



EVALUACIÓN DE LA RED SESMAF Y CONTAMINACIÓN EN PINARES

MEDICIÓN DE NIVELES DE CONTAMINACIÓN MEDIANTE DOSÍMETROS PASIVOS EN PINARES

AÑO 2015



CONSEJERÍA DE MEDIO AMBIENTE,
ADMINISTRACIÓN LOCAL
Y ORDENACIÓN DEL TERRITORIO

Comunidad de Madrid

Dirección General del Medio Ambiente
Sección de Defensa Fitosanitaria



ÍNDICE

	<u>PÁGINA</u>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIAL Y MÉTODOS	6
2.1. Localización	6
2.2. Parámetros fisiográficos	7
2.3. Análisis de O ₃	9
2.4. Análisis de NO ₂	10
2.5. Análisis del agua de deposición	10
2.6. Análisis foliares	12
3. RESULTADOS ANALÍTICOS DE LAS MUESTRAS DE DEPOSICIÓN	13
3.1. Introducción	13
3.2. Tratamiento y conservación de las muestras	13
3.3. Resultados	15
3.3.1. Volumen recogido.....	15
3.3.2. pH	19
3.3.3. Conductividad	22
3.3.4. Cloruros	25
3.3.5. Nitratos	27
3.3.6. Sulfatos	31
4. DAÑOS POR OZONO	43
4.1. Introducción	43
4.2. El ozono troposférico	43
4.3. Efectos del ozono sobre la vegetación	44
4.4. Resultados	45
5. RESULTADOS DE LA RED DE DOSÍMETROS PASIVOS	50
5.1. Niveles de O ₃ en la Comunidad de Madrid	50
5.2. Niveles de NO ₂ en la Comunidad de Madrid	53
5.3. Niveles de contaminantes atmosféricos por muestreos	56
5.3.1. Ozono	56
5.3.2. NO ₂	143
5.4. Niveles de contaminantes atmosféricos por parcelas	159



	<u>PÁGINA</u>
5.4.1. Ozono	159
5.4.2. NO ₂	181
6. RESULTADOS ANALITICOS FOLIARES	201
6.1. Introducción.....	201
6.2. Afección por azufre.....	201
6.3. Toma de muestras y procedimiento analítico.....	201
6.4. Azufre hidrosoluble.....	202
6.5. Azufre total.....	203
6.6. Azufre orgánico.....	203
6.7. Relación azufre hidrosoluble / azufre orgánico.....	204
6.8. Comparación de los resultados con los valores patrón.....	205
7. CONCLUSIONES	209



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).

- **Ozono**

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

En la última década se ha constatado que el ozono es el contaminante atmosférico más extendido en la zona mediterránea. Los altos niveles de industrialización e incremento de la flota de vehículos que se ha producido en esta área en los últimos años facilitan la emisión de precursores de ozono; este hecho, junto con los altos niveles de radiación solar que caracterizan el clima de la zona, contribuye a la formación de ozono y otros oxidantes

fotoquímicos. Además, la circulación propia de los vientos de la cuenca mediterránea favorece el transporte lejano de precursores y del mismo ozono, provocando concentraciones elevadas de oxidantes fotoquímicos en zonas rurales alejadas de fuentes contaminantes.

Diversas autoridades, nacionales e internacionales, han tratado en los últimos veinte años de comprender los procesos implicados en la formación de ozono, los factores que contribuyen a su formación y sus efectos sobre los

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

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

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

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

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

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

En zonas rurales, además de estos procesos de formación y destrucción de ozono, intervienen de forma notable los

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

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

Los análisis de los registros de ozono procedentes de áreas rurales, no directamente afectadas por ciudades o penachos industriales, han señalado la existencia de un

marcado ciclo anual con un máximo de concentración al final del invierno o al principio de la primavera. Algunos estudios relacionan este incremento de ozono primaveral con el transporte de ozono estratosférico hacia la parte superior de la troposfera. Otros estudios consideran que el máximo en la estación de primavera se debe a la acumulación de precursores de ozono durante el invierno, como consecuencia de la menor intensidad de radiación solar, las menores temperaturas y la formación de estrechas capas de mezcla. Al aumentar la temperatura y la radiación solar en primavera, los precursores acumulados reaccionarán, dando lugar a la aparición de concentraciones más elevadas en ese periodo. Esta segunda hipótesis está apoyada por la enorme variabilidad estacional de la vida media de los óxidos de nitrógeno, veinte veces mayor en invierno que en primavera. Esto ha llevado a la conclusión de que la formación de ozono durante el invierno está muy influenciada por fuentes antrópicas de precursores, mientras que en verano los procesos de formación a escala regional y local serán los más favorecidos.

• Dióxido de nitrógeno

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

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

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

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

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

• Deposición atmosférica

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

La deposición atmosférica total consta de tres componentes:

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

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

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

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

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



2. MATERIAL Y MÉTODOS.

2.1. LOCALIZACION.

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

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

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

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

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

Tabla 2.1. Datos geográficos de las estaciones de muestreo.

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

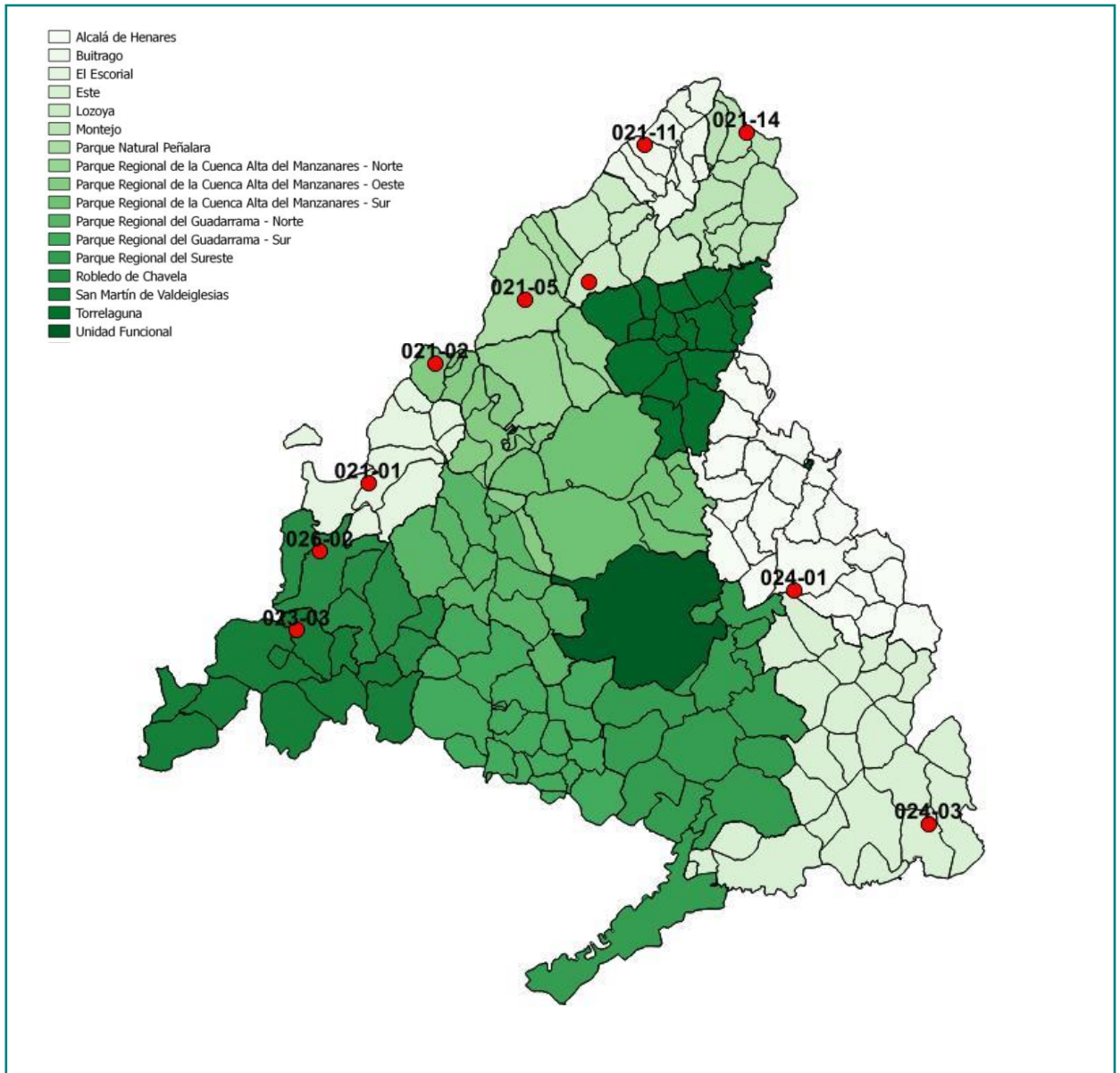


Fig. 2.I. Posición de las estaciones de muestreo.

2.2. PARAMETROS FISIOGRAFICOS.

Los resultados obtenidos aparecen en la tabla 2.II.

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



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

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

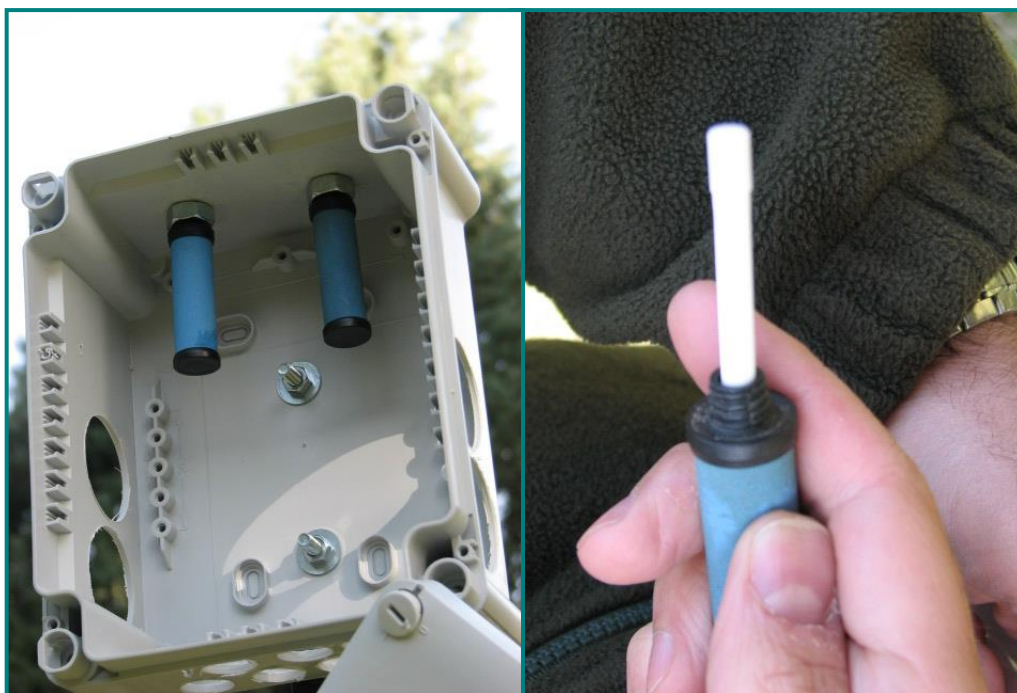


Figura 2.II. Carcasa soporte de dosímetros pasivos y dosímetro dentro del cuerpo difusor (azul).

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

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



como por excursionistas.

- **021-14 Montejo de la Sierra:** Zona transitada por paseantes. Hay una cancela que impide el tráfico rodado, salvo los de los servicios forestales. Situado en las inmediaciones del Puerto del Cardoso.
- **023-03 Navas del Rey:** Zona poco transitada, tanto por excursionistas como por vehículos.
- **024-01 Alcalá de Henares:** Punto poco transitado por el que solo circulan los coches de la guardería forestal, en el interior de un monte público cerrado con una cancela.
- **024-03 Fuentidueña de Tajo:** Localización poco transitada. Solo pasan vehículos de la guardería forestal y esporádicamente algún coche privado. Situado en un monte cerrado con una cancela.
- **026-02 Robledo de Chavela:** Situado al lado de

una carretera con bastante tráfico.

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

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



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

El periodo de estudio se ha extendido durante los meses de febrero a noviembre de 2015, exponiendo los captadores durante 19 muestreos de periodicidad quincenal. Una vez transcurrido este periodo, los captadores son retirados y trasladados al laboratorio en nevera para su análisis.

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

2.3. ANALISIS DE O₃.

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

Una vez en el laboratorio, el 4-piridilaldehído es condensado con 3-metil-2-benzotiazolinona hidrazona (MBTH) para producir un compuesto de color amarillo (Fig. 2.IV). La

absorbancia de la solución obtenida se mide a 430 nm mediante espectroscopía ultravioleta-visible.

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

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

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

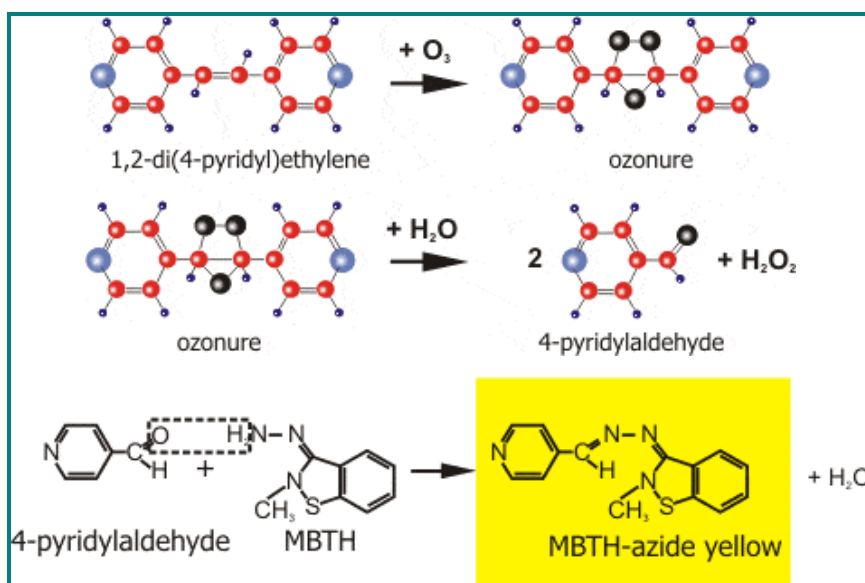


Figura 2.IV. Reacciones involucradas en la determinación de O₃.

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

siendo **m** la masa de nitrato, **t** el tiempo de exposición y **Q** la tasa de muestreo.

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 nitrato. En el laboratorio se extrae el nitrato con agua ultrapura y se hace reaccionar con sulfanilamida, obteniéndose un compuesto diazónico que, a su vez, se compleja con NEDA, formándose un compuesto morado que posteriormente es cuantificado a 537 nm mediante espectroscopía ultravioleta-visible.

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

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

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

2.5. ANÁLISIS DEL AGUA DE DEPOSICIÓN.

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

Determinación del pH

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

Determinación de la Conductividad

Potenciométricamente con conductímetro (Thermo Orion



4-Star plus). Análisis en los tres días posteriores a la entrada de muestra en el laboratorio, de acuerdo con sus procedimientos de control de calidad. Pretratamiento con filtrado de membrana de 0,45 μm y medición a 25°C estándar

Medida del Volumen

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

Determinación de la concentración de nitratos,

cloruros y sulfatos

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

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



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

2.6. ANÁLISIS FOLIARES.

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

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

Azufre hidrosoluble

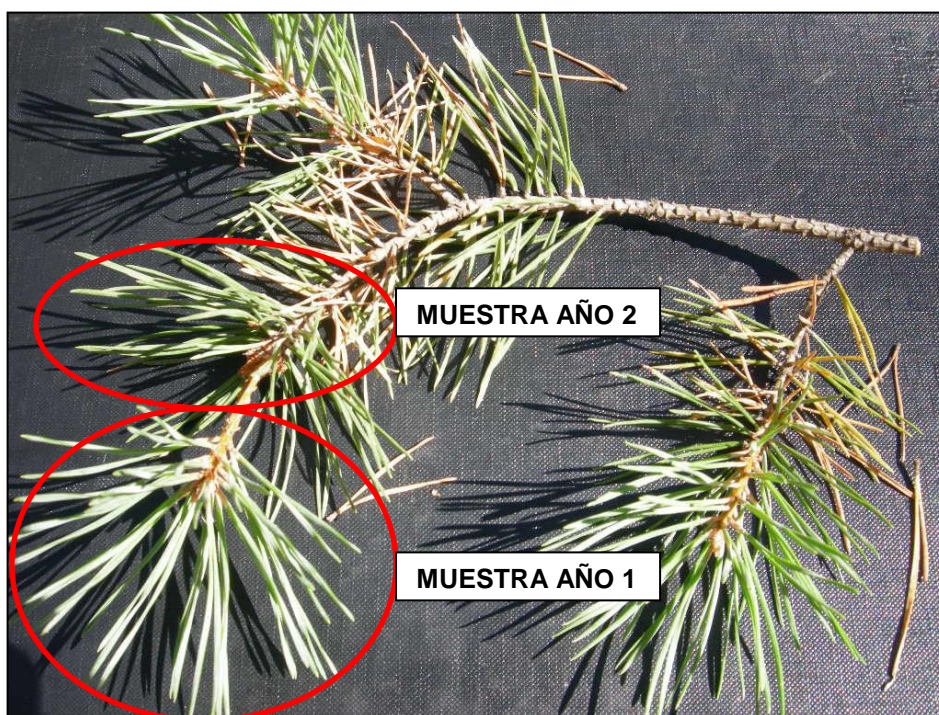
- Extracción del azufre hidrosoluble por agitación continua durante 30 minutos con agua destilada.
- Filtración del extracto y determinación de los sulfatos mediante cromatografía iónica, previa purificación en Sep-Pack c-18.
 - Columna ICPACK-aniónica.
 - Fase móvil borato-gluconato pH: 8,5.
 - Detector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

Azufre total

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

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

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





3. RESULTADOS ANALÍTICOS DE LAS MUESTRAS DE DEPOSICIÓN.

3.1. INTRODUCCIÓN.

Para el estudio de los parámetros que indican el nivel de contaminación atmosférica se colocaron once captadores de agua de lluvia en los emplazamientos indicados en la Figura 3.1. Estos lugares se encuentran cerca de las estaciones de seguimiento lo más escondidos al público que es posible, para evitar alteraciones debidas a la curiosidad o vandalismo. Los captadores o acumuladores se encuentran situados bajo el dosel arbóreo para recoger el agua de lluvia una vez haya "lavado" el follaje, donde quedan depositados los

contaminantes arrastrados por el viento. Las características de estos captadores de agua se adaptan a la normativa europea.

3.2. TRATAMIENTO Y CONSERVACIÓN DE LAS MUESTRAS.

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

Las muestras, una vez registradas, se trasvasan a botes de polietileno y son pesadas para la medida del volumen de muestra.

En estas muestras sin tratamiento previo se mide el pH y la conductividad.

Una vez realizadas estas dos mediciones, las muestras se filtran al vacío con filtros de membrana de 0,45 μm de diámetro de poro.

Una vez filtradas, las muestras se conservan en nevera a una temperatura inferior a 5 °C para su posterior análisis.

Los análisis se llevan a cabo en un plazo de 15 días a contar desde la fecha de recepción en el laboratorio de referencia.

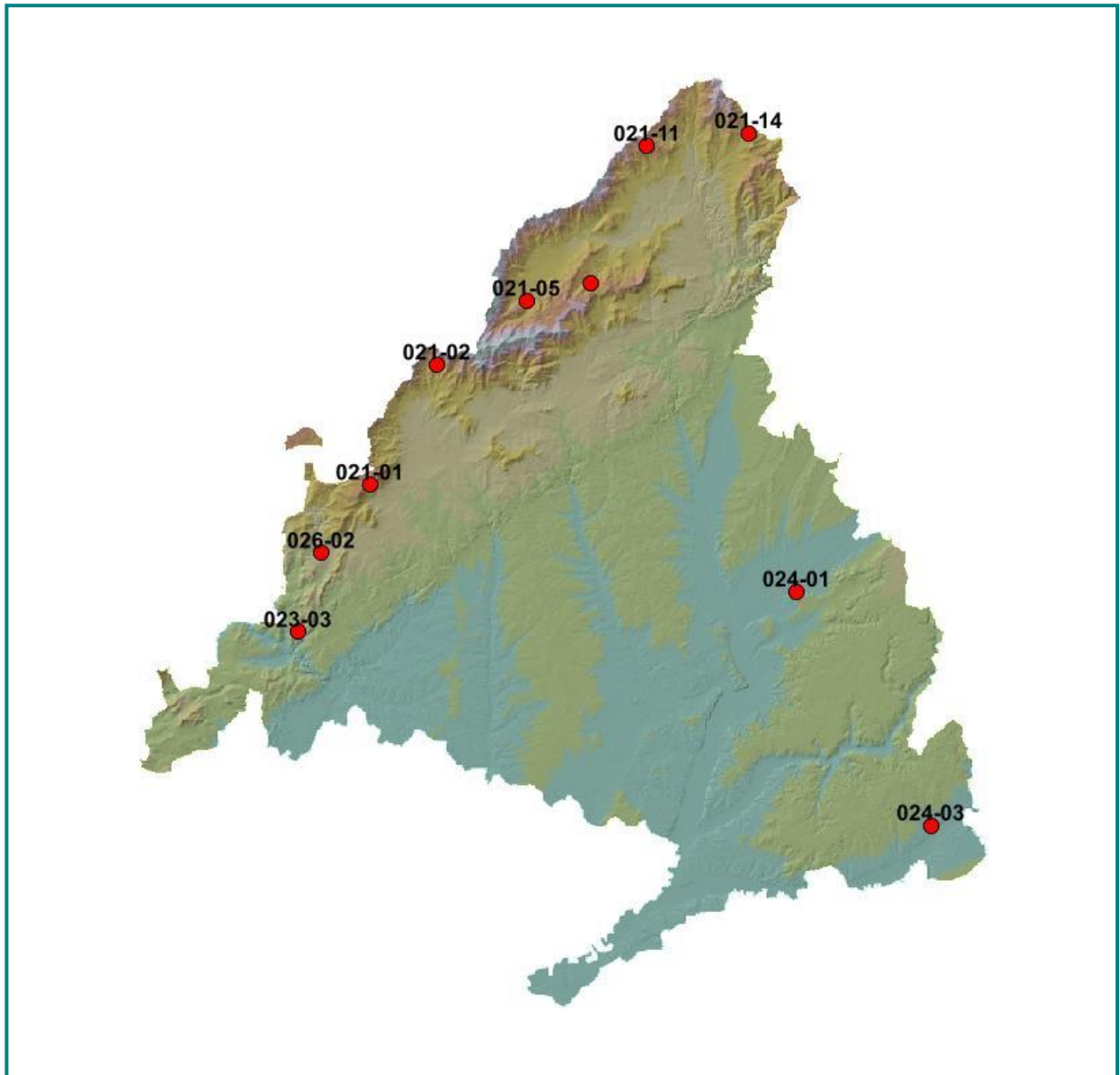


Figura 3.I. Situación de las estaciones de muestreo de deposición.



3.3. RESULTADOS.

Durante 2.015 se realizaron 19 visitas a los puntos de muestreo de agua, recogiendo muestra en ellos

(véase Tabla 3.I), encontrándose en las muestras recogidas diversas partículas en suspensión y restos vegetales en los filtros de los embudos superiores de los acumuladores.

Tabla 3.I. Fechas de recogida de muestras de deposición.

Nº Viaje	Fecha	Observaciones
1	18 a 19/02/15	Se instalan los captadores. No se recoge muestra
2	05 a 06/03/15	Se recoge muestra en 8 estaciones (80% del total)
3	16 a 17/03/15	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra
4	08 a 09/04/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
5	22 a 24/04/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
6	08 a 09/05/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
7	20 a 22/05/15	Se recoge muestra en 2 estaciones (20% del total)
8	02 a 05/06/15	Se recoge muestra en 1 estaciones (10% del total)
9	17 a 18/06/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
10	29 a 30/06/15	Se recoge muestra en 2 estaciones (20% del total)
11	20 a 21/07/15	Se recoge muestra en 5 estaciones (50% del total)
12	03 a 04/08/15	Se recoge muestra en 7 estaciones (70% del total)
13	18 a 19/08/15	No ha llovido durante el periodo. No se recoge muestra
14	02 a 03/09/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
15	16 a 17/09/15	Se recoge muestra en 8 estaciones (80% del total)
16	07 a 09/10/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
17	21 a 22/10/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
18	03 a 05/11/15	Se recoge muestra en 10 estaciones (100% del total)
19	26 a 27/11/15	Se recoge muestra en 9 estaciones (90% del total)

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.

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.

TABLA 3.II: Volumen recogido en las estaciones

ESTACION	2015		
	%	V.m	V.max
021-01 El Escorial	66,7	464,17	2.435
021-02 Cercedilla	66,7	571,11	2.730
021-05 Rascafría	55,6	240,00	1.340



ESTACION	2015		
	%	V.m	V.max
021-07 Canencia	83,3	610,56	2.400
021-11 Braojos	83,3	588,89	2.410
021-14 Montejo	72,2	425,00	1.805
023-03 Navas del Rey	66,7	336,11	1.460
024-01 Alcala de Henares	50,0	163,61	755
024-03 Fuentidueña	72,2	197,78	655
026-02 Robledo de Chavela	61,1	256,39	885

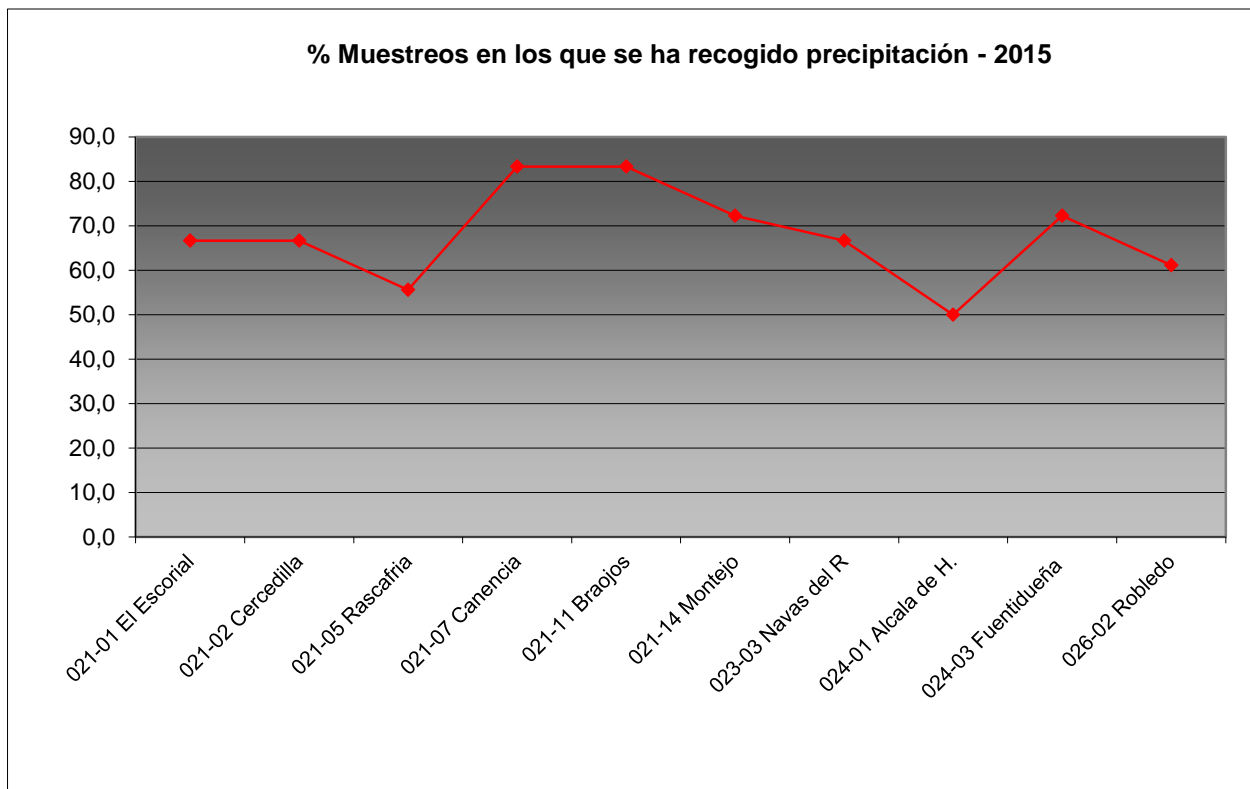


Figura 3.II. Porcentaje de muestreros en los que se ha recogido precipitación.

En cuanto a la distribución de precipitaciones, se advierte en primer lugar que Alcalá de Henares es la estación en que menos veces ha llovido, recogándose muestra en el 50% de los viajes, en contraposición con Canencia y Braojos, donde se ha tomado en más del 80% de los muestreros ; en un patrón similar al del año pasado: mayores lluvias en el extremo norte y menores en el cuadrante sureste de la comunidad.

Cercedilla, Braojos y Canencia son las estaciones en las que se han registrado las mayores precipitaciones,

mientras que el cuadrante SE (Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo) donde se ha obtenido menores niveles, como ya ocurriera en años anteriores.

Se advierten además tres periodos de sequía muy marcados, que condicionan mucho los resultados obtenidos al modelar el comportamiento de la deposición seca; en los meses de marzo, mediados de mayo y julio-agosto; éste de una amplitud considerable, en los que apenas se han registrado precipitaciones de muy poca entida en unas pocas estaciones.

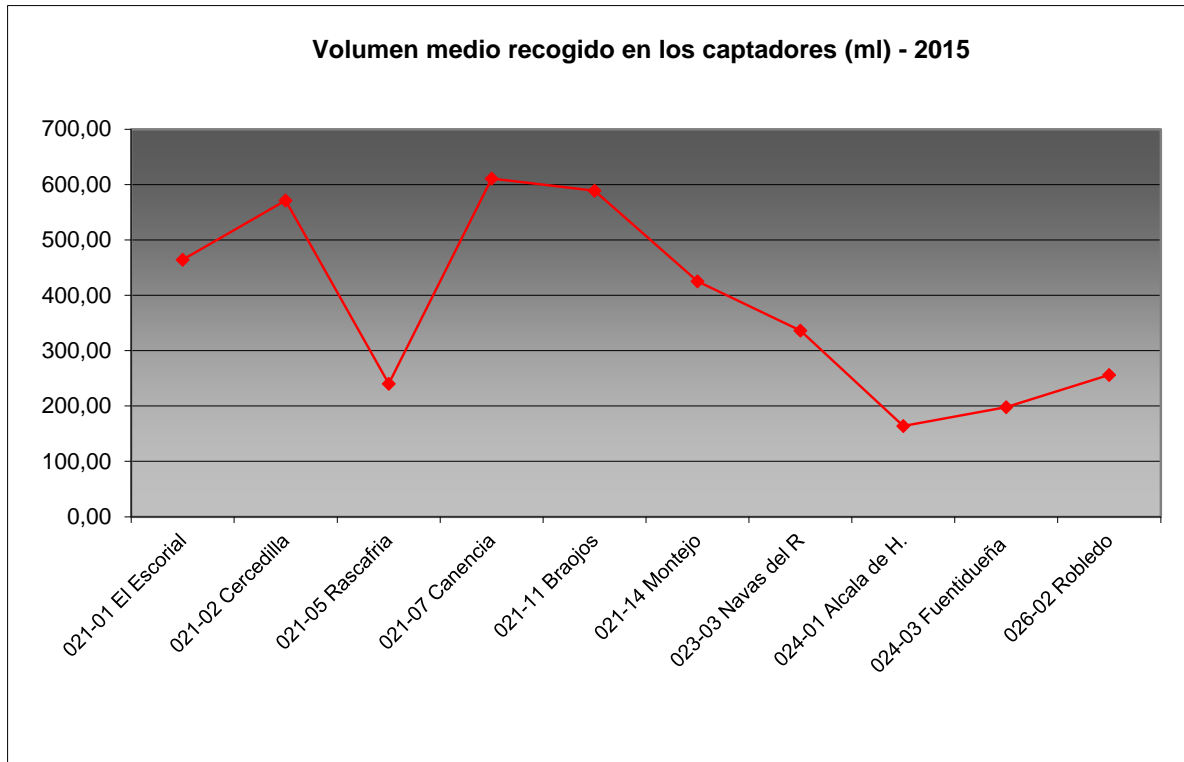
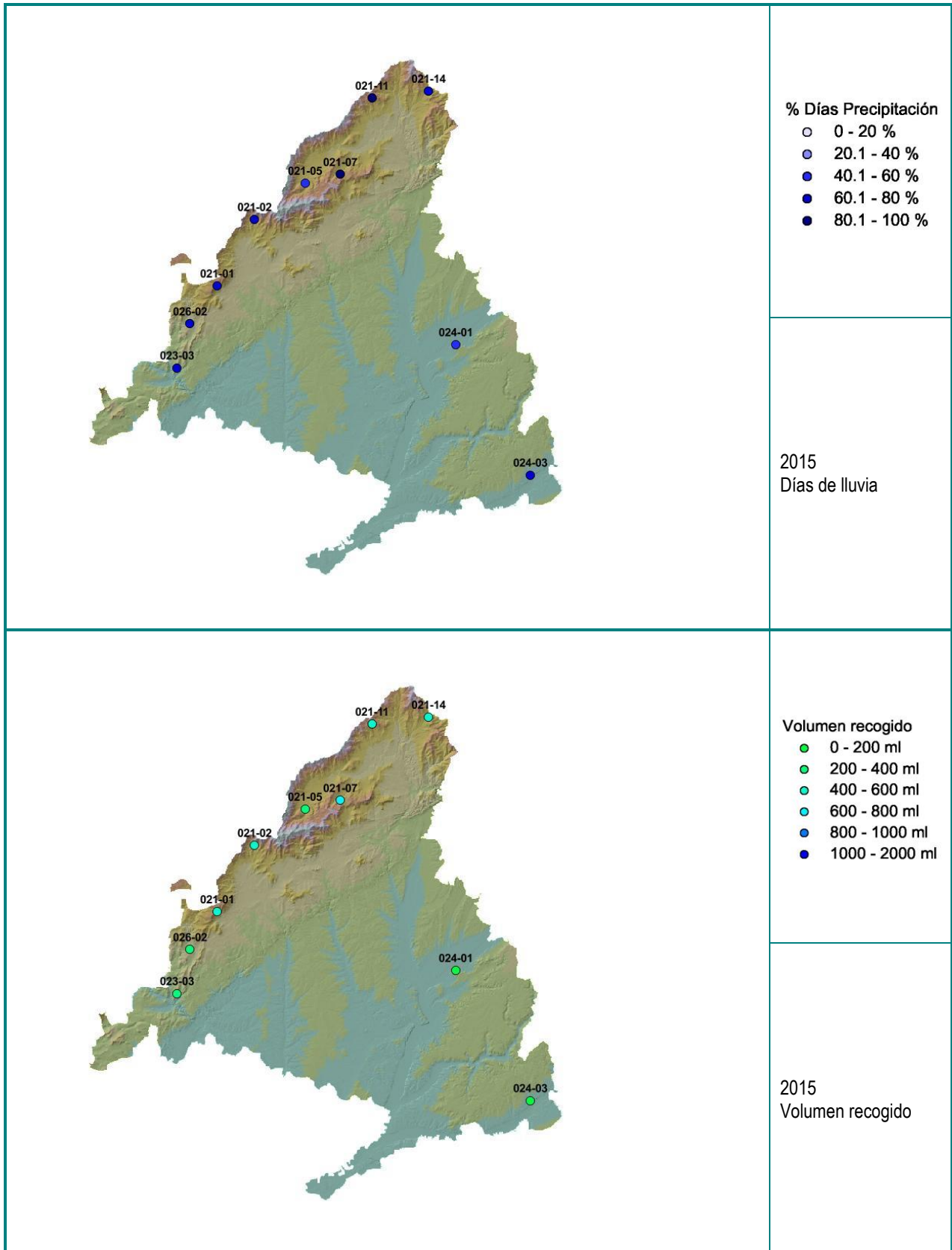


Figura 3.III. Volumen medio recogido en los captadores



3.3.2. PH.

En lo referente a los valores de pH de las series observadas se encuentra en primer lugar que los valores predominantes son bajos, por lo general menores de 7, tal y como ya se observara el año precedente, oscilando entre el valor mínimo de 4,5 en El Escorial a mediados de septiembre y el valor de 7,0 obtenido en Canencia a finales de noviembre.

Atendiendo a su distribución temporal se observa que los valores más ácidos de la series se obtienen de mediados de septiembre a mediados de octubre, cuando todas las estaciones se situaron con valores de pH inferiores al límite de 5,65 que marca la presencia de "lluvia ácida" (Erisman, J.W., y Draaijers, G.P.J., 1995), de las precipitaciones dentro de valores de lluvia ácida. Es muy frecuente esta acidificación de la serie a finales de año, coincidiendo con el momento de puesta en funcionamiento de las calefacciones domésticas, y ya se observó el año pasado, aunque de forma menos acusada que este.

Destaca en la presente revisión la acidificación de las muestras recogidas en Braojos, donde más del 50% de la precipitaciones se han calificado como de lluvia ácida, seguidas de cerca por Rascafría y Canencia y resultando sobre todo significativo el empeoramiento observado en el cuadrante sureste de Madrid, donde tradicionalmente se registraban mayores valores de pH, y que en la presente revisión llegan a suponer cerca del 40% de las precipitaciones recogidas en Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo.

Cabe destacar asimismo que más del 88% de las muestras obtenidas están fuera del marco de referencia del RTSAP-2003 en lo que a este parámetro se refiere.

TABLA 3.III: pH en las estaciones

ESTACION	2015		
	%	pH.m	Min
021-01 El Escorial	33,33	5,83	4,51
021-02 Cercedilla	33,33	5,81	4,89
021-05 Rascafría	40,00	5,71	5,08
021-07 Canencia	46,67	5,72	4,90
021-11 Braojos	53,33	5,61	4,54
021-14 Montejo	30,77	5,71	4,88
023-03 Navas del R.	25,00	5,91	4,80
024-01 Alcalá de H.	44,44	5,94	5,33
024-03 Fuentidueña	38,46	5,96	4,65
026-02 Robledo	27,27	5,97	4,62

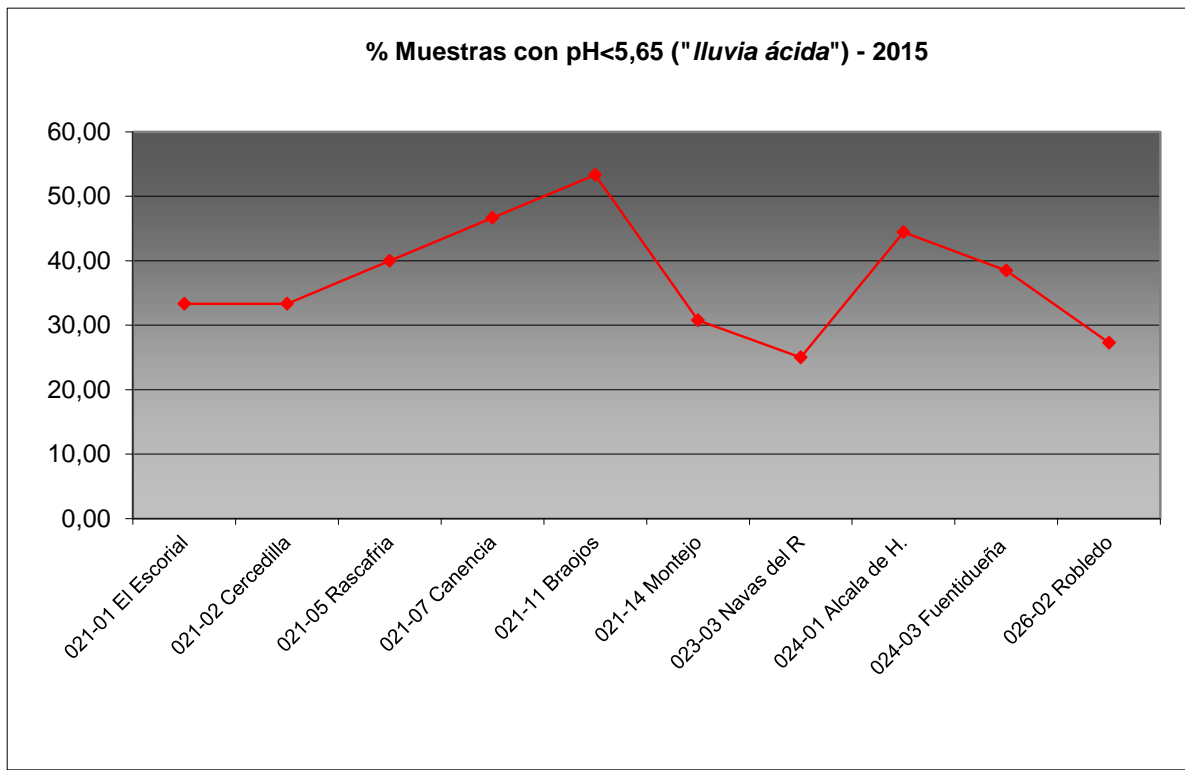


Figura 3.V. Porcentaje de muestras recogidas en las que el pH es inferior a 5,65 (lluvia ácida)

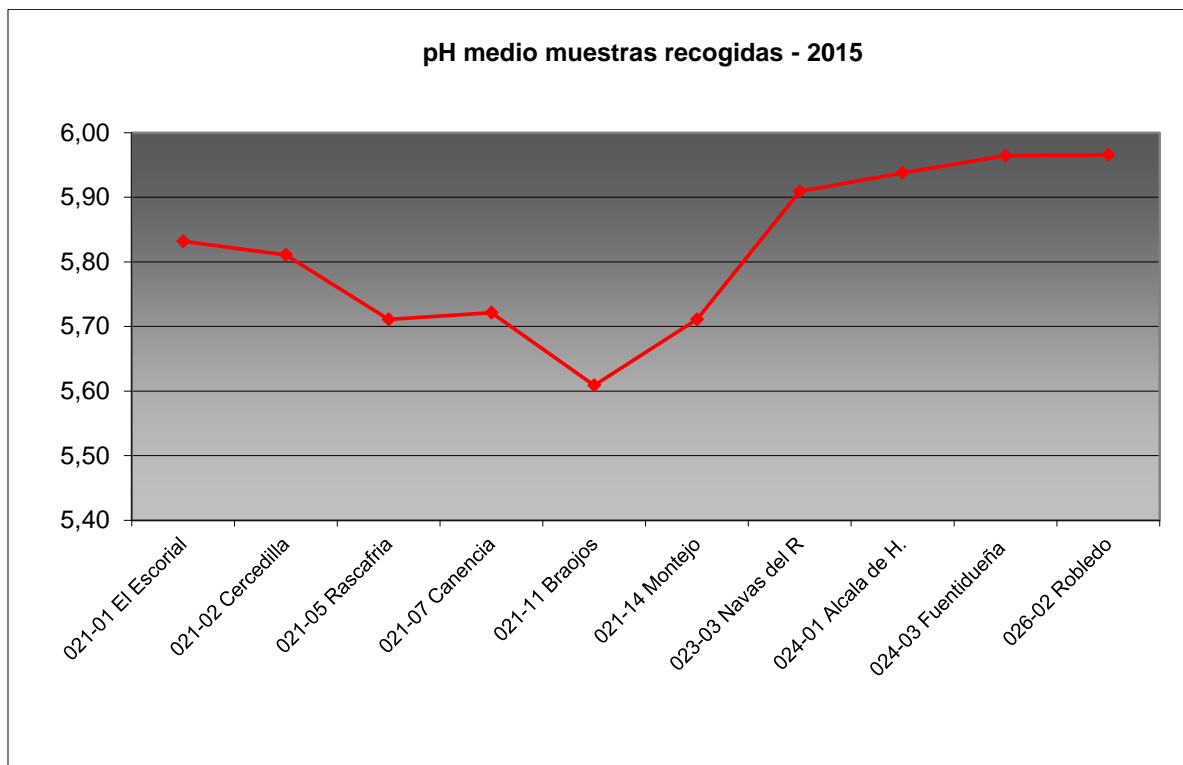


Figura 3.VI. pH medio de las muestras recogidas por estación.

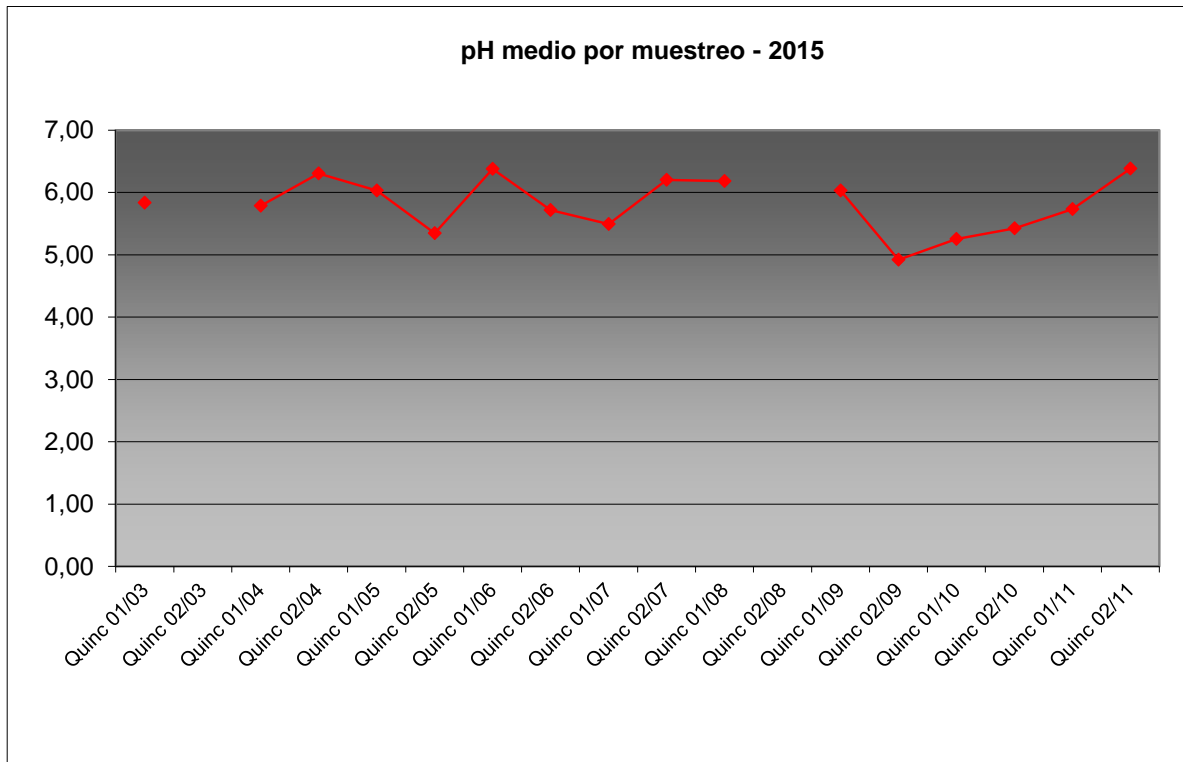
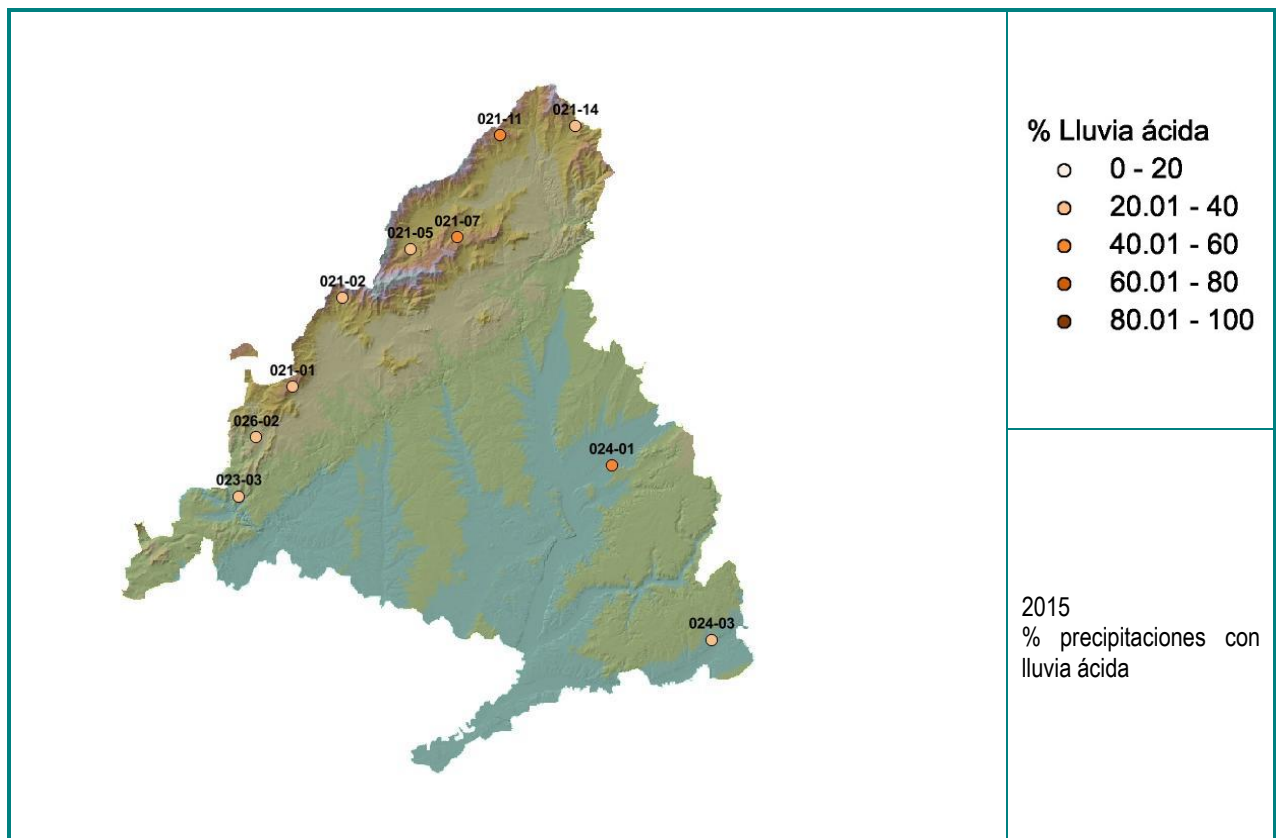
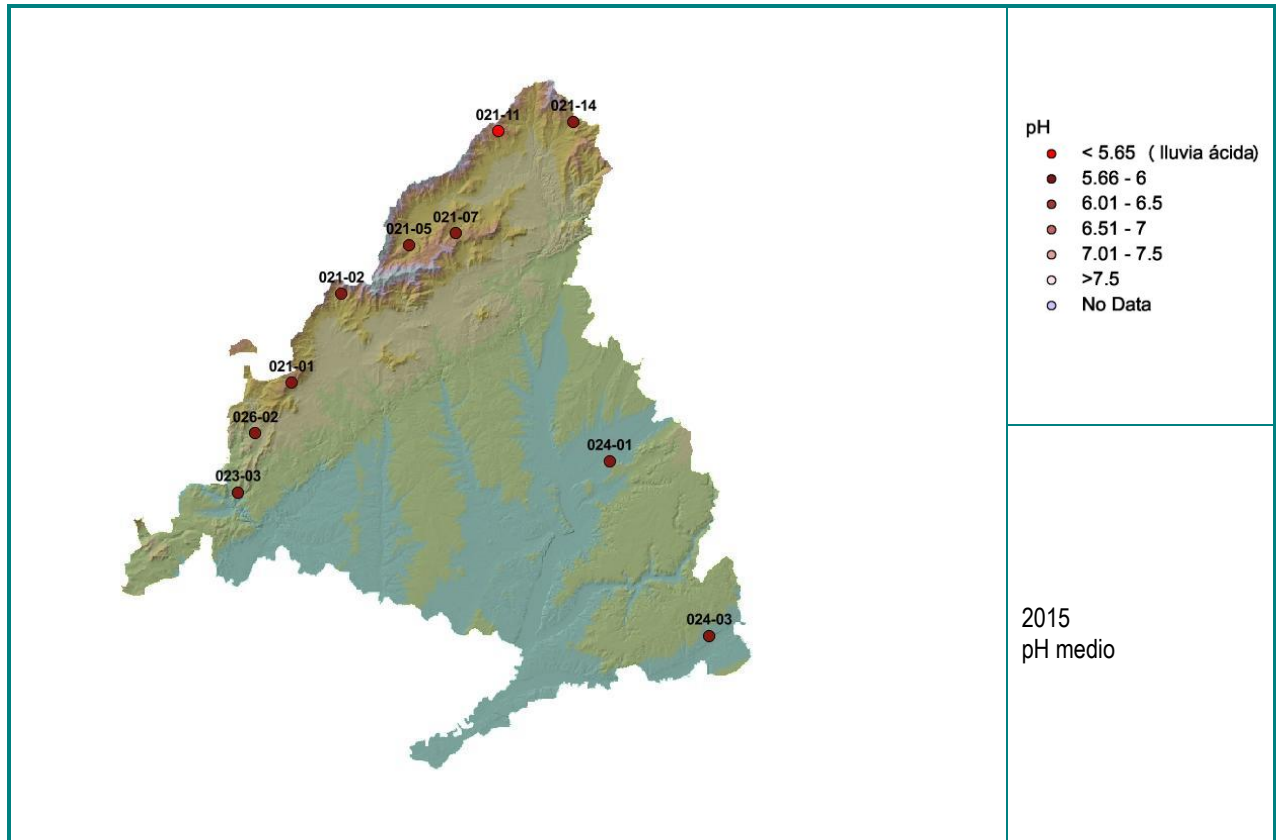


Figura 3.VII. pH medio por muestreo.





