5	783,1
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1450,1	1591,8	1521,0
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	303,6	483,2	393,4

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

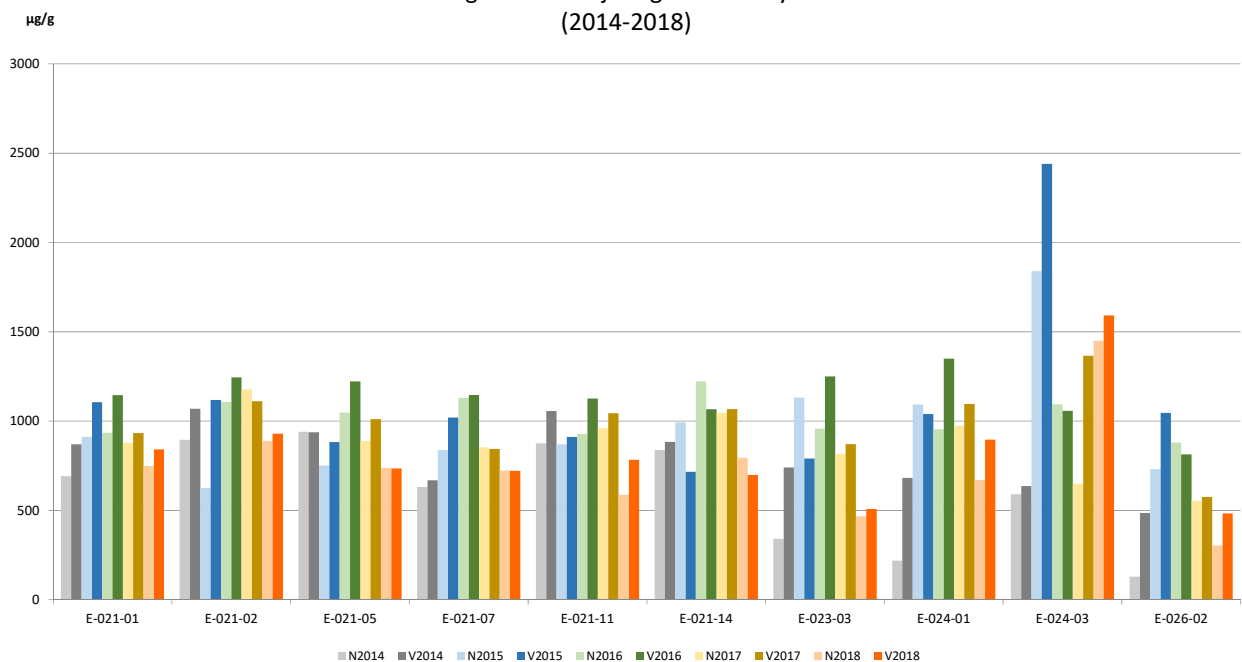


Tabla 6.VI Azufre orgánico en $\mu\text{g/g}$ de materia seca. Valores medios por especie botánica (2018).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1059,9	551,8	390,2	304449,8	1450,1	669,8	780,3	2119,9
	Año previo	1244,2	491,7	347,7	241754,1	1591,8	896,5	695,3	2488,3
	Promedio	1152,0							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	303,6							
	Año previo	483,2							
	Promedio	393,4							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	467,4							
	Año previo	509,1							
	Promedio	488,2							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	747,0	98,9	40,4	9778,1	889,4	587,0	302,4	4482,3
	Año previo	785,1	87,1	35,6	7594,9	929,5	699,2	230,3	4710,3
	Promedio	1059,9							

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
(2014-2018)



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, es decir, mayor sea la cantidad de azufre hidrosoluble, menor es esta capacidad de asimilación o metabolización de este en azufre

orgánico.

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 Robledo de Chavela, que en todo caso permaneció muy similar al índice de hace un año. En términos generales todas las relaciones se mantuvieron estables respecto 2017, destacando la disminución en la de Fuentidueña del Tajo, que habría mejorado la metabolización del elemento.

Tabla 6.VII Relación azufre hidrosolubles /azufre orgánico (S_{Hid}/S_{Org}). Valores medios por estación (2018).