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 110 $\mu\text{S}/\text{cm}$, situándose los extremos entre 11 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en El Escorial y Montejo de la Sierra a mediados de octubre y 691 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en Alcalá de Henares a comienzos de septiembre. El pico de mínimos coincide en ubicación y época con el observado el año pasado.

En cuanto al comportamiento de la serie anual de datos, los valores mayores se han registrado a comienzos de julio, septiembre y octubre, usualmente tras un periodo

previo de falta de agua, de tal forma que la precipitación post sequía arrastra una buena cantidad de solutos provenientes de la deposición seca (aquella que se deposita y no es arrastrada por el agua), comportamiento ya observado en anteriores revisiones. Los menores valores se han registrado, por el contrario, desde mediados de octubre a finales de noviembre, en consonancia con el inicio de las precipitaciones de otoño. Por estaciones y a lo largo de toda la campaña, los valores mayores se han registrado en las estaciones de Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, mientras los mínimos se han registrado en Canencia y Montejo de la Sierra.

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

ESTACION	2015		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	106,24	348	11
021-02 Cercedilla	118,47	339	17
021-05 Rascafria	113,66	291	23
021-07 Canencia	72,05	199	13
021-11 Braojos	98,08	294	17



ESTACION	2015		
	Media	Max	Min
021-14 Montejo	61,79	140	11
023-03 Navas del R	109,98	227	30
024-01 Alcala de H.	208,11	691	75
024-03 Fuentidueña	146,52	379	15
026-02 Robledo	102,49	285	20

TABLA 3.IV: Conductividad en las estaciones

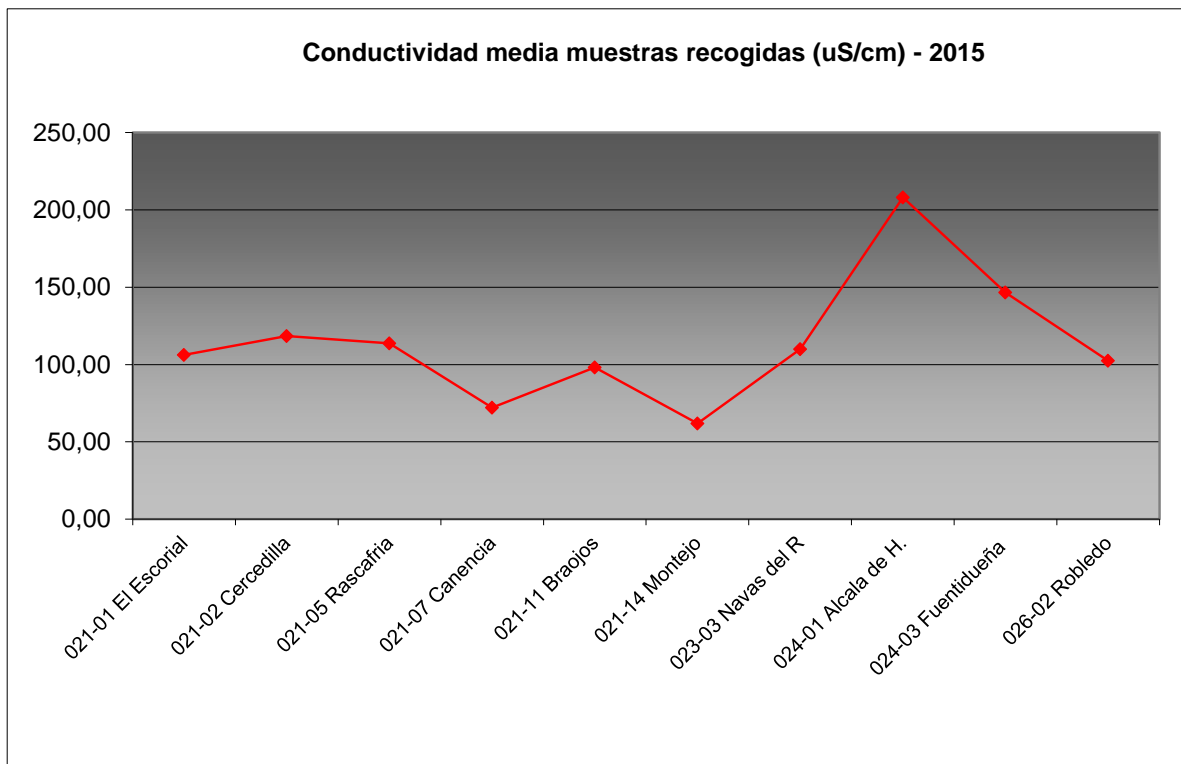


Figura 3.VIII. Conductividad media de las muestras recogidas por estación.

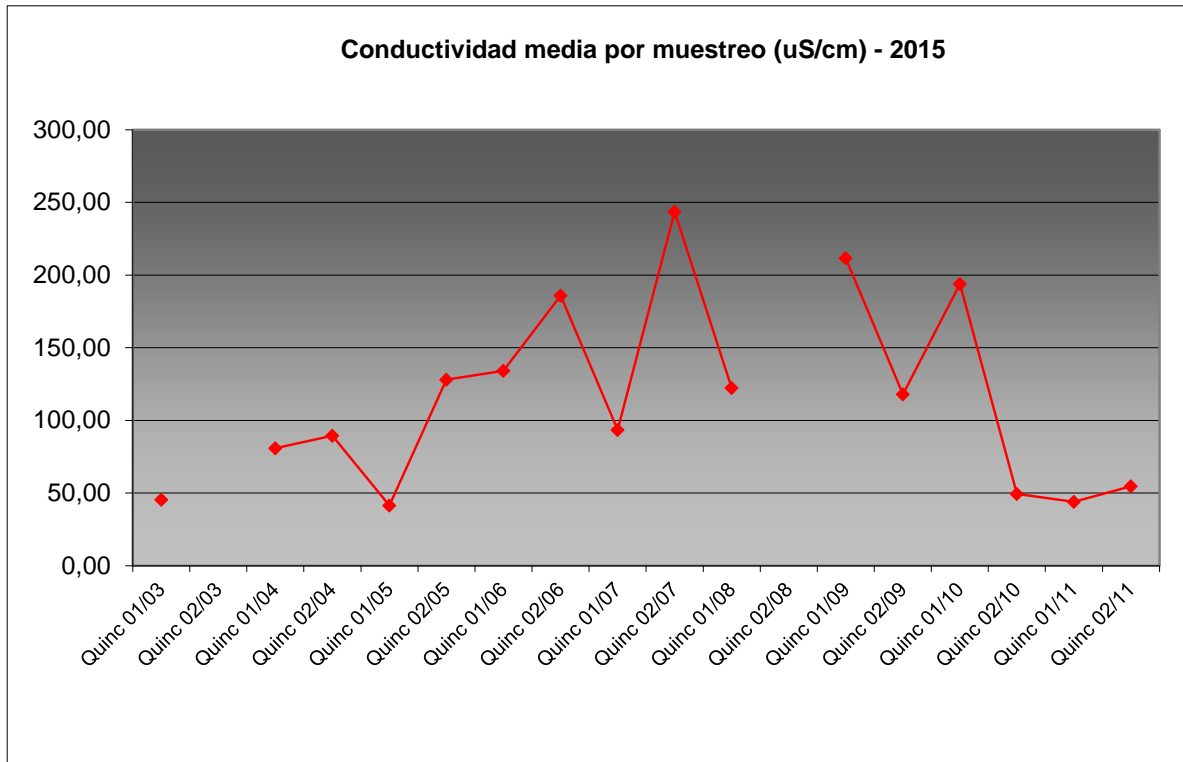
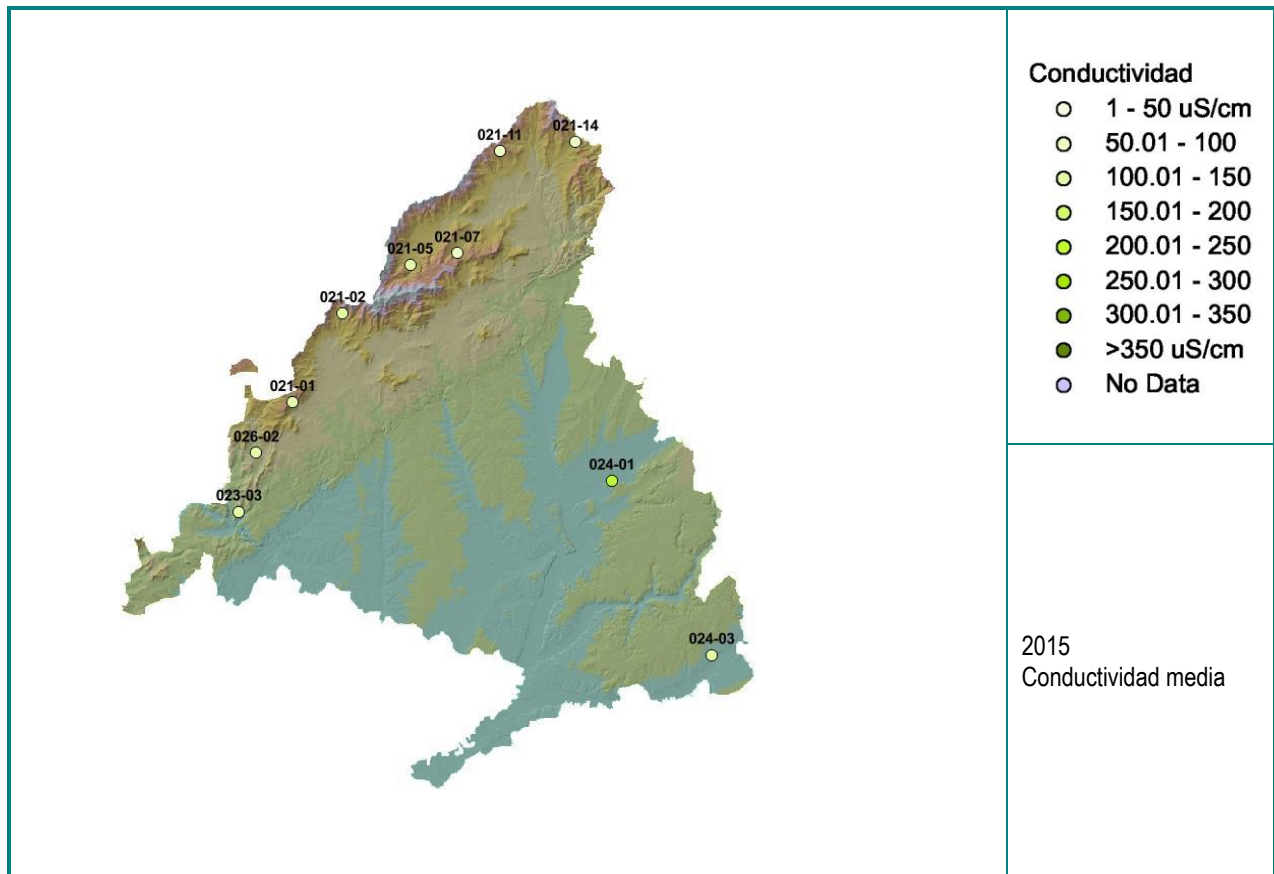


Figura 3.IX. Conductividad media de las muestras recogidas por muestreo.



3.3.4. CLORUROS.

La concentración media de cloruros en la revisión del año en curso se situó en 4,67 mg/l, oscilando los extremos de la serie entre las frecuentes “concentraciones traza” inferiores a 5 mg/l registradas con mayor o menor frecuencia en todas las estaciones y los 31,96 mg/l de máxima obtenidos Navas del Rey a comienzos de junio, repitiéndose este máximo local en esta quincena, que el año pasado se observó en Montejo de la Sierra en un valor parecido al registrado en la presente revisión.

En lo que respecta a la serie anual, se observa al igual que en el caso anterior, un incremento del parámetro tras un periodo de sequía, particularmente marcado en junio, al incorporar el aporte correspondiente a la deposición seca, junto con una disminución de los valores a finales del otoño, en un comportamiento ya observado en revisiones anteriores. Se observa también en general que tras un periodo sin lluvias los valores obtenidos tienden a ser mayores que los valores usuales en la estación, mientras que si el periodo lluvioso es más prolongado, los valores se mantienen en umbrales más bajos, posiblemente debido a un efecto de lavado.

Por estaciones, las mayores concentraciones de cloruros se han registrado en Rascafría, Navas del Rey, Alcalá de

Henares y Fuentidueña de Tajo, mientras que los menores registros se han obtenido en Montejo y Braojos, en un patrón de comportamiento muy parecido al de la pasada revisión, y en el que sólo destaca la reducción de los niveles observados en Montejo de la Sierra, punto en el que se ha registrado una notable reducción en el año en curso.

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

Con respecto a la pasada revisión, se ha advertido una reducción en el nivel general de cloruros.

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

TABLA 3.V: Cloruros en las estaciones

ESTACION	2015		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	3,46	11,49	0,44
021-02 Cercedilla	4,21	12,14	0,82
021-05 Rascafría	5,20	11,62	1,32
021-07 Canencia	3,57	16,05	0,52
021-11 Braojos	3,01	8,51	0,80
021-14 Montejo	2,27	4,88	0,56
023-03 Navas del R	8,06	31,96	1,93
024-01 Alcalá de H.	7,95	21,55	3,18
024-03 Fuentidueña	6,63	30,05	0,54
026-02 Robledo	4,11	6,85	1,36

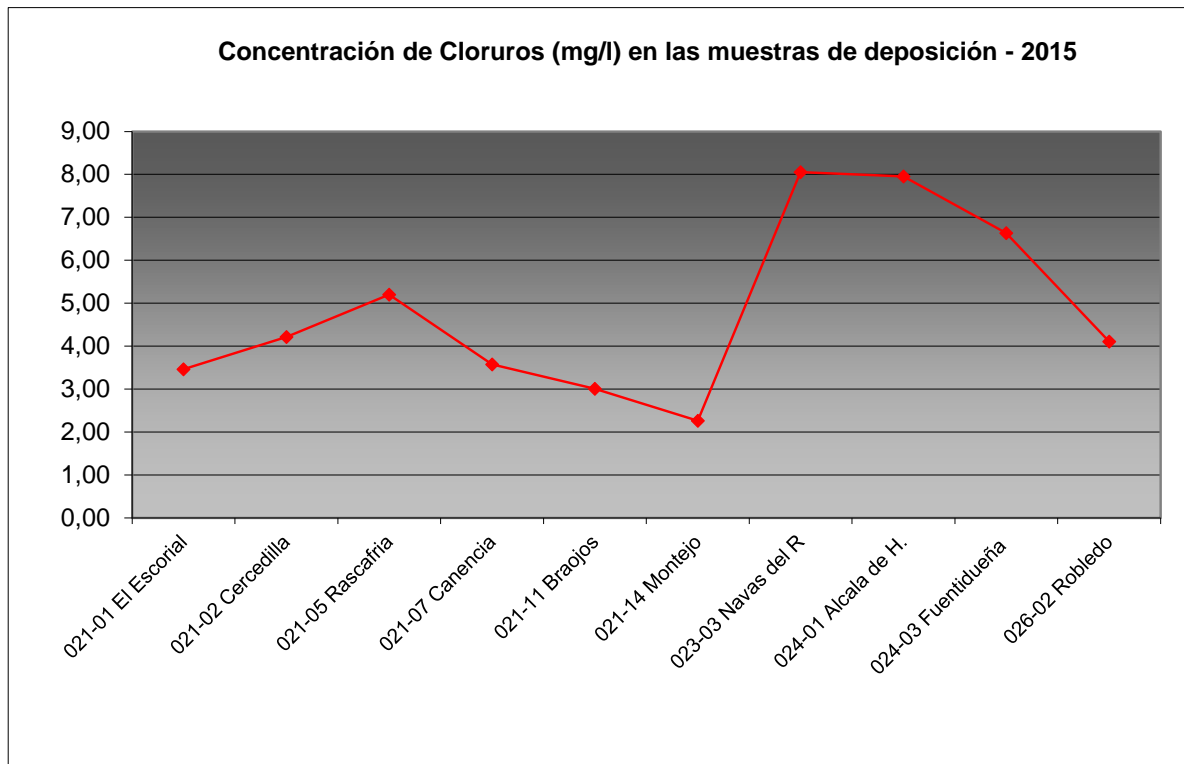


Figura 3.X. Concentración media de cloruros por estación.

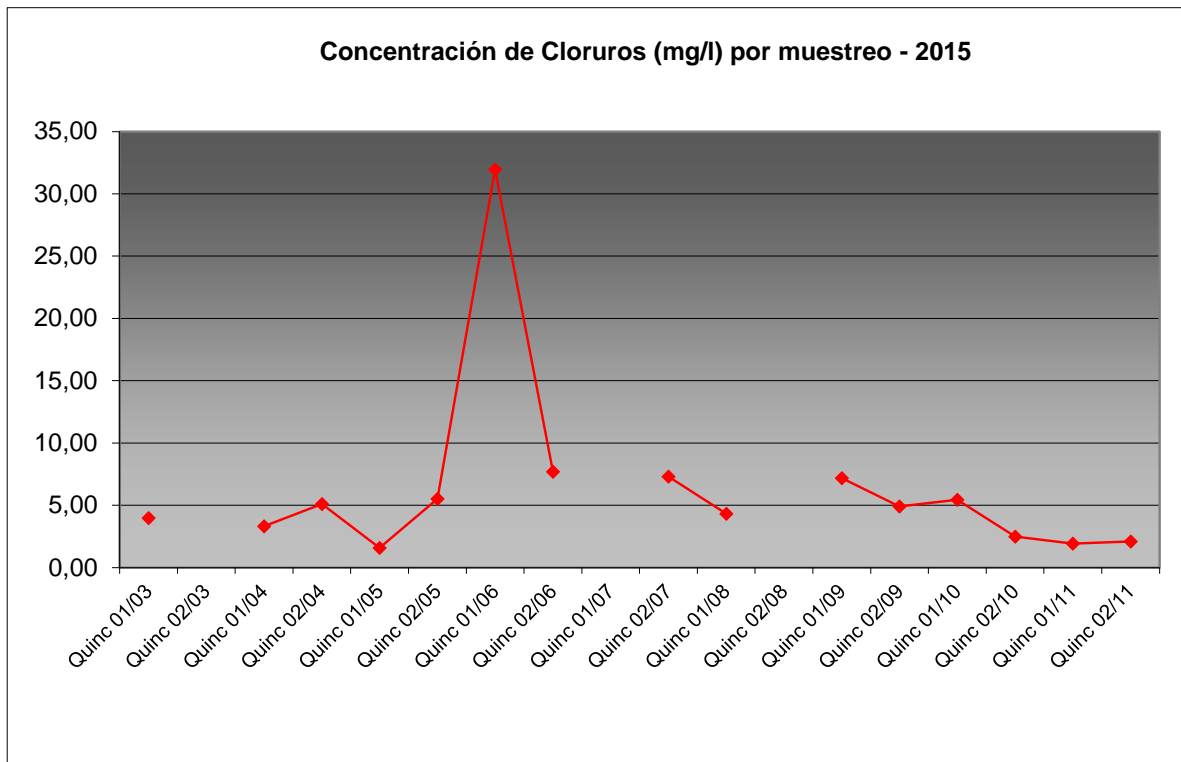
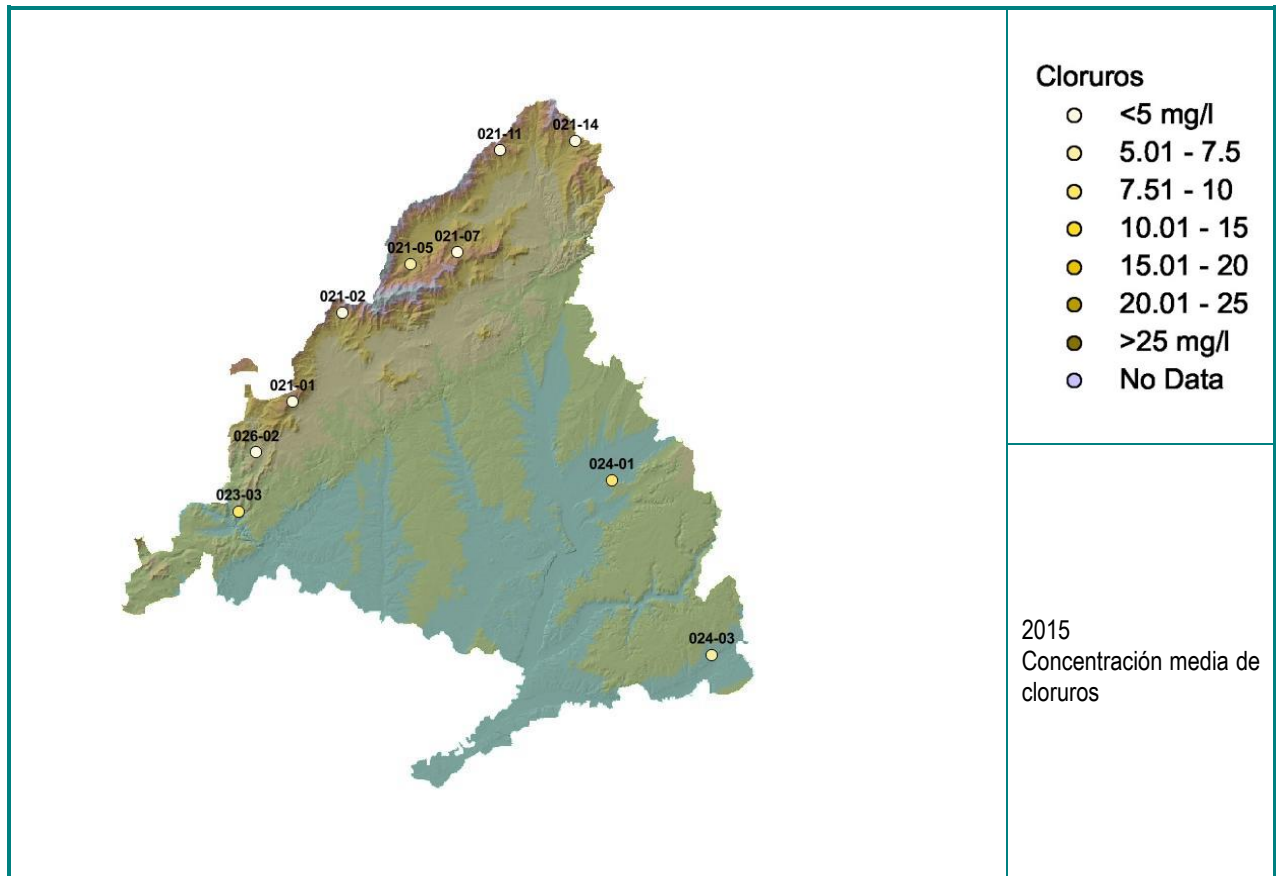


Figura 3.XI. Concentración media de cloruros por muestreo.



3.3.5. NITRATOS.

La concentración media de nitratos en la presente revisión se sitúa en 12,51 mg/l, registrándose extremos de la serie de 0,02 mg/l en Rascafría a mediados de junio, y 232,80 mg/l en Alcalá de Henares a comienzos de septiembre. El mínimo de la escala coincide en lugar y fecha con el observado el año pasado.

Se han registrado varios casos de concentraciones traza, inferiores a 0,5 mg/l, sobre el arco norte de la comunidad particularmente a mediados de junio.

Por estaciones, los mayores valores se han concentrado en Navas del Rey, Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, mientras que los menores valores se sitúan en Rascafría, Canencia, Braojos y Montejo, en un patrón de comportamiento ya observado en anteriores revisiones y que parece sugerir un patrón espacial.

Al contrario de lo que sucediera el año pasado, en la mayoría de las estaciones de control ha aumentado el nivel de nitratos en el agua de deposición.

En relación a los nitratos, el comportamiento de la serie histórica es similar al caso anterior: mayores concentraciones tras episodios de sequía, posiblemente debidas a lavado e incorporación de la deposición seca, con un máximo muy marcado a comienzos de septiembre; en un comportamiento nuevamente en V invertida, con algún máximo local a mediados de abril que rompen la estabilidad de la serie.

Varias de las muestras analizadas, Cercedilla y Fuentidueña a mediados de julio, Navas del Rey a mediados de septiembre y Alcalá de Henares a comienzos de septiembre y octubre, superaron el umbral de 50 mg/l definido por el estándar RTSAP-2003.

TABLA 3.VI: Nitratos en las estaciones.

ESTACION	2015		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	9,64	45,58	0,28
021-02 Cercedilla	12,44	68,24	0,41
021-05 Rascafria	5,59	22,68	0,02
021-07 Canencia	4,90	17,93	0,11
021-11 Braojos	9,07	38,01	0,66
021-14 Montejo	4,44	12,97	0,10
023-03 Navas del R	21,50	52,52	5,37
024-01 Alcala de H.	44,70	232,80	2,07
024-03 Fuentidueña	14,55	61,05	1,94
026-02 Robledo	7,12	16,93	0,27

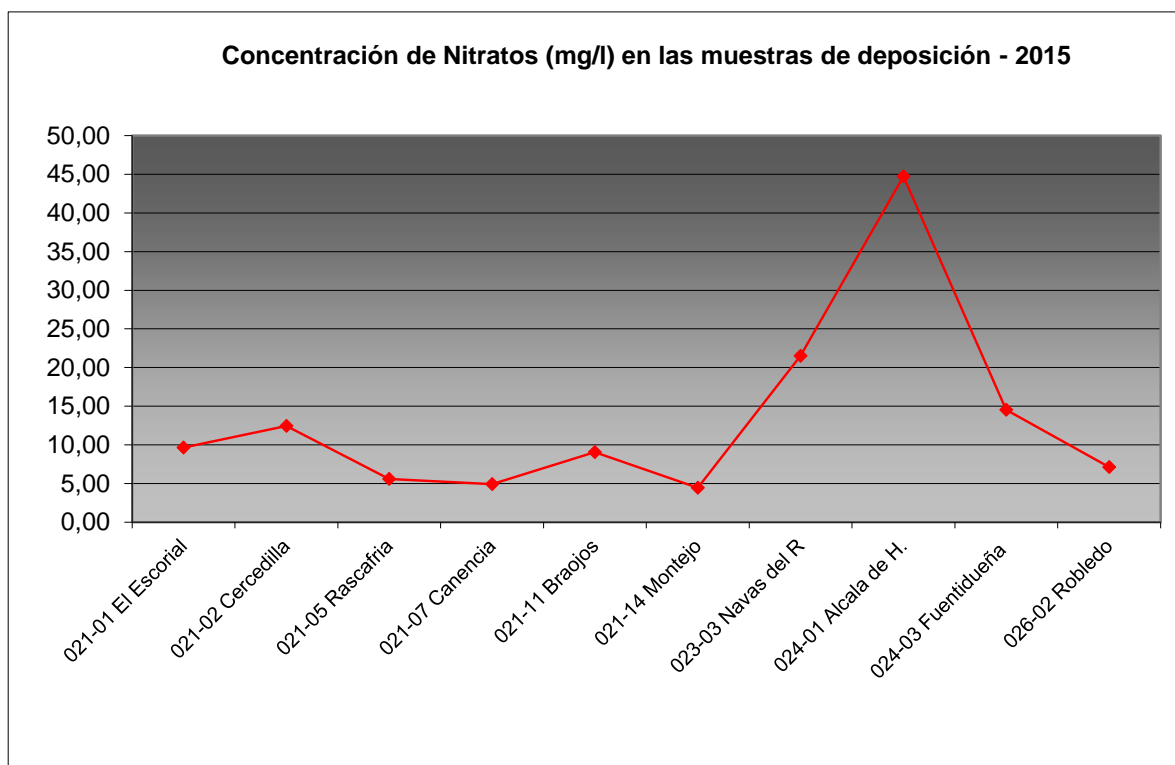


Figura 3.XIII. Concentración media de nitratos por estación

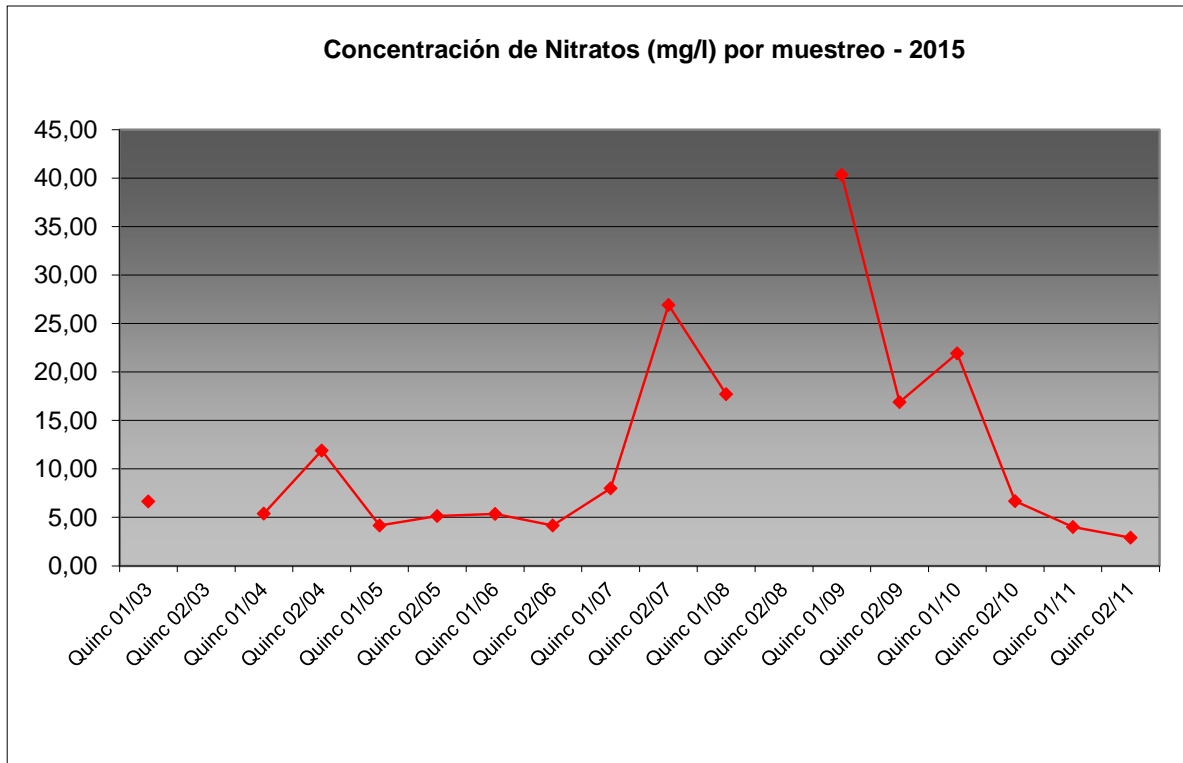
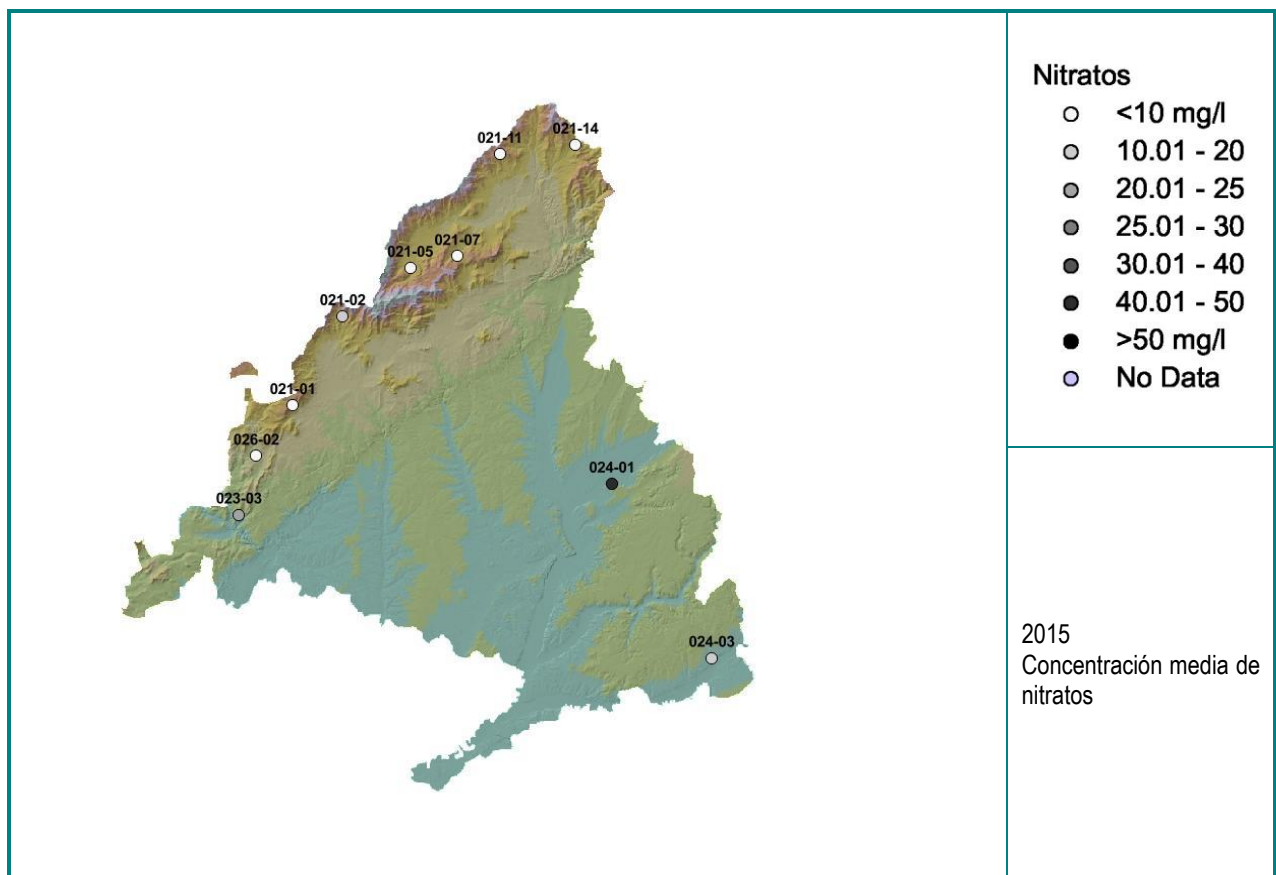


Figura 3.XIV. Concentración media de nitratos por muestreo.



3.3.5. SULFATOS.

La concentración media de sulfatos en la serie analizada es de 2,41 mg/l; oscilando entre un valor mínimo de 0,04 mg/l en Braojos a mediados de septiembre y un máximo de 17,79 mg/l en Alcalá de Henares a mediados de abril; en un nivel de concentración ligeramente superior al registrado en la pasada revisión.

La presencia de valores traza de sulfatos, con concentraciones inferiores a 0,5 mg/l, es –al igual que en el caso de los cloruros– relativamente frecuente y con cierta preferencia por los meses de septiembre y octubre.

El comportamiento de la variable es más errático que en los casos anteriores, sin un máximo tan marcado, aunque

asociados también a un periodo posterior a una época de sequía, interviniendo de nuevo la deposición seca como factor que explicaría el incremento observado. Se registran así tres máximos locales, a mediados de abril, mediados de julio y comienzos de octubre.

Por estaciones, los mayores valores se han registrado en Navas del Rey, Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, en el extremo sur de la Red, manteniéndose sensiblemente menores el resto de estaciones, con concentraciones medias entre 1-2 mg/l, en un patrón similar al de revisiones pasadas.

En cuanto a los sulfatos, todas las muestras analizadas cumplieron con el estándar RTSAP-2004.

TABLA 3.VII: Sulfatos en las estaciones

ESTACION	2015		
	Media	Max	Min
021-01 El Escorial	1,22	2,97	0,38
021-02 Cercedilla	2,13	9,61	0,05
021-05 Rascafria	0,93	2,90	0,17
021-07 Canencia	1,02	2,67	0,05
021-11 Braojos	1,92	8,55	0,04
021-14 Montejo	1,20	4,39	0,06
023-03 Navas del R.	3,23	16,20	0,50
024-01 Alcala de H.	8,03	17,79	3,55
024-03 Fuentidueña	5,53	14,97	0,95
026-02 Robledo	1,72	4,60	0,12

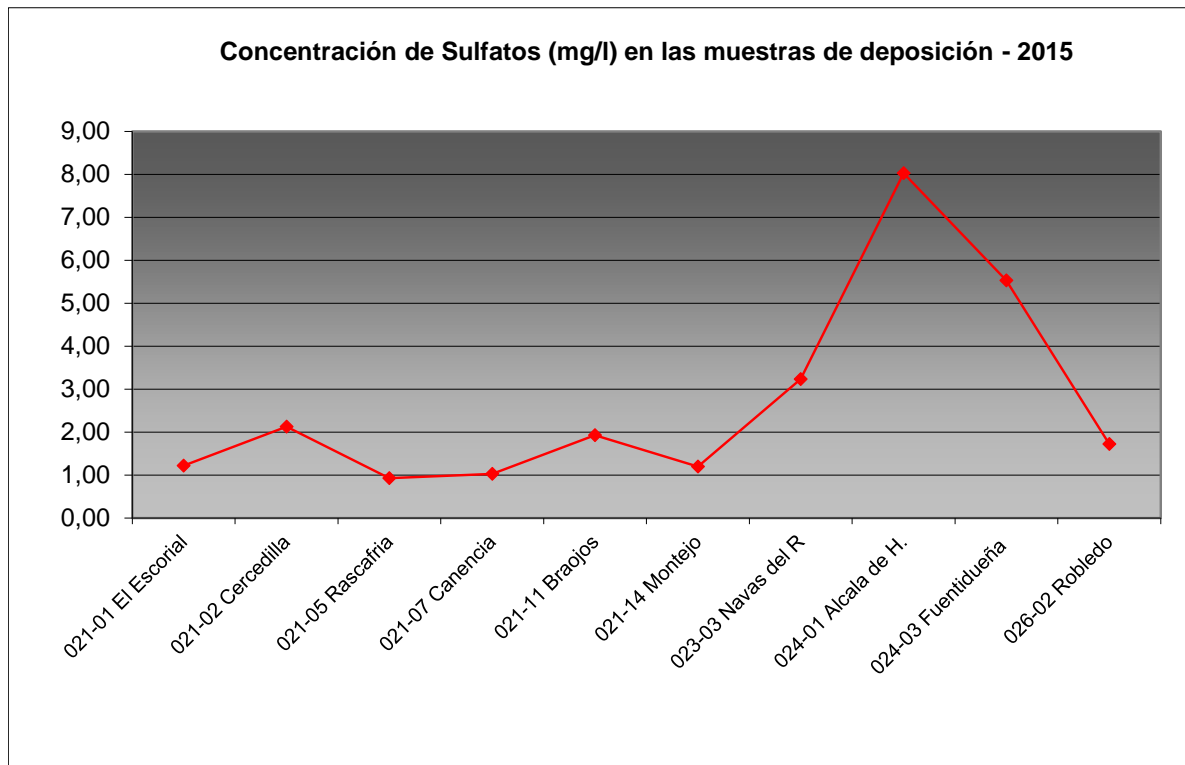


Figura 3.XIV. Concentración media de sulfatos por estación.

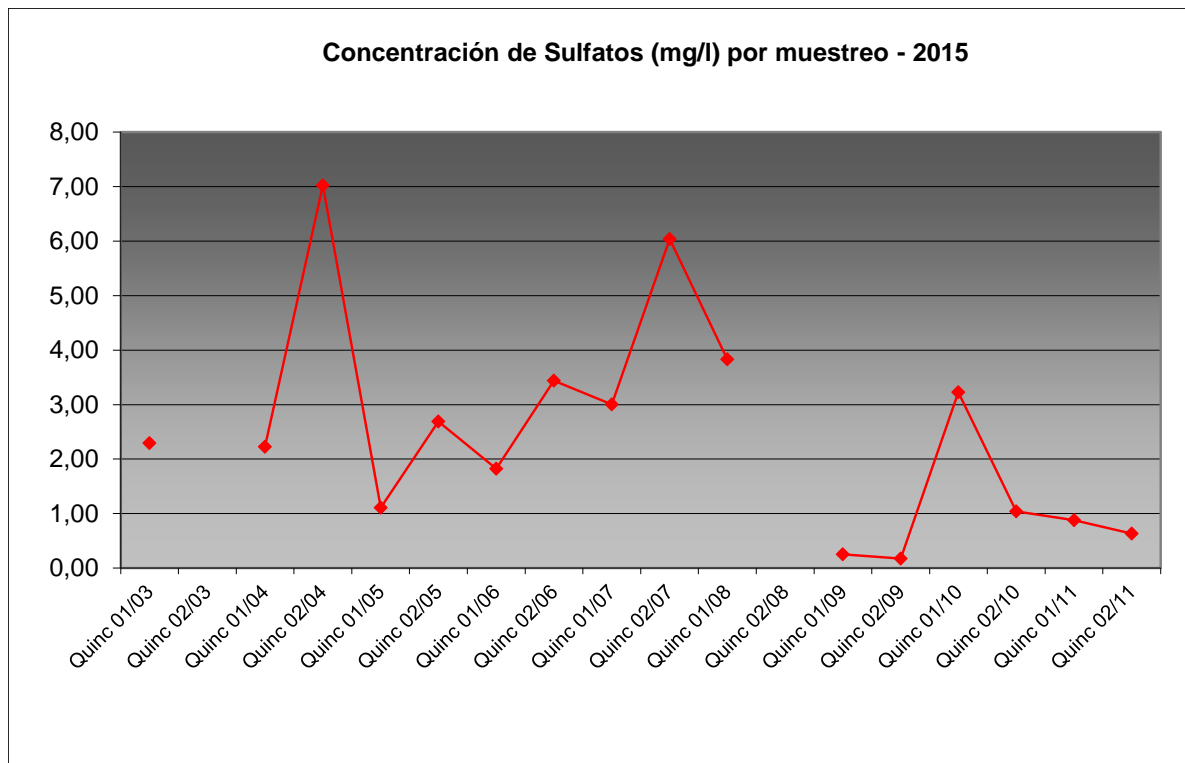
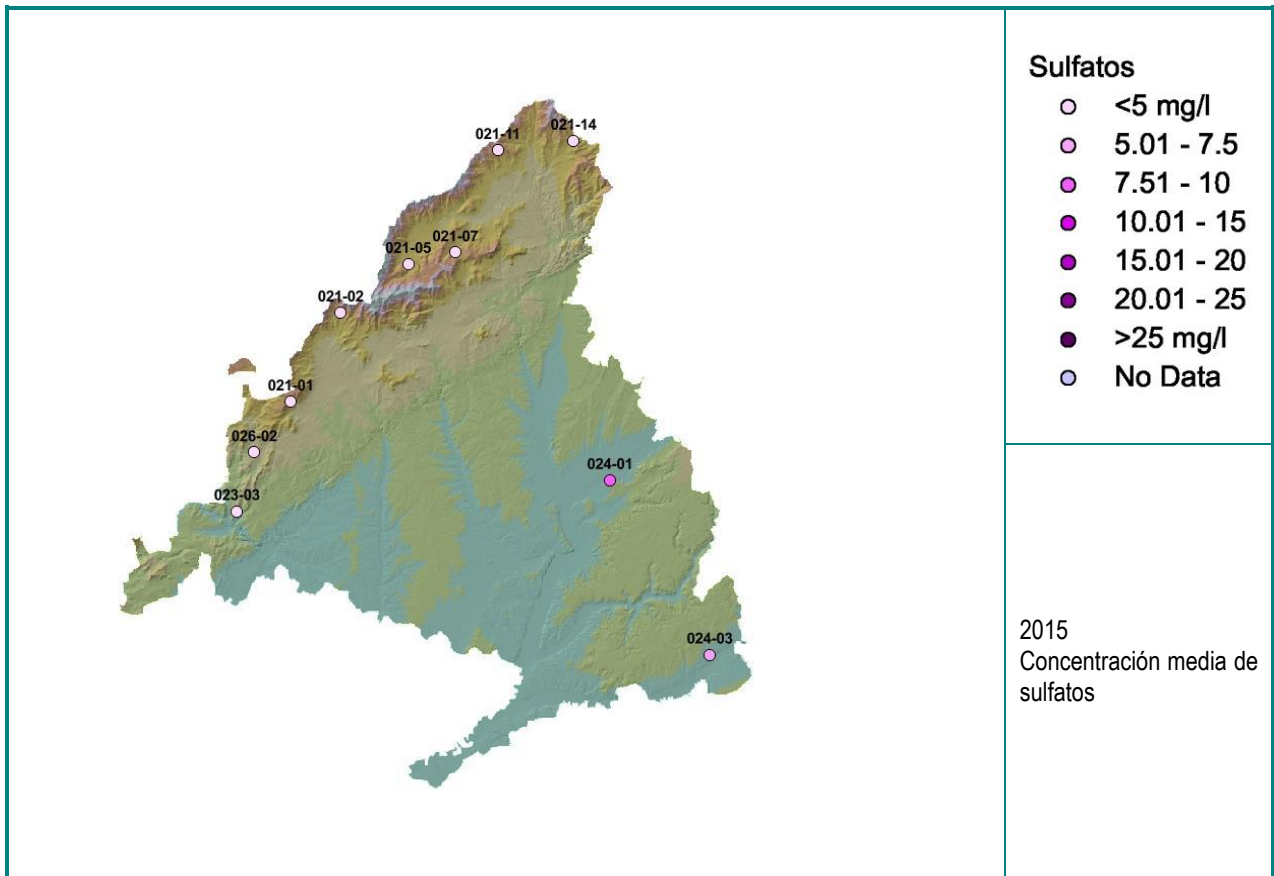


Figura 3.XV. Concentración media de sulfatos por muestreo.



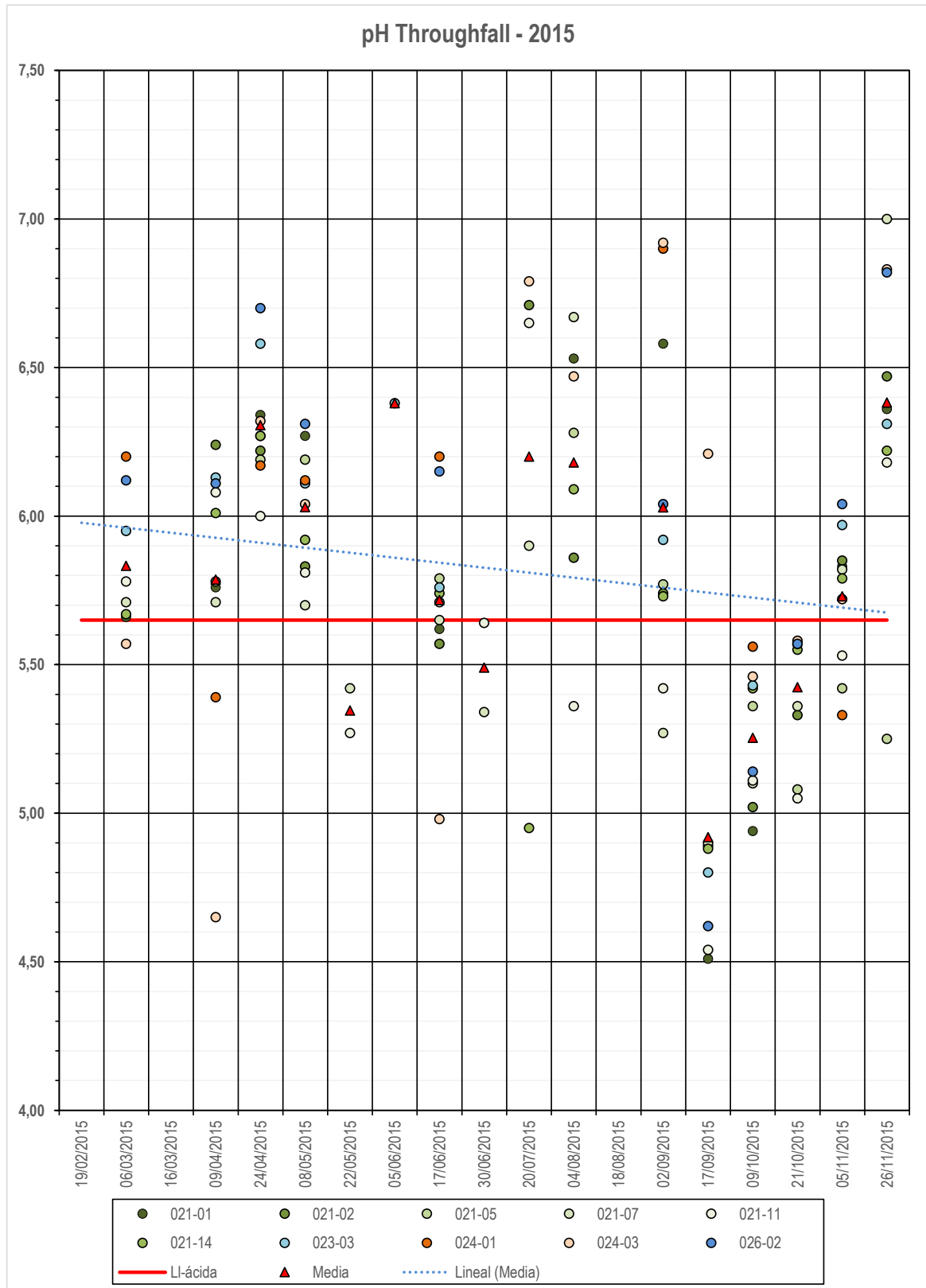


Figura 3.XVI. Resultados de pH en agua de "through-flow".

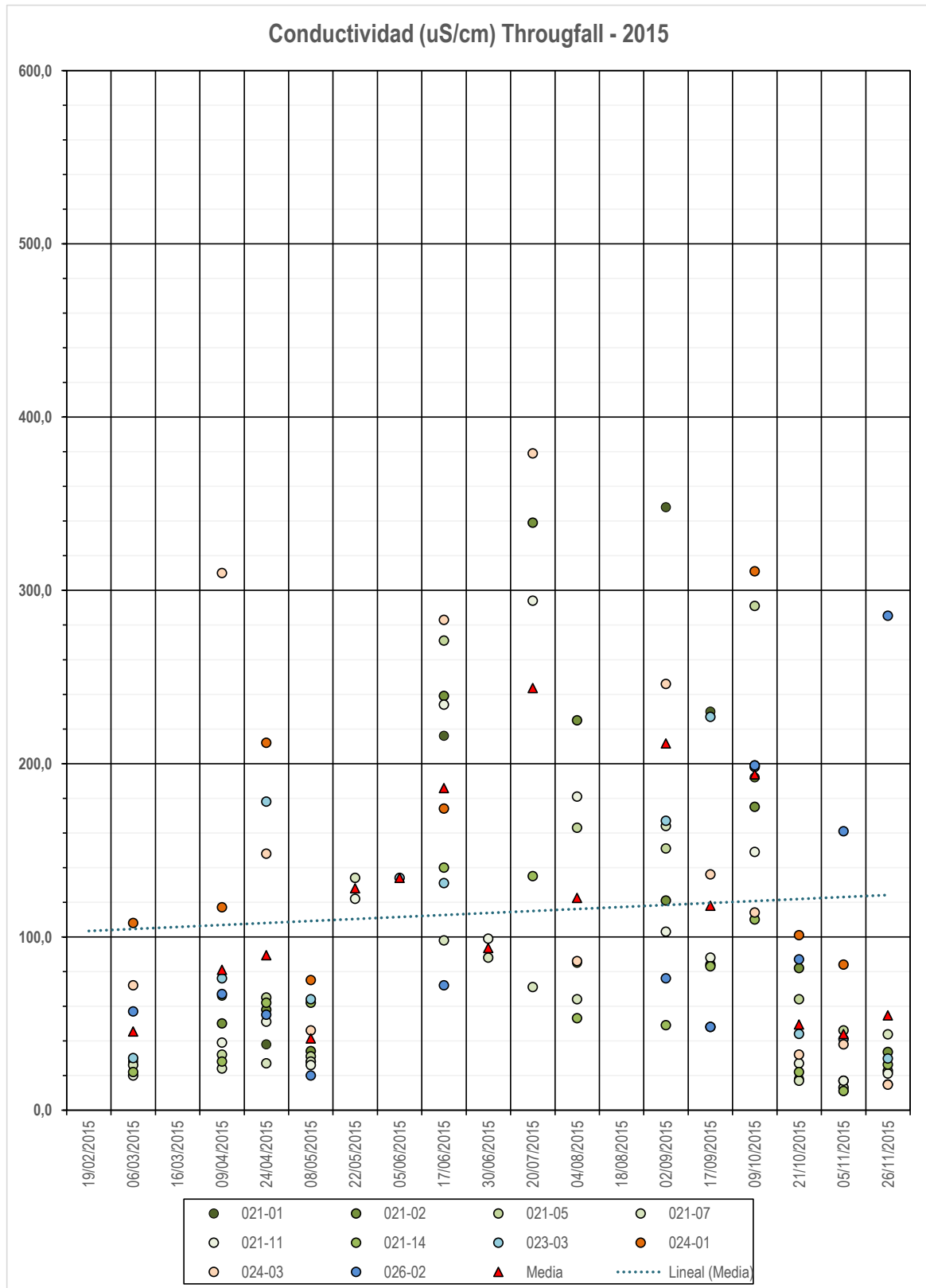


Figura 3.XVII. Resultados de conductividad en agua de "through-flow".

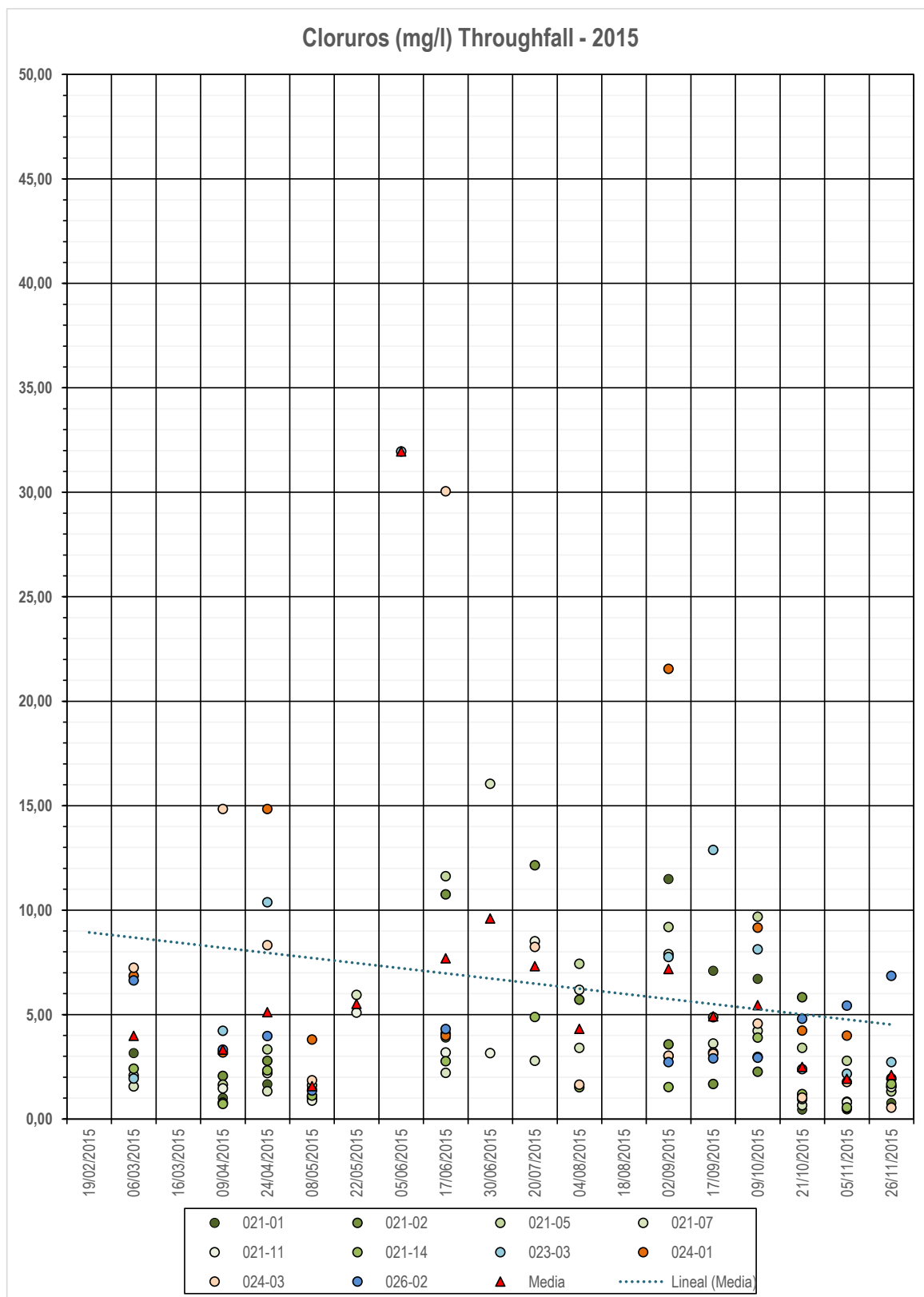


Figura 3.XVIII. Resultados de cloruros en agua de "through-flow".

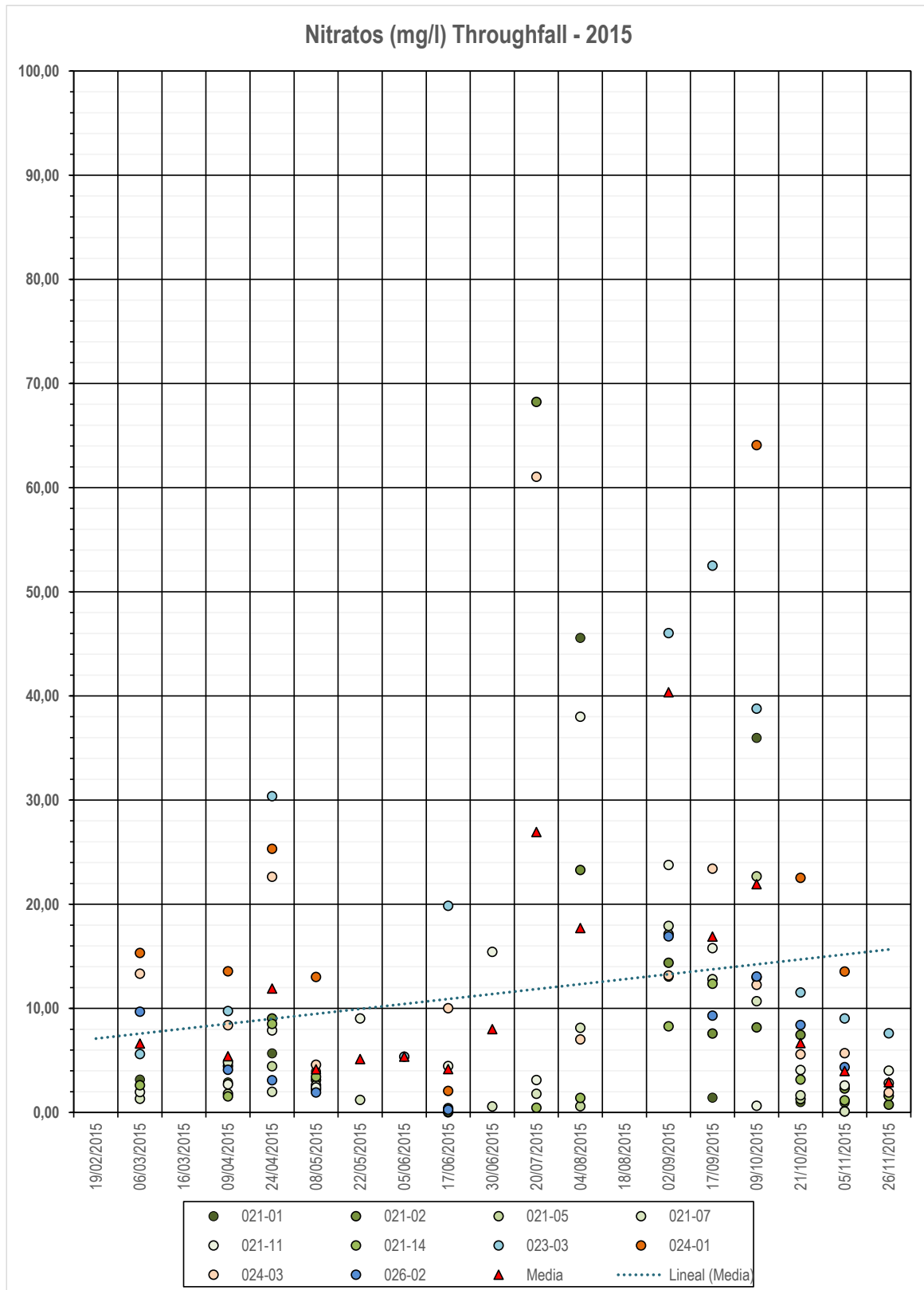


Figura 3.XIX.. Resultados de nitratos en agua de "through-flow".

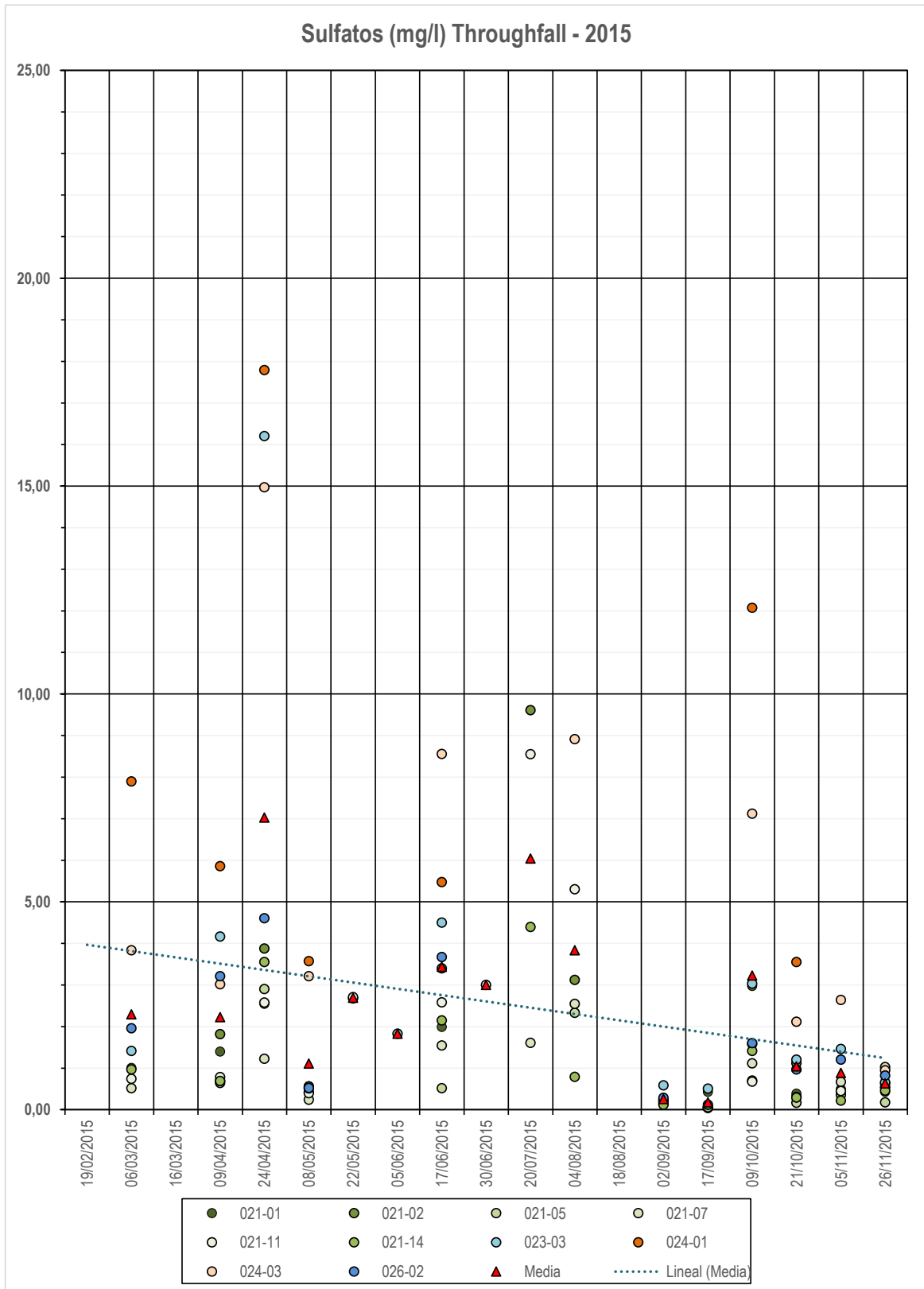


Figura 3.XX. Resultados de sulfatos en agua de "through-flow".



Tabla 3.VIII. Resultados analíticos de las muestras de agua recogidas en 2.015.

Viaje	Parcela	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4	
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l	
1	E-021-01	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-02	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-05	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-07	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-11	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-021-14	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-023-03	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-024-01	18/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-024-03	18/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
	E-026-02	19/02/2015	INSTALACION DOSIMETROS Y CAPTADORES EN CAMPO					
2	E-021-01	06/03/2015	5,66	28	3,16	3,18	1,01	
	E-021-02	06/03/2015	S/A					
	E-021-05	06/03/2015	S/A					
	E-021-07	06/03/2015	5,71	26	1,56	1,34	0,52	
	E-021-11	06/03/2015	5,78	20	2,09	1,97	0,74	
	E-021-14	06/03/2015	5,67	22	2,41	2,63	0,97	
	E-023-03	06/03/2015	5,95	30	1,93	5,62	1,41	
	E-024-01	05/03/2015	6,20	108	6,85	15,33	7,89	
	E-024-03	05/03/2015	5,57	72	7,24	13,33	3,83	
	E-026-02	06/03/2015	6,12	57	6,63	9,69	1,96	
3	E-021-01	17/03/2015	S/A					
	E-021-02	16/03/2015	S/A					
	E-021-05	16/03/2015	S/A					
	E-021-07	16/03/2015	S/A					
	E-021-11	16/03/2015	S/A					
	E-021-14	16/03/2015	S/A					
	E-023-03	17/03/2015	S/A					
	E-024-01	17/03/2015	S/A					
	E-024-03	17/03/2015	S/A					
	E-026-02	17/03/2015	S/A					
4	E-021-01	09/04/2015	5,76	66	1,01	2,89	1,40	
	E-021-02	09/04/2015	6,24	50	2,06	4,46	1,81	
	E-021-05	09/04/2015	5,78	32	1,64	1,80	0,64	
	E-021-07	09/04/2015	5,71	24	0,79	4,82	0,69	
	E-021-11	09/04/2015	6,08	39	1,46	2,72	0,78	
	E-021-14	09/04/2015	6,01	28	0,72	1,56	0,69	
	E-023-03	09/04/2015	6,13	76	4,22	9,76	4,16	
	E-024-01	08/04/2015	5,39	117	3,18	13,57	5,85	
	E-024-03	08/04/2015	4,65	310	14,83	8,38	3,02	
	E-026-02	09/04/2015	6,11	67	3,32	4,11	3,21	
5	E-021-01	23/04/2015	6,34	38	1,66	5,69	2,55	
	E-021-02	23/04/2015	6,22	58	2,79	9,04	3,87	
	E-021-05	23/04/2015	6,19	65	3,33	4,44	2,90	
	E-021-07	23/04/2015	6,27	27	1,33	2,00	1,22	



Viaje	Parcela	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-021-11	23/04/2015	6,00	51	2,20	7,88	2,58
	E-021-14	24/04/2015	6,27	62	2,32	8,52	3,55
	E-023-03	23/04/2015	6,58	178	10,37	30,37	16,20
	E-024-01	22/04/2015	6,17	212	14,83	25,34	17,79
	E-024-03	22/04/2015	6,32	148	8,32	22,65	14,97
	E-026-02	23/04/2015	6,70	55	3,97	3,10	4,60
6	E-021-01	08/05/2015	6,27	28	1,42	3,95	0,56
	E-021-02	08/05/2015	5,83	34	1,00	3,14	0,56
	E-021-05	08/05/2015	6,19	31	1,61	2,22	0,41
	E-021-07	08/05/2015	5,70	28	1,09	2,65	0,24
	E-021-11	08/05/2015	5,81	26	0,88	2,42	0,40
	E-021-14	08/05/2015	5,92	62	1,12	3,44	0,51
	E-023-03	08/05/2015	6,11	64	n.a	n.a	n.a
	E-024-01	09/05/2015	6,12	75	3,80	13,02	3,57
	E-024-03	08/05/2015	6,04	46	1,86	4,60	3,21
E-026-02	08/05/2015	6,31	20	1,36	1,94	0,52	
7	E-021-01	22/05/2015	S/A				
	E-021-02	22/05/2015	S/A				
	E-021-05	22/05/2015	S/A				
	E-021-07	22/05/2015	5,42	134	5,94	1,23	2,67
	E-021-11	22/05/2015	5,27	122	5,09	9,04	2,71
	E-021-14	22/05/2015	S/A				
	E-023-03	22/05/2015	S/A				
	E-024-01	20/05/2015	S/A				
	E-024-03	20/05/2015	S/A				
E-026-02	22/05/2015	S/A					
8	E-021-01	05/06/2015	S/A				
	E-021-02	05/06/2015	S/A				
	E-021-05	05/06/2015	S/A				
	E-021-07	05/06/2015	S/A				
	E-021-11	05/06/2015	S/A				
	E-021-14	05/06/2015	S/A				
	E-023-03	05/06/2015	6,38	134	31,96	5,37	1,83
	E-024-01	02/06/2015	S/A				
	E-024-03	02/06/2015	S/A				
E-026-02	05/06/2015	S/A					
9	E-021-01	17/06/2015	5,62	216	3,90	0,28	1,99
	E-021-02	17/06/2015	5,57	239	10,75	0,41	3,40
	E-021-05	17/06/2015	5,79	271	11,62	0,02	0,52
	E-021-07	17/06/2015	5,65	98	2,21		1,54
	E-021-11	17/06/2015	5,71	234	3,18	4,48	2,58
	E-021-14	17/06/2015	5,74	140	2,76	0,10	2,14
	E-023-03	17/06/2015	5,76	131	4,09	19,85	4,50
	E-024-01	18/06/2015	6,20	174	3,99	2,07	5,47
	E-024-03	18/06/2015	4,98	283	30,05	10,03	8,55
E-026-02	17/06/2015	6,15	72	4,30	0,27	3,67	



Viaje	Parcela	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
10	E-021-01	29/06/2015	S/A				
	E-021-02	29/06/2015	S/A				
	E-021-05	30/06/2015	S/A				
	E-021-07	30/06/2015	5,34	88	16,05	0,58	n.a
	E-021-11	30/06/2015	5,64	99	3,15	15,44	3,00
	E-021-14	30/06/2015	S/A				
	E-023-03	29/06/2015	S/A				
	E-024-01	30/06/2015	S/A				
	E-024-03	30/06/2015	S/A				
	E-026-02	29/06/2015	S/A				
11	E-021-01	21/07/2015	S/A				
	E-021-02	20/07/2015	6,71	339	12,14	68,24	9,61
	E-021-05	20/07/2015	S/A				
	E-021-07	20/07/2015	5,90	71	2,78	1,81	1,60
	E-021-11	20/07/2015	6,65	294	8,51	3,13	8,55
	E-021-14	20/07/2015	4,95	135	4,88	0,47	4,39
	E-023-03	21/07/2015	S/A				
	E-024-01	21/07/2015	S/A				
	E-024-03	21/07/2015	6,79	379	8,23	61,05	n.a
	E-026-02	21/07/2015	S/A				
12	E-021-01	04/08/2015	6,53	85	n.a	45,58	n.a
	E-021-02	04/08/2015	5,86	225	5,71	23,29	3,12
	E-021-05	04/08/2015	6,28	163	7,42	0,62	2,33
	E-021-07	04/08/2015	6,67	64	3,40	8,14	2,55
	E-021-11	04/08/2015	5,36	181	6,18	38,01	5,30
	E-021-14	04/08/2015	6,09	53	1,52	1,41	0,79
	E-023-03	04/08/2015	S/A				
	E-024-01	04/08/2015	S/A				
	E-024-03	03/08/2015	6,47	86	1,64	7,02	8,91
	E-026-02	04/08/2015	S/A				
13	E-021-01	18/08/2015	S/A				
	E-021-02	18/08/2015	S/A				
	E-021-05	18/08/2015	S/A				
	E-021-07	18/08/2015	S/A				
	E-021-11	18/08/2015	S/A				
	E-021-14	18/08/2015	S/A				
	E-023-03	18/08/2015	S/A				
	E-024-01	19/08/2015	S/A				
	E-024-03	18/08/2015	S/A				
	E-026-02	18/08/2015	S/A				
14	E-021-01	02/09/2015	6,58	348	11,49	13,05	n.a
	E-021-02	02/09/2015	5,74	121	3,57	14,38	0,23
	E-021-05	02/09/2015	5,77	151	9,19	17,13	0,18
	E-021-07	02/09/2015	5,27	164	7,89	17,93	0,14
	E-021-11	02/09/2015	5,42	103	3,01	23,77	0,24
	E-021-14	02/09/2015	5,73	49	1,53	8,29	0,12



Viaje	Parcela	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-023-03	02/09/2015	5,92	167	7,76	46,04	0,58
	E-024-01	03/09/2015	6,90	691	21,55	232,80	n.a
	E-024-03	03/09/2015	6,92	246	3,03	13,16	n.a
	E-026-02	02/09/2015	6,04	76	2,72	16,93	0,29
15	E-021-01	17/09/2015	4,51	230	7,09	1,44	0,43
	E-021-02	17/09/2015	4,89	48	1,67	7,59	0,05
	E-021-05	17/09/2015	S/A				
	E-021-07	17/09/2015	4,90	84	3,62	12,82	0,05
	E-021-11	17/09/2015	4,54	88	3,18	15,79	0,04
	E-021-14	17/09/2015	4,88	83	4,87	12,38	0,06
	E-023-03	17/09/2015	4,80	227	12,88	52,52	0,50
	E-024-01	16/09/2015	S/A				
	E-024-03	16/09/2015	6,21	136	3,12	23,43	
E-026-02	17/09/2015	4,62	48	2,90	9,30	0,12	
16	E-021-01	08/10/2015	4,94	192	6,71	35,97	2,97
	E-021-02	09/10/2015	5,02	175	2,27	8,18	0,70
	E-021-05	09/10/2015	5,36	291	9,69	22,68	1,58
	E-021-07	09/10/2015	5,10	199	4,22	10,69	1,12
	E-021-11	09/10/2015	5,11	149	2,97	0,66	0,67
	E-021-14	09/10/2015	5,42	110	3,89	12,97	1,41
	E-023-03	08/10/2015	5,43	198	8,12	38,77	3,03
	E-024-01	08/10/2015	5,56	311	9,15	64,09	12,07
	E-024-03	07/10/2015	5,46	114	4,57	12,27	7,12
	E-026-02	08/10/2015	5,14	199	2,93	13,06	1,60
17	E-021-01	22/10/2015	5,58	18	0,44	1,01	0,38
	E-021-02	22/10/2015	5,33	82	5,83	7,46	1,12
	E-021-05	21/10/2015	5,08	64	3,40	1,30	0,17
	E-021-07	21/10/2015	5,36	17	0,65	1,66	0,30
	E-021-11	21/10/2015	5,05	27	0,95	4,09	0,30
	E-021-14	21/10/2015	5,55	22	1,20	3,17	0,29
	E-023-03	22/10/2015	5,57	44	2,39	11,53	1,20
	E-024-01	22/10/2015	5,57	101	4,23	22,54	3,55
	E-024-03	22/10/2015	5,58	32	1,03	5,60	2,11
	E-026-02	22/10/2015	5,57	87	4,80	8,42	0,97
18	E-021-01	03/11/2015	5,83	11	0,46	0,98	0,50
	E-021-02	05/11/2015	5,85	17	0,82	2,32	0,44
	E-021-05	05/11/2015	5,42	46	2,79	0,11	0,36
	E-021-07	05/11/2015	5,82	13	0,52	0,11	0,67
	E-021-11	05/11/2015	5,53	17	0,80	2,61	0,45
	E-021-14	05/11/2015	5,79	11	0,56	1,18	0,22
	E-023-03	03/11/2015	5,97	41	2,16	9,04	1,46
	E-024-01	03/11/2015	5,33	84	3,99	13,55	n.a
	E-024-03	02/11/2015	5,72	38	1,76	5,70	2,64
	E-026-02	03/11/2015	6,04	161	5,43	4,37	1,20
19	E-021-01	27/11/2015	6,36	14,92	0,77	1,63	0,43
	E-021-02	26/11/2015	6,47	33,60	1,94	0,76	0,63



Viaje	Parcela	Fecha	pH	Conductividad	Cl-	NO3	SO4
				µS/cm	mg/l	mg/l	mg/l
	E-021-05	26/11/2015	5,25	22,57	1,32		0,18
	E-021-07	26/11/2015	7,00	43,70	1,57	2,84	1,02
	E-021-11	26/11/2015	6,18	21,13	1,53	4,04	0,54
	E-021-14	26/11/2015	6,22	26,24	1,68	1,59	0,46
	E-023-03	27/11/2015	6,31	29,80	2,72	7,61	0,66
	E-024-01	27/11/2015	S/A				
	E-024-03	27/11/2015	6,83	14,71	0,54	1,94	0,95
	E-026-02	27/11/2015	6,82	285,40	6,85		0,82

NOTA: Con formato **N,nn** se han señalado los valores de pH inferiores a 5,65 (dentro por tanto de valores de lluvia ácida)
S/A: no se ha recogido agua por falta de precipitación.



4. DAÑOS POR OZONO.

4.1. INTRODUCCIÓN.

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

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

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

4.2. EL OZONO TROPOSFÉRICO.

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

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



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

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

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

4.3. EFECTOS DEL OZONO SOBRE LA VEGETACIÓN.

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

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

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

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

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



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

4.4. RESULTADOS.

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

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

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

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

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

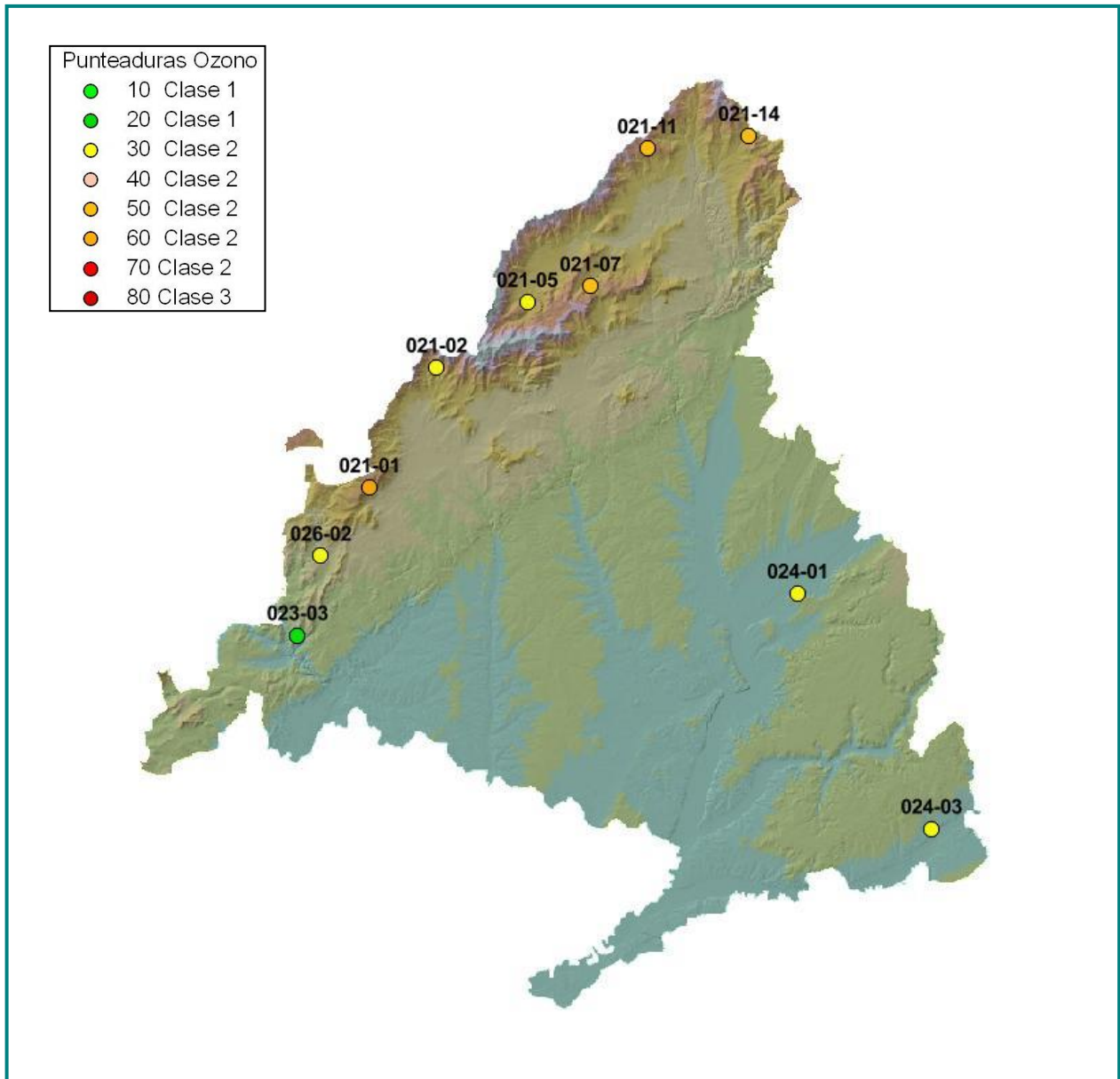


Figura 5.I. Punteaduras necróticas atribuidas a la acción del ozono.

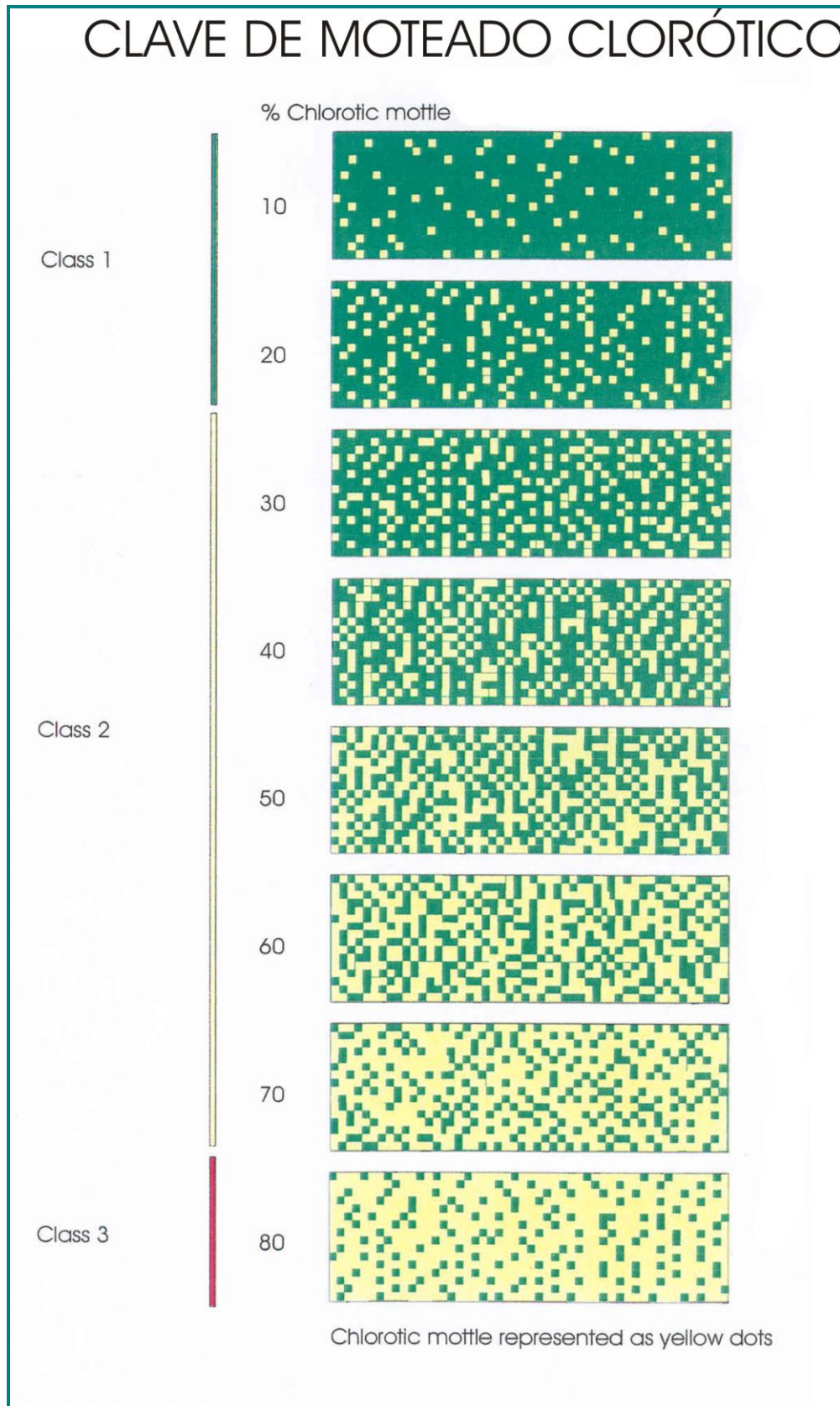


Figura 5.II. Clave de moteado clorótico.

TABLA 5.I: Punteaduras necróticas asociadas a ozono en las estaciones.

EST	TERMINO MUNICIPAL	ESPECIE	2015
021-01	San Lorenzo de El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	62
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	31
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	24
021-07	Canencia de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	43
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	50
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	44
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	13
024-01	Alcala de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	23
024-03	Fuentidueña del Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	32
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	23

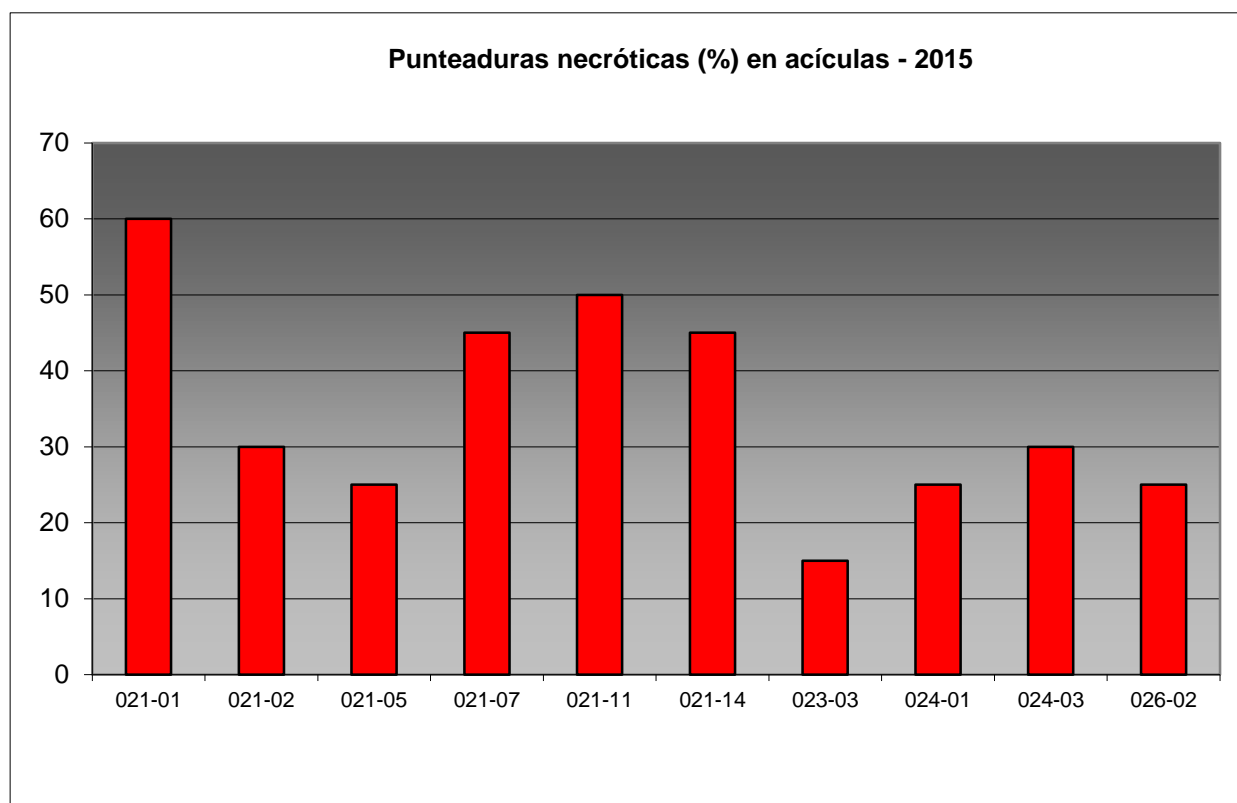


Figura 5.III. Porcentajes de moteado clorótico.

Como puede verse en la gráfica anterior, y en lo que se refiere a las punteaduras necróticas atribuidas a la acción del ozono, destacan en primer lugar las parcelas de El Escorial, Braojos, Canencia y Montejo de la Sierra, ambas con porcentajes de afección en torno al 40-60% de la superficie foliar, y sobre el arco norte de la Sierra, mientras

que la zona oriental de la comunidad presenta afecciones notablemente menores a las del arco occidental, lo que parece estar relacionado con el régimen de distribución de vientos en la región y no sólo con la ubicación de los focos de emisión; en un patrón muy similar al observado en la revisión del año anterior.



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 el 18 de febrero y el 27 de noviembre de 2015 han oscilado entre los 0,18 µg/m³ registrados en Montejo de la Sierra a comienzos de marzo y los 97,41 µg/m³ de Navas del Rey a mediados de julio, con un valor medio de 53 µg/m³ a lo largo de la campaña, en lo que supone una reducción con respecto a la pasada revisión. La figura 6.1 ilustra la evolución de la concentración media del contaminante durante la presente campaña.

La variación estacional de los niveles de ozono concuerda nuevamente con la observada en años anteriores en la zona: en líneas generales, su evolución anual viene definida por un amplio máximo primaveral y estival seguido de una reducción progresiva de sus niveles durante los meses de otoño, en la línea de lo observado en la pasada revisión, aunque con un retraso de cerca de

dos meses en la aparición del máximo, en todo caso más atenuado que en la campaña de 2014. Como es bien sabido, en zonas remotas del Hemisferio Norte es frecuente observar un máximo anual muy definido en las concentraciones de ozono durante primavera que se ha relacionado con la acumulación de los óxidos de nitrógeno precursores durante el invierno y principio de la primavera facilitada por la menor intensidad de la radiación solar. En ausencia de fuentes emisoras de precursores de importancia, como pueden ser áreas rurales no contaminadas, los niveles del contaminante deberían reducirse paulatinamente hasta alcanzar un mínimo invernal. En caso contrario, es decir, en presencia de fuentes emisoras de precursores de importancia, es habitual la documentación de un segundo máximo anual durante el verano, periodo de máxima intensidad de la radiación solar y por ende de mayor producción del contaminante, e incluso una prolongación del máximo primaveral a los meses de verano, fenómeno que parece concordar con lo registrado en el área de estudio. Una vez más, al igual de lo registrado previamente, los datos parecen revelar la presencia de masas de aire contaminadas en la zona, que bien podrían tratarse de precursores o de masas de aire envejecidas y transportadas desde áreas netamente emisoras, aspectos que requerirían estudios de mayor envergadura.

En todo caso, y por las características de la cuenca aérea de Madrid, se apunta a las emisiones de óxidos de nitrógeno procedentes de la circulación rodada como la principal fuente de emisión de este contaminante.

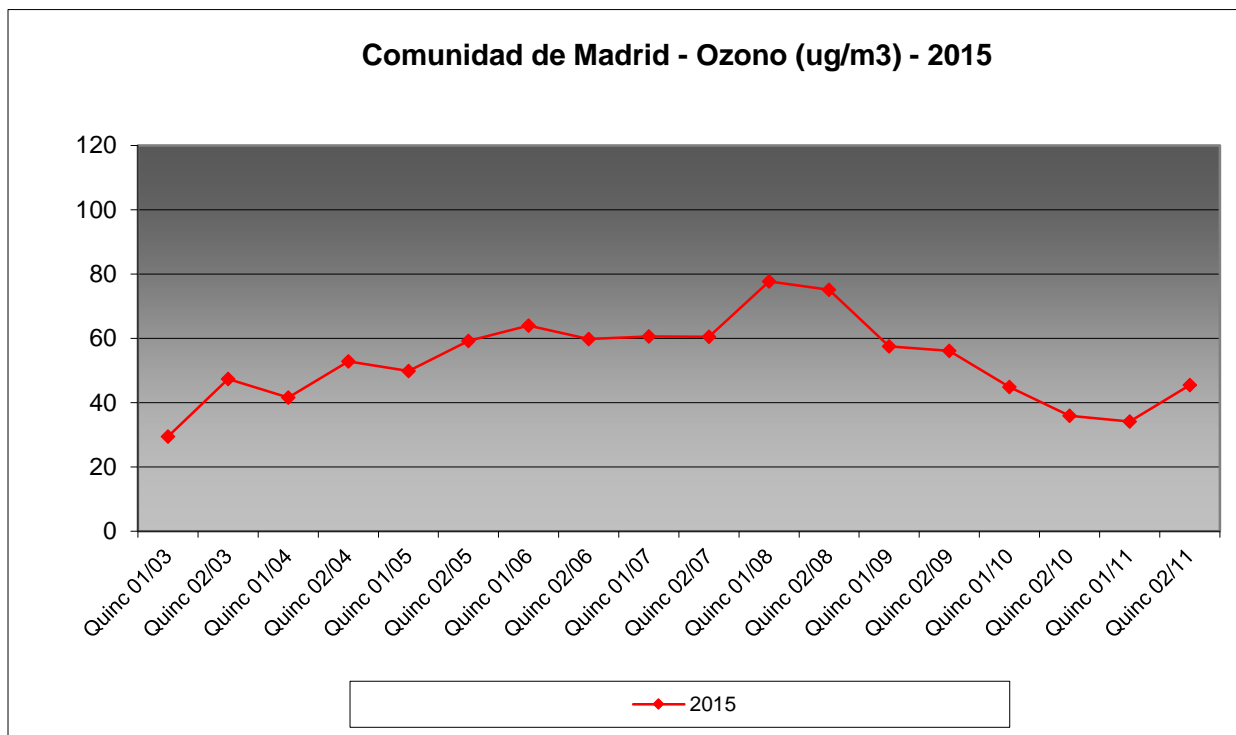


Figura 5.I. Evolución de las concentraciones medias quincenales de O_3 en la Comunidad de Madrid del 18 de febrero al 27 de Noviembre de 2015, en base a los datos obtenidos mediante monitorización pasiva en los 10 puntos seleccionados en este estudio.

Los valores medios registrados durante el periodo de Junio a Septiembre, momento considerado más sensible para las cosechas por coincidir con el periodo de crecimiento, han oscilado entre los $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registrados en Montejo de la Sierra a comienzos de septiembre y los $97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Navas del Rey a mediados de julio, registrándose durante este periodo una concentración media de $64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ligeramente inferior a los $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ obtenidos en el mismo periodo del año pasado.

El periodo de mayores niveles ha sido a comienzos de agosto, mientras que el de la campaña anterior se registró

a mediados de mayo, lo que supone un retraso de unos 75 días en su aparición.

Se advierte también unos mayores niveles de concentración a lo largo del arco norte de la Sierra de Madrid, en la alineación Montejo-El Escorial, en un patrón ya advertido en revisiones anteriores, donde se advierten mayores tasas a mayores altitudes, lo que indicaría un patrón de acción muy condicionado por el viento. Individualmente las mayores tasas se han registrado en Navas del Rey, con máximos puntuales en El Escorial, mientras que las menores concentraciones se han observado en Montejo de la Sierra y Alcalá de Henares.