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	0,228	0,052	0,140
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	0,113	0,080	0,096
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	0,075	0,069	0,072
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	0,245	0,364	0,305
021-11	Brajos	<i>Pinus sylvestris</i>	0,257	0,091	0,174
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	0,134	0,132	0,133
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	0,452	0,228	0,340
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	0,505	0,156	0,330
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	0,049	0,053	0,051
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	0,270	0,714	0,492

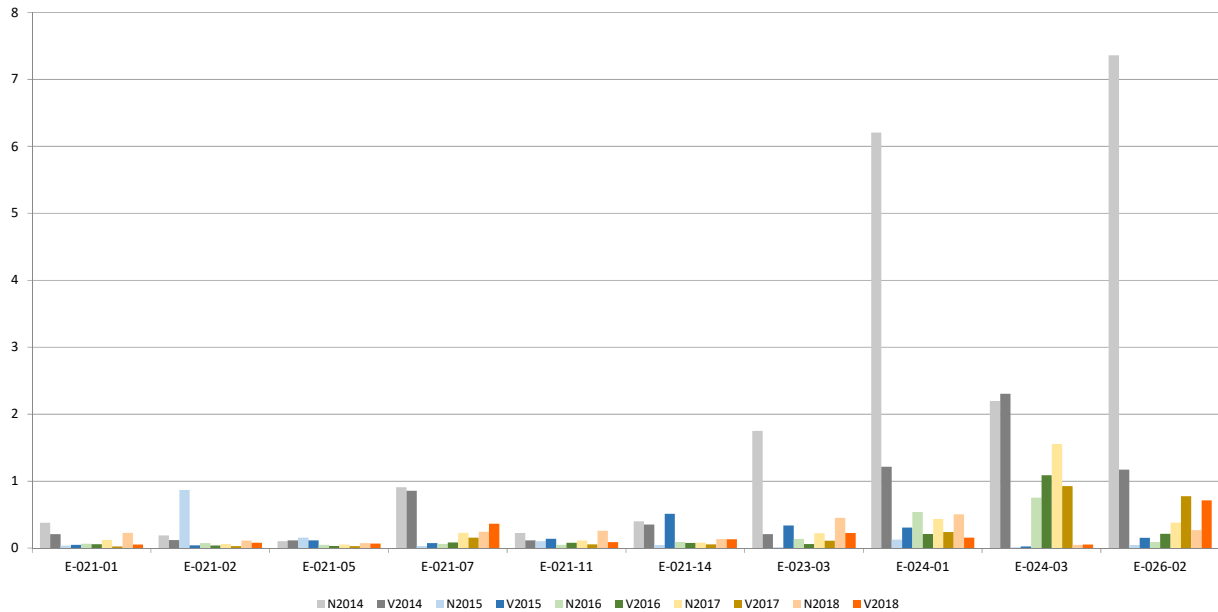
En "rojo", valor más elevado; en "azul", valor más bajo.

Tabla 6.VIII Relación azufre hidrosolubles /azufre orgánico (S_{Hid}/S_{Org}). Valores medios por especie botánica (2018).

Especie	Edad de las hojas	χ	S	S_{χ}	v (%)	M	m	R	Σ
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	0,277	0,323	0,228	0,104	0,505	0,049	0,456	0,553
	Año previo	0,104	0,073	0,051	0,005	0,156	0,053	0,103	0,209
	Promedio	0,191							
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	0,270							
	Año previo	0,714							
	Promedio	0,492							
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	0,452							
	Año previo	0,228							
	Promedio	0,340							
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	0,175	0,078	0,032	0,006	0,257	0,075	0,182	1,053
	Año previo	0,131	0,117	0,048	0,014	0,364	0,052	0,312	0,787
	Promedio	0,153							

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

Figura 6.IV
 Relación S_{Hid}/S_{Org} según metida y estación
 (2014-2018)



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 volvió a destacar la estación de Fuentidueña del Tajo como la más contaminada, con un exceso de azufre en las hojas del 70% respecto el valor patrón. Este registro se habría reducido notablemente respecto 2017, cuando alcanzó el 129%. 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 Navas del Rey, con una cantidad de azufre en hoja casi un 39% inferior al valor patrón.