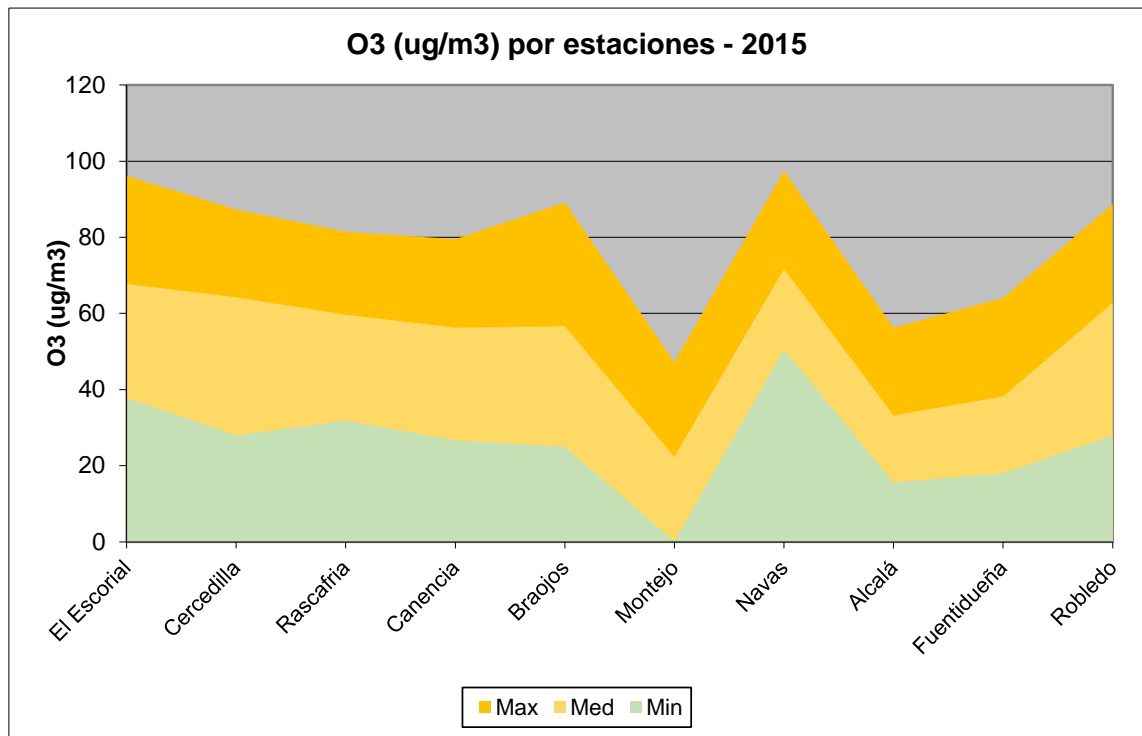


Figura 5.II. Concentraciones media, máxima y mínima de O₃ en cada uno de los puntos de muestreo para la campaña de 2015.

Tabla 5.III. Concentraciones medias quincenales de O₃ (µg m⁻³).

Localización	Muestreo O ₃ (µg/m ³)																		
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	Med
El Escorial	44,15	70,18	52,12	69,90	66,92	78,25	77,64	81,20	77,85	75,74	96,11	88,14	70,08	77,74	59,88	44,08	37,80	51,44	67,74
Cercedilla		62,78	51,55	69,42	50,48	79,22	79,63	67,21	72,30	72,46	84,39	87,29	63,44	69,31	54,66	39,08	27,94	60,65	64,22
Rascafría		51,43	45,29	65,00	59,78	68,45	71,79	60,76	65,61	67,77	74,28	81,43	60,26	65,57	52,87	36,60	31,83	55,45	59,66
Canencia	38,78	52,86	48,33	59,75	54,93	65,61	65,95	62,64	58,67	62,84	79,51	75,55	65,64	61,06	52,41	36,80	26,62	44,34	56,24
Braojos	31,29	68,16	50,80	54,52	61,56	52,82	72,37	62,16	71,46	64,42	89,12	81,81	63,12	60,78	34,18	32,64	24,94	43,44	56,64
Montejo	6,10	0,18	2,20	10,78	28,75	37,06	45,92	38,68	38,12	34,31	47,22	46,70	42,10	6,33	5,91	3,16	0,79	6,45	22,26
Navas del R	53,62	71,94	62,29	76,72	71,65	84,53	83,03	81,78	79,71	74,13	97,41	94,06	62,85	70,73	57,74	50,50	56,10	62,45	71,73
Alcala de H	15,59	21,88	20,59	26,23	20,36	28,58	31,30	33,91	29,90	40,00	56,24	51,17	39,39	40,51	36,46	31,90	39,02	34,27	33,18
Fuentidueña	17,97	25,08	23,65	30,03	23,39	30,22	35,78	38,74	41,70	45,65	64,06	58,30	44,95	46,22	41,63	36,46	44,53	39,15	38,19
Robledo	27,95	49,20	59,09	66,26	60,59	67,58	76,20	71,35	71,10	68,09	88,68	86,94	63,86	62,63	52,91	48,48	51,45	56,90	62,74
Media	29,43	47,37	41,59	52,86	49,84	59,23	63,96	59,84	60,64	60,54	77,70	75,14	57,57	56,09	44,86	35,97	34,10	45,45	52,90

5.2. NIVELES DE NO₂ EN LA COMUNIDAD DE MADRID.

El valor medio que alcanzó el NO₂ durante la campaña de 2015 fue de 1,5 µg/m³, oscilando su concentración entre los 0 µg/m³ registrados en Montejo de la Sierra a comienzos de abril y Braojos a mediados de octubre; y los más de 12,5 µg/m³ obtenidos en Alcalá de Henares entre comienzos de mayo y mediados de junio. Con respecto a anteriores campañas de revisión se advierte un ligero decrecimiento del valor medio, de en torno a 0,5 µg/m³.

Al igual que en anteriores campañas, los mayores niveles se han obtenido en el entorno de Alcalá de Henares (zona de habitual concentración industrial en la que incluso la UE permitió una zona con mayor tolerancia a los máximos permitidos) mientras que las menores tasas se han registrado en El Escorial, Cercedilla, Rascafría y Braojos, donde los valores se han situado en el entorno de 1,0 µg/m³. Los valores obtenidos en 2015 quedan muy por debajo de los umbrales de protección de la vegetación y de la salud humana.

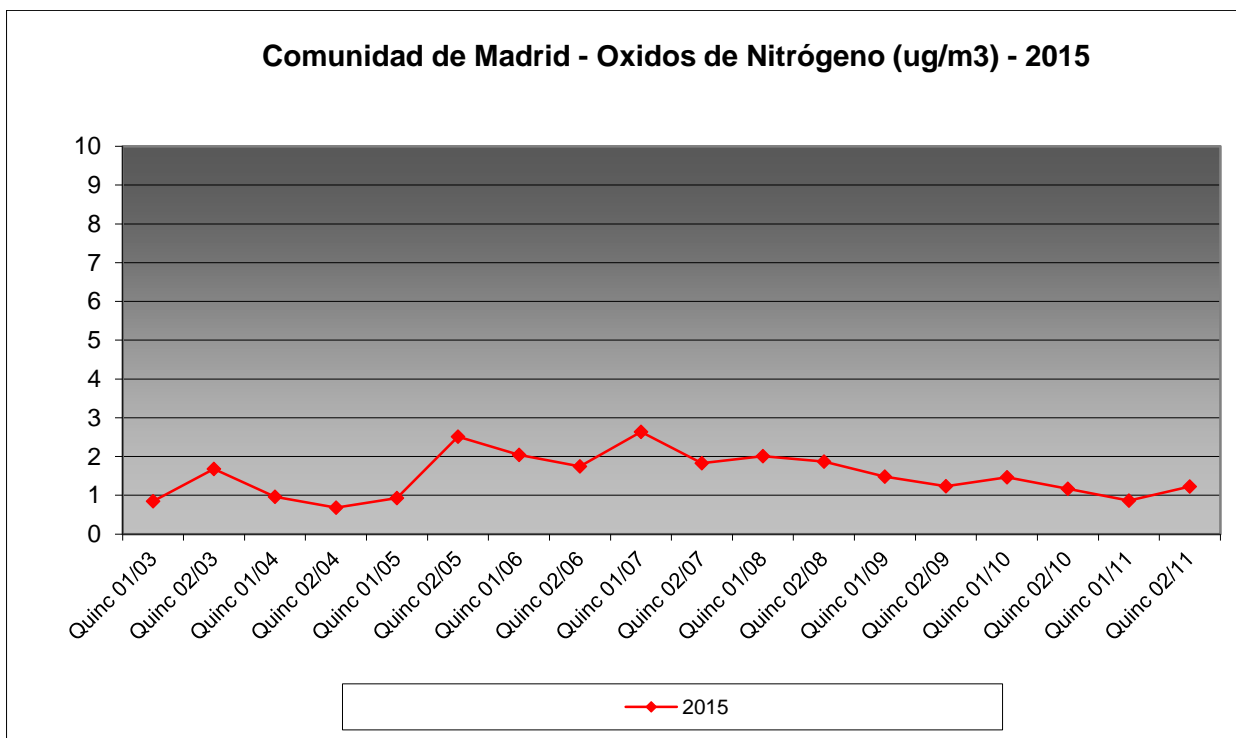


Figura 5.III. Evolución de las concentraciones medias quincenales de NO_x en la Comunidad de Madrid del 18 de febrero al 27 de noviembre de 2015, en base a los datos obtenidos mediante monitorización pasiva en los 10 puntos seleccionados en este estudio.

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 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.

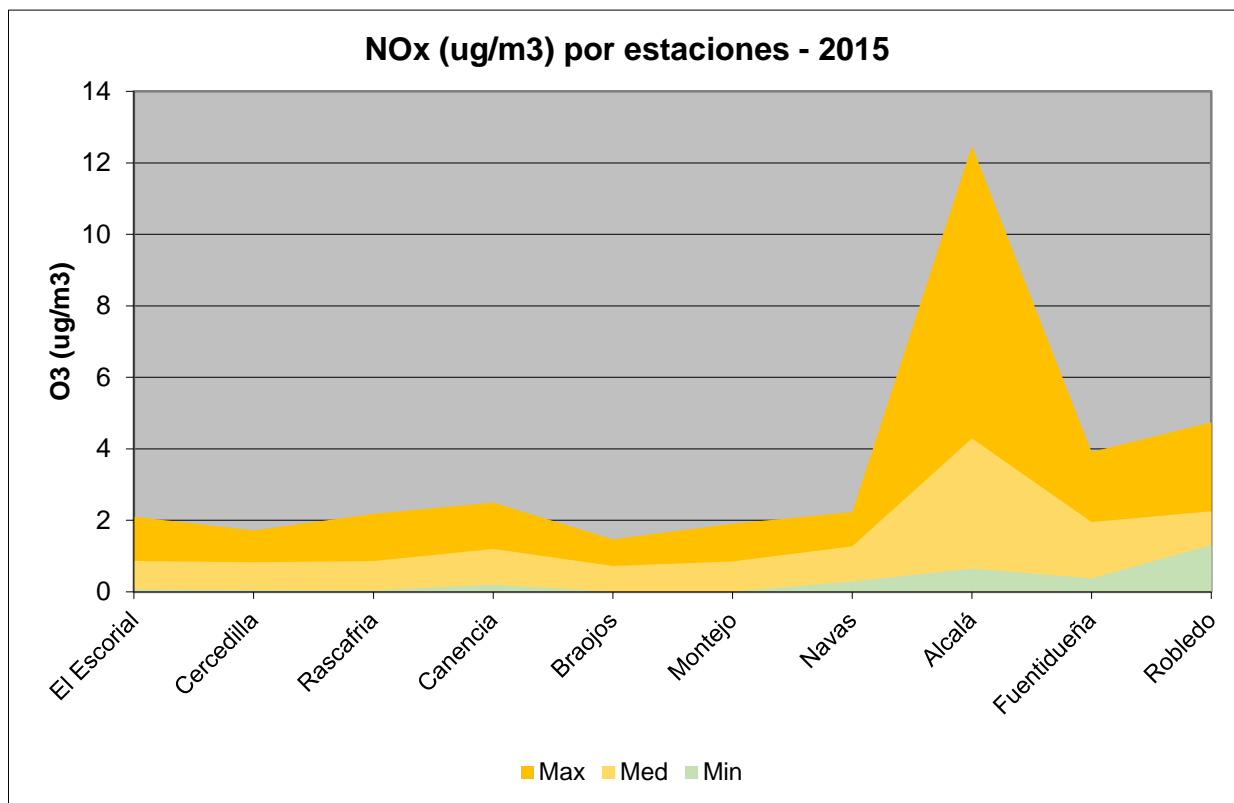


Figura 5.IV. Concentraciones media, máxima y mínima de NO_x en cada uno de los puntos de muestreo para la campaña de 2015.

Localización	Muestreo NO ₂ (µg/m ³)																			Med
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19		
El Escorial	0,40	0,99	0,30	0,16	0,19	1,07	1,68	1,15	2,10	1,54	1,65	1,51	1,22	0,51	0,47	0,06	0,29	0,22	0,86	
Cercedilla		1,20	0,44	0,21	0,27	1,11	1,01	1,00	1,72	1,60	1,51	1,68	1,25	0,39	0,40	0,05	0,12	0,11	0,83	
Rascafría		0,95	0,40	0,21	0,42	1,15	1,18	1,29	2,18	1,25	1,67	1,59	0,51	0,78	0,58	0,19	0,04	0,23	0,86	
Canencia	0,85	1,25	1,00	0,41	0,77	1,03	0,80	1,19	1,64	1,95	2,50	2,02	1,25	0,82	1,54	1,64	0,20	0,76	1,20	
Braojos	0,71	1,00	0,91	0,49	0,38	0,58	0,84	0,72	1,36	1,10	1,47	1,26	1,09	0,51	0,29	0,07	0,00	0,20	0,72	
Montejo	0,78	0,80	0,85	0,00	0,69	1,28	0,96	1,00	1,09	1,10	1,90	1,56	1,21	0,62	0,72	0,15	0,10	0,48	0,85	
Navas del R	1,18	2,23	1,27	1,22	1,19	1,56	1,84	1,57	1,62	1,51	1,69	0,88	1,64	0,66	0,67	0,42	0,29	1,44	1,27	
Alcala de H	0,65	2,04	1,91	1,58	2,68	12,48	7,74	5,88	10,07	4,16	4,62	5,07	3,57	3,24	5,09	3,11	1,55	1,80	4,29	
Fuentidueña	0,61	1,55	0,95	0,89	1,35	2,45	2,33	1,28	2,97	1,88	0,98	1,53	0,37	3,03	2,68	3,00	3,37	3,91	1,95	
Robledo	1,56	4,74	1,55	1,63	1,31	2,42	2,01	2,33	1,62	2,21	2,06	1,60	2,70	1,83	2,21	2,99	2,65	3,12	2,25	
Media	0,84	1,68	0,96	0,68	0,92	2,51	2,04	1,74	2,64	1,83	2,00	1,87	1,48	1,24	1,47	1,17	0,86	1,23	1,51	

Tabla 5.VII. Concentraciones medias quincenales de NO₂ (µg m⁻³)



Centrándonos en el periodo de Junio a Septiembre, periodo en el que las concentraciones de O₃ tienden a ser más elevadas en zonas con presencia significativa de precursores, obtenemos descriptivos prácticamente idénticos a los correspondientes a todo el periodo de muestreo, al igual de lo observado en el caso del O₃.

Se observa en la tabla anterior como la parcela con mayores niveles de inmisión de este contaminante es Alcalá de Henares, como ya se observara en campañas precedente, con máximos esporádicos en Fuentidueña de Tajo y Robledo de Chavela y los mínimos más salpicados, en Montejo, Brajos, El Escorial y Cercedilla.

5.3. NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR MUESTREOS.

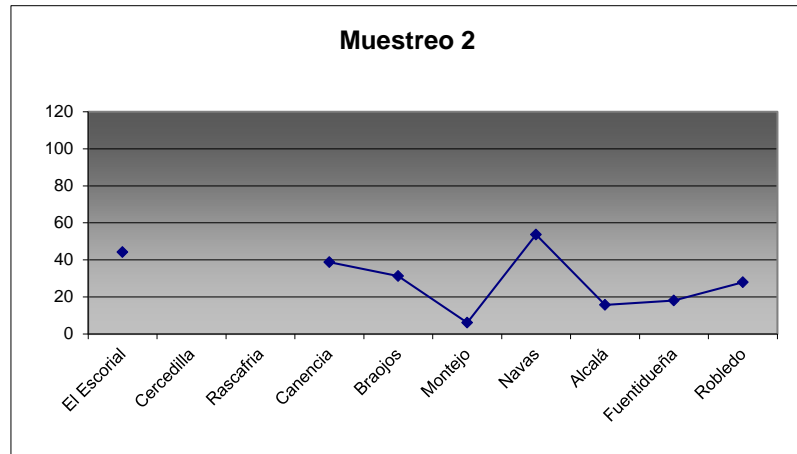
5.3.1. OZONO

Muestreo 2 (05-06/03/2015):

Tabla I. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 2

Parcela	Término municipal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
E-021-01	El Escorial	44,15
E-021-02	Cercedilla	
E-021-05	Rascafría	
E-021-07	Canencia	38,78
E-021-11	Braojos	31,29
E-021-14	Montejo de la Sierra	6,10
E-023-03	Navas del Rey	53,62
E-024-01	Alcalá de Henares	15,59
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	17,97
E-026-02	Robledo de Chavela	27,95
Media		29,43

Figura I. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 2



En el primer muestreo realizado los valores oscilan entre los 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Navas del Rey y los 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de Montejo

de la Sierra. No se pudo acceder al punto de Cercedilla y en Rascafría los soportes aparecieron rotos

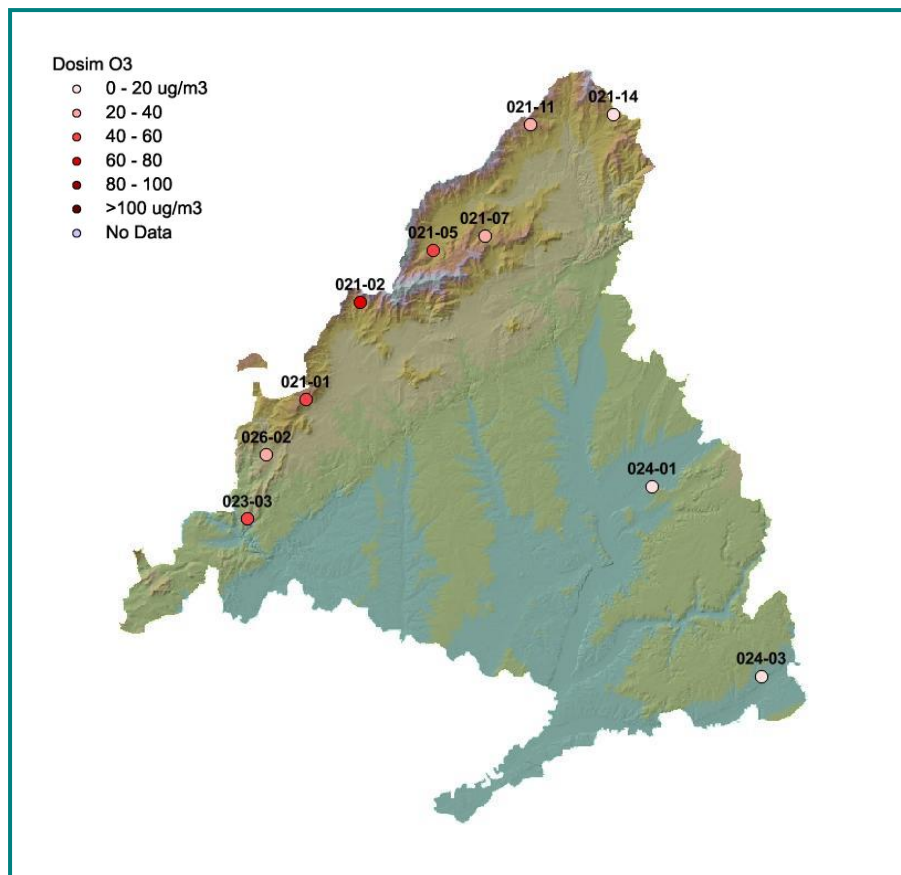


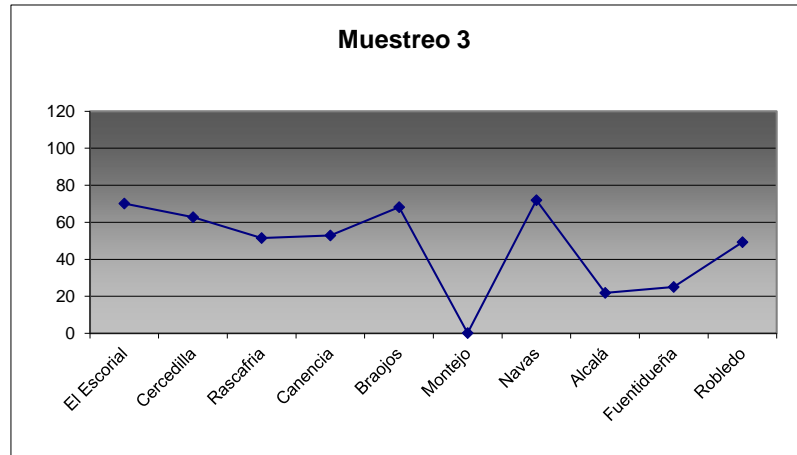
Figura II: Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 2

Muestreo 3 (16-17/03/2015):

Tabla II. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	70,18
E-021-02	Cercedilla	62,78
E-021-05	Rascafría	51,43
E-021-07	Canencia	52,86
E-021-11	Braojos	68,16
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,18
E-023-03	Navas del Rey	71,94
E-024-01	Alcalá de Henares	21,88
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	25,08
E-026-02	Robledo de Chavela	49,20
Media		47,37

Figura III. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 3



En el presente muestreo destaca el bajo nivel de inmisión en Montejo de la Sierra, donde se alcanzan valores casi marginales, mientras que el resto de la red oscila entre los

22 µg/m³ de Alcalá de Henares y los 72 µg/m³ de Navas del Rey.

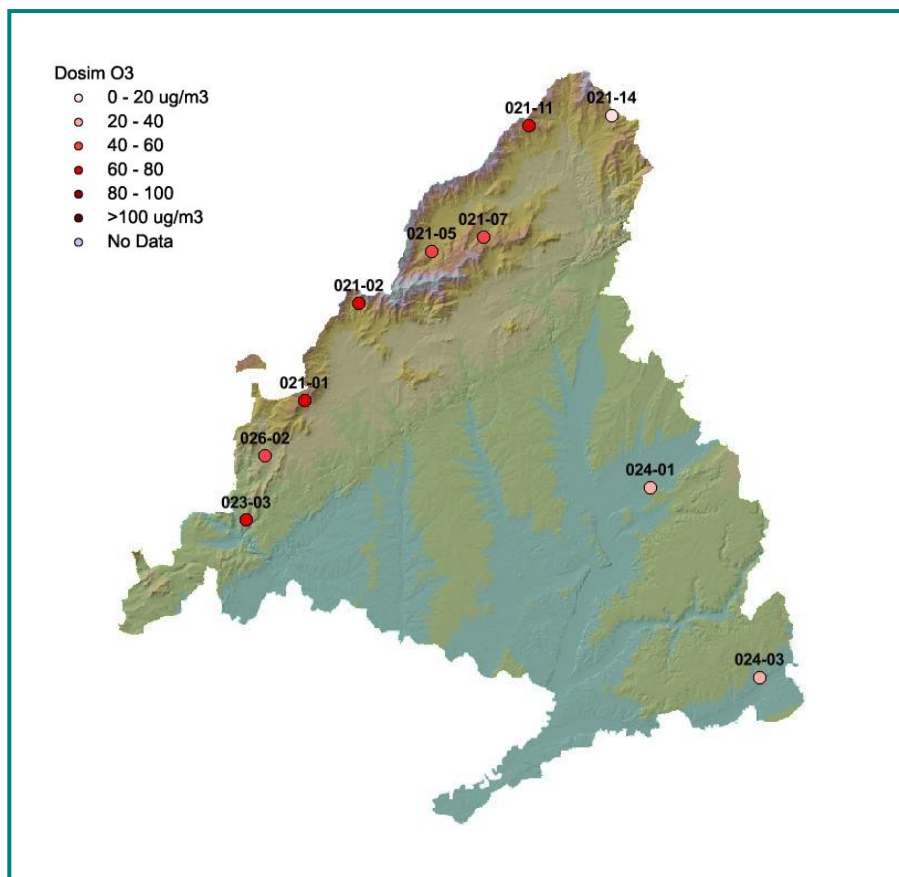


Figura IV. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 3

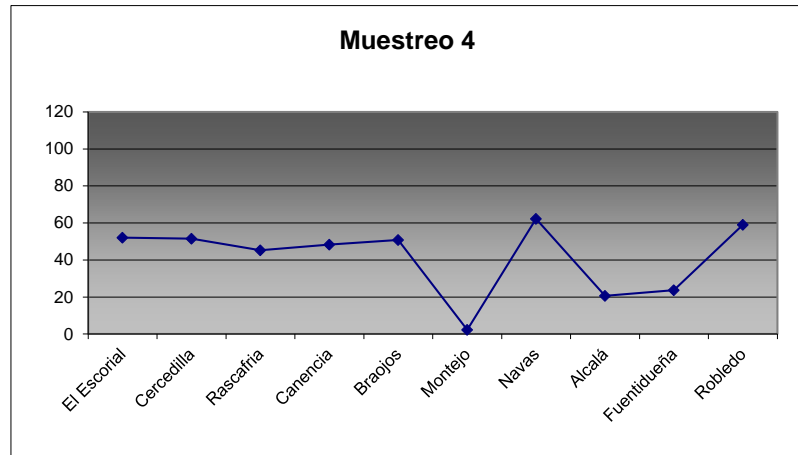


Muestreo 4 (08-09/04/2015):

Tabla III. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	52,12
E-021-02	Cercedilla	51,55
E-021-05	Rascafría	45,29
E-021-07	Canencia	48,33
E-021-11	Braojos	50,80
E-021-14	Montejo de la Sierra	2,20
E-023-03	Navas del Rey	62,29
E-024-01	Alcalá de Henares	20,59
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	23,65
E-026-02	Robledo de Chavela	59,09
Media		41,59

Figura V. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 4



De nuevo se advierte un comportamiento similar al del caso anterior, con un nivel muy bajo en Montejo de la

Sierra, de apenas 2 µg/m³ y un máximo de 62 µg/m³ en Navas del Rey.

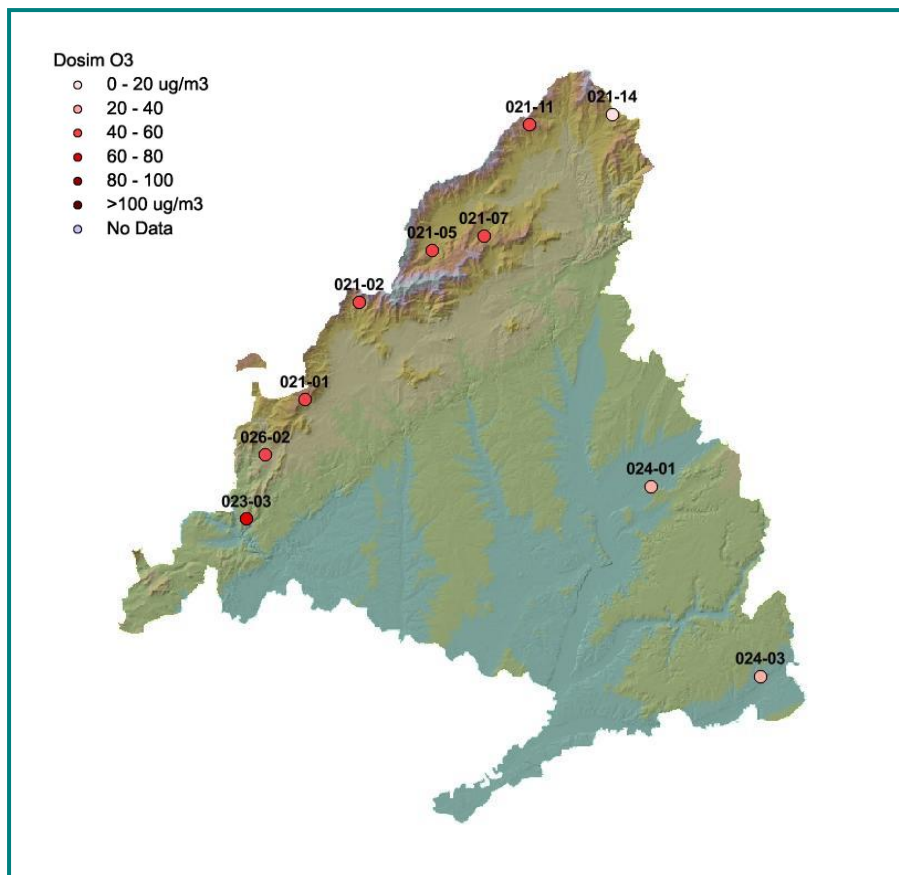


Figura VI. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 4

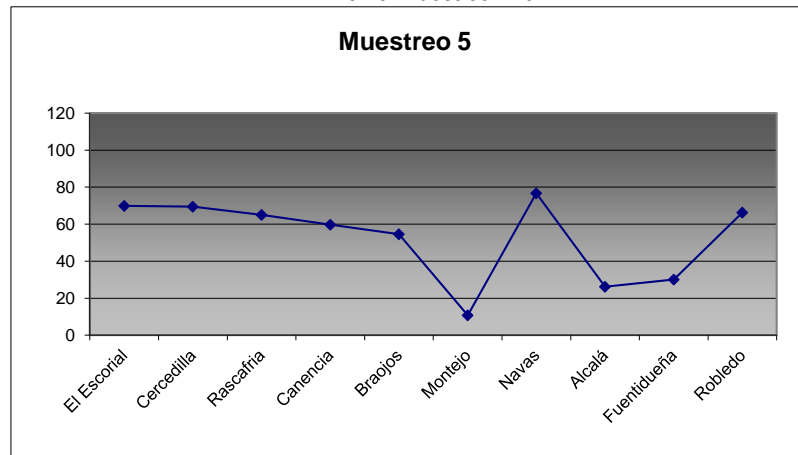


Muestreo 5 (22-24/04/2015):

Tabla IV. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 5

Parcela	Término municipal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
E-021-01	El Escorial	69,90
E-021-02	Cercedilla	69,42
E-021-05	Rascafría	65,00
E-021-07	Canencia	59,75
E-021-11	Braojos	54,52
E-021-14	Montejo de la Sierra	10,78
E-023-03	Navas del Rey	76,72
E-024-01	Alcalá de Henares	26,23
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	30,03
E-026-02	Robledo de Chavela	66,26
Media		52,86

Figura VII. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 5



De nuevo se advierte un comportamiento muy similar al del muestreo precedente, si bien con unas

mayores tasas de concentración en general, repitiéndose los extremos de la serie en Navas del Rey y Montejo de la Sierra.

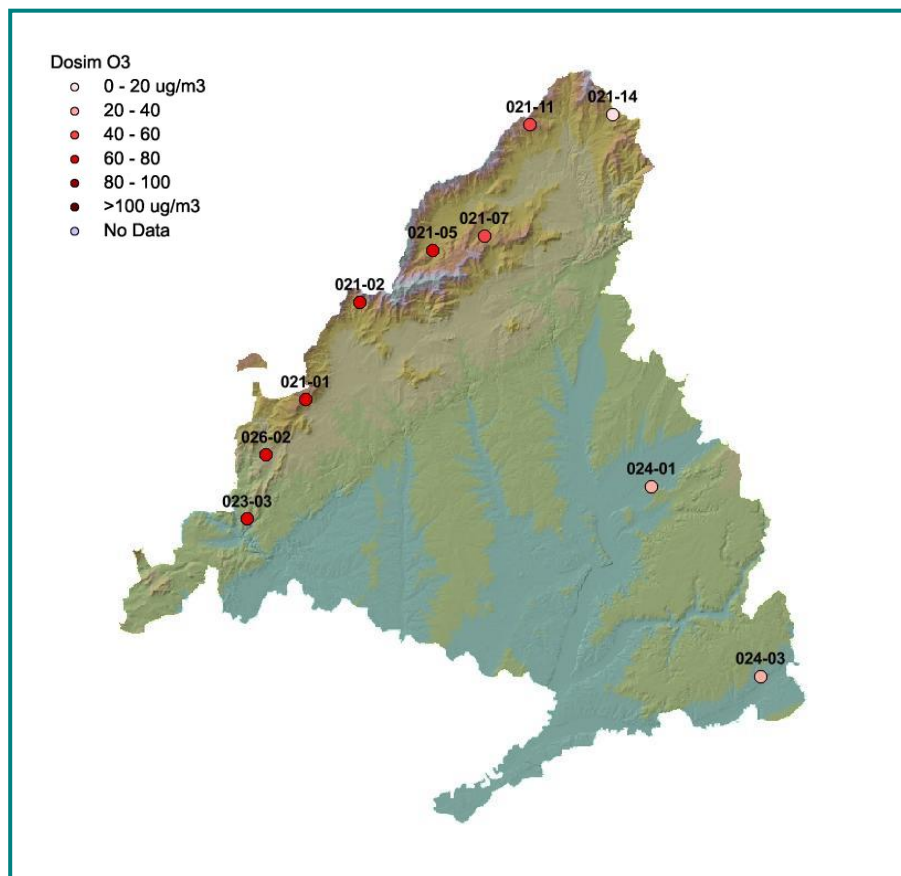


Figura VIII. Mapa de concentraciones de O₃ en el muestreo nº 5

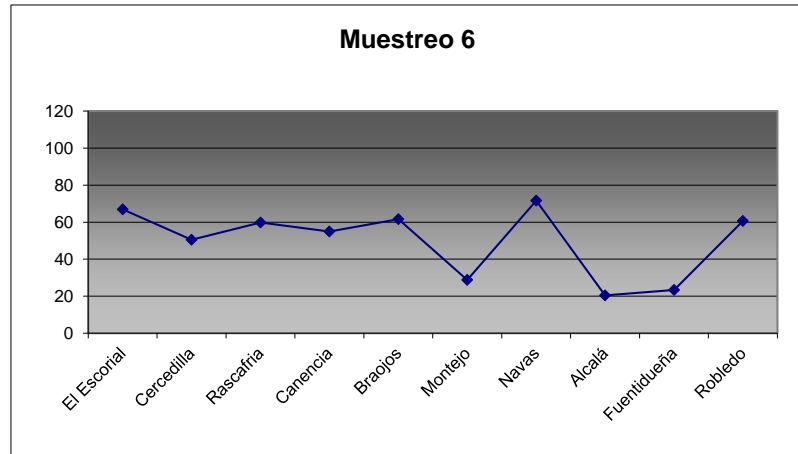


Muestreo 6 (08-09/05/2015):

Tabla V. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 6

Parcela	Término municipal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
E-021-01	El Escorial	66,92
E-021-02	Cercedilla	50,48
E-021-05	Rascafría	59,78
E-021-07	Canencia	54,93
E-021-11	Braojos	61,56
E-021-14	Montejo de la Sierra	28,75
E-023-03	Navas del Rey	71,65
E-024-01	Alcalá de Henares	20,36
E-024-03	Fuenteidueña de Tajo	23,39
E-026-02	Robledo de Chavela	60,59
Media		49,84

Figura IX. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 6



Se registra una ligera reducción en los valores de fondo del contaminante, que se sitúa en el entorno de los $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, con un mínimo en Alcalá de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un

máximo Navas del Rey, Robledo de Chavela y El Escorial, en la mitad occidental de la comunidad.

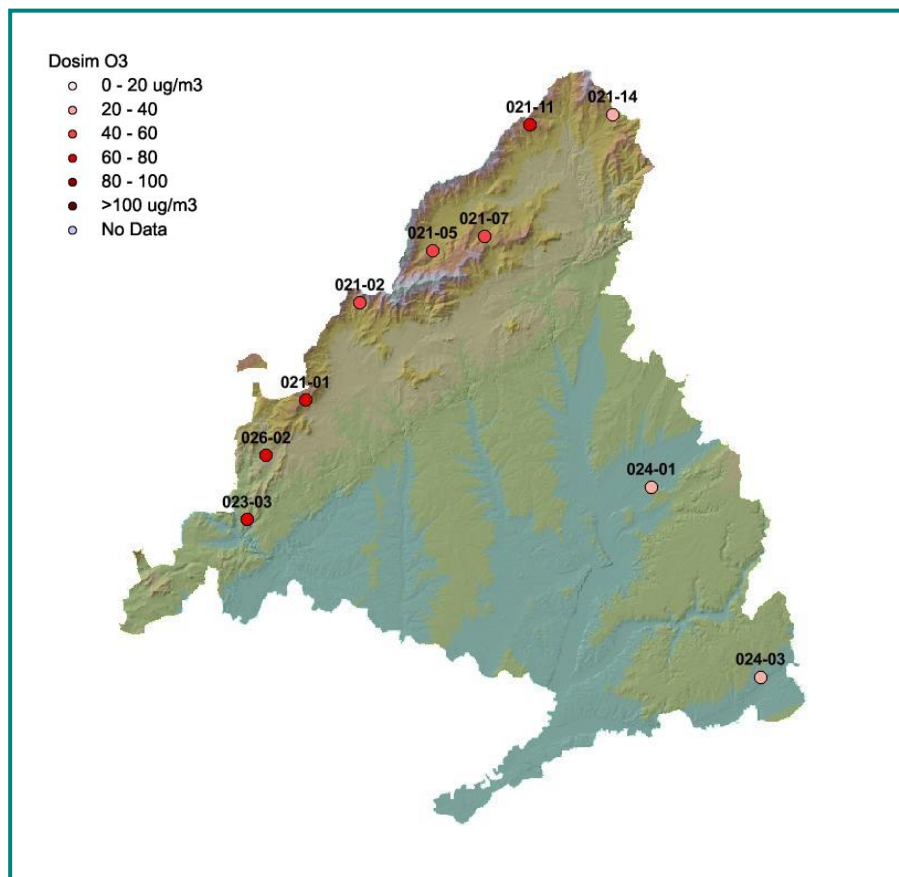


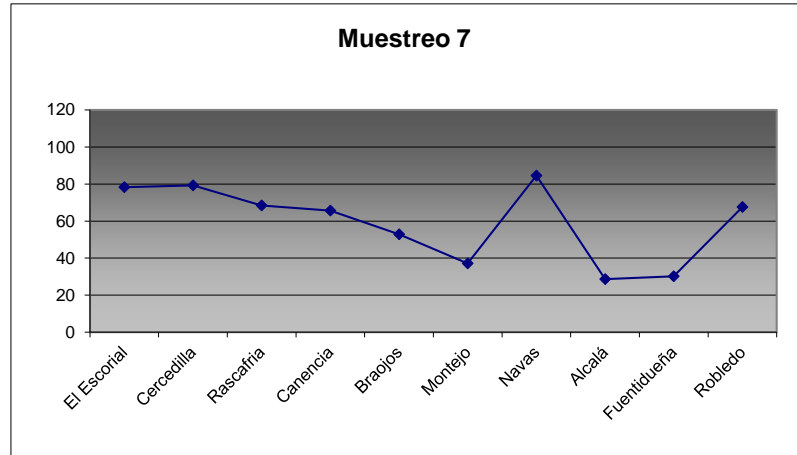
Figura X. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 6

Muestreo 7 (20-22/05/2015):

Tabla VI. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	78,25
E-021-02	Cercedilla	79,22
E-021-05	Rascafría	68,45
E-021-07	Canencia	65,61
E-021-11	Braojos	52,82
E-021-14	Montejo de la Sierra	37,06
E-023-03	Navas del Rey	84,53
E-024-01	Alcalá de Henares	28,58
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	30,22
E-026-02	Robledo de Chavela	67,58
Media		59,23

Figura XI. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 7



En el presente muestreo, cuando empieza a registrarse una mayor duración del día (y por ende de la radiación solar), se advierte un nuevo incremento generalizado de

los valores de fondo, oscilando los extremos de la serie entre los 29 µg/m³ de Alcalá y los casi 85 µg/m³ de Alcalá de Henares.

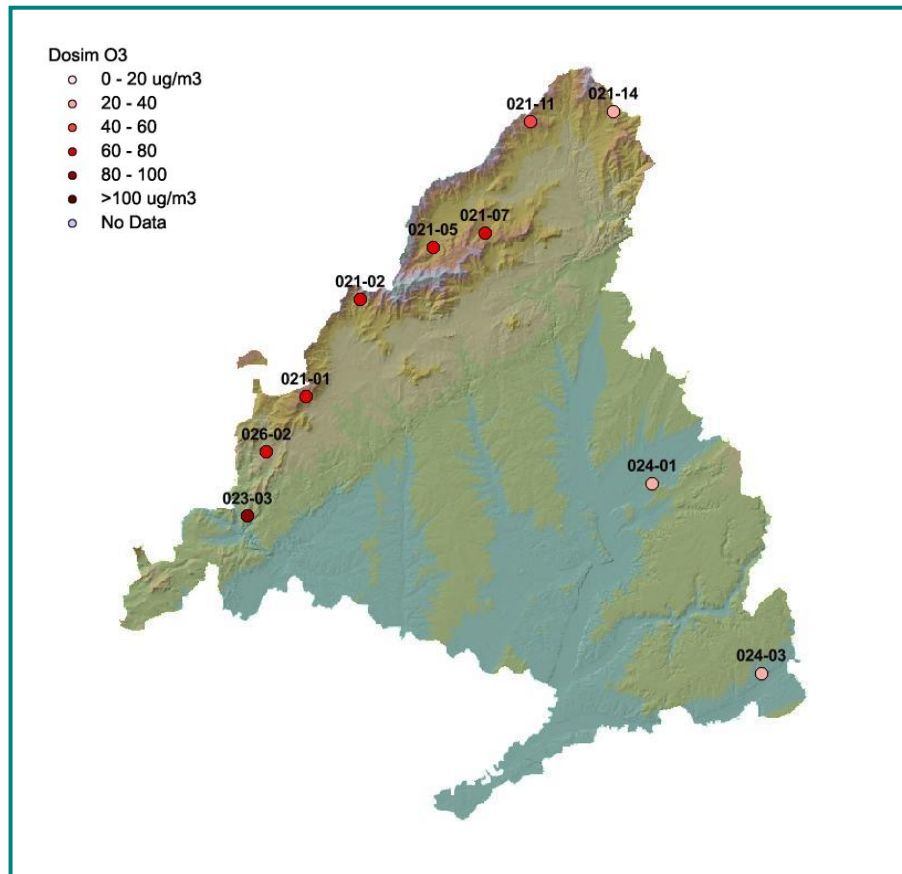


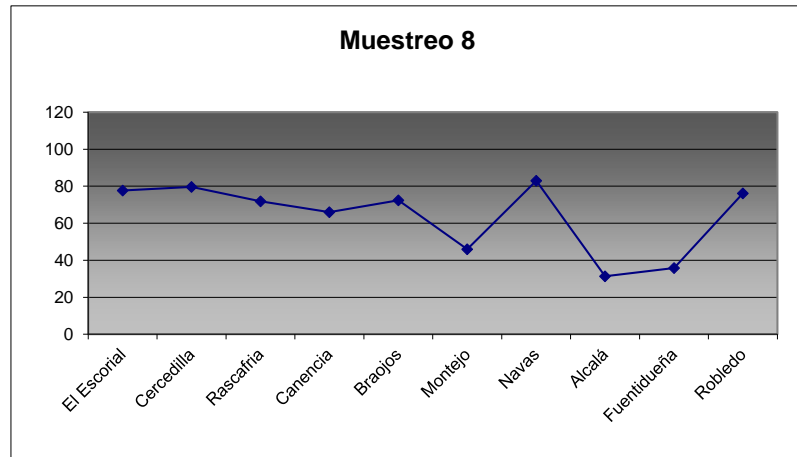
Figura XII. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 7

Muestreo 8 (02-05/06/2015):

Tabla VII. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	77,64
E-021-02	Cercedilla	79,63
E-021-05	Rascafría	71,79
E-021-07	Canencia	65,95
E-021-11	Braojos	72,37
E-021-14	Montejo de la Sierra	45,92
E-023-03	Navas del Rey	83,03
E-024-01	Alcalá de Henares	31,30
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	35,78
E-026-02	Robledo de Chavela	76,20
Media		63,96

Figura XIII. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 8



En la presente revisión se alcanzan niveles similares a los del muestreo anterior, del muestreo anterior, si bien algo superiores, a medida que va incrementándose la duración del día y la radiación asociada, registrándose un mínimo

de 31 µg/m³ en Alcalá de Henares y un máximo de 83 µg/m³ en Navas del Rey.

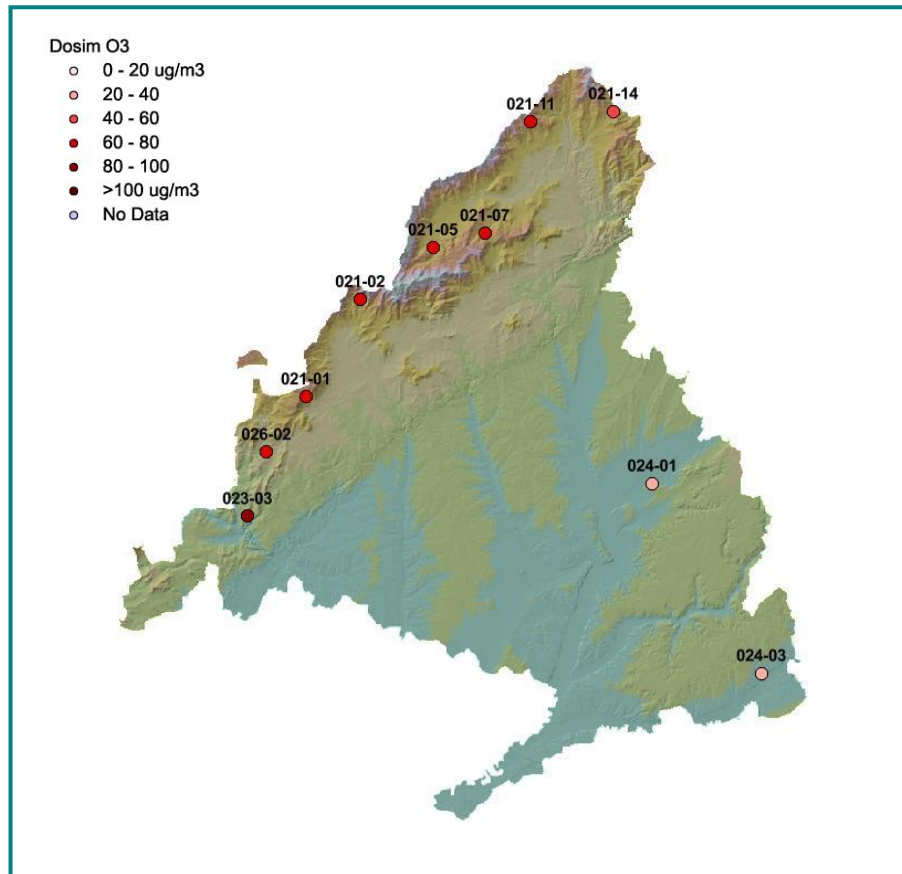


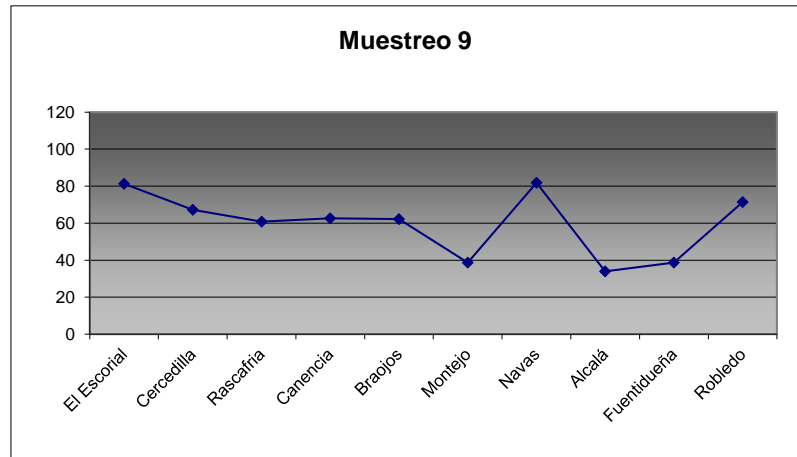
Figura XIV. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 8

Muestreo 9 (17-18/06/2015):

Tabla VIII. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	81,20
E-021-02	Cercedilla	67,21
E-021-05	Rascafría	60,76
E-021-07	Canencia	62,64
E-021-11	Braojos	62,16
E-021-14	Montejo de la Sierra	38,68
E-023-03	Navas del Rey	81,78
E-024-01	Alcalá de Henares	33,91
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	38,74
E-026-02	Robledo de Chavela	71,35
Media		59,84

Figura XV. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 9



En la presente revisión se advierte una ligera reducción de los niveles de fondo, aunque con un patrón de comportamiento ya observado: máximos en El Escorial y

Navas del Rey, donde se superan los 80 µg/m³ y niveles mínimos en Alcalá de Henares

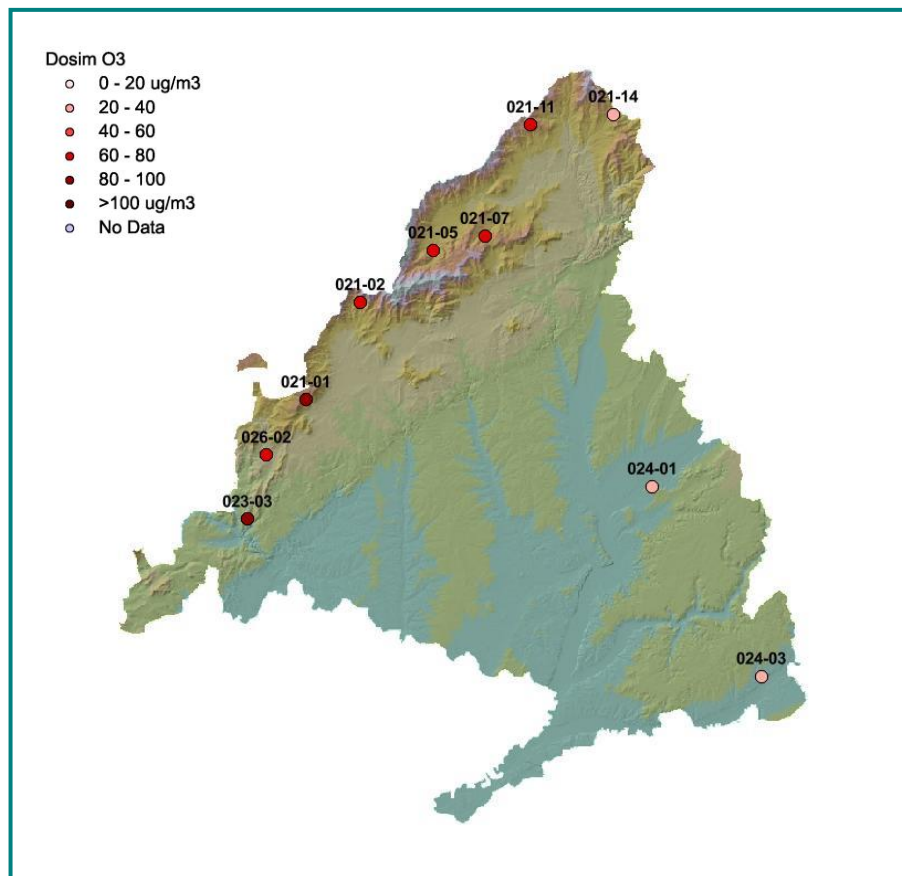


Figura XVI. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 9

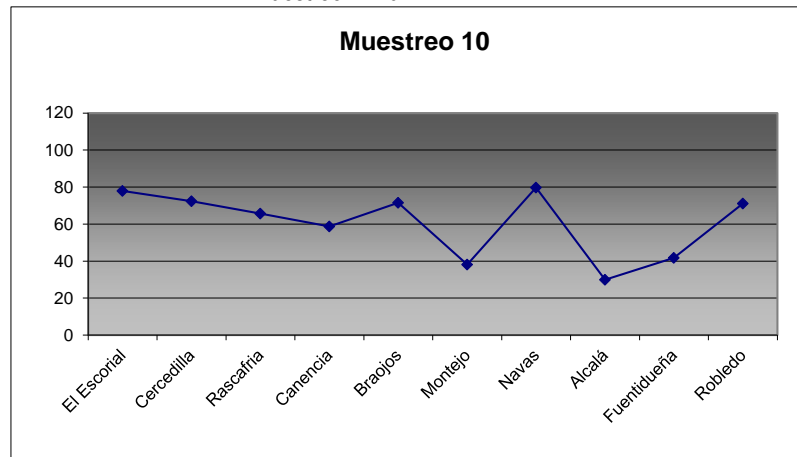


Muestreo 10 (29-30/06/2015):

Tabla IX. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 10

Parcela	Término municipal	µg/m³
E-021-01	El Escorial	77,85
E-021-02	Cercedilla	72,30
E-021-05	Rascafría	65,61
E-021-07	Canencia	58,67
E-021-11	Braojos	71,46
E-021-14	Montejo de la Sierra	38,12
E-023-03	Navas del Rey	79,71
E-024-01	Alcalá de Henares	29,90
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	41,70
E-026-02	Robledo de Chavela	71,10
Media		60,64

Figura XVII. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 10



Continúa observándose la tónica ya apuntada: máximos de la serie concentrados en el arco occidental formado por El Escorial y Navas y

menores tasas en el extremo opuesto de la región, en torno a Alcalá de Henares.

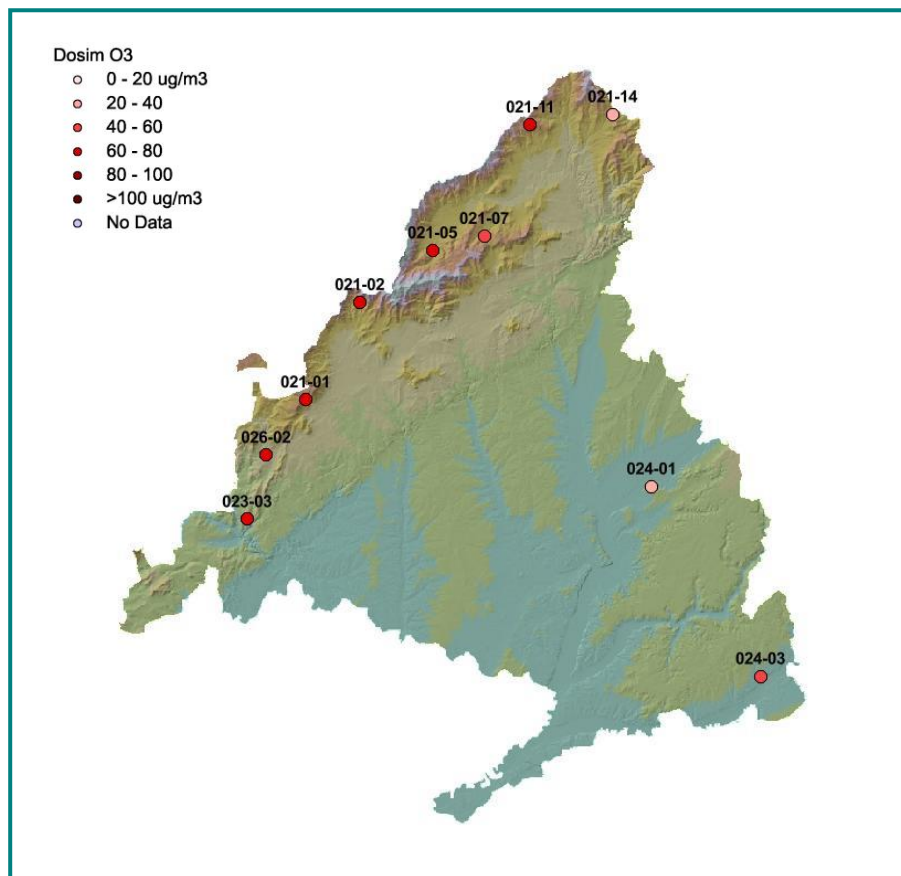


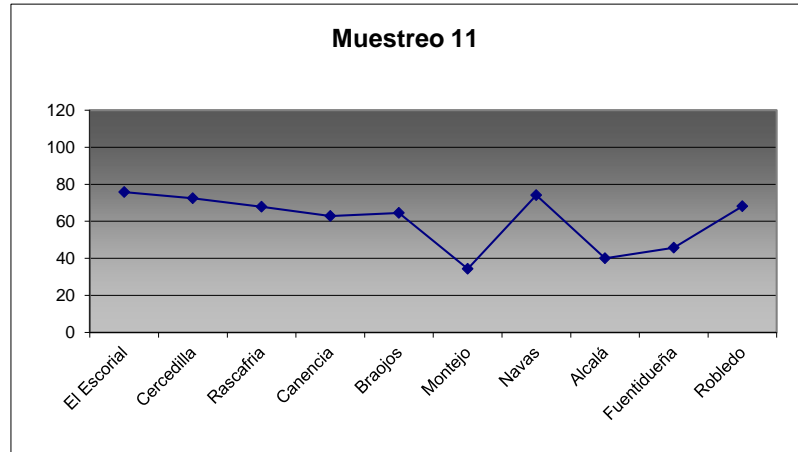
Figura XVIII. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 10

Muestreo 11 (20-21/07/2015):

Tabla X. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	75,74
E-021-02	Cercedilla	72,46
E-021-05	Rascafría	67,77
E-021-07	Canencia	62,84
E-021-11	Braojos	64,42
E-021-14	Montejo de la Sierra	34,31
E-023-03	Navas del Rey	74,13
E-024-01	Alcalá de Henares	40,00
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	45,65
E-026-02	Robledo de Chavela	68,09
Media		60,54

Figura XIX. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 11



A lo largo del mes de julio continúa observándose la tónica anterior: máximos en el cuadrante suroccidental de la comunidad, en la alineación El Escorial – Robles de

Chavela – Navas del Rey y menores tasas en Montejo de la Sierra, en el extremo norte de la red, seguido de los habituales bajos niveles de Alcalá de Henares.

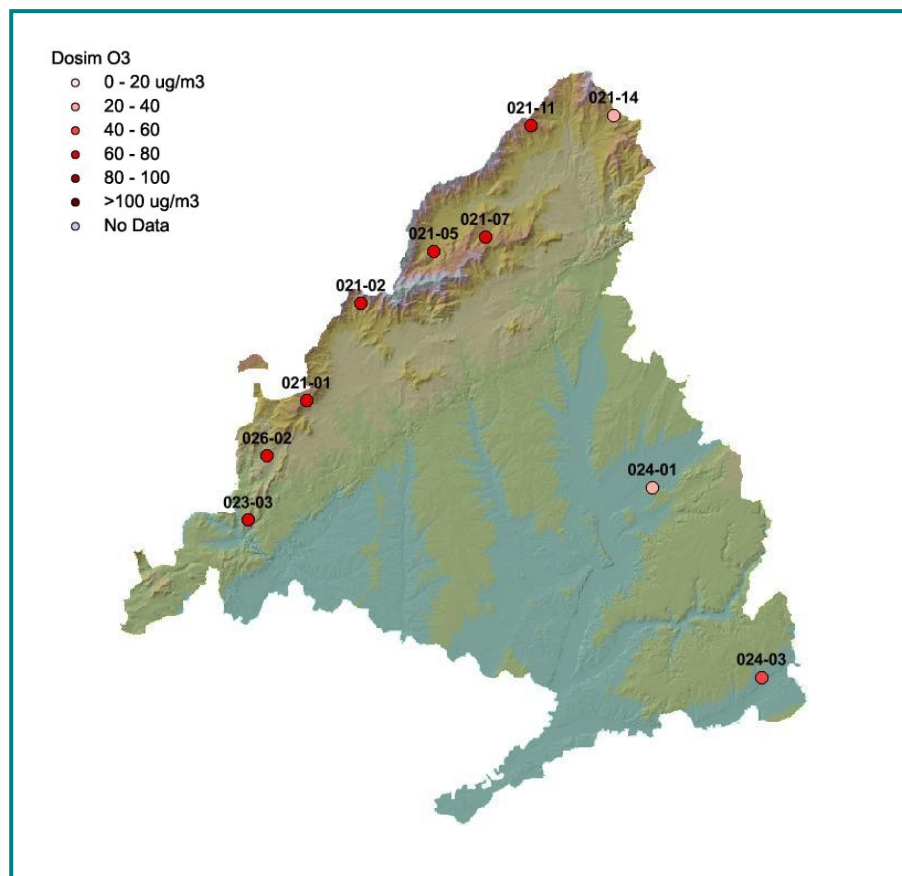


Figura XX: Mapa de las concentraciones de Ozono en el muestreo nº 11

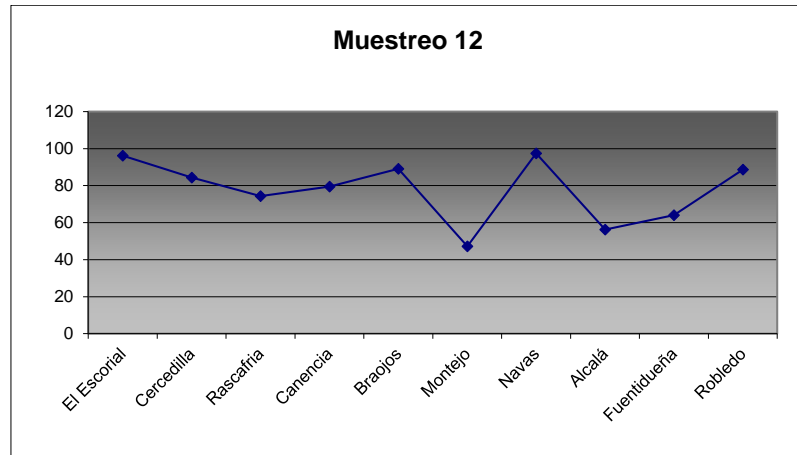


Muestreo 12 (03-04/08/2015):

Tabla XI. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 12

Parcela	Término municipal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
E-021-01	El Escorial	96,11
E-021-02	Cercedilla	84,39
E-021-05	Rascafría	74,28
E-021-07	Canencia	79,51
E-021-11	Braojos	89,12
E-021-14	Montejo de la Sierra	47,22
E-023-03	Navas del Rey	97,41
E-024-01	Alcalá de Henares	56,24
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	64,06
E-026-02	Robledo de Chavela	88,68
Media		77,70

Figura XXI. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 12



En la presente revisión y coincidiendo con la época más calurosa del año, se advierte un incremento en los niveles medios de inmisión en toda la red, apareciendo todas las estaciones por encima de $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y alcanzándose tasas

próximas a 100 en El Escorial y Navas. Hay que recordar que la temperatura es también uno de los factores que inciden en la formación del ozono troposférico.

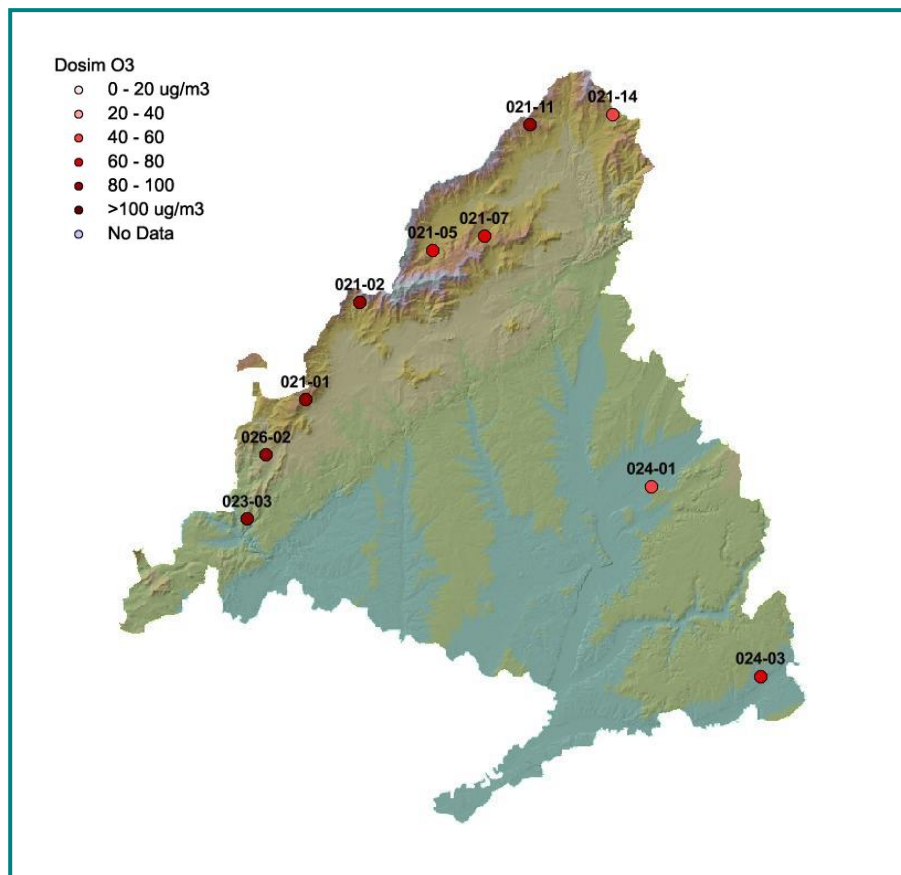


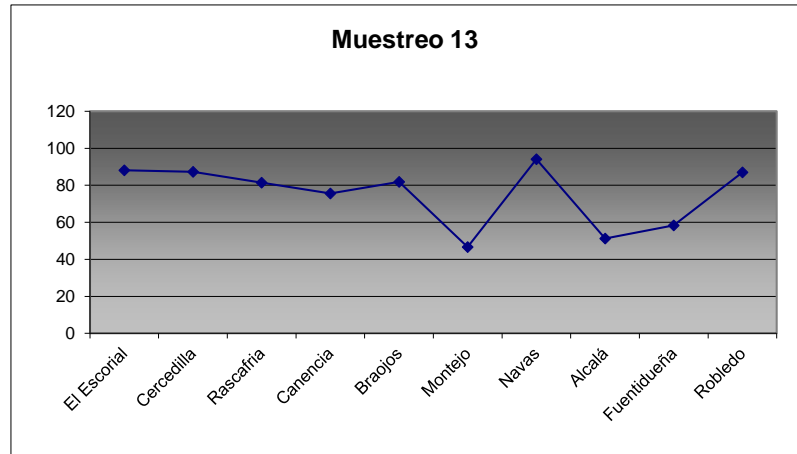
Figura XXII: Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 12

Muestreo 13 (18-19/08/2015):

Tabla XII. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	88,14
E-021-02	Cercedilla	87,29
E-021-05	Rascafría	81,43
E-021-07	Canencia	75,55
E-021-11	Braojos	81,81
E-021-14	Montejo de la Sierra	46,70
E-023-03	Navas del Rey	94,06
E-024-01	Alcalá de Henares	51,17
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	58,30
E-026-02	Robledo de Chavela	86,94
Media		75,14

Figura XXIII. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 13



En la presente revisión se registra una ligera disminución del nivel medio de inmisión en la comunidad, manteniéndose el patrón de comportamiento del viaje

anterior: máximas en el cuadrante suroccidental de la comunidad y mínimas en Alcalá de Henares y en este caso Montejo de la Sierra, en el extremo septentrional.

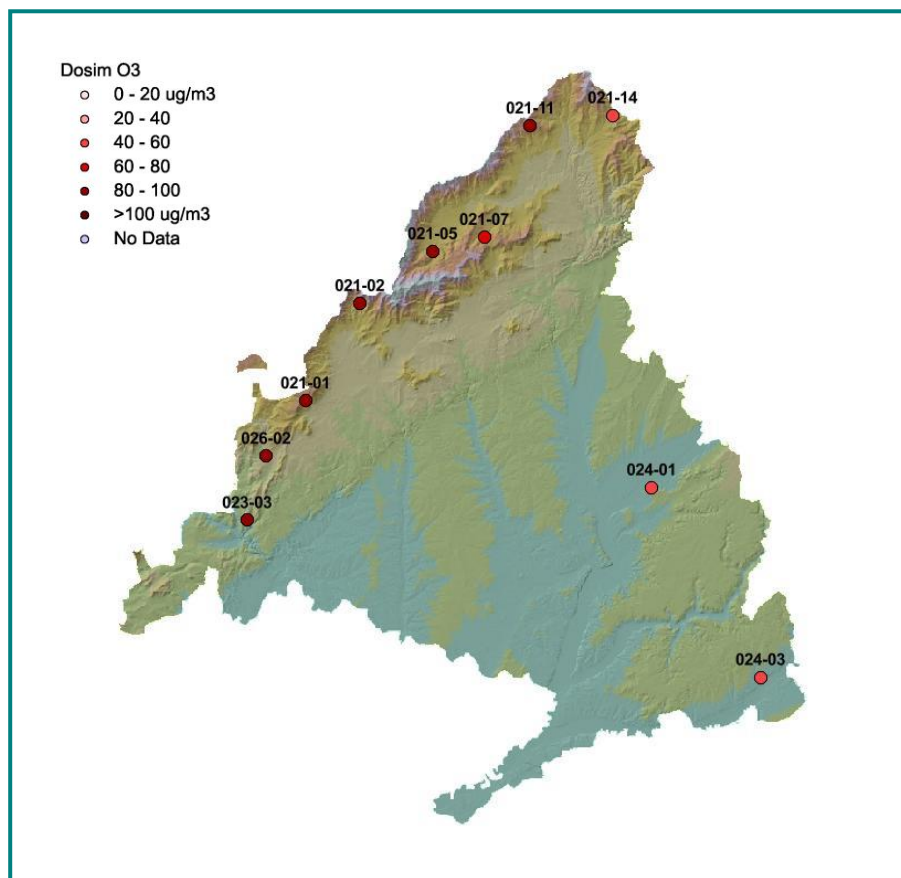


Figura XXIV. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 13

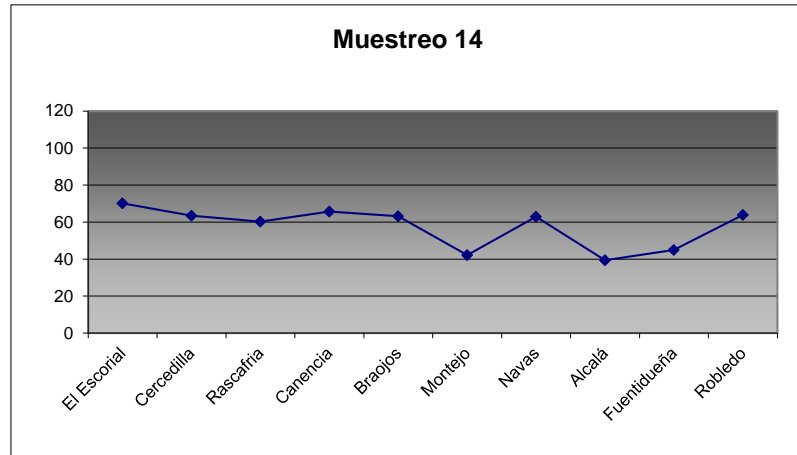


Muestreo 14 (02-03/09/2015):

Tabla XIII. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 14

Parcela	Término municipal	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
E-021-01	El Escorial	70,08
E-021-02	Cercedilla	63,44
E-021-05	Rascafría	60,26
E-021-07	Canencia	65,64
E-021-11	Braojos	63,12
E-021-14	Montejo de la Sierra	42,10
E-023-03	Navas del Rey	62,85
E-024-01	Alcalá de Henares	39,39
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	44,95
E-026-02	Robledo de Chavela	63,86
Media		57,57

Figura XXV. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 14



En la presente revisión y a medida que va entrando el otoño, se advierte una disminución en los valores medios de la serie, con una atenuación de las diferencias entre estaciones (o rango de la serie) que

oscila entre los $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de Alcalá de Henares y los $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de El Escorial.

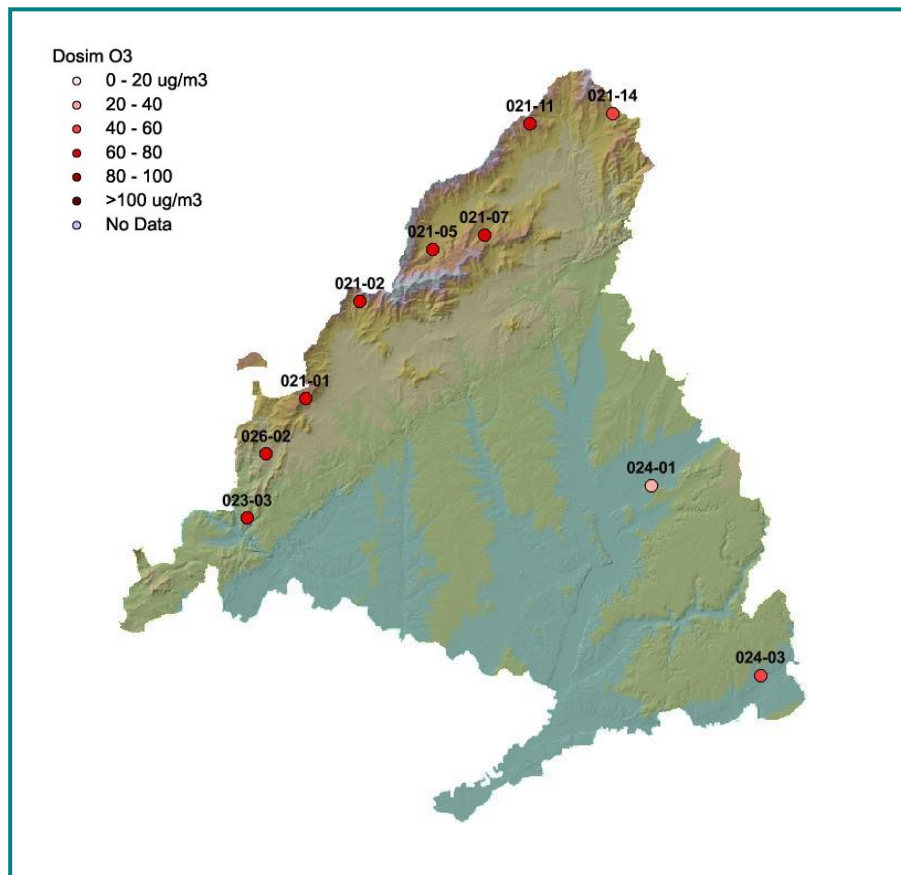


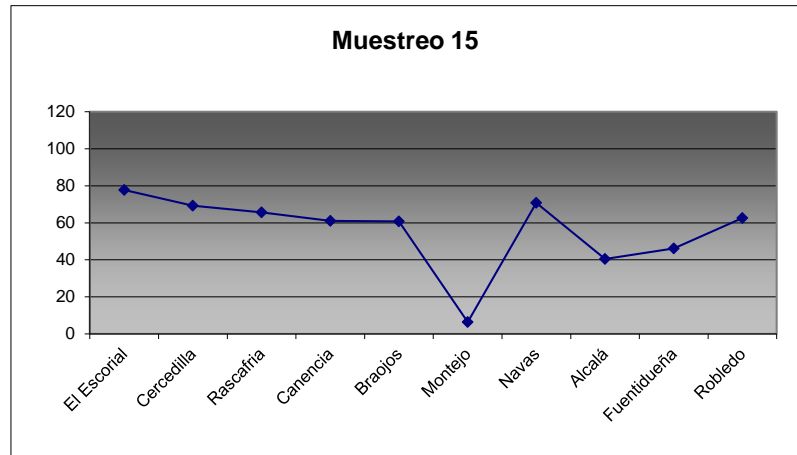
Figura XXVI. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 14

Muestreo 15 (16-17/09/2015):

Tabla XIV. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	77,74
E-021-02	Cercedilla	69,31
E-021-05	Rascafría	65,57
E-021-07	Canencia	61,06
E-021-11	Braojos	60,78
E-021-14	Montejo de la Sierra	6,33
E-023-03	Navas del Rey	70,73
E-024-01	Alcalá de Henares	40,51
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	46,22
E-026-02	Robledo de Chavela	62,63
Media		56,09

Figura XXVII. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 15



En la presente revisión se observa una ligera disminución de los niveles observados en la red, más debido a los bajos valores observados en Montejo, que a una

reducción general de las concentraciones, junto con nuevos valores máximos en El Escorial, Navas del Rey y Robledo de Chavela.

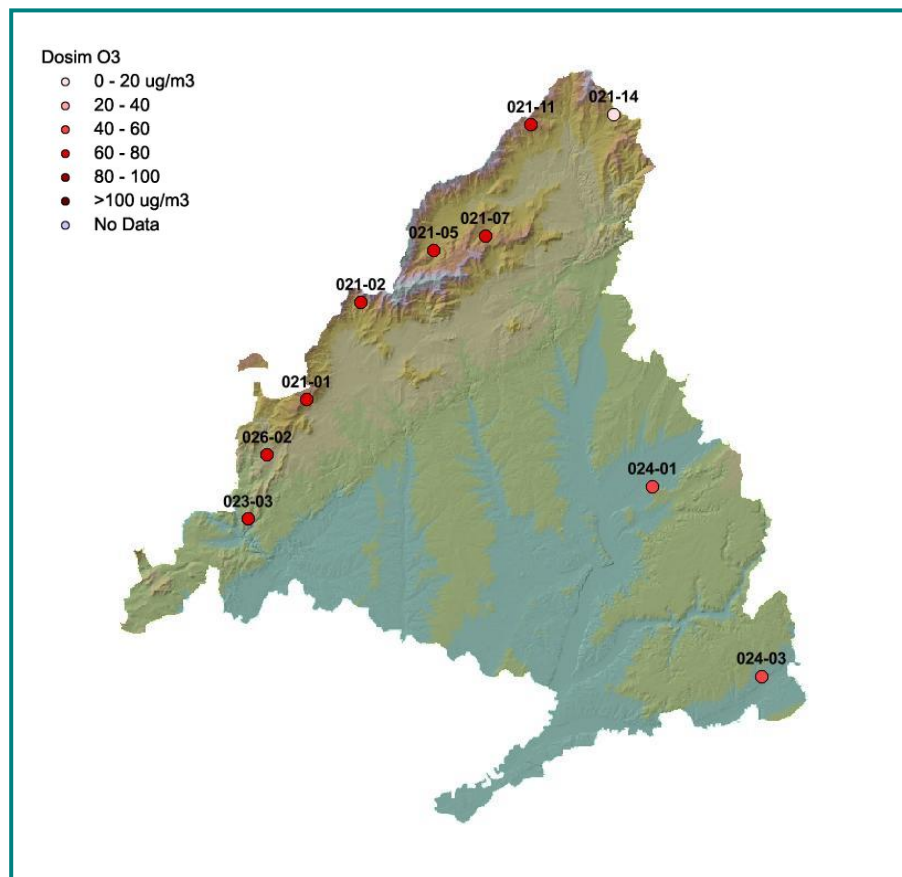


Figura XXVIII. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 15

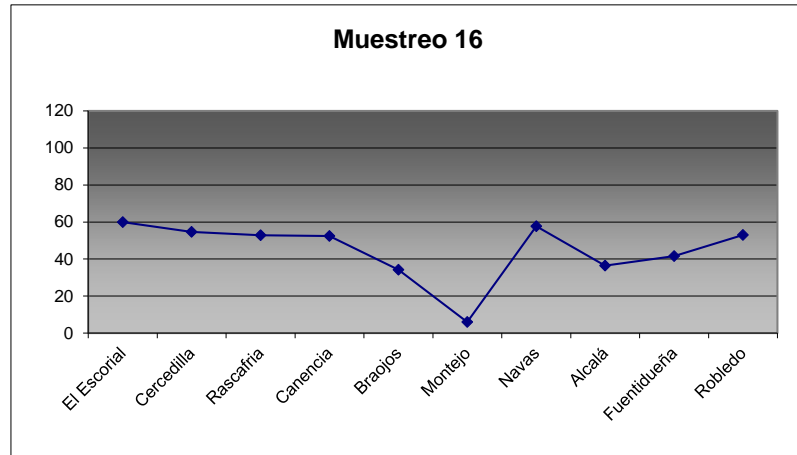


Muestreo 16 (07-09/10/2015):

Tabla XV. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	59,88
E-021-02	Cercedilla	54,66
E-021-05	Rascafría	52,87
E-021-07	Canencia	52,41
E-021-11	Braojos	34,18
E-021-14	Montejo de la Sierra	5,91
E-023-03	Navas del Rey	57,74
E-024-01	Alcalá de Henares	36,46
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	41,63
E-026-02	Robledo de Chavela	52,91
Media		44,86

Figura XXIX. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 16



En la presente revisión y a medida que va entrando el otoño, reduciéndose los días y las temperaturas, comienza a observarse una reducción generalizada de los niveles de inmisión, que no llegan a superar los 60 µg/m³,

destacando de nuevo los bajos niveles de Montejo de la Sierra junto con valores muy similares a lo largo de toda la sierra, entre Canencia y Robledo, presentando tasas menores el extremo norte de la comunidad.

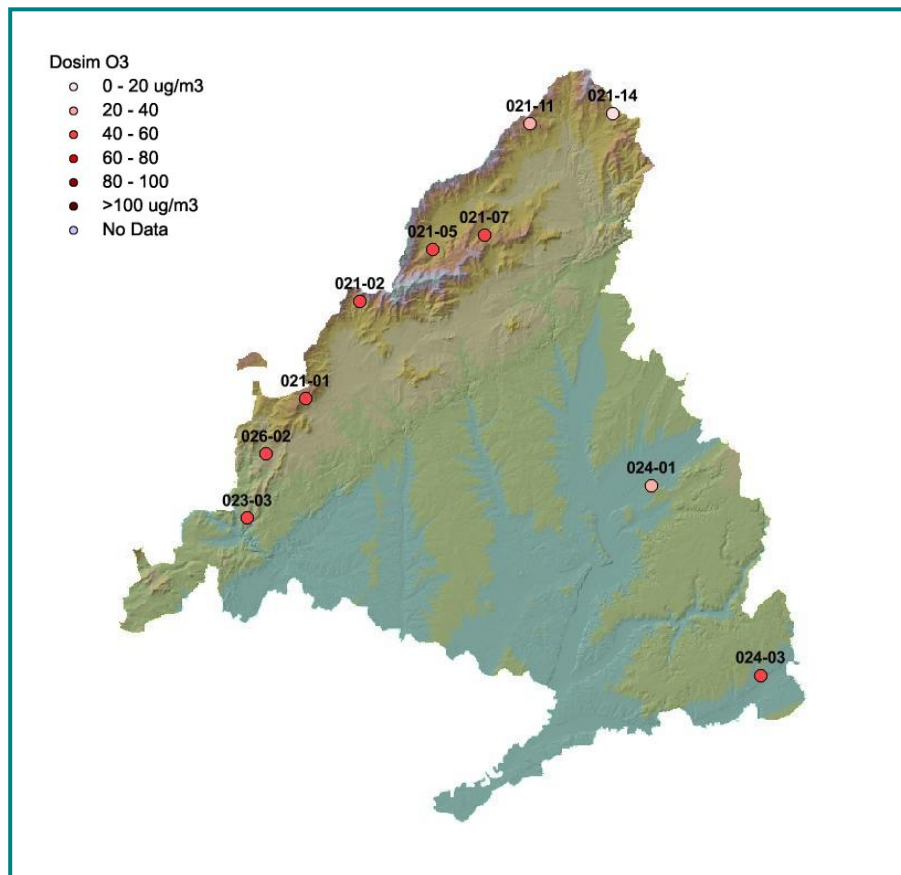


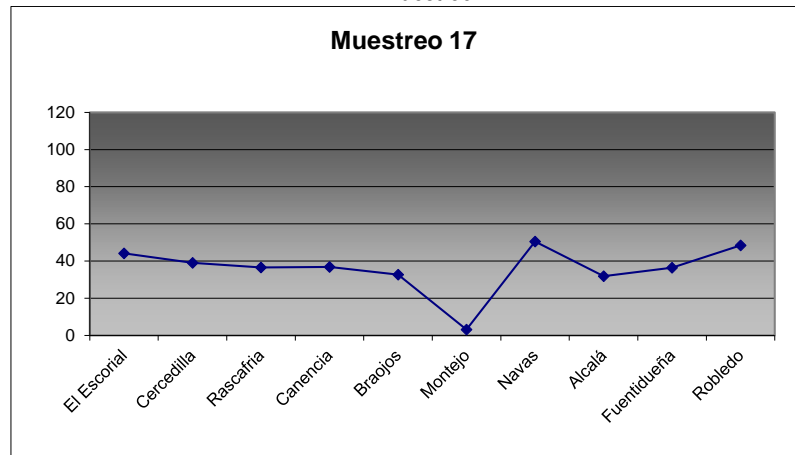
Figura XXX. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 16

Muestreo 17 (21-22/10/2015):

Tabla XVI. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	44,08
E-021-02	Cercedilla	39,08
E-021-05	Rascafría	36,60
E-021-07	Canencia	36,80
E-021-11	Braojos	32,64
E-021-14	Montejo de la Sierra	3,16
E-023-03	Navas del Rey	50,50
E-024-01	Alcalá de Henares	31,90
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	36,46
E-026-02	Robledo de Chavela	48,48
Media		35,97

Figura XXXI. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 17



Entrado ya el otoño y a medida que va reduciéndose la luz solar, va disminuyendo también el nivel de ozono troposférico, de forma que se repite, si bien de forma atenuada, el comportamiento de la revisión

anterior: mínimo en Montejo y valores mayores a lo largo de la sierra, con los máximos en torno a la ya consabida alineación El Escorial – Robledo de Chavela – Navas del Rey.

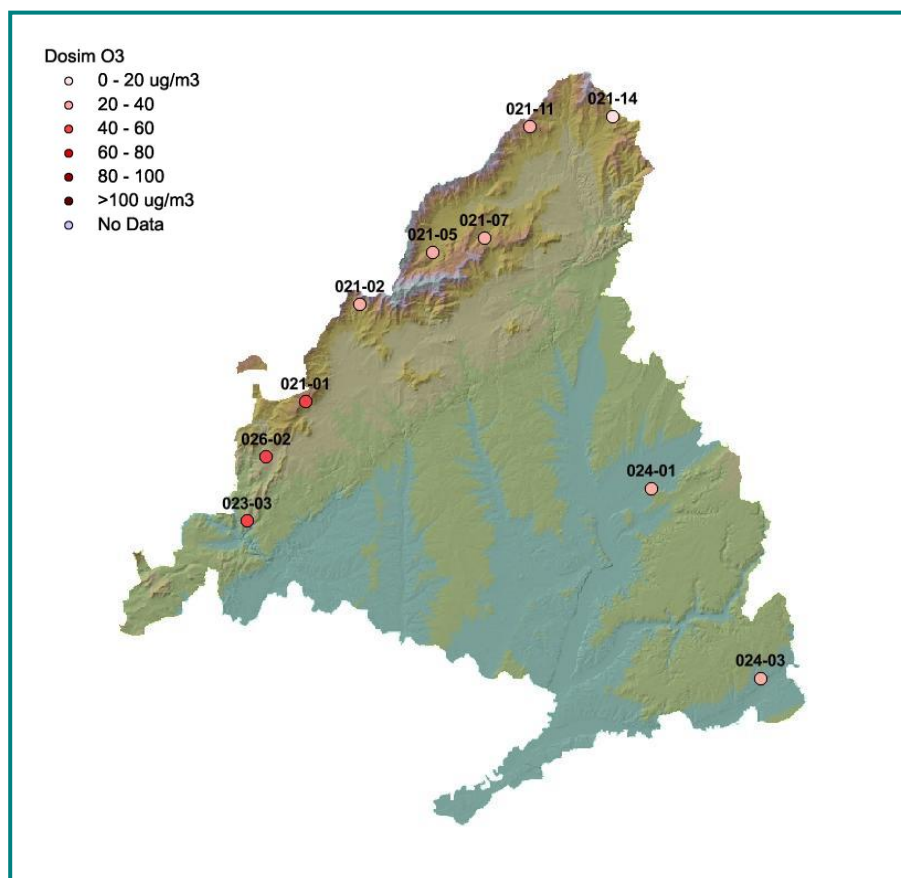


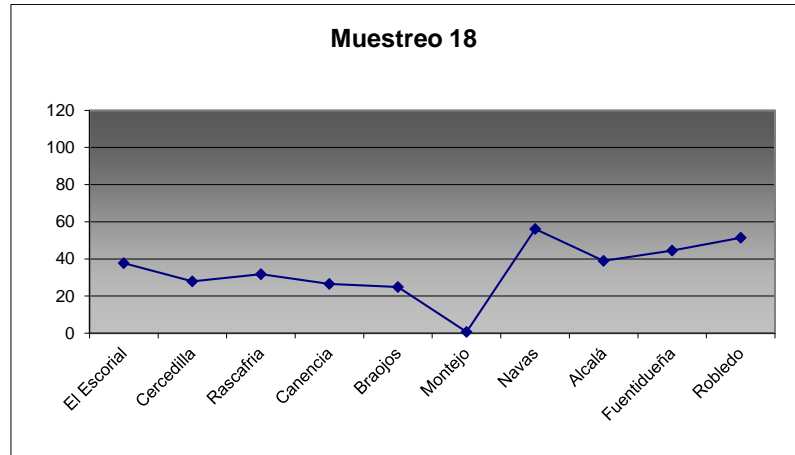
Figura XXXII. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 17

Muestreo 18 (03-05/11/2015):

Tabla XVII. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 18

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	37,80
E-021-02	Cercedilla	27,94
E-021-05	Rascafría	31,83
E-021-07	Canencia	26,62
E-021-11	Braojos	24,94
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,79
E-023-03	Navas del Rey	56,10
E-024-01	Alcalá de Henares	39,02
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	44,53
E-026-02	Robledo de Chavela	51,45
Media		34,10

Figura XXXIII. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 18



En la presente revisión, continúa observándose – si bien de forma más atenuada- la reducción de los niveles ya apuntada, con un mínimo local en Montejo

de la Sierra y los mayores niveles en Navas del Rey, donde se alcanzan los 52 µg/m³

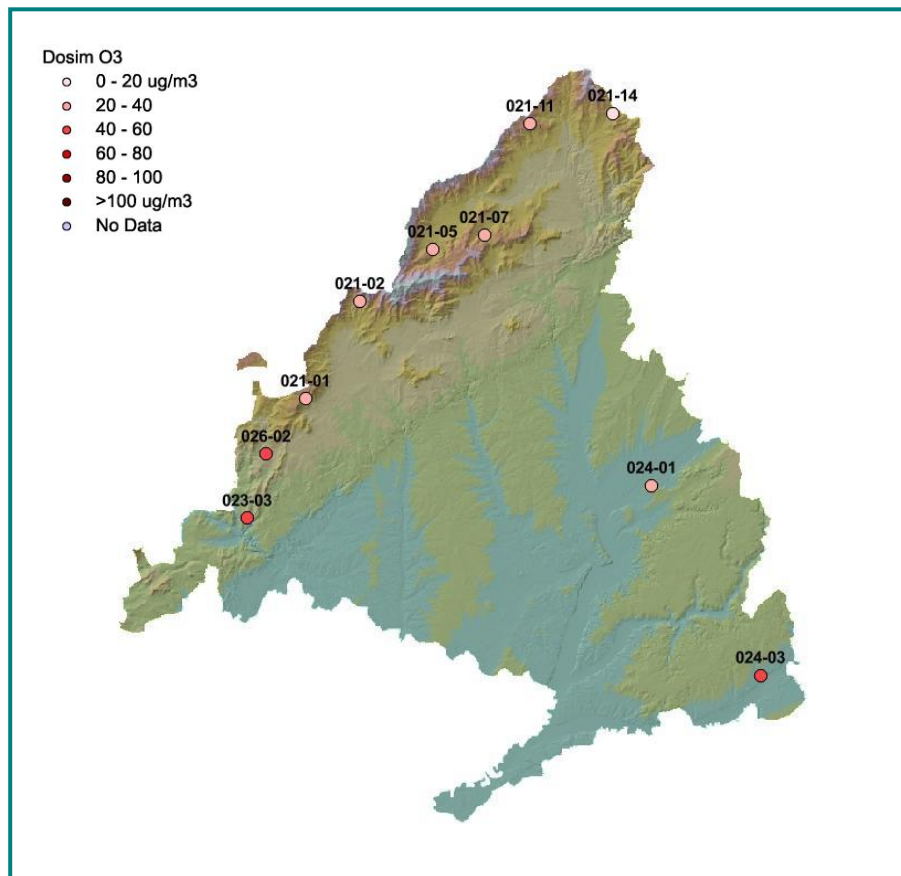


Figura XXXIV. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 18

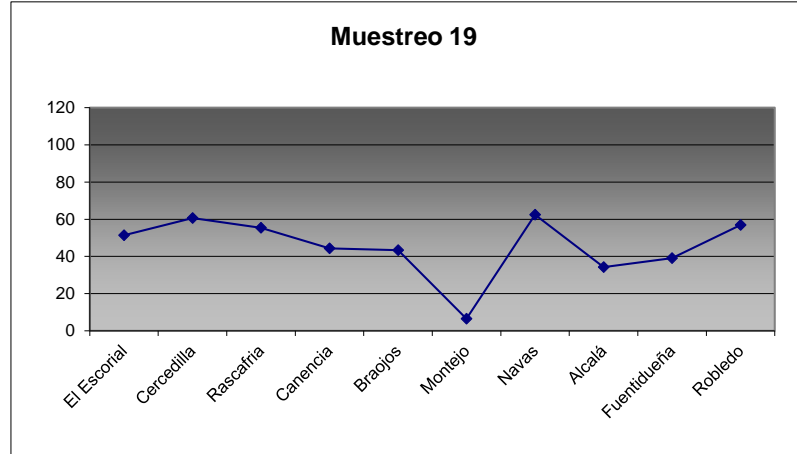


Muestreo 19 (26-27/11/2015):

Tabla XVIII. Concentraciones de Ozono en el muestreo nº 19

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	51,44
E-021-02	Cercedilla	60,65
E-021-05	Rascafría	55,45
E-021-07	Canencia	44,34
E-021-11	Braojos	43,44
E-021-14	Montejo de la Sierra	6,45
E-023-03	Navas del Rey	62,45
E-024-01	Alcalá de Henares	34,27
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	39,15
E-026-02	Robledo de Chavela	56,90
Media		45,45

Figura XXXV. Gráfico de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 19



Con respecto a la última revisión efectuada, se observa un repunte de los valores medios en la comunidad, con un incremento próximo al 25%, registrándose de nuevo las

tasas menores en Montejo de la Sierra, y los mayores niveles en el eje Robledo de Chavela-Navas del Rey, como ha sido la tónica a lo largo de la campaña.

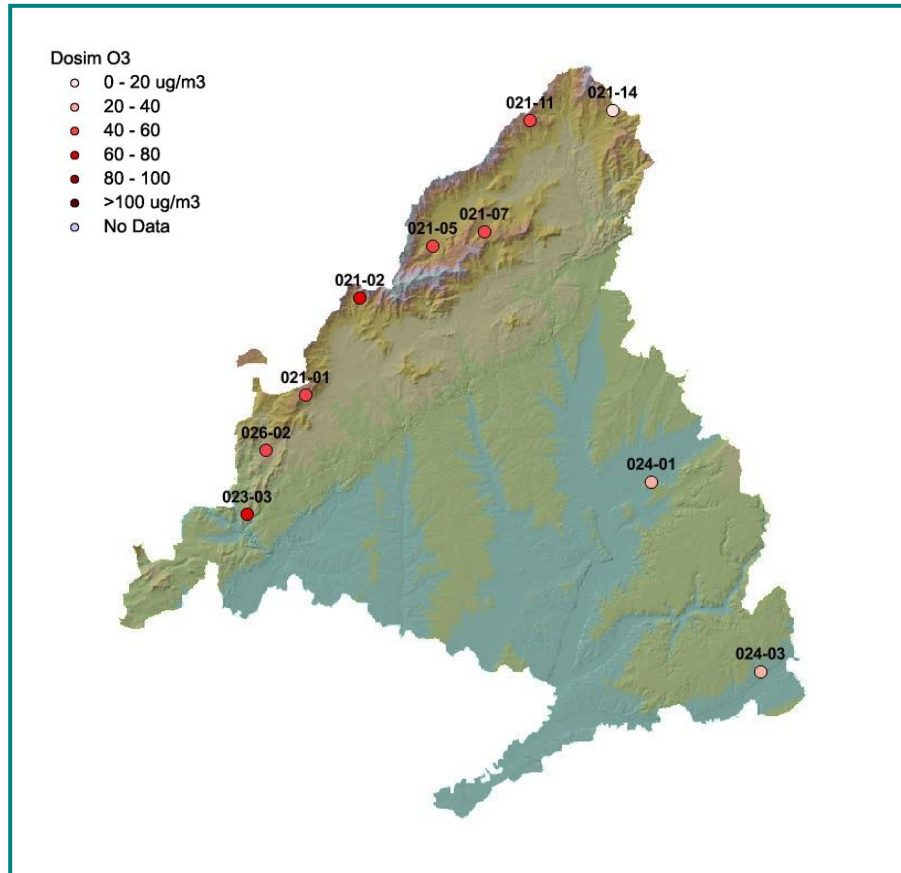


Figura XXXVI. Mapa de concentraciones de Ozono en el muestreo nº 19

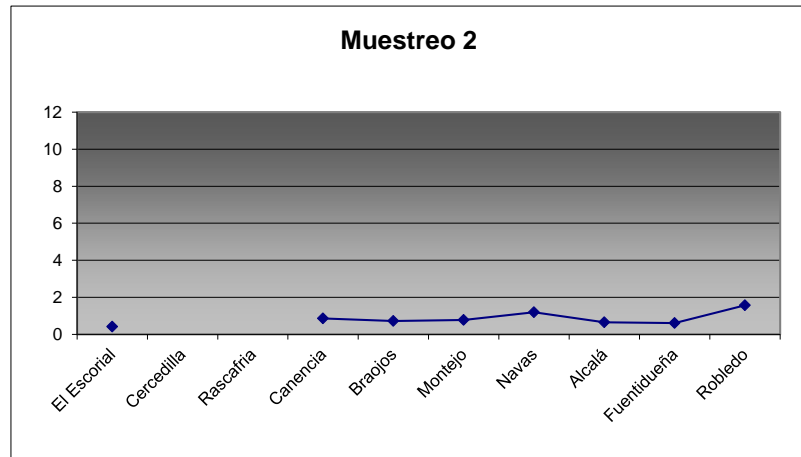
5.3.2. NO₂

Muestreo 2 (05-06/03/2015):

Tabla I. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 2

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,40
E-021-02	Cercedilla	
E-021-05	Rascafría	
E-021-07	Canencia	0,85
E-021-11	Braojos	0,71
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,78
E-023-03	Navas del Rey	1,18
E-024-01	Alcalá de Henares	0,65
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	0,61
E-026-02	Robledo de Chavela	1,56
Media		0,84

Figura I. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 2



En la presente revisión, destaca en primer lugar los valores considerablemente bajos de la red, que oscila

entre los 0,40 µg/m³ de El Escorial y los 1,56 µg/m³ de Robledo de Chavela.