Respecto años anteriores los resultados fueron más favorables, con descensos en el exceso de azufre respecto 2017 en todas las estaciones y en muchos casos en grado notable, tal y como ocurrió en las estaciones de Rascafría, Braojos, Montejo de Arévalo, la ya referida de Navas del Rey, Alcalá de Henares y Fuentidueña del Tajo.

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, si bien se sigue apreciado una zona más contaminada en el extremo sureste, en la ya mencionada alineación Alcalá de Henares / Fuentidueña de Tajo.



Tabla 6.IX. Valores patrón. Contenidos foliares de azufre total (concentraciones en $\mu\text{g/g}$ de materia seca y límites de confianza al 95% y 99%)

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

Tabla 6.X. Comparación de los resultados para los diversos azufres ($\mu\text{g/g}$ de MS) con los valores patrón. Valores medios por estación (2018)

Estación	T.M	Especie	S _{Tot}	S _{Hid}	S _{Org}	S _{Hid} /S _{Org}	Exceso (%)
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	902,6	107,5	795,2	0,140	25,9
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	996,8	87,3	909,5	0,096	39,0
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	789,3	52,9	736,4	0,072	10,1
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	942,5	220,0	722,5	0,305	31,4
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	796,2	111,0	685,2	0,174	11,0
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	846,7	99,3	747,4	0,133	18,1
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	651,7	163,5	488,2	0,340	-38,5
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1021,9	238,8	783,1	0,330	9,0
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1598,4	77,4	1521,0	0,051	70,4
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	606,8	213,4	393,4	0,492	-26,9

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

Figura 6.V

Exceso de azufre respecto valores patrón de Azufre orgánico en hoja según medida y estación (2014-2018)

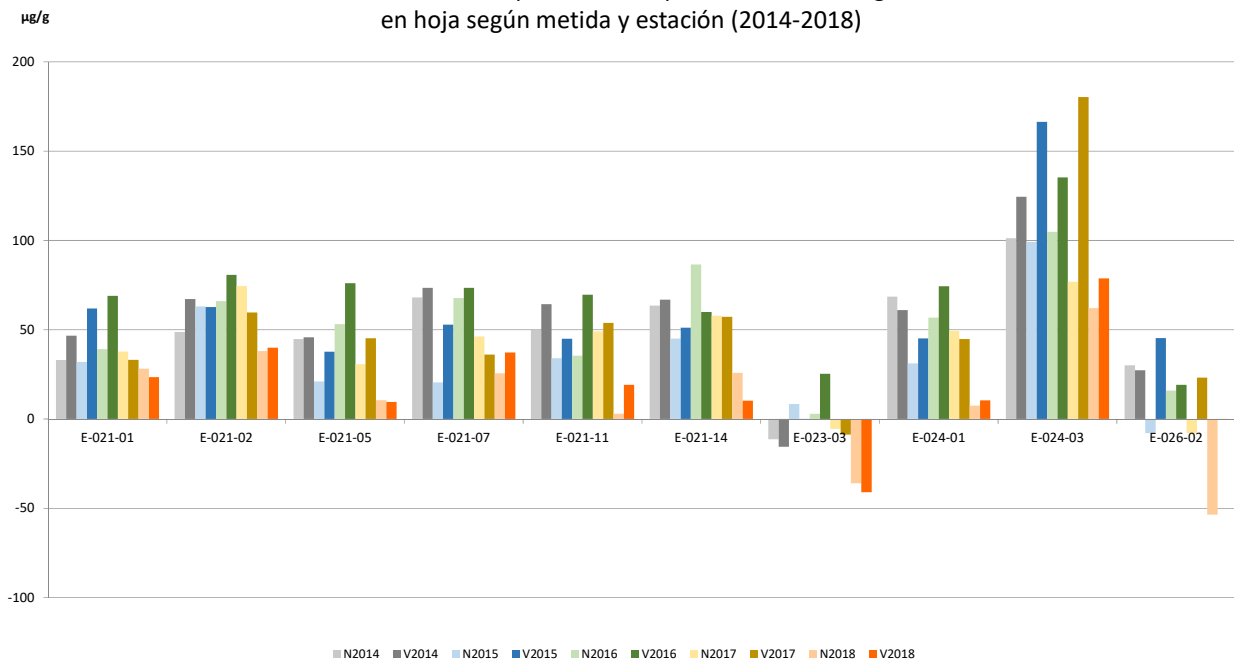




Figura 6.VI
Exceso de azufre respecto valores patrón según estación
(2018)

Exceso Azufre patrón
EXC-ST

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

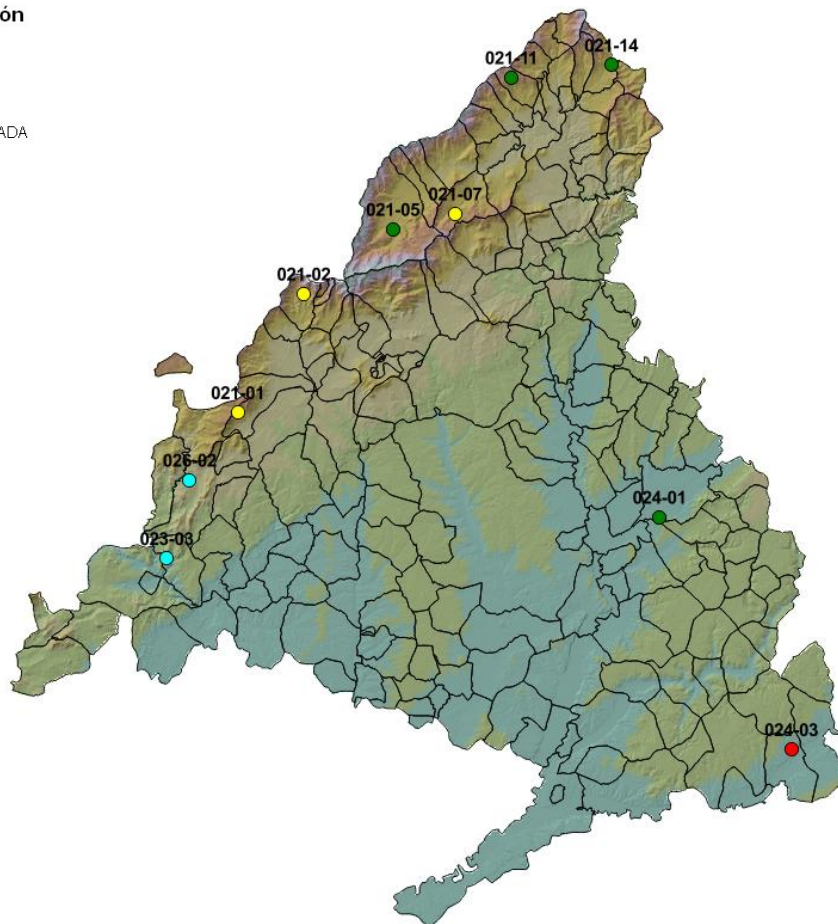
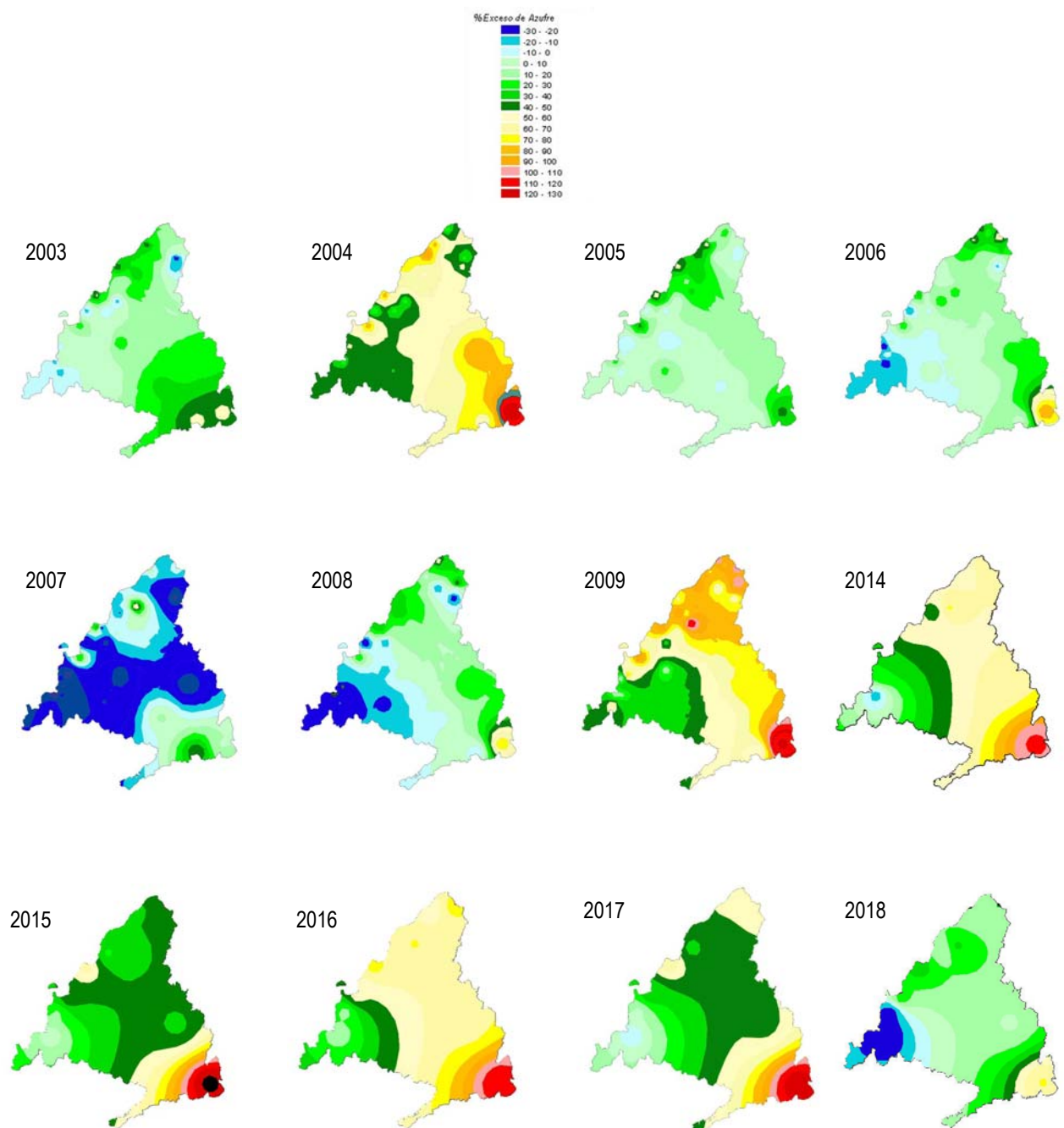