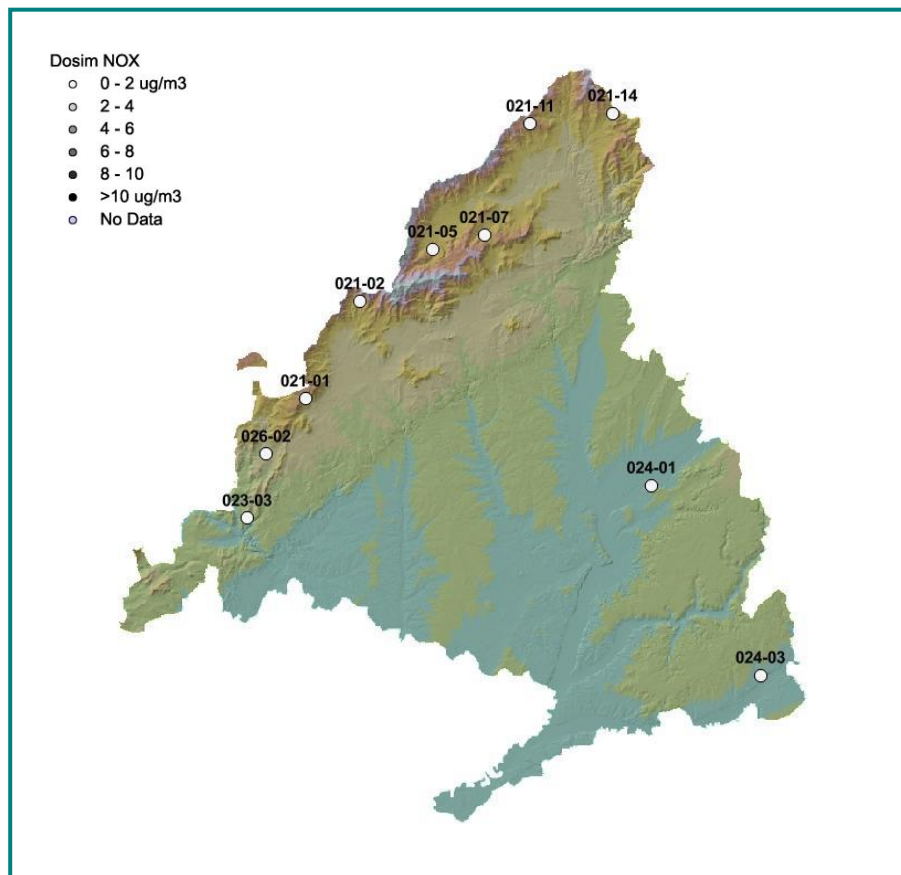


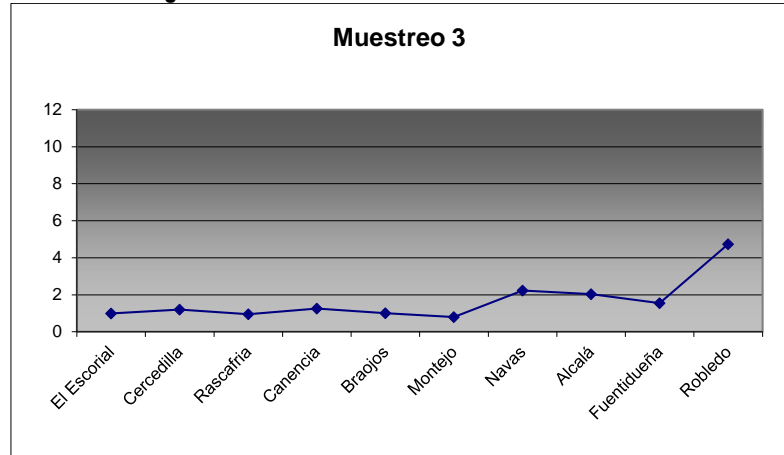
Figura II: Mapa de concentraciones de NO₂ en el Muestreo nº 2



Muestreo 3 (16-17/03/2015):

Tabla II. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 3 Figura III. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 3

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,99
E-021-02	Cercedilla	1,20
E-021-05	Rascafría	0,95
E-021-07	Canencia	1,25
E-021-11	Braojos	1,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,80
E-023-03	Navas del Rey	2,23
E-024-01	Alcalá de Henares	2,04
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,55
E-026-02	Robledo de Chavela	4,74
Media		1,68



En la presente revisión se observa un repunte del nivel general de la inmisión, dentro de valores comparativamente bajos, que oscilan entre los 0,80 µg/m³

de Montejo de la Sierra y los 4,74 µg/m³ de Robledo de Chavela.

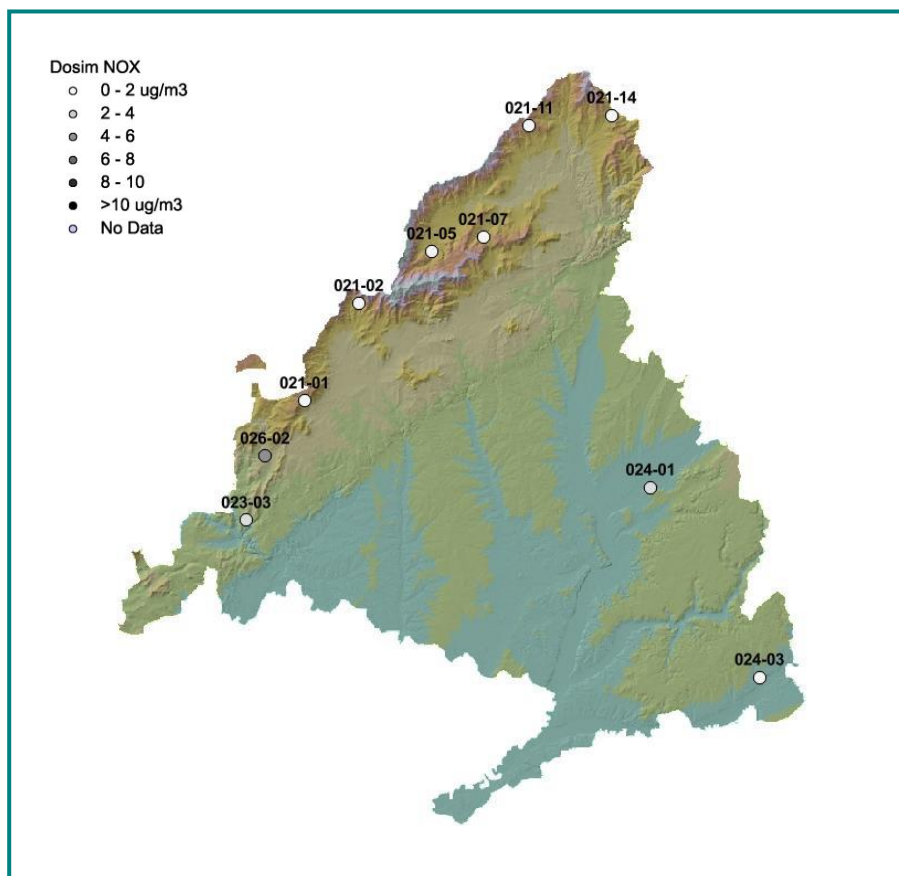


Figura IV. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 3

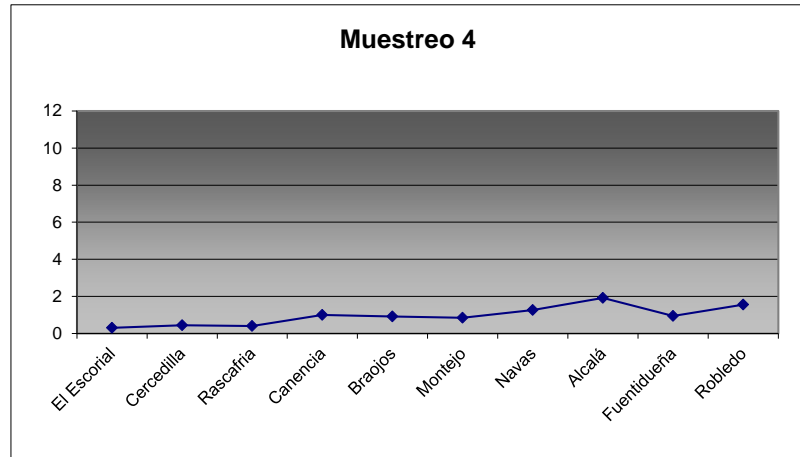


Muestreo 4 (08-09/04/2015):

Tabla III. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 4

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,30
E-021-02	Cercedilla	0,44
E-021-05	Rascafría	0,40
E-021-07	Canencia	1,00
E-021-11	Braojos	0,91
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,85
E-023-03	Navas del Rey	1,27
E-024-01	Alcalá de Henares	1,91
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	0,95
E-026-02	Robledo de Chavela	1,55
Media		0,96

Figura V. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 4



En la presente revisión se advierte una disminución de los niveles, de forma que no se llegan a superar los 2 µg/m³ en ninguna estación, destacando los

máximos de Alcalá de Henares, punto con niveles habitualmente altos.

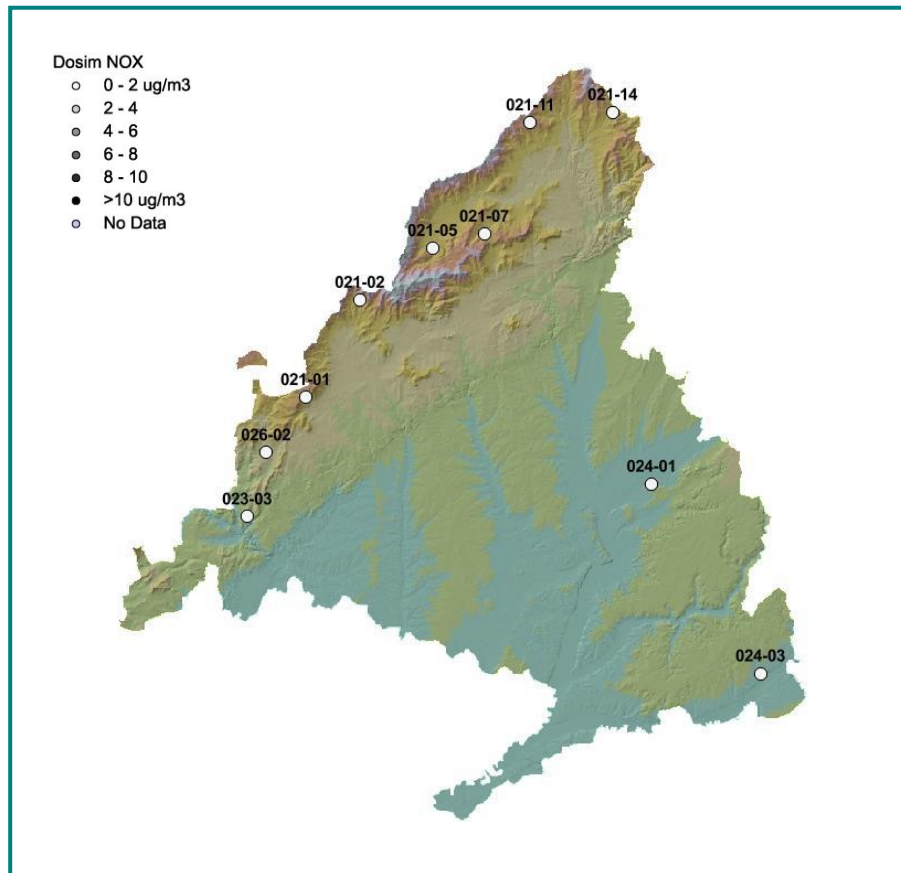


Figura VI: Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 4

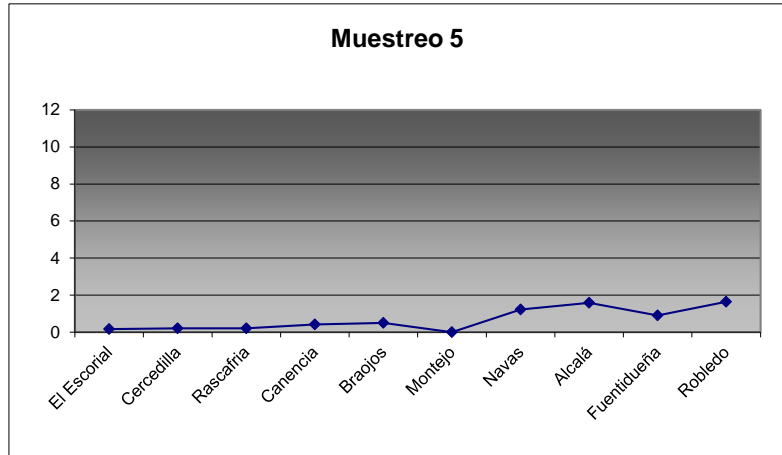


Muestreo 5 (22-24/04/2015):

Tabla IV. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 5

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,16
E-021-02	Cercedilla	0,21
E-021-05	Rascafría	0,21
E-021-07	Canencia	0,41
E-021-11	Braojos	0,49
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,00
E-023-03	Navas del Rey	1,22
E-024-01	Alcalá de Henares	1,58
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	0,89
E-026-02	Robledo de Chavela	1,63
Media		0,68

Figura VII. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 5



En la presente revisión se observa una situación muy similar a la del muestreo anterior, sin que se haya registrado presencia en Montejo de la Sierra y con los

mayores niveles en Alcalá de Henares y Montejo de la Sierra.

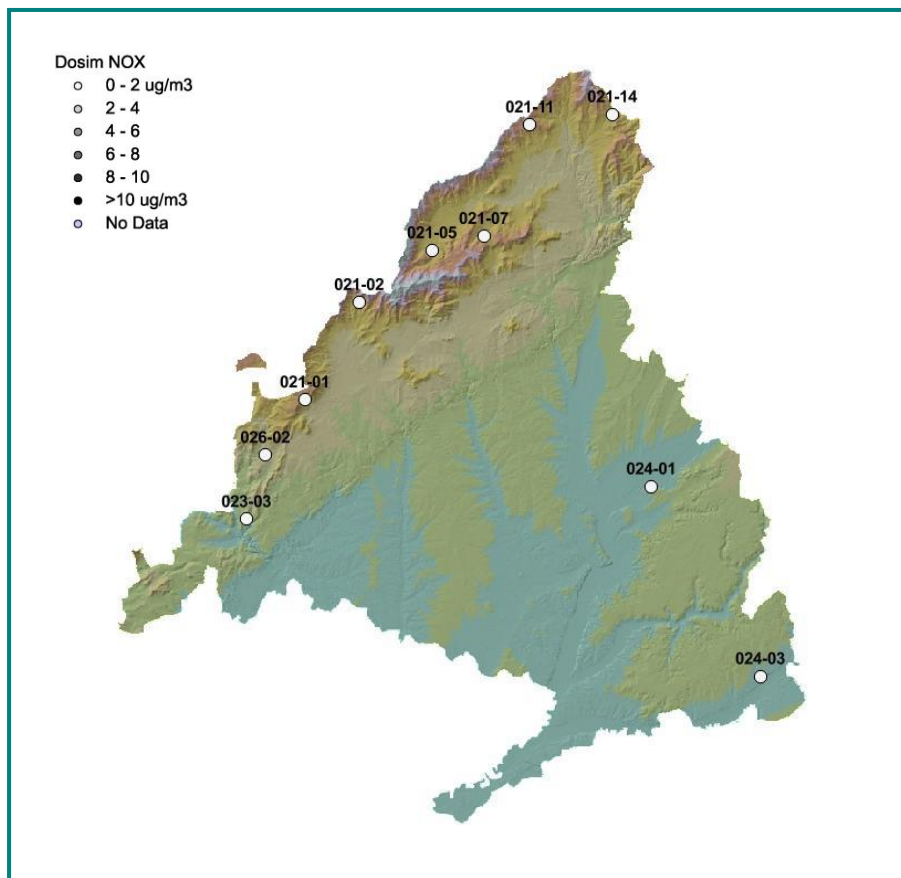


Figura VIII. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 5

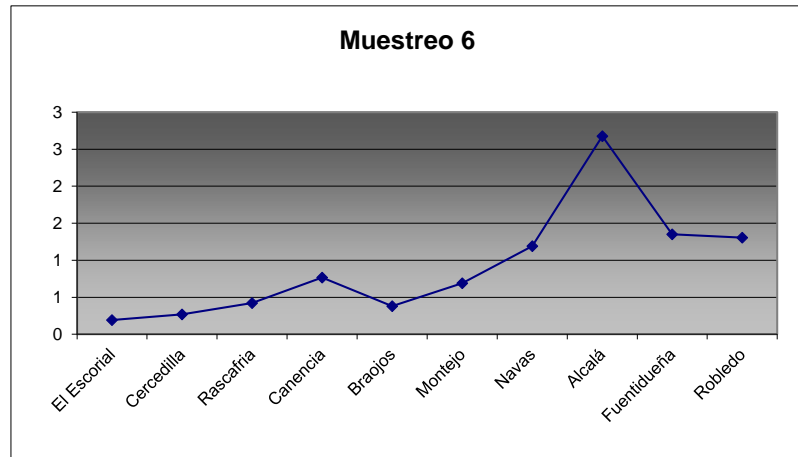


Muestreo 6 (08-09/05/2015):

Tabla V. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 6

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,19
E-021-02	Cercedilla	0,27
E-021-05	Rascafría	0,42
E-021-07	Canencia	0,77
E-021-11	Braojos	0,38
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,69
E-023-03	Navas del Rey	1,19
E-024-01	Alcalá de Henares	2,68
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,35
E-026-02	Robledo de Chavela	1,31
Media		0,92

Figura IX. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 6



En la presente revisión se advierte en primer lugar un leve incremento del nivel de fondo de los óxidos de nitrógeno, que se sitúa entre los 0,27 µg/m³ de Cercedilla y los 2,68

µg/m³ de Alcalá de Henares, estación en la que suelen observar los máximos de la comunidad.

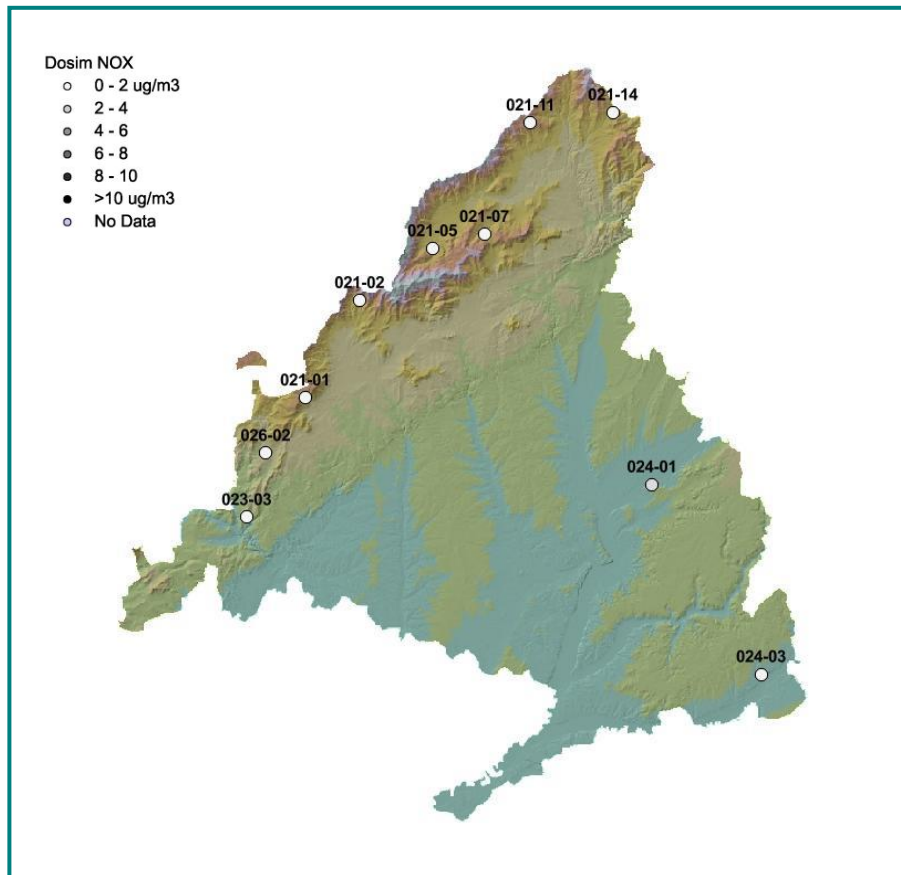


Figura X. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 6

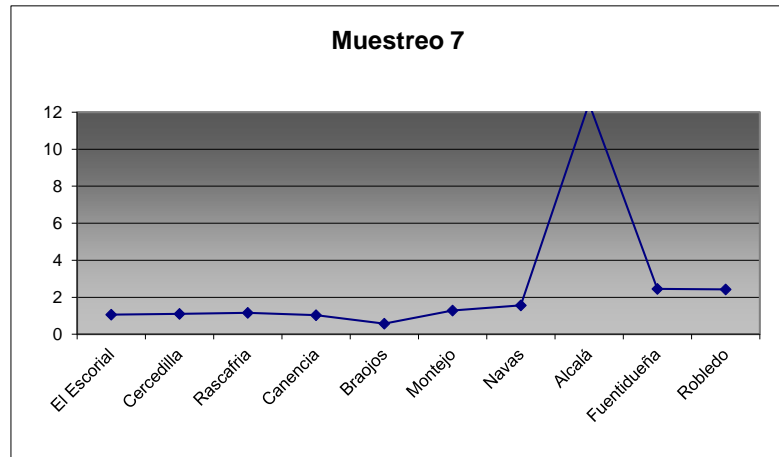


Muestreo 7 (20-22/05/2015):

Tabla VI. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 7

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,07
E-021-02	Cercedilla	1,11
E-021-05	Rascafría	1,15
E-021-07	Canencia	1,03
E-021-11	Braojos	0,58
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,28
E-023-03	Navas del Rey	1,56
E-024-01	Alcalá de Henares	12,48
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,45
E-026-02	Robledo de Chavela	2,42
Media		2,51

Figura XI. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 7



En la presente revisión se advierte un incremento general del nivel de contaminante, destacando sobre todo el brusco incremento observado en Alcalá de Henares,

donde se superan los 12 µg/m³ junto con los niveles de Braojos, donde no se alcanza el umbral de 1 µg/m³.

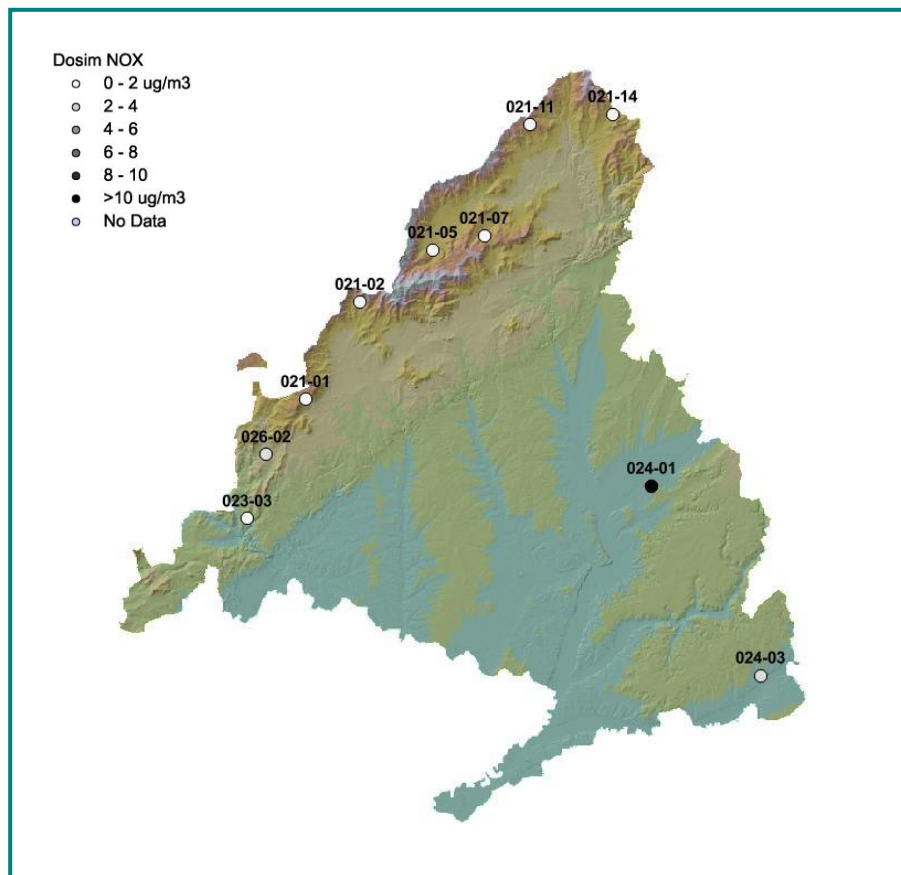


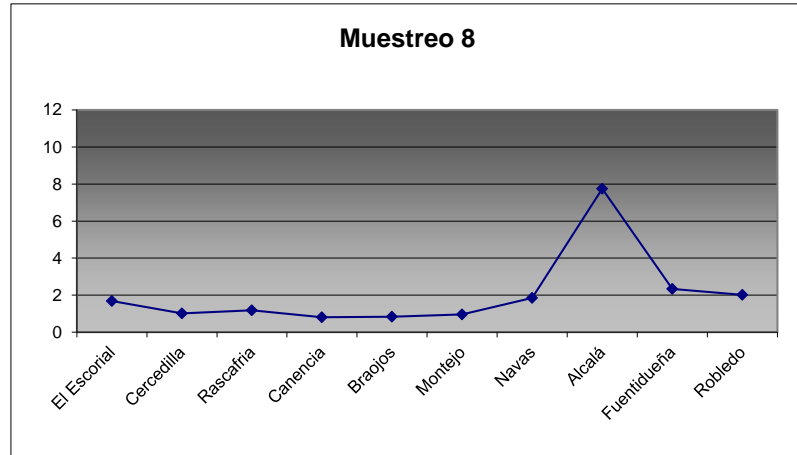
Figura XII. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 7

Muestreo 8 (02-05/06/2015):

Tabla VII. Concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 8

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,68
E-021-02	Cercedilla	1,01
E-021-05	Rascafría	1,18
E-021-07	Canencia	0,80
E-021-11	Braojos	0,84
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,96
E-023-03	Navas del Rey	1,84
E-024-01	Alcalá de Henares	7,74
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,33
E-026-02	Robledo de Chavela	2,01
Media		2,04

Figura XIII. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 8



En la presente revisión, el nivel general de inmisión se reduce con respecto a la quincena anterior, repitiéndose en general el esquema visto hasta el momento: niveles

relativamente elevados en la zona sureste de la comunidad y tasas bajas en el extremo septentrional de la sierra.

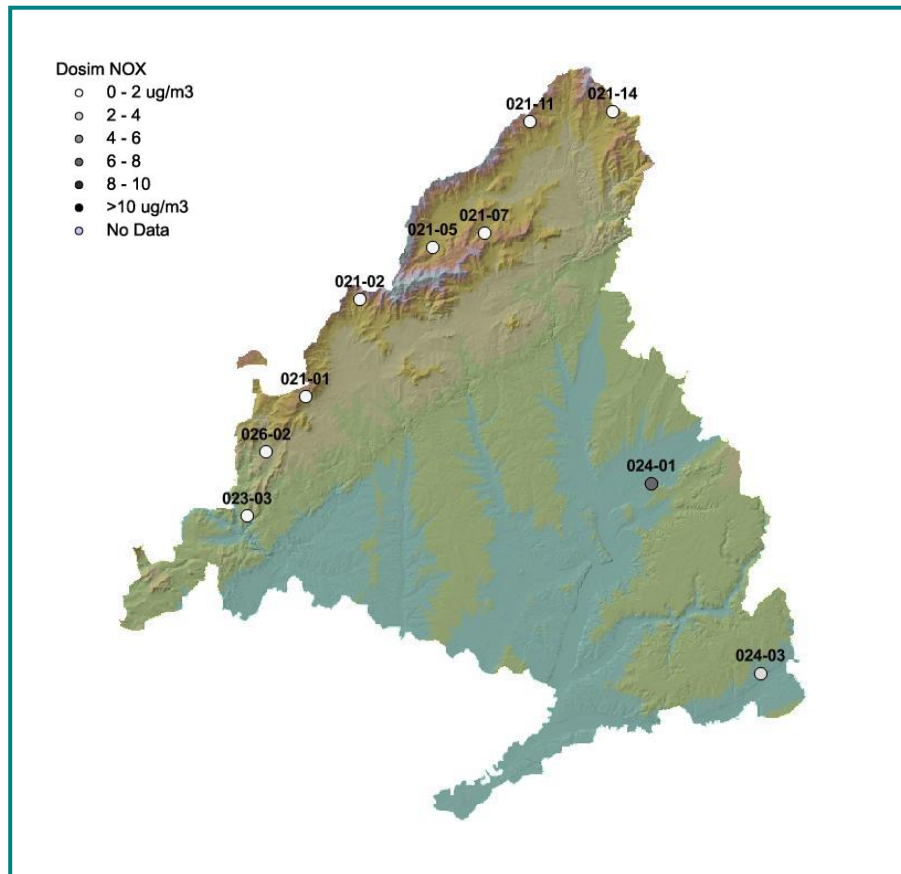


Figura XIV. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 8

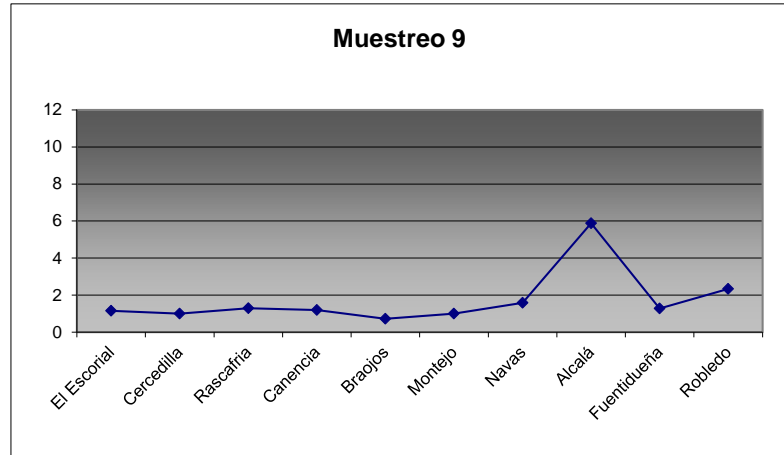


Muestreo 9 (17-18/06/2015):

Tabla VIII. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 9

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,15
E-021-02	Cercedilla	1,00
E-021-05	Rascafría	1,29
E-021-07	Canencia	1,19
E-021-11	Braojos	0,72
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,00
E-023-03	Navas del Rey	1,57
E-024-01	Alcalá de Henares	5,88
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,28
E-026-02	Robledo de Chavela	2,33
Media		1,74

Figura XV. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 9



En la presente revisión, destaca la disminución de la inmisión en Alcalá de Henares fenómeno observado en las mismas fechas de 2009 y 2014 y que podría estar relacionada con algún comportamiento estacional de la

fente de emisión; mientras que a lo largo de la sierra norte se registran valores comparativamente bajos, en torno a 1 µg/m³.

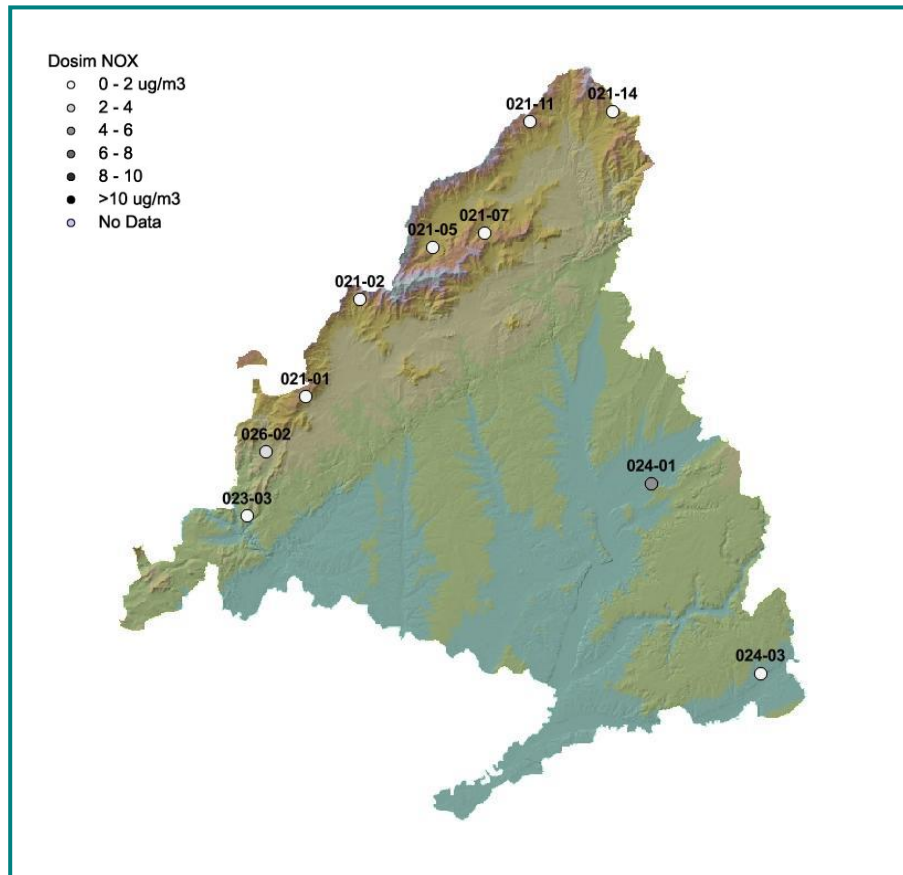


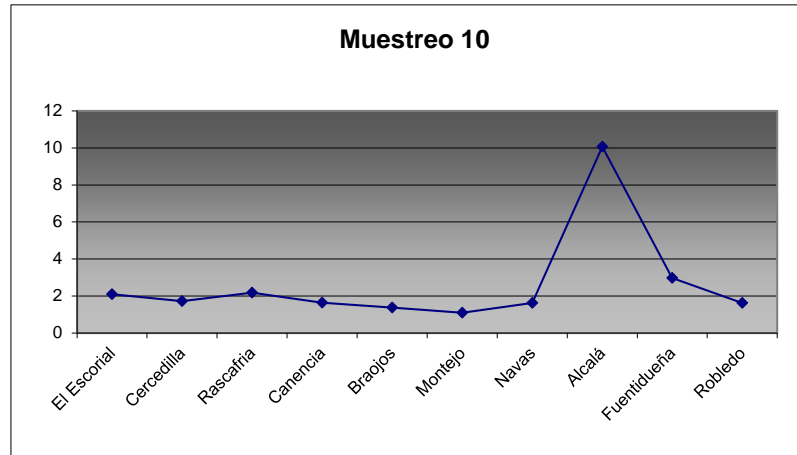
Figura XVI. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 9

Muestreo 10 (29-30/06/2015):

Tabla IX. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 10

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	2,10
E-021-02	Cercedilla	1,72
E-021-05	Rascafría	2,18
E-021-07	Canencia	1,64
E-021-11	Braojos	1,36
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,09
E-023-03	Navas del Rey	1,62
E-024-01	Alcalá de Henares	10,07
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,97
E-026-02	Robledo de Chavela	1,62
Media		2,64

Figura XVII. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 10



En la presente revisión se advierte un incremento en los niveles de inmisión de fondo, particularmente marcado en Alcalá de Henares, donde se superan los 10 µg/m³,

seguido de Fuentidueña de Tajo, junto con niveles mucho más bajos en el resto de la sierra.

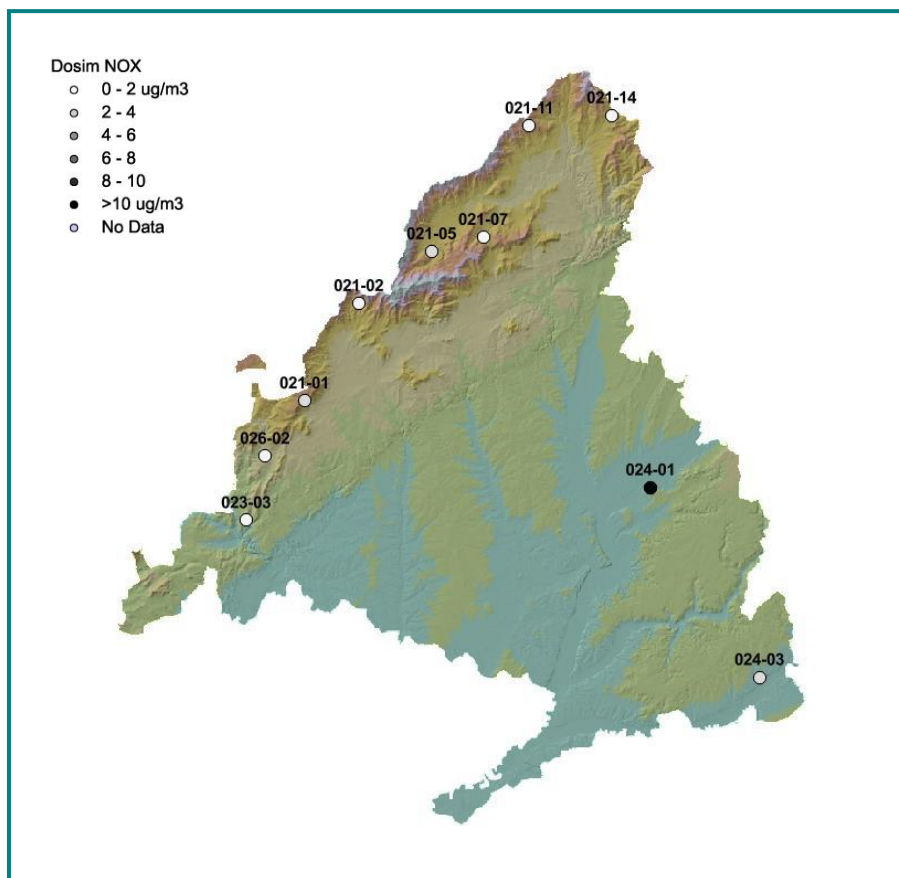


Figura XVIII. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 10

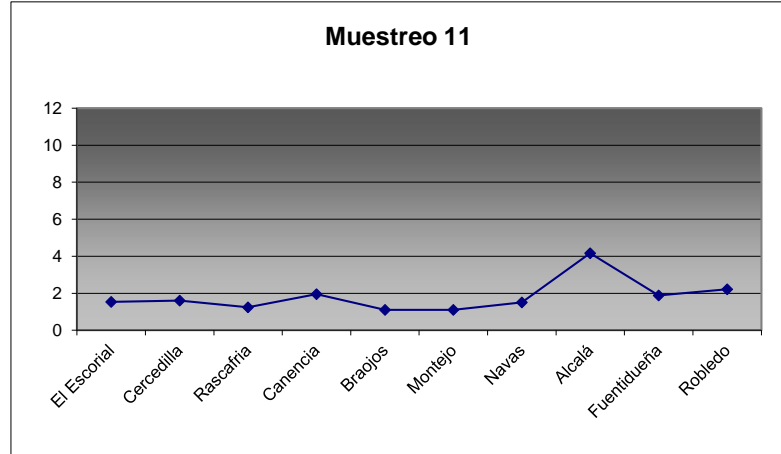


Muestreo 11 (20-21/07/2015):

Tabla X. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 11

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,54
E-021-02	Cercedilla	1,60
E-021-05	Rascafría	1,25
E-021-07	Canencia	1,95
E-021-11	Braojos	1,10
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,10
E-023-03	Navas del Rey	1,51
E-024-01	Alcalá de Henares	4,16
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,88
E-026-02	Robledo de Chavela	2,21
Media		1,83

Figura XIX. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 11



En la presente revisión se reducen los niveles generales de la comunidad, registrándose de nuevo un máximo, si bien más atenuado, en la consabida estación de Alcalá de

Henares, mientras se mantienen niveles mucho más homogéneos en el resto de estaciones de la red, que oscilan entre 1-2 µg/m³.

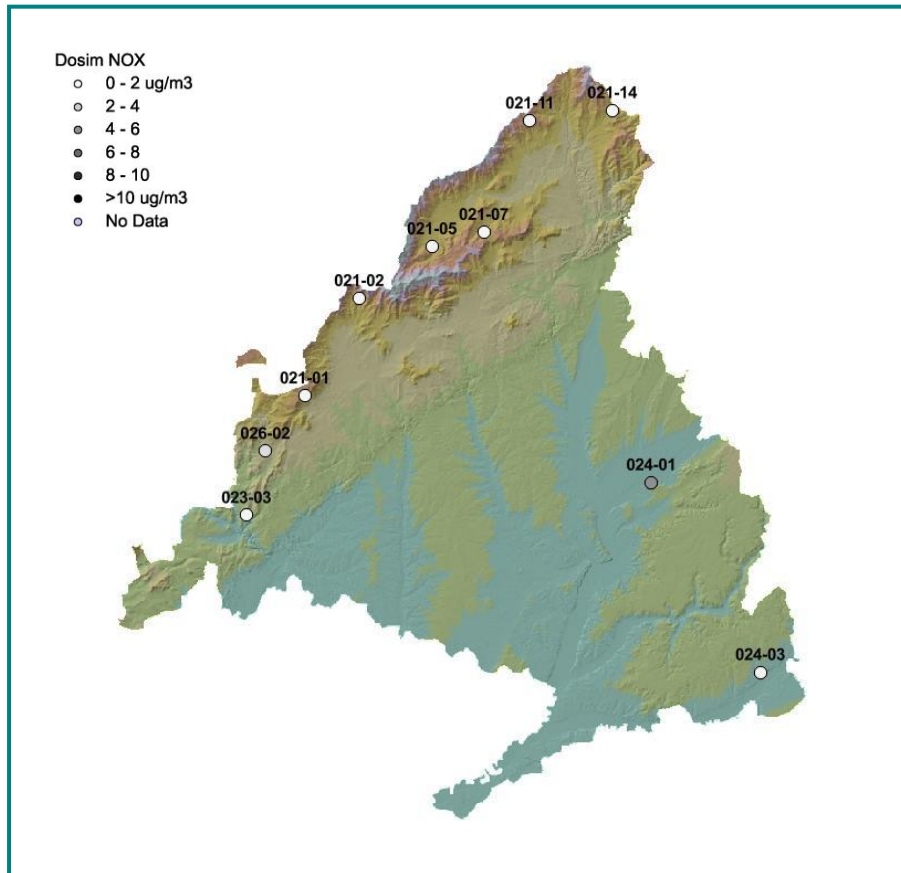


Figura XX. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 11

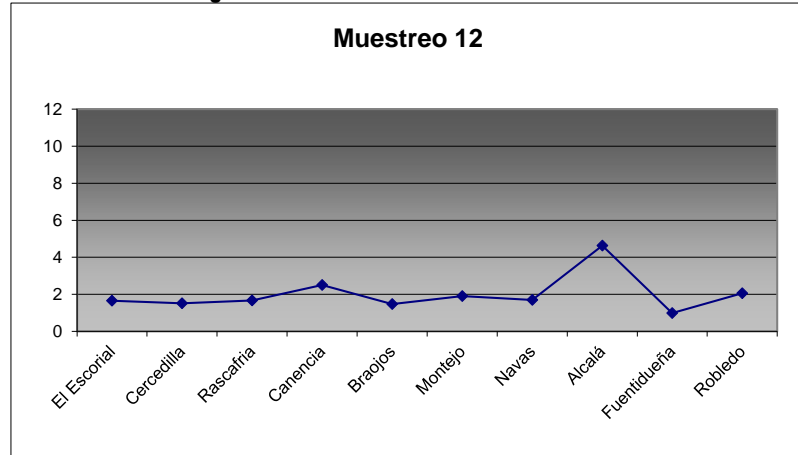


Muestreo 12 (03-04/08/2015):

Tabla XI. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 12

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,65
E-021-02	Cercedilla	1,51
E-021-05	Rascafría	1,67
E-021-07	Canencia	2,50
E-021-11	Braojos	1,47
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,90
E-023-03	Navas del Rey	1,69
E-024-01	Alcalá de Henares	4,62
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	0,98
E-026-02	Robledo de Chavela	2,06
Media		2,00

Figura XXI. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 12



En la presente revisión el nivel de inmisión de fondo aumenta ligeramente, destacando de nuevo los niveles observados en Alcalá de Henares y en menor

medida un cierto repunte en Canencia, mientras que en el extremo opuesto , apenas se alcanza 1 µg/m³ en Fuentidueña.

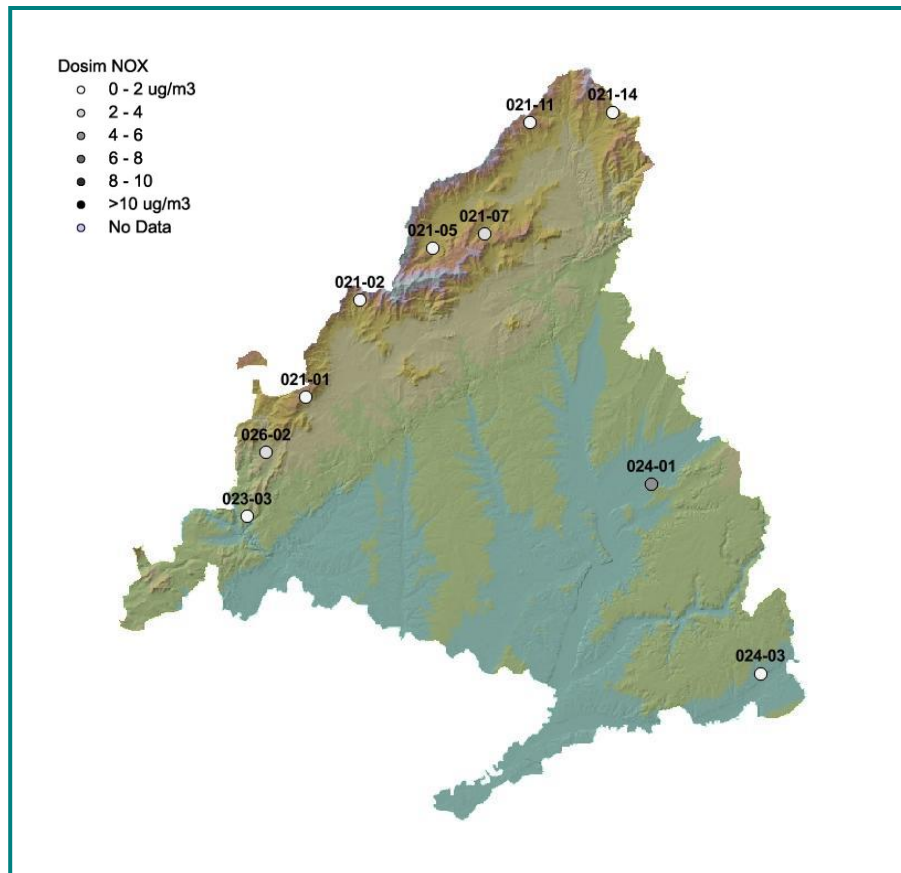


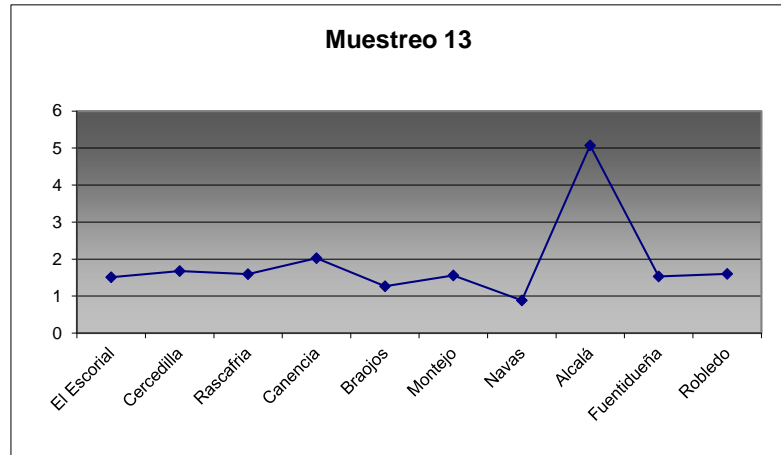
Figura XXII. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 12

Muestreo 13 (18-19/08/2015):

Tabla XII. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 13

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,51
E-021-02	Cercedilla	1,68
E-021-05	Rascafría	1,59
E-021-07	Canencia	2,02
E-021-11	Braojos	1,26
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,56
E-023-03	Navas del Rey	0,88
E-024-01	Alcalá de Henares	5,07
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	1,53
E-026-02	Robledo de Chavela	1,60
Media		1,87

Figura XXIII. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 13



En el muestreo se detecta un nivel muy similar al del muestreo anterior, con un ligero incremento en Alcalá y un valor que continúa siendo

comparativamente alto en Canencia; mientras que los menores niveles se han observado en Navas del Rey.

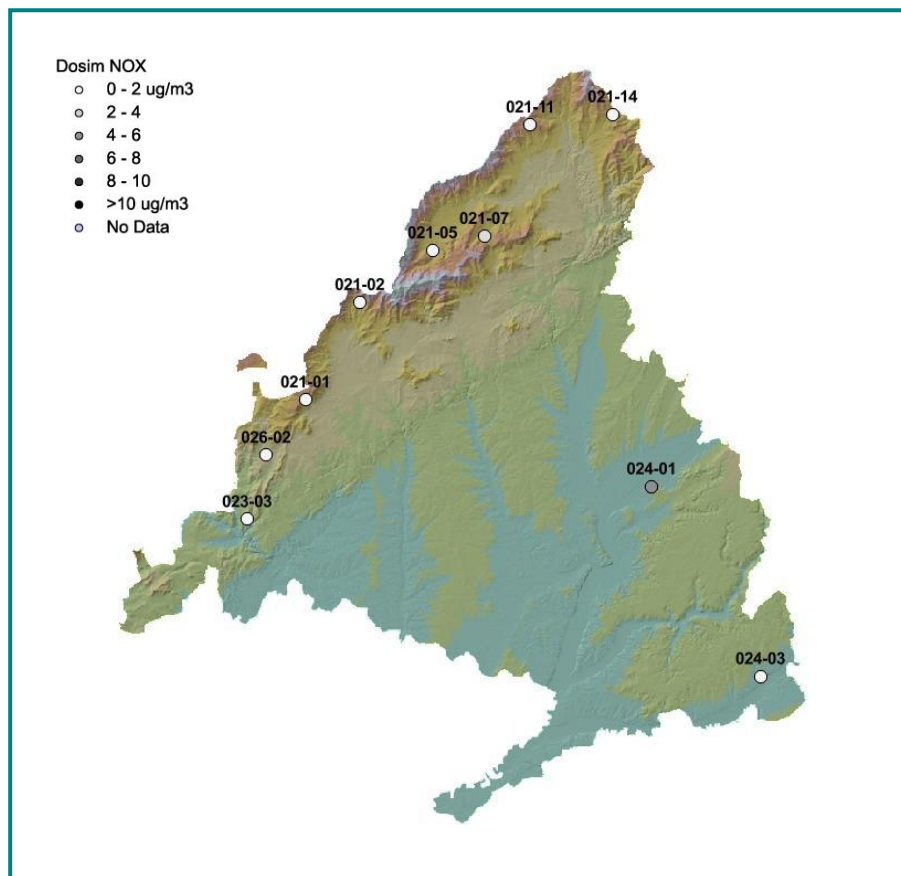


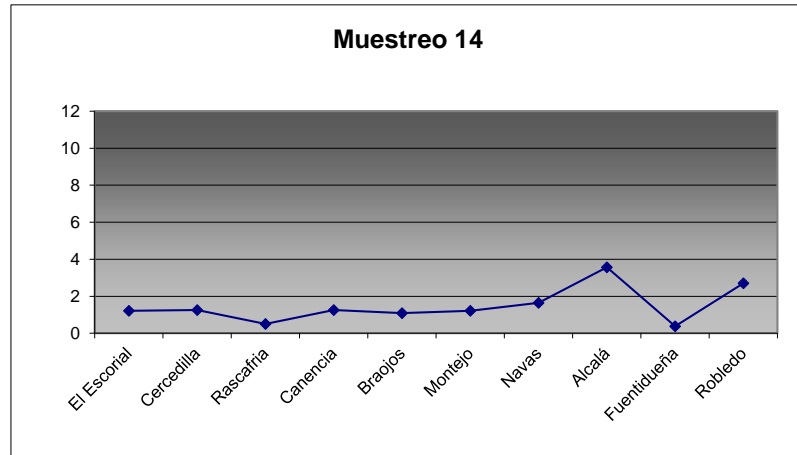
Figura XXIV. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 13

Muestreo 14 (02-03/09/2015):

Tabla XIII. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 14

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	1,22
E-021-02	Cercedilla	1,25
E-021-05	Rascafría	0,51
E-021-07	Canencia	1,25
E-021-11	Braojos	1,09
E-021-14	Montejo de la Sierra	1,21
E-023-03	Navas del Rey	1,64
E-024-01	Alcalá de Henares	3,57
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	0,37
E-026-02	Robledo de Chavela	2,70
Media		1,48

Figura XXV. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 14



En la presente revisión se reduce ligeramente el nivel general de concentración del contaminante en la comunidad, donde continúan registrándose los valores

máximos en Alcalá, destacando también el incremento habido en el punto de Robledo de Chavela.

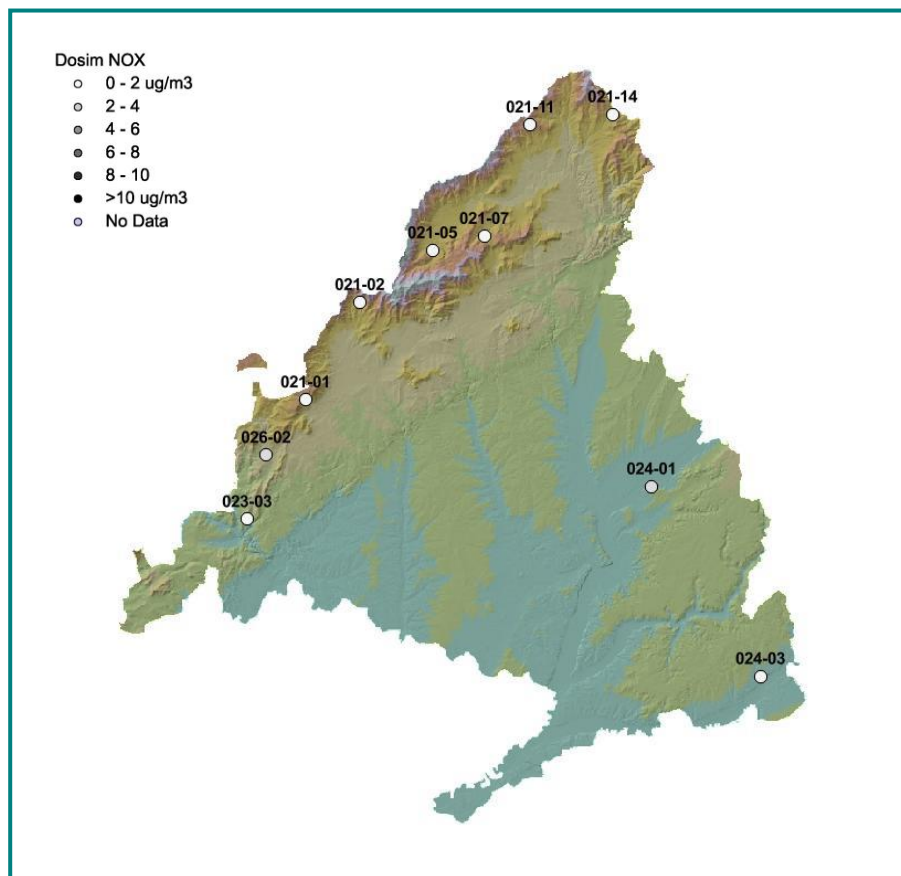


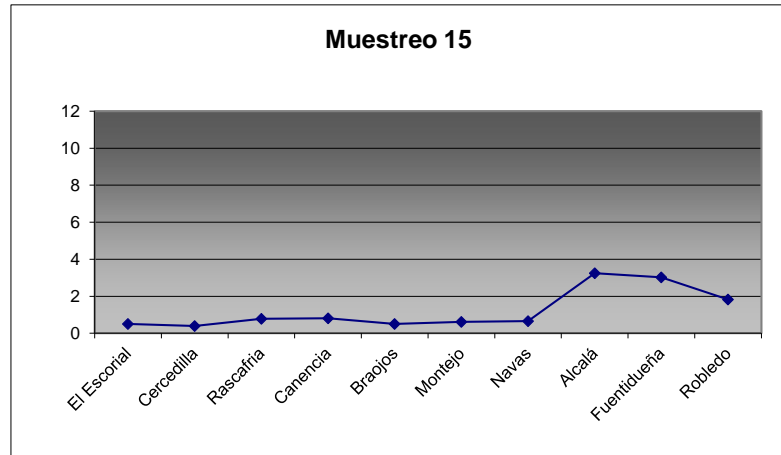
Figura XXVI. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 14

Muestreo 15 (16-17/09/2015):

Tabla XIV. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 15

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,51
E-021-02	Cercedilla	0,39
E-021-05	Rascafría	0,78
E-021-07	Canencia	0,82
E-021-11	Braojos	0,51
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,62
E-023-03	Navas del Rey	0,66
E-024-01	Alcalá de Henares	3,24
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,03
E-026-02	Robledo de Chavela	1,83
Media		1,24

Figura XXVII. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 15



En la presente revisión continúa la disminución general del nivel de inmisión en la comunidad, con varios puntos situados por debajo del nivel de 1 µg/m³ y con los

mayores niveles concentrados en el cuadrante sureste: Alcalá y Fuentidueña, donde se superan los 3 µg/m³.

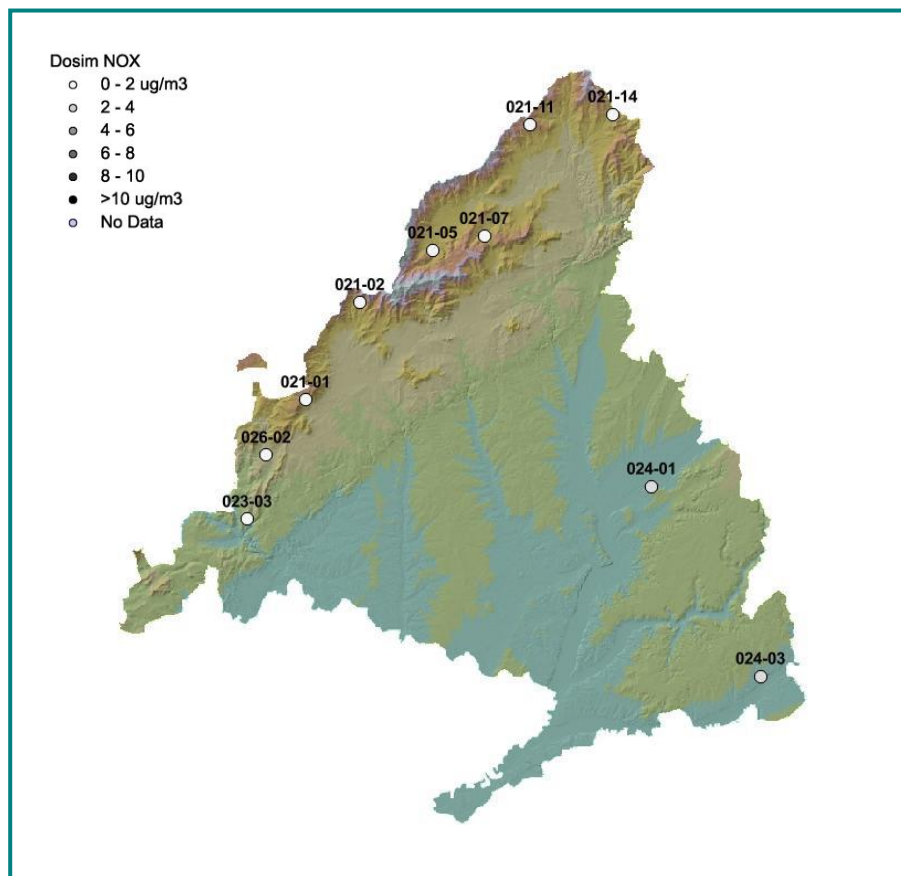


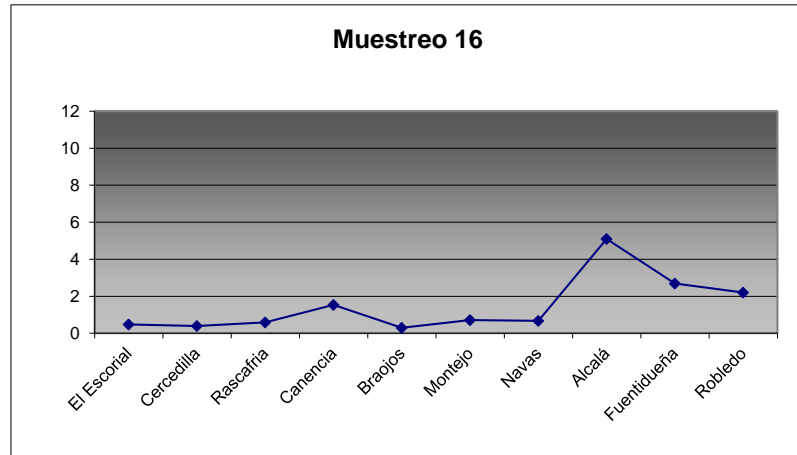
Figura XXVIII. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 15

Muestreo 16 (07-09/10/2015):

Tabla XV. Concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 16

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,47
E-021-02	Cercedilla	0,40
E-021-05	Rascafría	0,58
E-021-07	Canencia	1,54
E-021-11	Braojos	0,29
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,72
E-023-03	Navas del Rey	0,67
E-024-01	Alcalá de Henares	5,09
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	2,68
E-026-02	Robledo de Chavela	2,21
Media		1,47

Figura XXIX. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 16



En la presente revisión se observa un ligero incremento de los niveles, particularmente marcado en Alcalá y en menor medida Canencia, mientras que se registran tasas bajas a

lo largo de toda la sierra, entre Montejo y El Escorial, con algún leve repunte en Canencia.

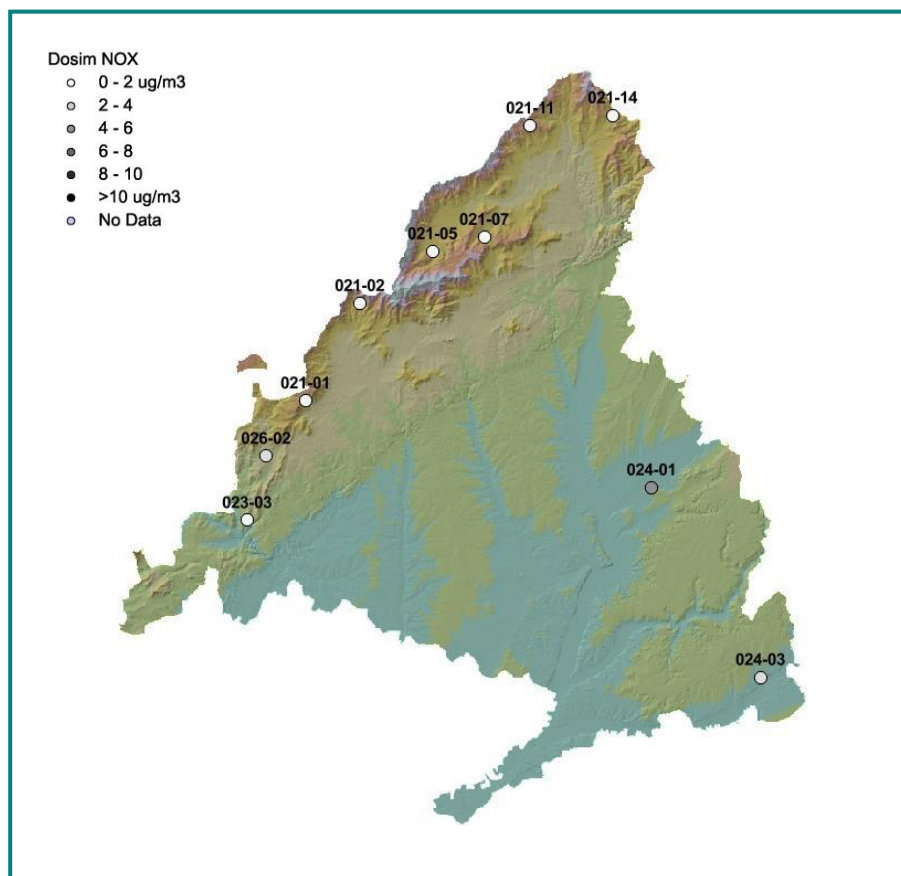


Figura XXX. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 16

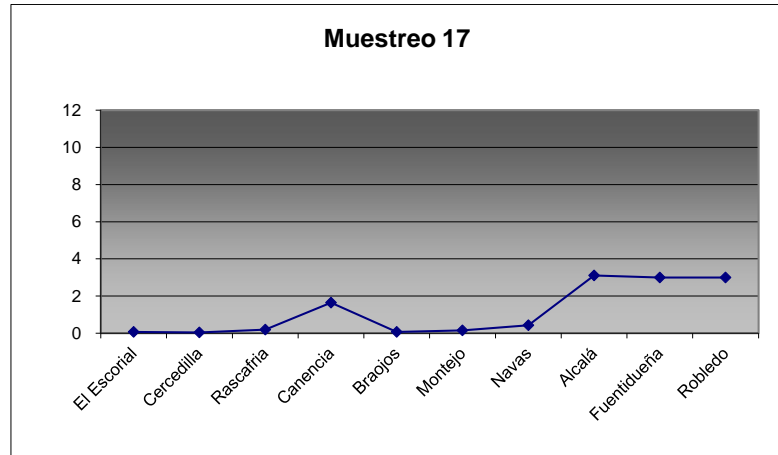


Muestreo 17 (21-22/10/2015):

Tabla XVI. Concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 17

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,06
E-021-02	Cercedilla	0,05
E-021-05	Rascafría	0,19
E-021-07	Canencia	1,64
E-021-11	Braojos	0,07
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,15
E-023-03	Navas del Rey	0,42
E-024-01	Alcalá de Henares	3,11
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,00
E-026-02	Robledo de Chavela	2,99
Media		1,17

Figura XXXI. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 17



De nuevo continúa observándose una ligera pero sostenida reducción en el nivel de inmisión media de la comunidad, conformándose una zona de mayor afección en el cuadrante sureste, al que se une

Robledo de Chavela, donde se alcanzan los 3 µg/m³ junto con niveles mucho menores en el resto de la sierra, de entre los que apenas sobresale Canencia.

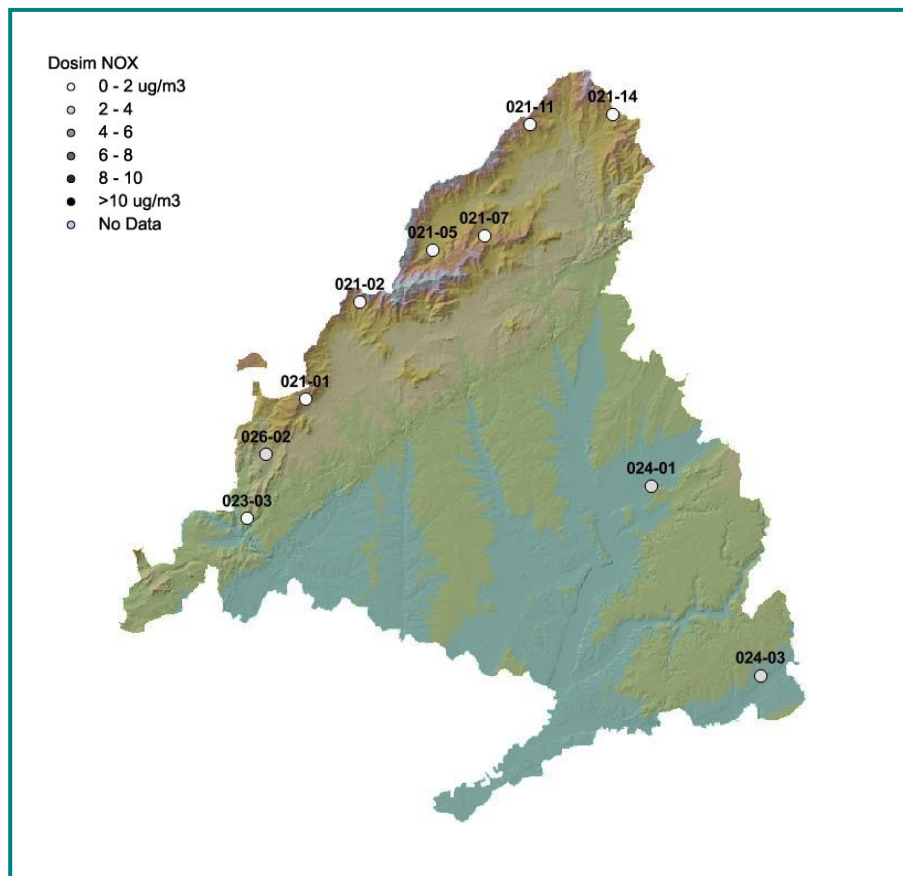


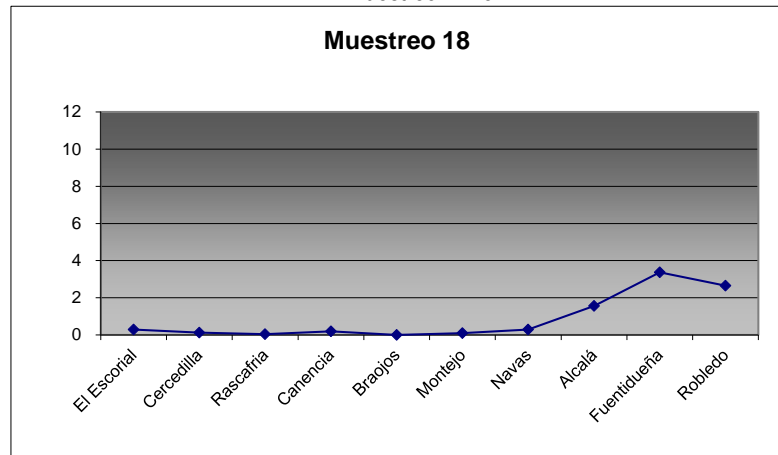
Figura XXXII. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo nº 17

Muestreo 18 (03-05/11/2015):

Tabla XVII. Concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 18

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,29
E-021-02	Cercedilla	0,12
E-021-05	Rascafría	0,04
E-021-07	Canencia	0,20
E-021-11	Braojos	0,00
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,10
E-023-03	Navas del Rey	0,29
E-024-01	Alcalá de Henares	1,55
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,37
E-026-02	Robledo de Chavela	2,65
Media		0,86

Figura XXXIII. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 18



Continúa observándose la tónica enunciada en el muestreo anterior: reducción general de los niveles,

con mayores tasas en el eje Alcalá-Fuentidueña-Robledo y valores casi testimoniales en el resto.

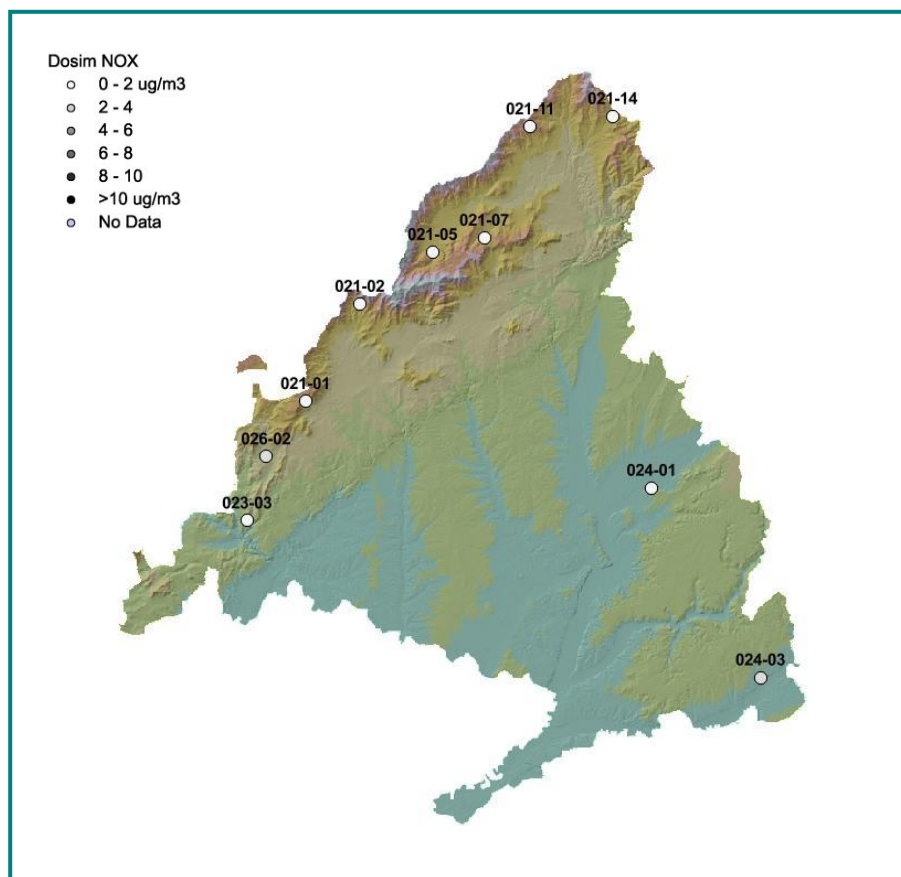


Figura XXXIV. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 18

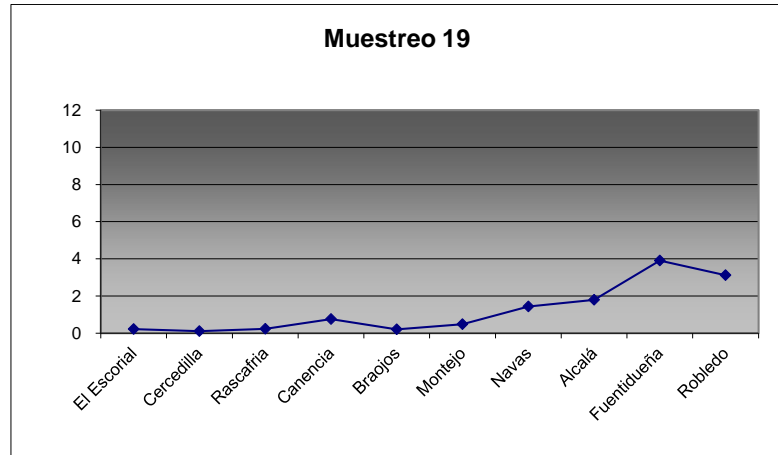


Muestreo 19 (26-27/11/2015):

Tabla XVIII. Concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 19

Parcela	Término municipal	µg/m ³
E-021-01	El Escorial	0,22
E-021-02	Cercedilla	0,11
E-021-05	Rascafría	0,23
E-021-07	Canencia	0,76
E-021-11	Braojos	0,20
E-021-14	Montejo de la Sierra	0,48
E-023-03	Navas del Rey	1,44
E-024-01	Alcalá de Henares	1,80
E-024-03	Fuentidueña de Tajo	3,91
E-026-02	Robledo de Chavela	3,12
Media		1,23

Figura XXXV. Gráfico de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 19



En la última de las revisiones efectuadas, se observa un ligero incremento del nivel de inmisión de fondo en la comunidad, tasas elevadas en Alcalá-Fuentidueña-Robledo, a las que se suma un

incremento de concentración en Navas del Rey; un nivel ligeramente superior en Canencia, si bien más mitigado que en otras revisiones, y valores casi testimoniales en el extremo norte de la comunidad.

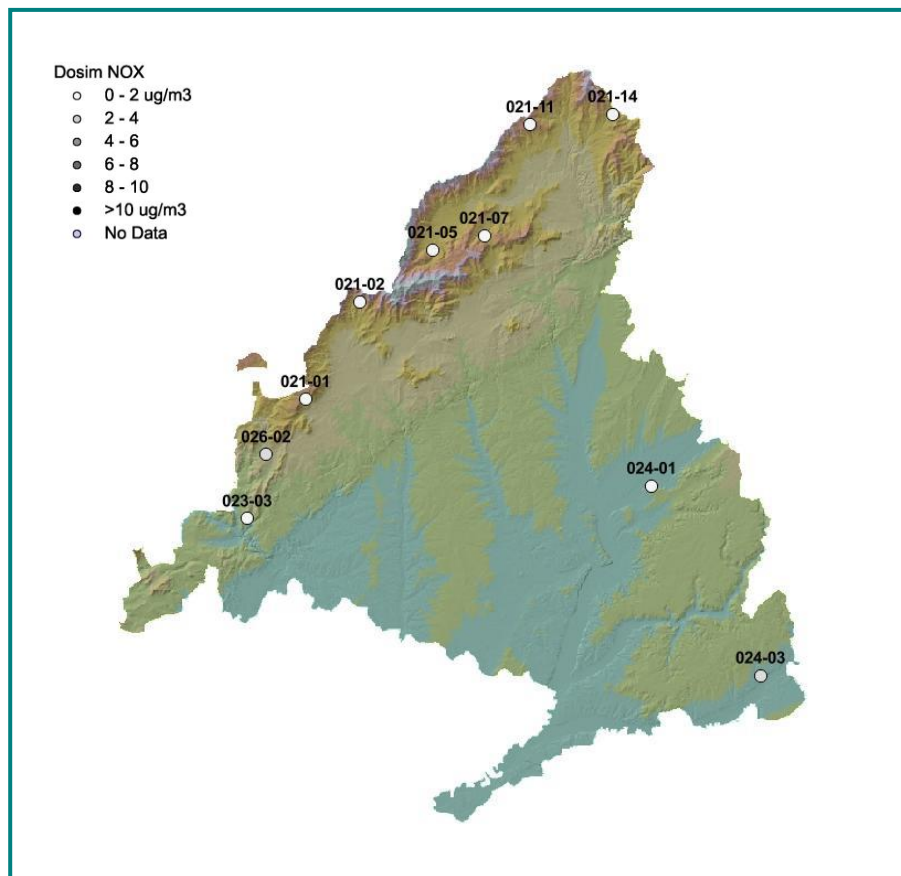


Figura XXXVI. Mapa de concentraciones de NO₂ en el muestreo n° 19

5.4. NIVELES DE CONTAMINANTES ATMOSFÉRICOS POR PARCELAS.

5.4.1. OZONO

E-021-01 (San Lorenzo de El Escorial):

Tabla 5.4.1.I. Concentración Ozono El Escorial

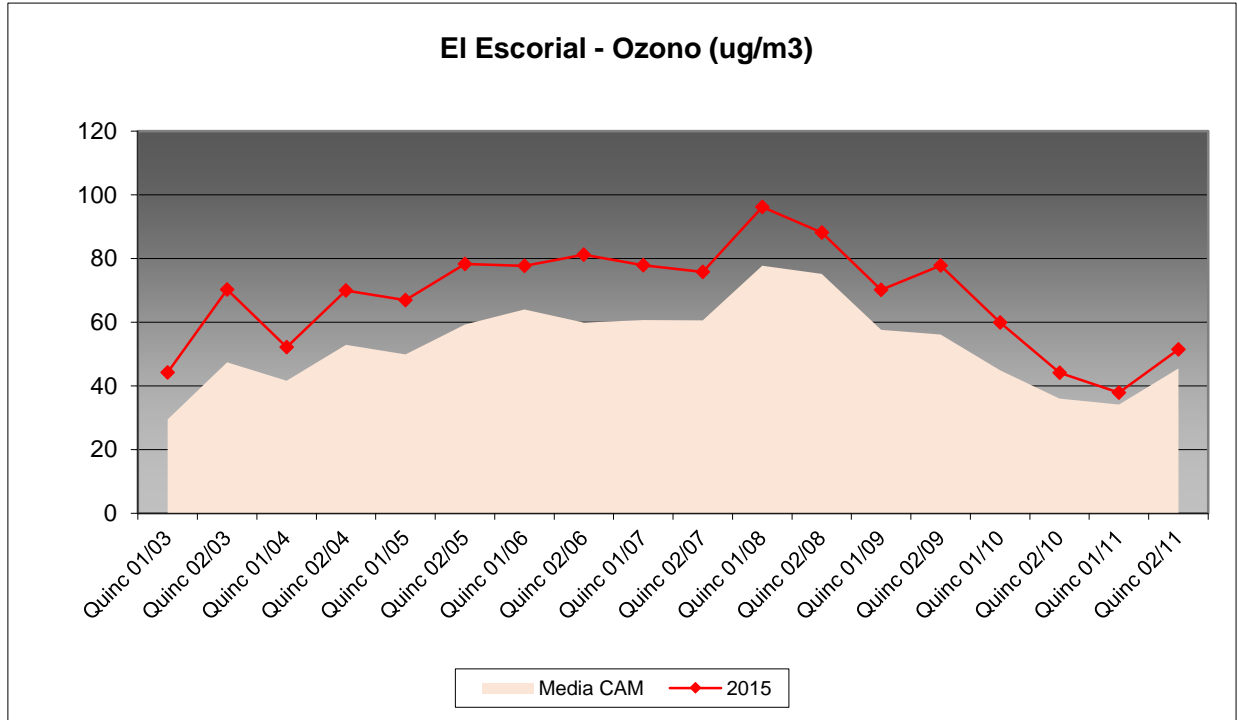
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	44,15
3	Quinc 02/03	17/03/2015	70,18
4	Quinc 01/04	09/04/2015	52,12
5	Quinc 02/04	23/04/2015	69,90
6	Quinc 01/05	08/05/2015	66,92
4	Quinc 02/05	22/05/2015	78,25
8	Quinc 01/06	05/06/2015	77,64
9	Quinc 02/06	17/06/2015	81,20
10	Quinc 01/07	29/06/2015	77,85
11	Quinc 02/07	21/07/2015	75,74
12	Quinc 01/08	04/08/2015	96,11
13	Quinc 02/08	18/08/2015	88,14
14	Quinc 01/09	02/09/2015	70,08
15	Quinc 02/09	17/09/2015	77,74
16	Quinc 01/10	08/10/2015	59,88
17	Quinc 02/10	22/10/2015	44,08
18	Quinc 01/11	03/11/2015	37,80
19	Quinc 02/11	27/11/2015	51,44
Media:			67,74

En la presente revisión destaca en primer lugar un ligero incremento del valor medio obtenido en la serie con respecto a lo obtenido en la última campaña de la que se dispone de datos, y que se sitúa en torno a $67,74 \mu\text{g}/\text{m}^3$. La mayoría de los registros se ha movido en la banda de los $50\text{-}70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, excepto en las colas de la distribución, al inicio y final de la campaña, y destacando los elevados valores obtenidos a comienzos de agosto, cuando casi se alcanzan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y las bajas tasas obtenidas al comienzo y final del año, cuando la radiación solar y temperatura que necesita para su formación disminuye y

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



Figura 5.4.1.I. Evolución concentración Ozono durante la campaña





E-021-02 (Cercedilla):

Tabla 5.4.1.II. Concentración Ozono Cercedilla

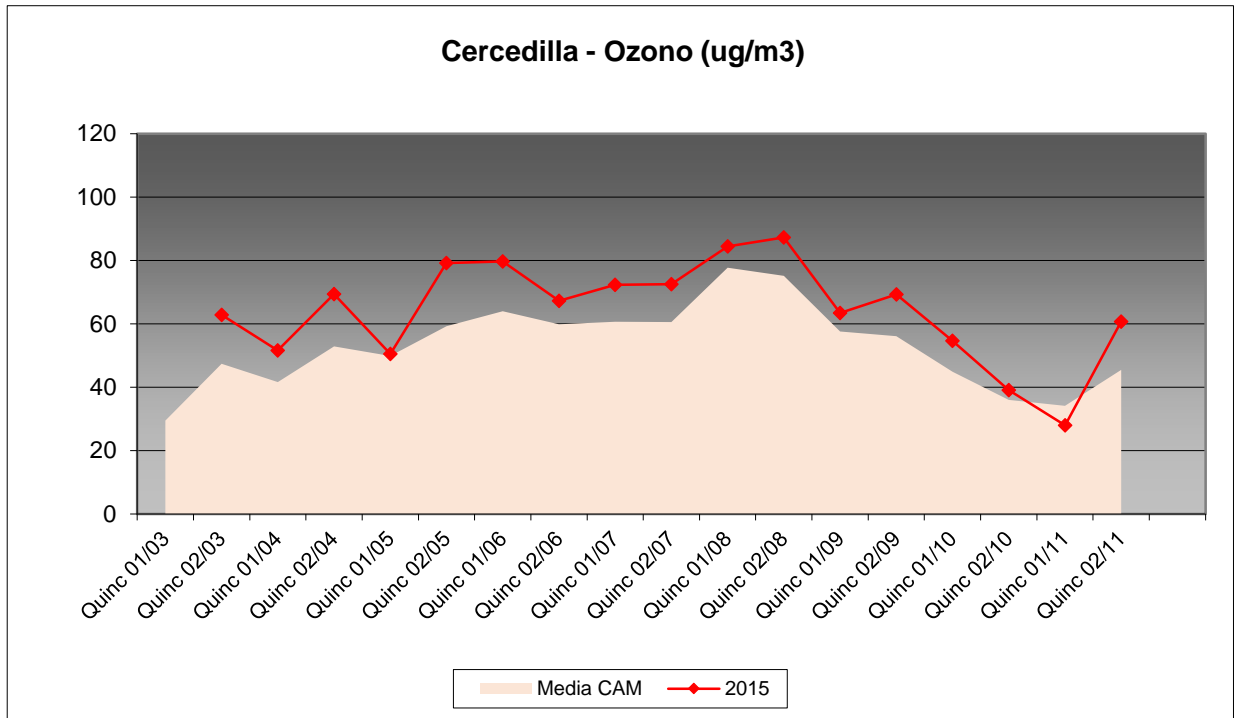
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Inaccesible
2	Quinc 01/03	06/03/2015	Instalación
3	Quinc 02/03	16/03/2015	62,78
4	Quinc 01/04	09/04/2015	51,55
5	Quinc 02/04	23/04/2015	69,42
6	Quinc 01/05	08/05/2015	50,48
4	Quinc 02/05	22/05/2015	79,22
8	Quinc 01/06	05/06/2015	79,63
9	Quinc 02/06	17/06/2015	67,21
10	Quinc 01/07	30/06/2015	72,30
11	Quinc 02/07	20/07/2015	72,46
12	Quinc 01/08	04/08/2015	84,39
13	Quinc 02/08	18/08/2015	87,29
14	Quinc 01/09	02/09/2015	63,44
15	Quinc 02/09	17/09/2015	69,31
16	Quinc 01/10	09/10/2015	54,66
17	Quinc 02/10	22/10/2015	39,08
18	Quinc 01/11	05/11/2015	27,94
19	Quinc 02/11	26/11/2015	60,65
Media:			64,22

Al contrario que en el caso anterior, los niveles de la concentración por ozono han disminuido ligeramente respecto a la campaña anterior, pasando de 70 a 64 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al igual que en el caso anterior, la estación se dispone en una zona de cota elevada, no protegida frente a vientos aunque no tan directamente orientada sobre los núcleos urbanos de Madrid, por lo que no es de extrañar tampoco la aparición de niveles altos de este contaminante. Como es habitual, y debido al incremento

de la radiación solar y la temperatura, los mayores niveles se han registrado a mediados del verano, cuando se alcanzan los 87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y los menores, del orden de 28 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ se han registrado a finales de la campaña, con tasas también relativamente elevadas a lo largo del primer tramo de muestreo. Como en el caso de El Escorial, los valores se han situado por encima de la media de la comunidad en casi todos los meses muestreados.



Figura 5.4.1. II. Evolución concentración Ozono durante la campaña



E-021-05 (Rascafría):

Tabla 5.4.1.III. Concentración Ozono Rascafría

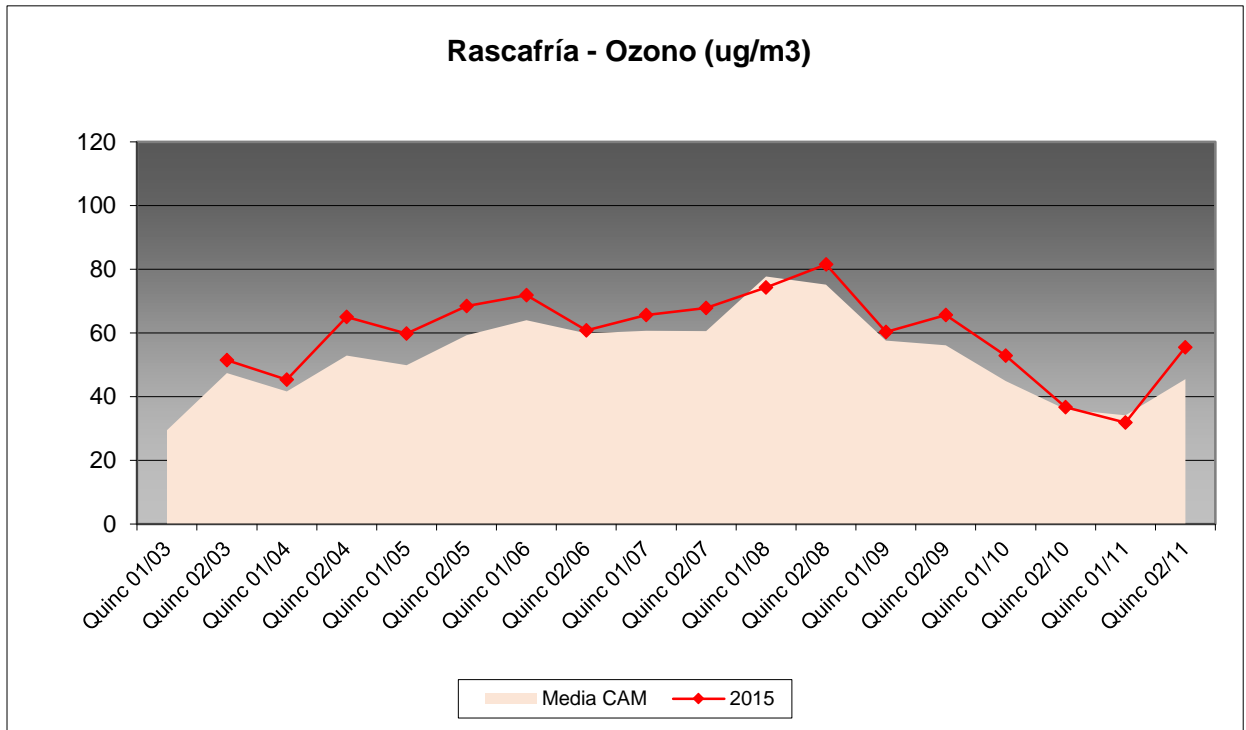
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Sop. roto
2	Quinc 01/03	06/03/2015	Instalación
3	Quinc 02/03	16/03/2015	51,43
4	Quinc 01/04	09/04/2015	45,29
5	Quinc 02/04	23/04/2015	65,00
6	Quinc 01/05	08/05/2015	59,78
4	Quinc 02/05	22/05/2015	68,45
8	Quinc 01/06	05/06/2015	71,79
9	Quinc 02/06	17/06/2015	60,76
10	Quinc 01/07	30/06/2015	65,61
11	Quinc 02/07	20/07/2015	67,77
12	Quinc 01/08	04/08/2015	74,28
13	Quinc 02/08	18/08/2015	81,43
14	Quinc 01/09	02/09/2015	60,26
15	Quinc 02/09	17/09/2015	65,57
16	Quinc 01/10	09/10/2015	52,87
17	Quinc 02/10	21/10/2015	36,60
18	Quinc 01/11	05/11/2015	31,83
19	Quinc 02/11	26/11/2015	55,45
Media:			59,66

En la presente campaña destaca en primer lugar la ligera reducción de los niveles de ozono en esta estación con respecto al año pasado, pasando de 67 a 60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Al igual que en los casos anteriores (y por las mismas razones) los mayores valores se han registrado en la

segunda quincena de agosto, superándose los 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y las menores tasas a finales de campaña. En general, la estación ha registrado valores ligeramente por encima de la media de la comunidad.



Figura 5.4.1.III. Evolución concentración Ozono durante la campaña



E-021-07 (Canencia de la Sierra):

Tabla 5.4.1.IV. Concentración Ozono Canencia de la Sierra

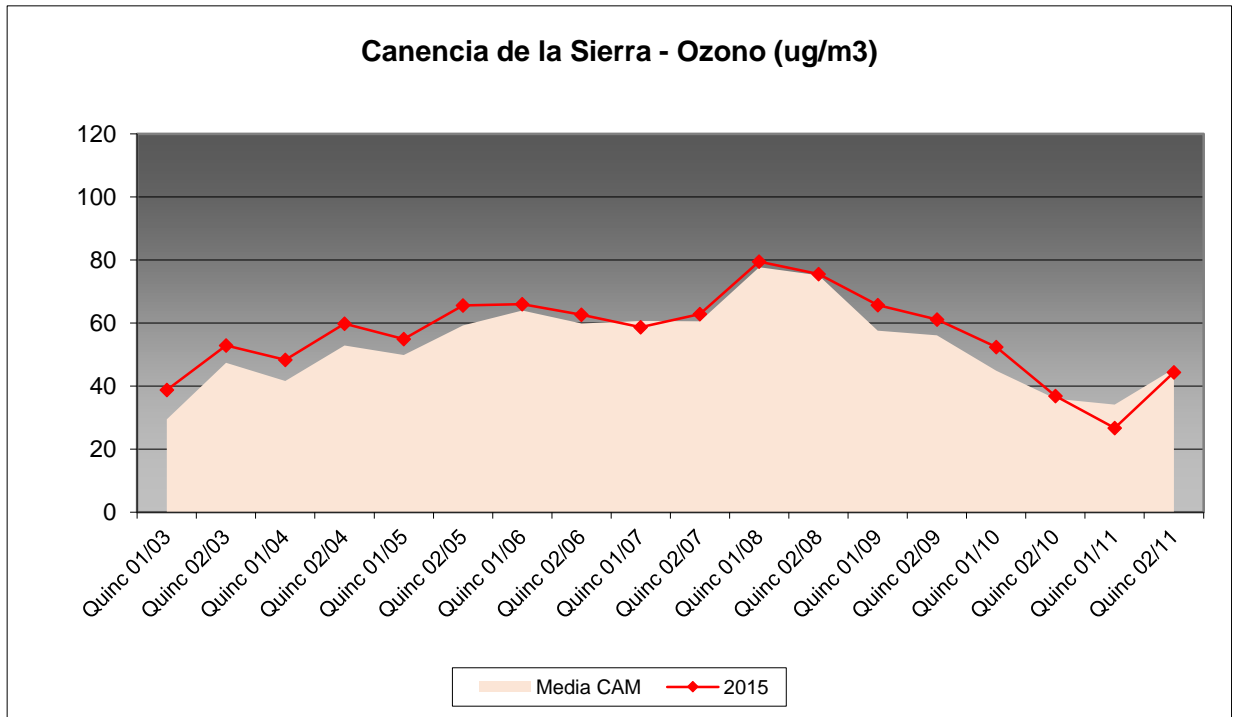
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	38,78
3	Quinc 02/03	16/03/2015	52,86
4	Quinc 01/04	09/04/2015	48,33
5	Quinc 02/04	23/04/2015	59,75
6	Quinc 01/05	08/05/2015	54,93
4	Quinc 02/05	22/05/2015	65,61
8	Quinc 01/06	05/06/2015	65,95
9	Quinc 02/06	17/06/2015	62,64
10	Quinc 01/07	30/06/2015	58,67
11	Quinc 02/07	20/07/2015	62,84
12	Quinc 01/08	04/08/2015	79,51
13	Quinc 02/08	18/08/2015	75,55
14	Quinc 01/09	02/09/2015	65,64
15	Quinc 02/09	17/09/2015	61,06
16	Quinc 01/10	09/10/2015	52,41
17	Quinc 02/10	21/10/2015	36,80
18	Quinc 01/11	05/11/2015	26,62
19	Quinc 02/11	26/11/2015	44,34
Media:			56,24

En la estación de Canencia de la Sierra, próxima a la anterior de Rascafría se ha registrado un comportamiento similar: ligera reducción de los niveles respecto al año pasado, que disminuyen desde los 61 a los 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, registrándose los mayores valores en coincidencia con las elevadas temperaturas de comienzos de agosto, cuando se registró una importante ola de calor en toda España; y

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



Figura 5.4.1.IV. Evolución concentración Ozono durante la campaña





E-021-11 (Braojos):

Tabla 5.4.1. V. Concentración Ozono Braojos

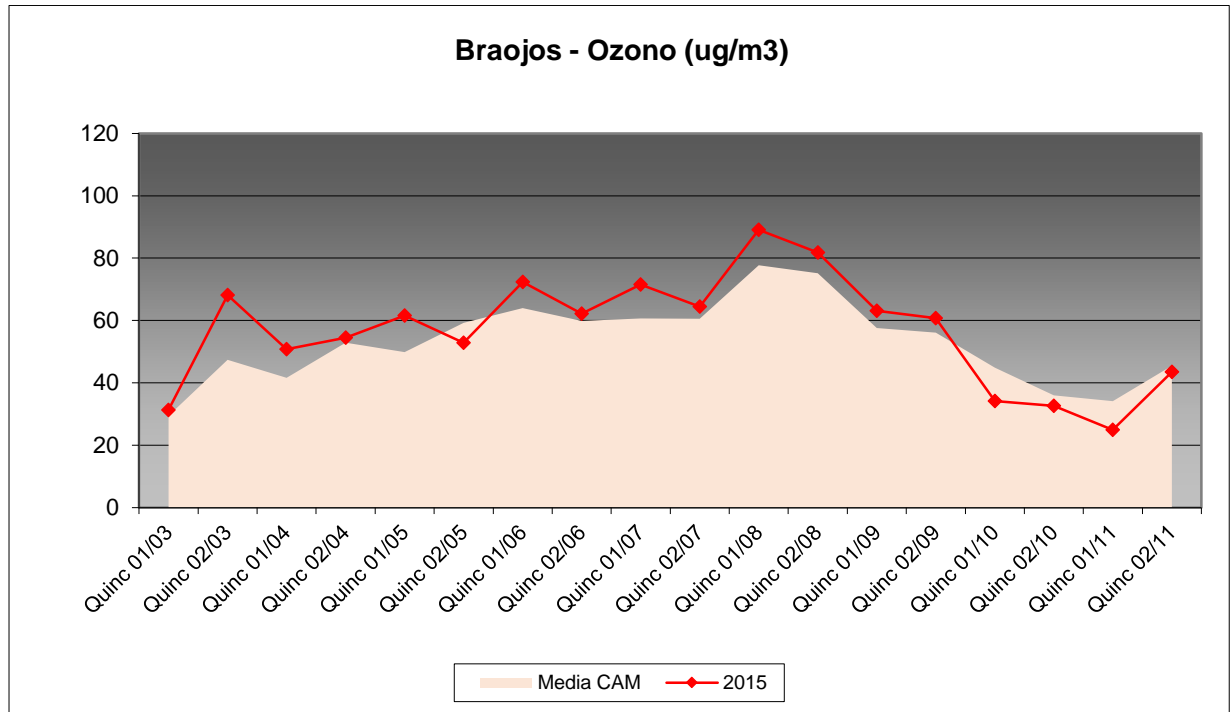
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	31,29
3	Quinc 02/03	16/03/2015	68,16
4	Quinc 01/04	09/04/2015	50,80
5	Quinc 02/04	23/04/2015	54,52
6	Quinc 01/05	08/05/2015	61,56
4	Quinc 02/05	22/05/2015	52,82
8	Quinc 01/06	05/06/2015	72,37
9	Quinc 02/06	17/06/2015	62,16
10	Quinc 01/07	30/06/2015	71,46
11	Quinc 02/07	20/07/2015	64,42
12	Quinc 01/08	04/08/2015	89,12
13	Quinc 02/08	18/08/2015	81,81
14	Quinc 01/09	02/09/2015	63,12
15	Quinc 02/09	17/09/2015	60,78
16	Quinc 01/10	09/10/2015	34,18
17	Quinc 02/10	21/10/2015	32,64
18	Quinc 01/11	05/11/2015	24,94
19	Quinc 02/11	26/11/2015	43,44
Media:			56,64

En la estación de Braojos, y en lo que parece ir configurándose como una tónica de la Red, se han registrado valores menores a los habidos en la revisión anterior, disminuyendo el nivel de inmisión de fondo en cerca de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a lo largo de este periodo; obteniéndose los valores máximos a comienzos del mes de agosto, cuando casi se alcanzan los $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y

reduciéndose hasta casi 25 a comienzos de noviembre, para experimentar un nuevo aumento a finales del mes. Los niveles observados en Braojos tienden a disponerse por encima de la media de la comunidad a lo largo de la primavera y el verano, para situarse por debajo a medida que va progresando el otoño.