Figura 6.VII
 Evolución geográfico-temporal del exceso de azufre respecto
 los valores patrón



7. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones del presente trabajo cabe apuntar:

- En la presente revisión, y con respecto a la deposición o throughfall, y se ha detectado una reducción de los niveles de acidez de las muestras, con notable disminución de la conductividad y de los niveles generales de cloruros, nitratos y sulfatos. Por lo que se refiere a la inmisión, se advierte también una reducción de la tasa general de óxidos de nitrógeno mientras que el ozono experimenta un incremento con respecto al año anterior, variable esta cuyo punto de máximo valor o pico se adelanta en un mes en el año en curso, al presentarse en la segunda quincena de julio, mientras que los óxidos de nitrógeno mantienen una tendencia más estable, con mayor concentración a lo largo del verano.
- En cuanto a la climatología durante el periodo de referencia, ha destacado por tratarse de un año cálido en general, superándose los valores medios del periodo de referencia 1981-2010, con una primavera algo fría seguido por unos meses de agosto y septiembre cálidos y una disminución de la temperatura a lo largo del otoño. En cuanto a la precipitación y en claro contraste con la elevada sequía de 2017, el año objeto de estudio ha sido bastante húmedo, con precipitaciones superiores a la media en todas las estaciones, particularmente en primavera.
- 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, al que pueden achacarse los tradicionales picos que preceden a un periodo sin lluvias.
- 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 una mejoría del parámetro en las distintas estaciones, resultando mucho más escasas las precipitaciones calificadas como lluvia ácida. Los peores resultados se han obtenido en Cercedilla, Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, en el entorno del 30% de frecuencia. 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 en dos momentos muy marcados: a comienzos de la primavera, posiblemente relacionado con el elevado volumen de agua recogido, y a finales de octubre, también tras un periodo de intensa precipitación.
- En cuanto a la **conductividad**, se advierte también una reducción del parámetro con respecto a la pasada revisión, alcanzándose las mayores tasas en Alcalá de Henares, Cercedilla y Rascafría, y los menores en El Escorial, Canencia, Braojos y Montejo de la Sierra en un patrón de distribución espacial similar al observado en campañas pasadas. Al igual que en el caso anterior, y debido al mismo efecto, se detecta una disminución notable del parámetro en primavera y otoño, tras el aumento de la lluvia y un aumento con la llegada del verano.
- En cuanto a los **cloruros** se observan valores inferiores a los de años anteriores, en una tendencia que ya observada, resultando las concentraciones más altas en Alcalá de Henares, Navas del Rey y Cercedilla y las menores tasas en El Escorial, Braojos y Fuentidueña; destacando sobre todo la notable reducción observada en Robledo de Chavela, donde el valor medio del parámetro ha descendido hasta una cuarta parte de su valor en 2017. Todas las estaciones reducen sus niveles con respecto al año anterior, estabilizándose en torno a los valores de 2015-2016. A diferencia de la relación observada entre el pH y la conductividad con las precipitaciones, no se detectó relación entre las concentraciones de cloruros y el régimen de lluvias.



- En lo que respecta a los **nitratos** se advierte también una reducción general de las tasas obtenidas, que se sitúan en los mínimos de los últimos cuatro años, 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. Las mayores disminuciones de las concentraciones se han obtenido en Cercedilla, Rascafría y Navas del Rey.
- En cuanto a los **sulfatos** se advierte un comportamiento similar al de los nitratos: ligera reducción 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, así como un incremento considerable de la concentración en Cercedilla debido a un máximo puntual a comienzos del mes de octubre.
- En cuanto a los **daños por ozono** se advierte un nivel muy similar al observado el año anterior, conformando un bienio 2017-2018 con una situación peor que el año anterior, si bien el nivel de afección baja ligeramente respecto al año pasado. 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 un incremento de los valores medios obtenidos con respecto al año pasado, destacando los elevados niveles de mediados de julio en donde más de la mitad de los puntos de la Red han superado los 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ valor de umbral de protección o alerta, junto con algún episodio más puntual a finales de septiembre. Por estaciones los mayores valores se han observado en Rascafría, El Escorial, Navas del Rey y Fuentidueña de Tajo, seguido de las dos estaciones situadas junto al Corredor del Henares: Alcalá y Fuentidueña, lo que está en consonancia con el modelo general de circulación de vientos de la comunidad de Madrid (circulación antihoraria que acaba golpeando en la zona media de la sierra). Los mayores valores se obtienen a lo largo del verano, lo que resulta lógico teniendo en cuenta que este contaminante necesita radiación solar y temperatura para formarse a través de sus elementos precursores.
- En cuanto a los **niveles de óxidos de nitrógeno obtenidos mediante dosímetros**, destaca un aumento relativo del contaminante, que en algunas de las estaciones alcanzan los mayores valores medios de la serie, particularmente en la mitad noroccidental de la sierra. Como suele ser habitual son especialmente elevados 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. Las mayores tasas se han registrado también a lo largo del verano. Con un valor máximo de 7,67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en Alcalá, no se superan los valores umbral de protección de la vegetación.
- 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 en el cuadrante sureste de la comunidad en la ya repetidamente mencionada alineación Alcalá de Henares / Fuentidueña de Tajo y destacando las reducciones observadas en el límite suroriental de la sierra: Navas del Rey y Robledo de Chavela.
 - 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 y *Pinus pinaster* en Robledo de Chavela.



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).