Figura 5.4.1.V. Evolución concentración Ozono durante la campaña





E-021-14 (Montejo de la Sierra):

Tabla 5.4.1.VI. Concentración Ozono Montejo de la Sierra

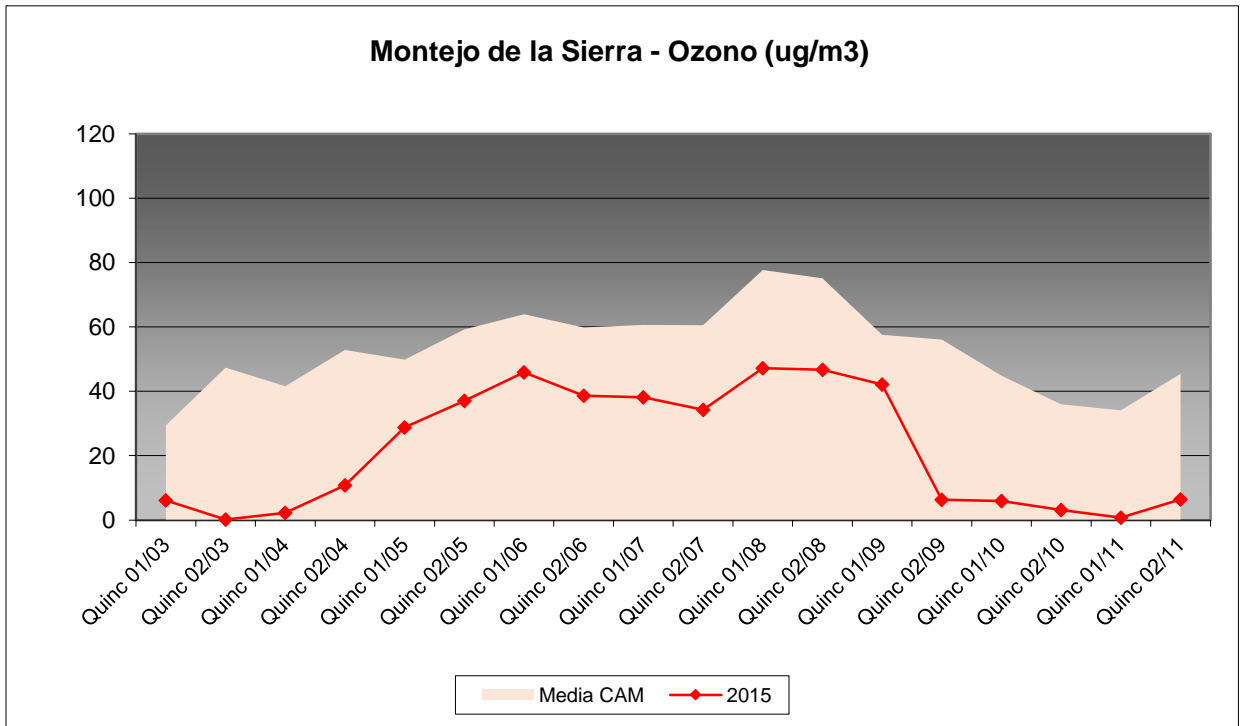
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	6,10
3	Quinc 02/03	16/03/2015	0,18
4	Quinc 01/04	09/04/2015	2,20
5	Quinc 02/04	23/04/2015	10,78
6	Quinc 01/05	08/05/2015	28,75
4	Quinc 02/05	22/05/2015	37,06
8	Quinc 01/06	05/06/2015	45,92
9	Quinc 02/06	17/06/2015	38,68
10	Quinc 01/07	30/06/2015	38,12
11	Quinc 02/07	20/07/2015	34,31
12	Quinc 01/08	04/08/2015	47,22
13	Quinc 02/08	18/08/2015	46,70
14	Quinc 01/09	02/09/2015	42,10
15	Quinc 02/09	17/09/2015	6,33
16	Quinc 01/10	09/10/2015	5,91
17	Quinc 02/10	21/10/2015	3,16
18	Quinc 01/11	05/11/2015	0,79
19	Quinc 02/11	26/11/2015	6,45
Media:			22,26

En Montejo de la Sierra y como ha ocurrido en otras parcelas de la red aunque de forma más acusada, se ha registrado una brusca disminución de los valores de ozono, pasándose de una concentración media de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ el año pasado a los actuales $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcanzándose uno de los niveles más bajos de la serie histórica. El patrón temporal de concentraciones es similar

al de los puntos anteriores: máximos a comienzos de agosto y mínimos muy marcados a comienzos de la primavera y finales del otoño, cuando no se han superado los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En esta línea, los valores registrados en Montejo se han situado siempre por debajo de los valores medios de la comunidad.



Figura 5.4.1.VI. Evolución concentración Ozono durante la campaña



E-023-03 (Navas del Rey):

Tabla 5.4.1.VII. Concentración Ozono Navas del Rey

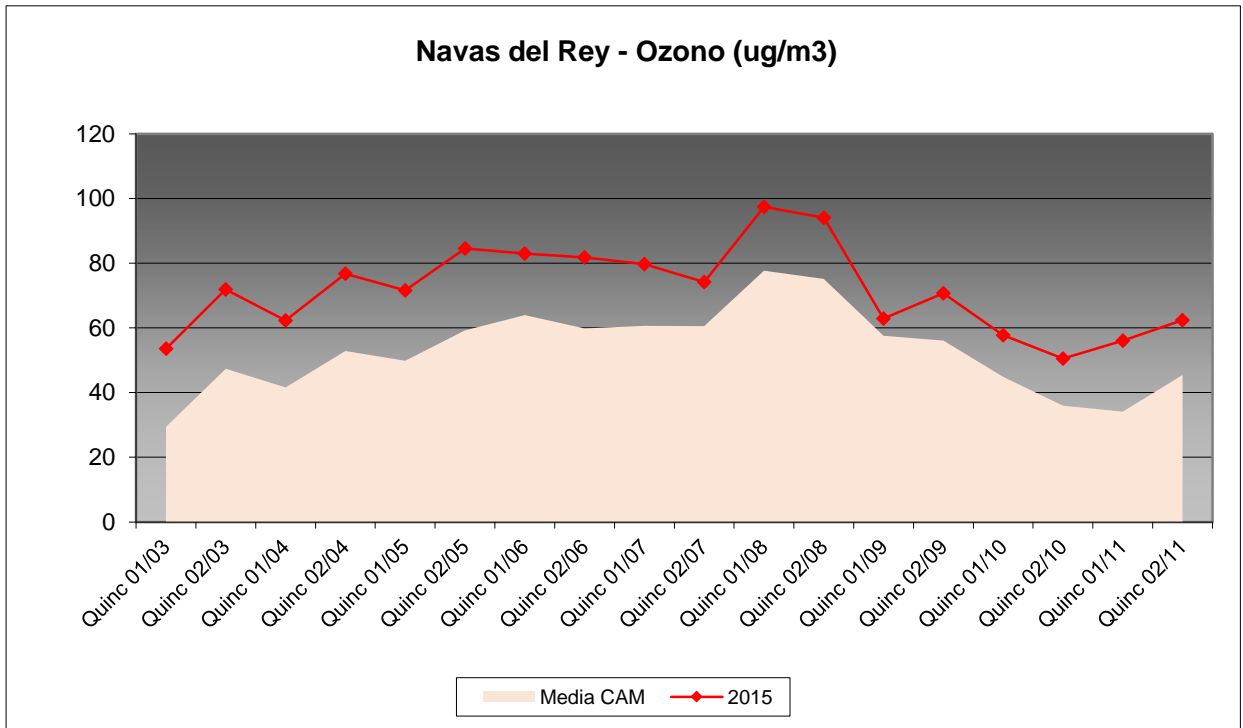
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	53,62
3	Quinc 02/03	17/03/2015	71,94
4	Quinc 01/04	09/04/2015	62,29
5	Quinc 02/04	23/04/2015	76,72
6	Quinc 01/05	08/05/2015	71,65
4	Quinc 02/05	22/05/2015	84,53
8	Quinc 01/06	05/06/2015	83,03
9	Quinc 02/06	17/06/2015	81,78
10	Quinc 01/07	29/06/2015	79,71
11	Quinc 02/07	21/07/2015	74,13
12	Quinc 01/08	04/08/2015	97,41
13	Quinc 02/08	18/08/2015	94,06
14	Quinc 01/09	02/09/2015	62,85
15	Quinc 02/09	17/09/2015	70,73
16	Quinc 01/10	08/10/2015	57,74
17	Quinc 02/10	22/10/2015	50,50
18	Quinc 01/11	03/11/2015	56,10
19	Quinc 02/11	27/11/2015	62,45
Media:			71,73

En lo que respecta a Navas del Rey, y al contrario que en el conjunto de las parcelas anteriores, los niveles de inmisión son ligeramente superiores a los habidos en la campaña de 2014, con los máximos más retrasados hasta agosto, cuando casi se alcanzan los $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y registrándose de nuevo los valores inferiores de la serie a

finales de octubre, cuando se reducen la radiación solar y la temperatura para la conversión de los óxidos de nitrógeno precursores en ozono. Los niveles de ozono se han situado en general por encima de los valores medios de la comunidad.



Figura 5.4.1.VII. Evolución concentración Ozono durante la campaña





E-024-01 (Alcalá de Henares):

Tabla 5.4.1.VIII. Concentración Ozono Alcalá de Henares

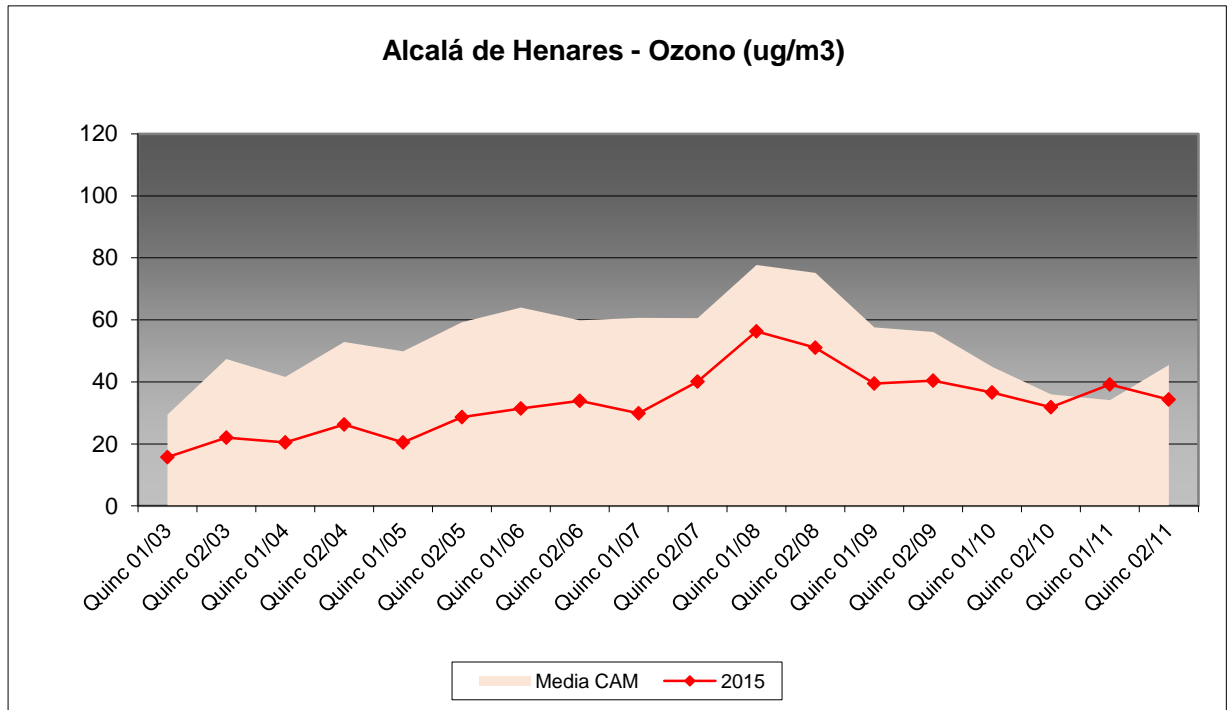
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	18/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	05/03/2015	15,75
3	Quinc 02/03	17/03/2015	21,98
4	Quinc 01/04	08/04/2015	20,51
5	Quinc 02/04	22/04/2015	26,24
6	Quinc 01/05	09/05/2015	20,47
4	Quinc 02/05	20/05/2015	28,62
8	Quinc 01/06	02/06/2015	31,36
9	Quinc 02/06	18/06/2015	33,93
10	Quinc 01/07	30/06/2015	29,83
11	Quinc 02/07	21/07/2015	40,03
12	Quinc 01/08	04/08/2015	56,33
13	Quinc 02/08	19/08/2015	51,03
14	Quinc 01/09	03/09/2015	39,44
15	Quinc 02/09	16/09/2015	40,43
16	Quinc 01/10	08/10/2015	36,56
17	Quinc 02/10	22/10/2015	31,84
18	Quinc 01/11	03/11/2015	39,15
19	Quinc 02/11	27/11/2015	34,35
Media:			33,21

Al igual que en estaciones anteriores, en la presente revisión se registra una notable reducción de los valores con respecto a 2014, pasando de 67 a 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en lo que supone cerca de la mitad de las tasas obtenidas el años pasado. En cuanto a la distribución temporal de los valores, continúa advirtiéndose la tónica general: máximos

en agosto que acaban decayendo en primavera y otoño, cuando la radiación solar y la temperatura son menores. En la revisión del año en curso, los valores del ozono en Alcalá han tendido a situarse por debajo de la media de la comunidad.



Figura 5.4.1.VIII. Evolución concentración Ozono durante la campaña





E-024-03 (Fuentidueña de Tajo):

Tabla 5.4.1.IX. Concentración Ozono Fuentidueña de Tajo

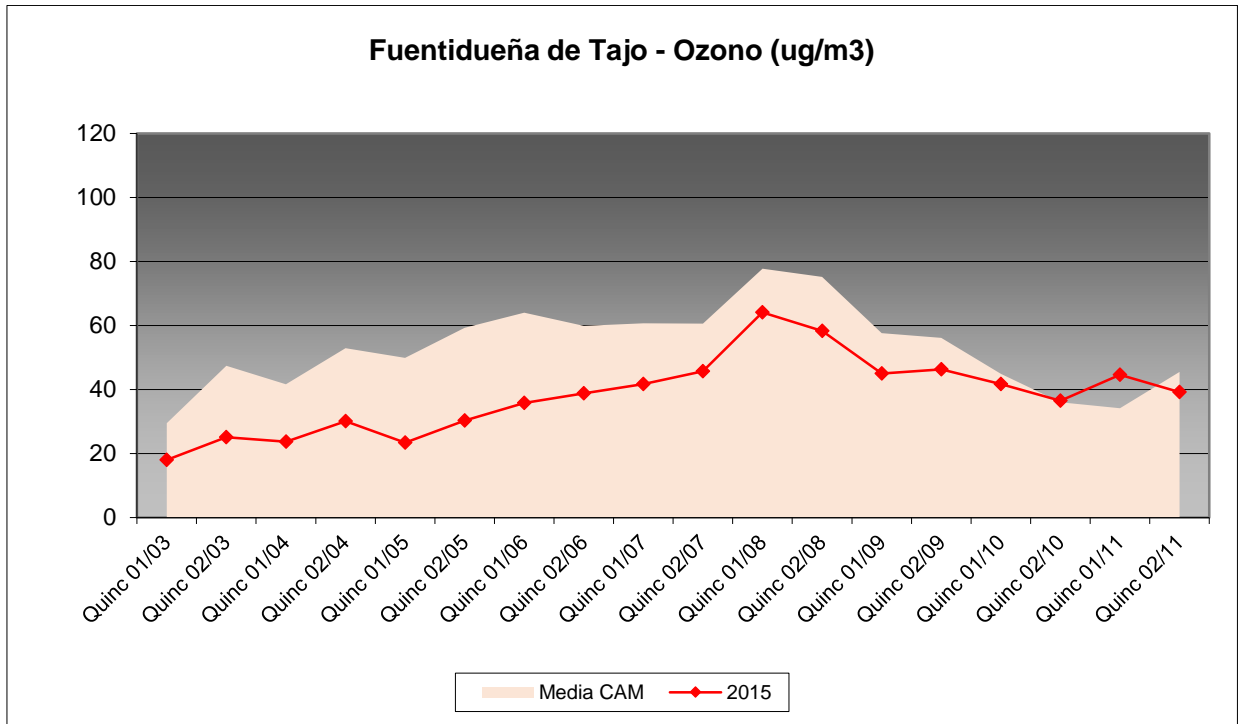
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	18/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	05/03/2015	17,97
3	Quinc 02/03	17/03/2015	25,08
4	Quinc 01/04	08/04/2015	23,65
5	Quinc 02/04	22/04/2015	30,03
6	Quinc 01/05	08/05/2015	23,39
4	Quinc 02/05	20/05/2015	30,22
8	Quinc 01/06	02/06/2015	35,78
9	Quinc 02/06	18/06/2015	38,74
10	Quinc 01/07	30/06/2015	41,70
11	Quinc 02/07	21/07/2015	45,65
12	Quinc 01/08	03/08/2015	64,06
13	Quinc 02/08	18/08/2015	58,30
14	Quinc 01/09	03/09/2015	44,95
15	Quinc 02/09	16/09/2015	46,22
16	Quinc 01/10	07/10/2015	41,63
17	Quinc 02/10	22/10/2015	36,46
18	Quinc 01/11	02/11/2015	44,53
19	Quinc 02/11	27/11/2015	39,15
Media:			38,19

En Fuentidueña de Tajo, y tal y como ocurriera en Alcalá de Henares, se registra una reducción de los valores de inmisión con respecto a 2014, pasando de 66 a 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$; con un patrón de distribución muy similar al del resto de parcelas: máximos de la serie en agosto y mínimos en las

colas de la distribución. Los niveles obtenidos en esta estación tienden a disponerse además por debajo de la media de la Red, como ya se observara en la pasada revisión.



Figura 5.4.1..IX. Evolución concentración Ozono durante la campaña



E-026-02 (Robledo de Chavela):

Tabla 5.4.1.X. Concentración Ozono Robledo de Chavela

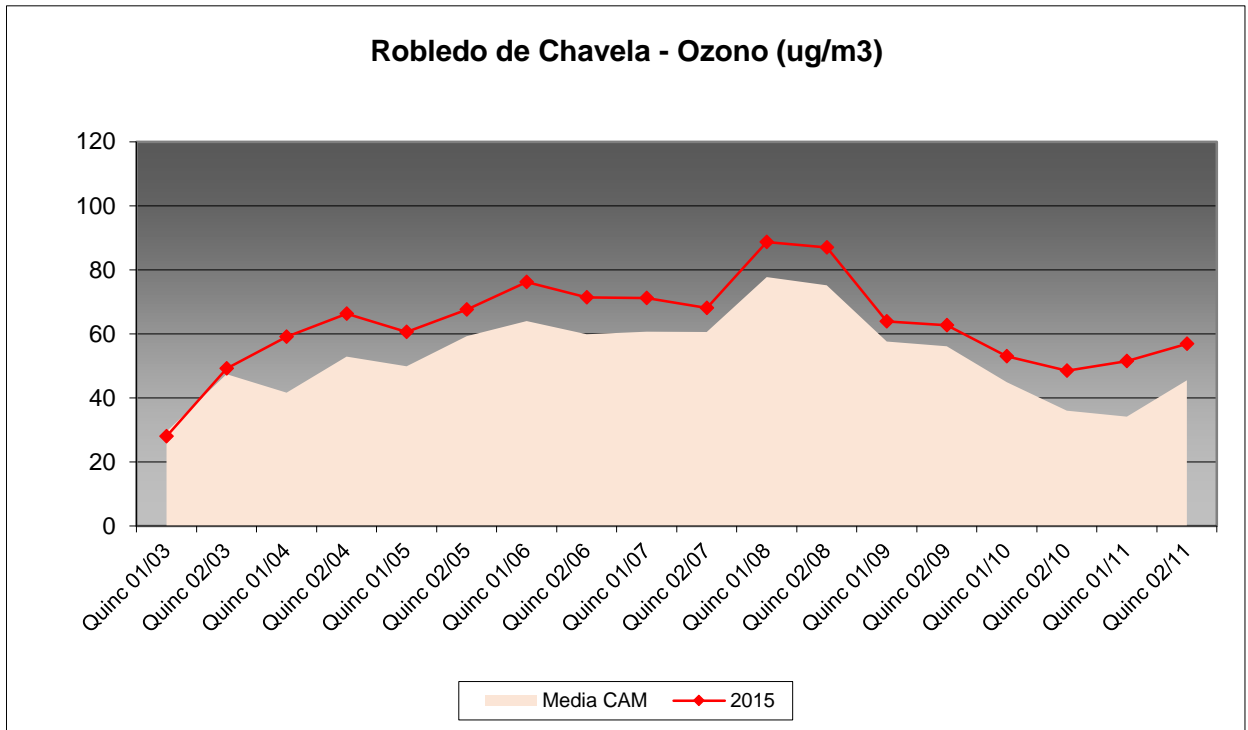
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	27,95
3	Quinc 02/03	17/03/2015	49,20
4	Quinc 01/04	09/04/2015	59,09
5	Quinc 02/04	23/04/2015	66,26
6	Quinc 01/05	08/05/2015	60,59
4	Quinc 02/05	22/05/2015	67,58
8	Quinc 01/06	05/06/2015	76,20
9	Quinc 02/06	17/06/2015	71,35
10	Quinc 01/07	29/06/2015	71,10
11	Quinc 02/07	21/07/2015	68,09
12	Quinc 01/08	04/08/2015	88,68
13	Quinc 02/08	18/08/2015	86,94
14	Quinc 01/09	02/09/2015	63,86
15	Quinc 02/09	17/09/2015	62,63
16	Quinc 01/10	08/10/2015	52,91
17	Quinc 02/10	22/10/2015	48,48
18	Quinc 01/11	03/11/2015	51,45
19	Quinc 02/11	27/11/2015	56,90
Media:			62,74

En la presente revisión, y tal y como ha sucedido en la mayoría de las estaciones, se registra una ligera reducción en la concentración media de ozono con respecto a 2014, pasando de 71 a 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Nuevamente se repite el patrón de distribución temporal de la red, con máximos en agosto y decaimiento de los valores a comienzos y final

del muestreo, cuando se reducen la temperatura y la radiación solar, y situándose los valores medios por encima de la media de la comunidad, como ya ocurriera el año pasado.



Figura 5.4.1.X. Evolución concentración Ozono durante la campaña



5.4.2. NO₂

E-021-01 (San Lorenzo de El Escorial):

Tabla 5.4.2.I. Concentración NO₂ San Lorenzo de El Escorial

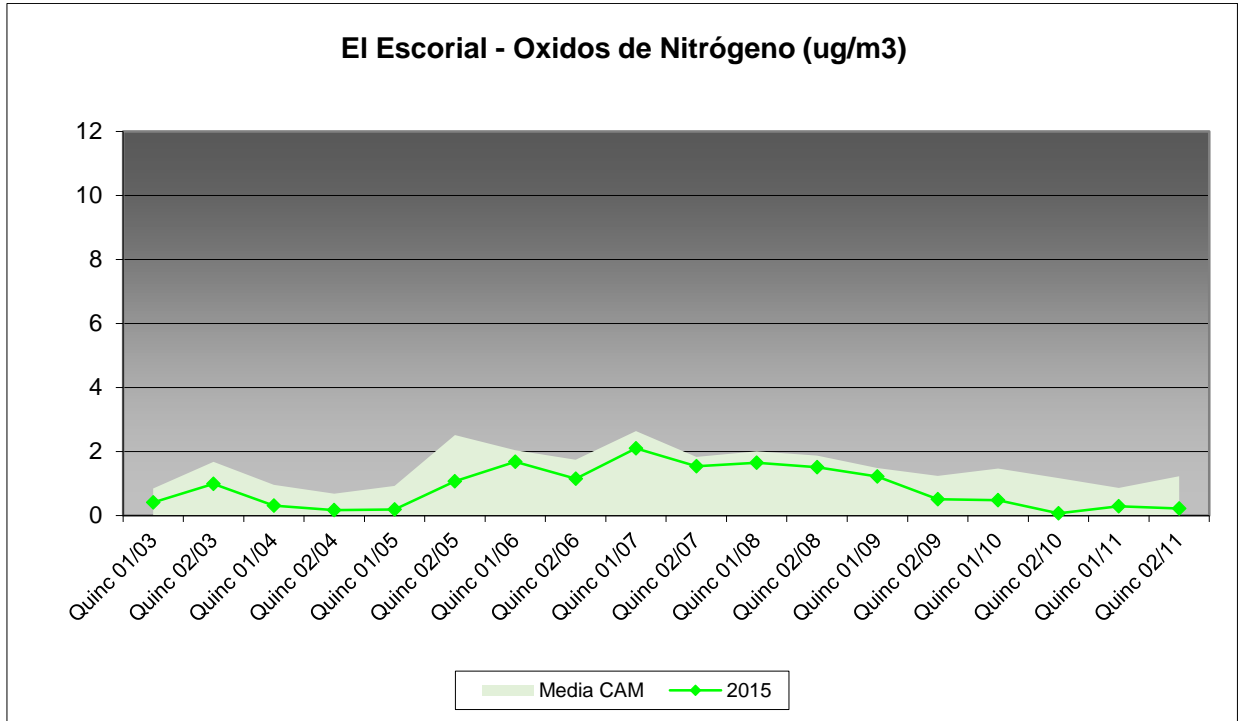
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	0,40
3	Quinc 02/03	17/03/2015	0,99
4	Quinc 01/04	09/04/2015	0,30
5	Quinc 02/04	23/04/2015	0,16
6	Quinc 01/05	08/05/2015	0,19
4	Quinc 02/05	22/05/2015	1,07
8	Quinc 01/06	05/06/2015	1,68
9	Quinc 02/06	17/06/2015	1,15
10	Quinc 01/07	29/06/2015	2,10
11	Quinc 02/07	21/07/2015	1,54
12	Quinc 01/08	04/08/2015	1,65
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,51
14	Quinc 01/09	02/09/2015	1,22
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,51
16	Quinc 01/10	08/10/2015	0,47
17	Quinc 02/10	22/10/2015	0,06
18	Quinc 01/11	03/11/2015	0,29
19	Quinc 02/11	27/11/2015	0,22
Media:			0,86

En lo que respecta los óxidos de nitrógeno en El Escorial, y al igual de lo sucedido con el ozono, se registran tasas muy similares a las de la evaluación anterior, pasando de 0,96 a 0,86 µg/m³ en 2015. Los mayores niveles se han obtenido a finales de junio y los menores hacia finales de octubre. Cabe hacer constar también que este

contaminante está menos influido por el movimiento de las masas de aire que el ozono, de forma que tiende a concentrarse en las inmediaciones de los núcleos de emisión y a baja altitud, al contrario que el O₃. Los niveles observados así en El Escorial se disponen por debajo de las concentraciones media de la comunidad.



Figura 5.4.2..I. Evolución concentración NO₂ durante la campaña



E-021-02 (Cercedilla):

Tabla 5.4.2.II. Concentración NO₂ Cercedilla

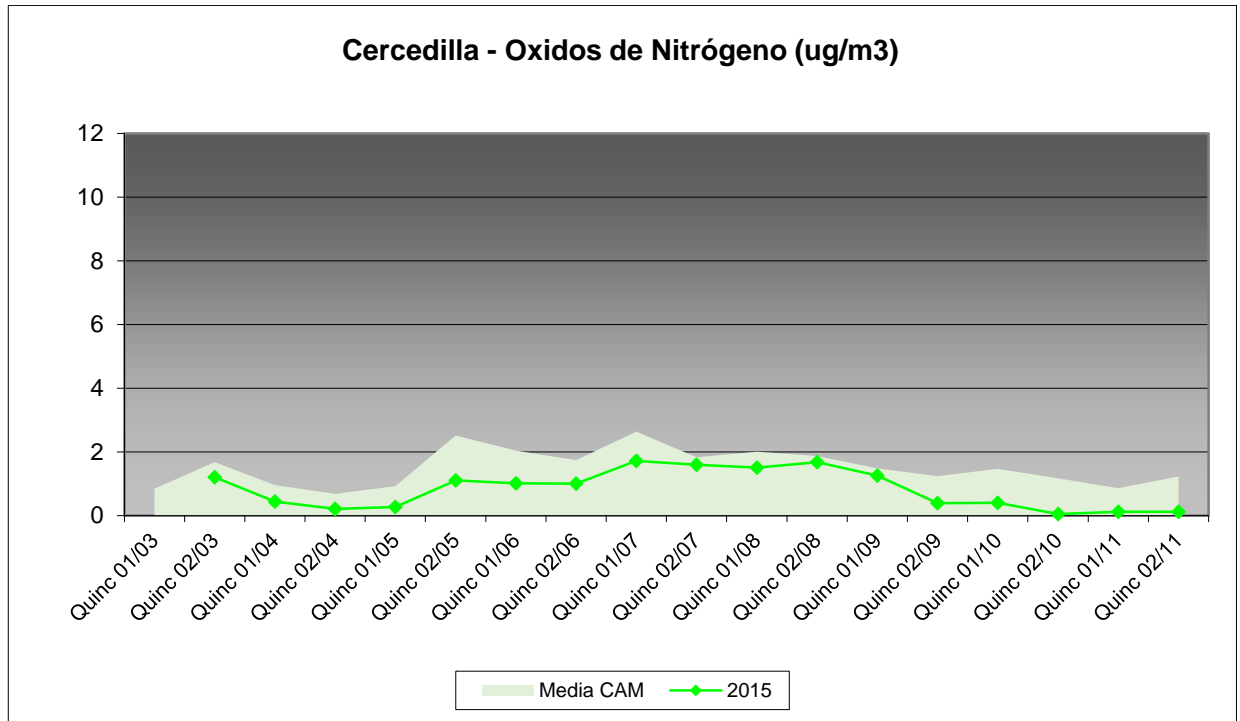
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Inaccesible
2	Quinc 01/03	06/03/2015	Instalación
3	Quinc 02/03	16/03/2015	1,20
4	Quinc 01/04	09/04/2015	0,44
5	Quinc 02/04	23/04/2015	0,21
6	Quinc 01/05	08/05/2015	0,27
4	Quinc 02/05	22/05/2015	1,11
8	Quinc 01/06	05/06/2015	1,01
9	Quinc 02/06	17/06/2015	1,00
10	Quinc 01/07	30/06/2015	1,72
11	Quinc 02/07	20/07/2015	1,60
12	Quinc 01/08	04/08/2015	1,51
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,68
14	Quinc 01/09	02/09/2015	1,25
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,39
16	Quinc 01/10	09/10/2015	0,40
17	Quinc 02/10	22/10/2015	0,05
18	Quinc 01/11	05/11/2015	0,12
19	Quinc 02/11	26/11/2015	0,11
Media:			0,83

En cuanto a los niveles de óxidos de nitrógeno en Cercedilla, se observa también una ligera reducción durante la presente campaña, al pasar de un valor medio de 0,96 en 2014 a 0,83 µg/m³, siempre en un nivel de concentración muy bajo, y por las mismas razones que en el caso de El Escorial: elevada altitud y lejanía a los focos de emisión (fundamentalmente el tráfico rodado,

responsable del cerca del 80% de las emisiones según la información CORINE). Las mayores tasas se han registrado a finales de junio y los menores niveles a finales de octubre, en un patrón idéntico al observado el año pasado y al igual que en el caso anterior, la inmisión en Cercedilla se ha situado por debajo de la media de la comunidad en todos los muestreos efectuados.



Figura 5.4.2.II. Evolución concentración NO₂ durante la campaña



E-021-05 (Rascafría):

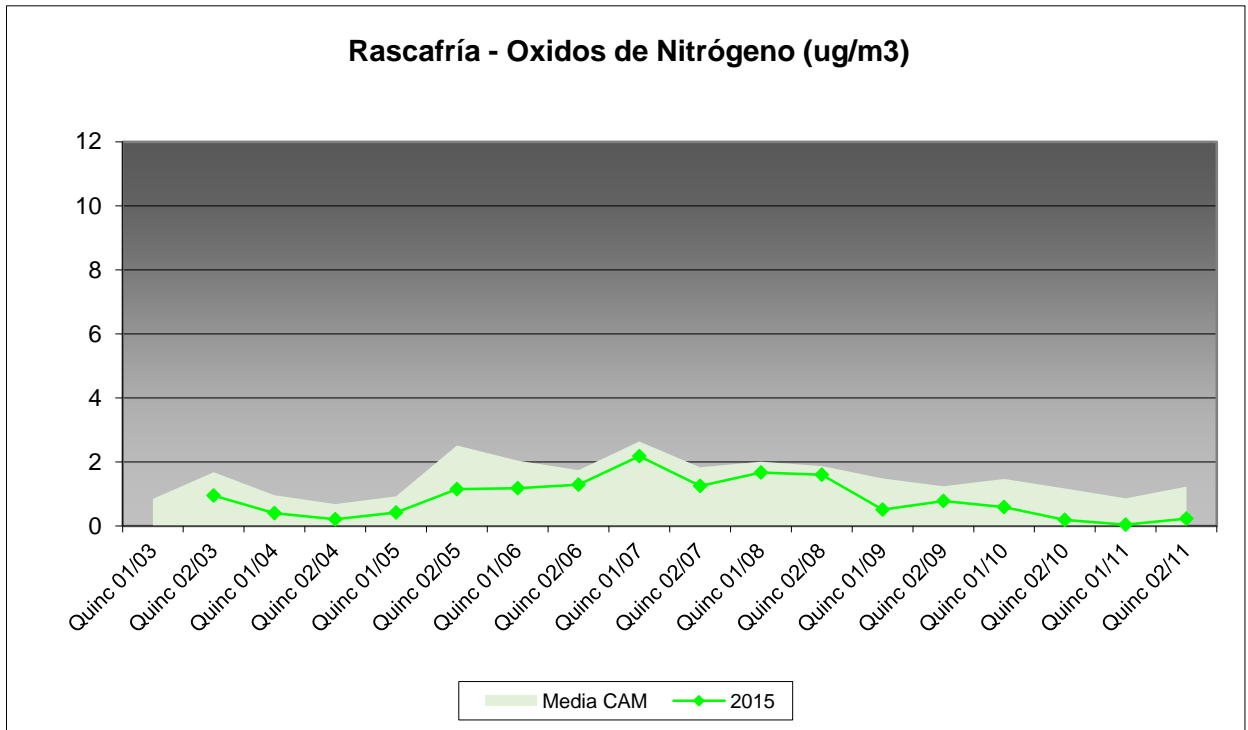
Tabla 5.4.2.III. Concentración NO₂ Rascafría

Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Sop. roto
2	Quinc 01/03	06/03/2015	Instalación
3	Quinc 02/03	16/03/2015	0,95
4	Quinc 01/04	09/04/2015	0,40
5	Quinc 02/04	23/04/2015	0,21
6	Quinc 01/05	08/05/2015	0,42
4	Quinc 02/05	22/05/2015	1,15
8	Quinc 01/06	05/06/2015	1,18
9	Quinc 02/06	17/06/2015	1,29
10	Quinc 01/07	30/06/2015	2,18
11	Quinc 02/07	20/07/2015	1,25
12	Quinc 01/08	04/08/2015	1,67
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,59
14	Quinc 01/09	02/09/2015	0,51
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,78
16	Quinc 01/10	09/10/2015	0,58
17	Quinc 02/10	21/10/2015	0,19
18	Quinc 01/11	05/11/2015	0,04
19	Quinc 02/11	26/11/2015	0,23
Media:			0,86

En lo que respecta a la estación de Rascafría, se advierte un ligero aumento en los niveles de concentración media con respecto a 2014, pasándose de 0,79 a 0,86 µg/m³. Al igual que en estaciones anteriores, los máximos se han observado a finales del mes de junio, mientras que los menores valores se han obtenido a comienzos de

noviembre, finalizando ya el periodo de muestreo. Las tasas obtenidas son en general de las más bajas de la Red. Como ya sucediera el año pasado, los niveles en Rascafría han tendido a situarse por debajo de los valores medios de la comunidad.

Figura 5.4.2.III. Evolución concentración NO₂ durante la campaña





E-021-07 (Canencia de la Sierra):

Tabla 5.4.2.IV. Concentración NO₂ Canencia de la Sierra

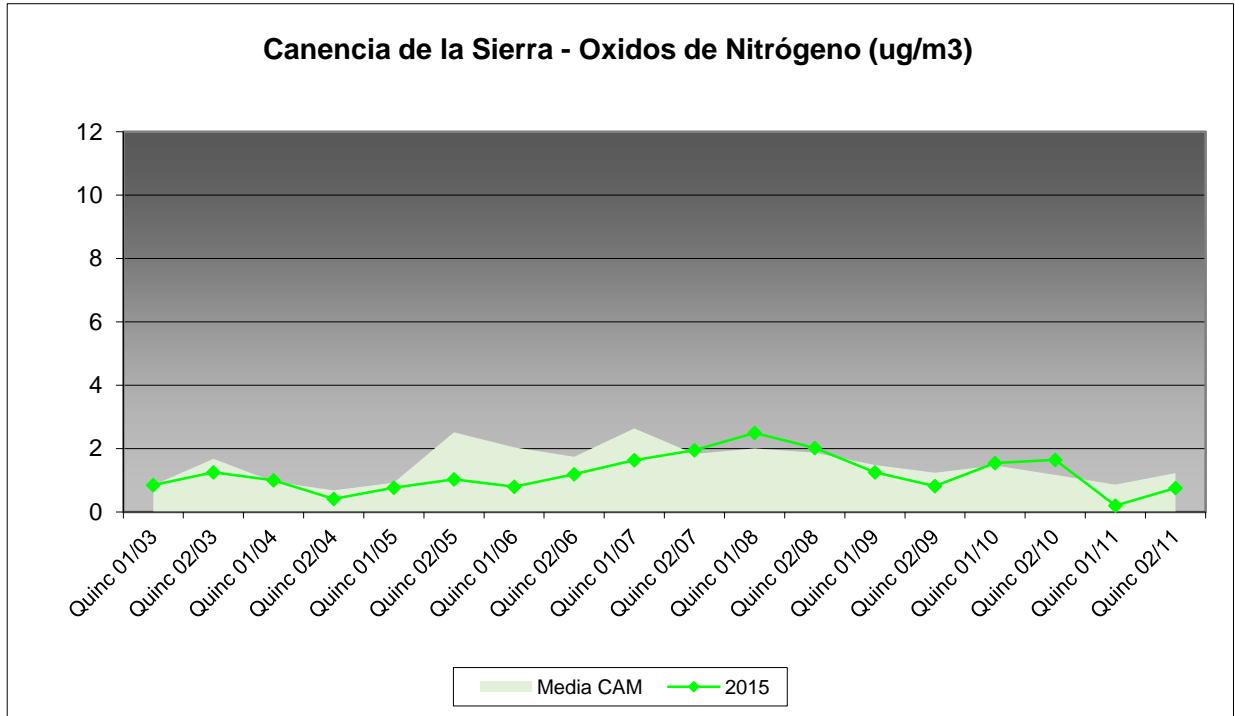
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	0,85
3	Quinc 02/03	16/03/2015	1,25
4	Quinc 01/04	09/04/2015	1,00
5	Quinc 02/04	23/04/2015	0,41
6	Quinc 01/05	08/05/2015	0,77
4	Quinc 02/05	22/05/2015	1,03
8	Quinc 01/06	05/06/2015	0,80
9	Quinc 02/06	17/06/2015	1,19
10	Quinc 01/07	30/06/2015	1,64
11	Quinc 02/07	20/07/2015	1,95
12	Quinc 01/08	04/08/2015	2,50
13	Quinc 02/08	18/08/2015	2,02
14	Quinc 01/09	02/09/2015	1,25
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,82
16	Quinc 01/10	09/10/2015	1,54
17	Quinc 02/10	21/10/2015	1,64
18	Quinc 01/11	05/11/2015	0,20
19	Quinc 02/11	26/11/2015	0,76
Media:			1,20

En Canencia de la Sierra se mantienen niveles de inmisión muy parecidos a los del año 2014, pasando de 1,18 a 1,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, tasas en general reducidas, debido también a su posición geográfica, y con un máximo a comienzos de

agosto, como ya se observara el año pasado, y valores mínimos hacia comienzos de noviembre, y manteniéndose –salvo en momentos puntuales– por debajo del nivel medio de concentración en la comunidad.



Figura 5.4.2.IV. Evolución concentración NO₂ durante la campaña



E-021-11 (Braojos):

Tabla 5.4.2.V. Concentración NO₂ Braojos

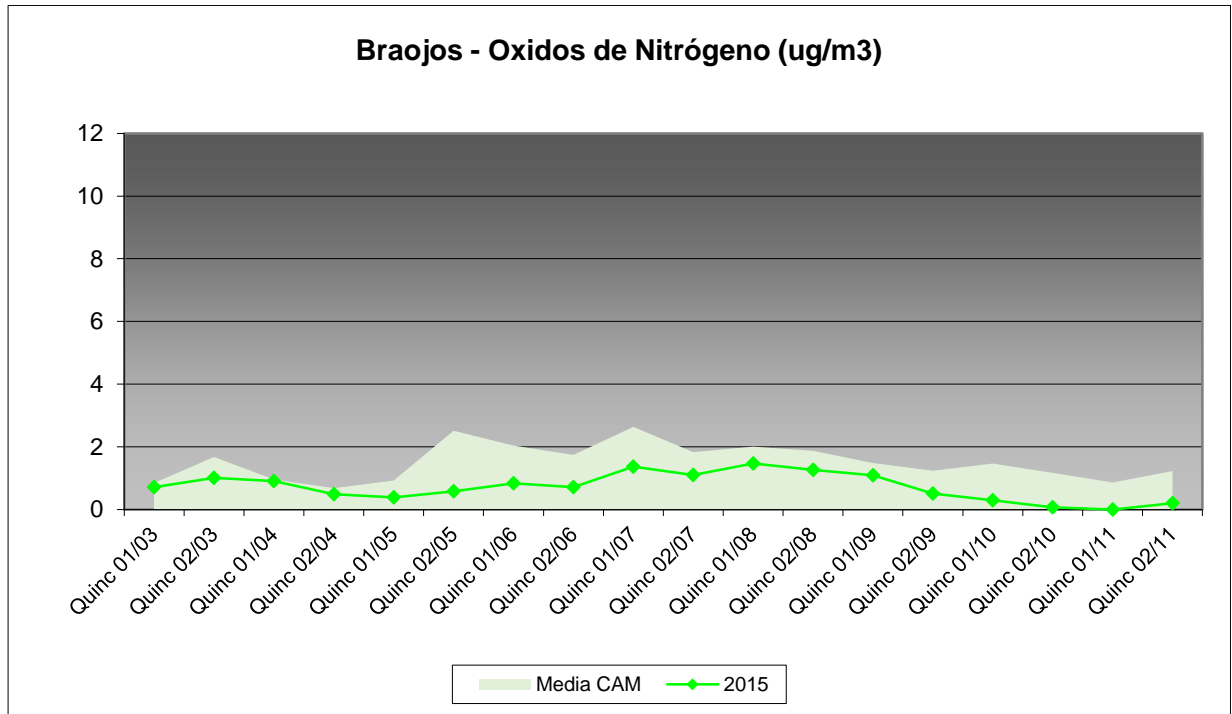
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	0,71
3	Quinc 02/03	16/03/2015	1,00
4	Quinc 01/04	09/04/2015	0,91
5	Quinc 02/04	23/04/2015	0,49
6	Quinc 01/05	08/05/2015	0,38
4	Quinc 02/05	22/05/2015	0,58
8	Quinc 01/06	05/06/2015	0,84
9	Quinc 02/06	17/06/2015	0,72
10	Quinc 01/07	30/06/2015	1,36
11	Quinc 02/07	20/07/2015	1,10
12	Quinc 01/08	04/08/2015	1,47
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,26
14	Quinc 01/09	02/09/2015	1,09
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,51
16	Quinc 01/10	09/10/2015	0,29
17	Quinc 02/10	21/10/2015	0,07
18	Quinc 01/11	05/11/2015	0,00
19	Quinc 02/11	26/11/2015	0,20
Media:			0,72

En Braojos, se registran concentraciones comparativamente bajas de óxidos de nitrógeno, habida cuenta además de la posición de la parcela, en el extremo norte de la comunidad y alejada de los principales focos de emisión, registrándose un nivel general muy similar al de 2014, al pasar de 0,73 a 0,72 µg/m³ con máximos de

1,47 a comienzos de agosto, momento que se han registrado los mayores valores en prácticamente todas las estaciones, y valores nulos a comienzos de noviembre, en coincidencia también con una concentración de mínimos. Los niveles en Braojos tienden a disponerse también por debajo de la media de la comunidad a lo largo del año.



Figura 5.4.2.V. Evolución concentración NO₂ durante la campaña





E-021-14 (Montejo de la Sierra):

Tabla 5.4.2.VI. Concentración NO₂ Montejo de la Sierra

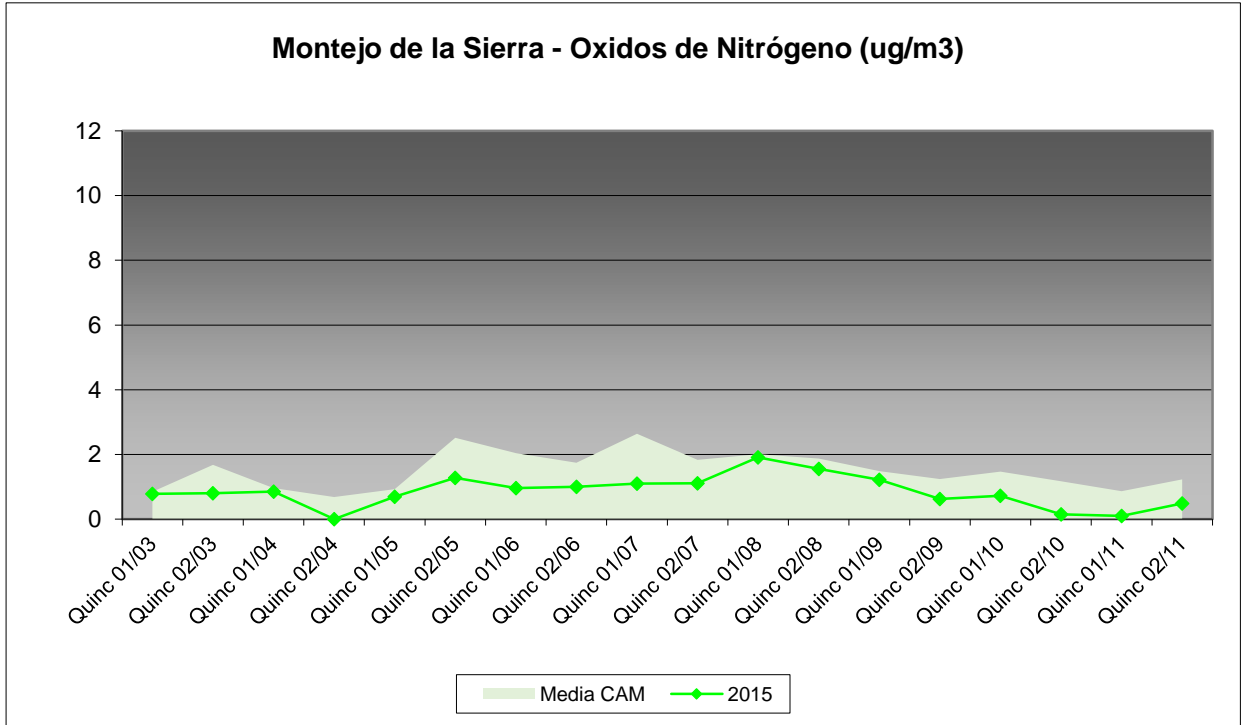
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	0,78
3	Quinc 02/03	16/03/2015	0,80
4	Quinc 01/04	09/04/2015	0,85
5	Quinc 02/04	23/04/2015	0,00
6	Quinc 01/05	08/05/2015	0,69
4	Quinc 02/05	22/05/2015	1,28
8	Quinc 01/06	05/06/2015	0,96
9	Quinc 02/06	17/06/2015	1,00
10	Quinc 01/07	30/06/2015	1,09
11	Quinc 02/07	20/07/2015	1,10
12	Quinc 01/08	04/08/2015	1,90
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,56
14	Quinc 01/09	02/09/2015	1,21
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,62
16	Quinc 01/10	09/10/2015	0,72
17	Quinc 02/10	21/10/2015	0,15
18	Quinc 01/11	05/11/2015	0,10
19	Quinc 02/11	26/11/2015	0,48
Media:			0,85

Por lo que respecta a la estación de Montejo de la Sierra, y al contrario de lo que ha sucedido en otras ubicaciones, se observa una disminución del nivel de concentración medio desde 2014, al pasar de 2,07 a 0,85 µg/m³, reduciéndose la tasa a menos de la mitad, y advirtiéndose

de nuevo el máximo de la serie a comienzos de agosto, mientras que se registran tasas muy baja a comienzos de noviembre y mitad de abril, donde el registro es próximo a cero. Los niveles obtenidos en este punto son también inferiores al nivel medio en la comunidad.



Figura 5.4.2.VI. Evolución concentración NO₂ durante la campaña



E-023-03 (Navas del Rey):

Tabla 5.4.2.VII. Concentración NO₂ Navas del Rey

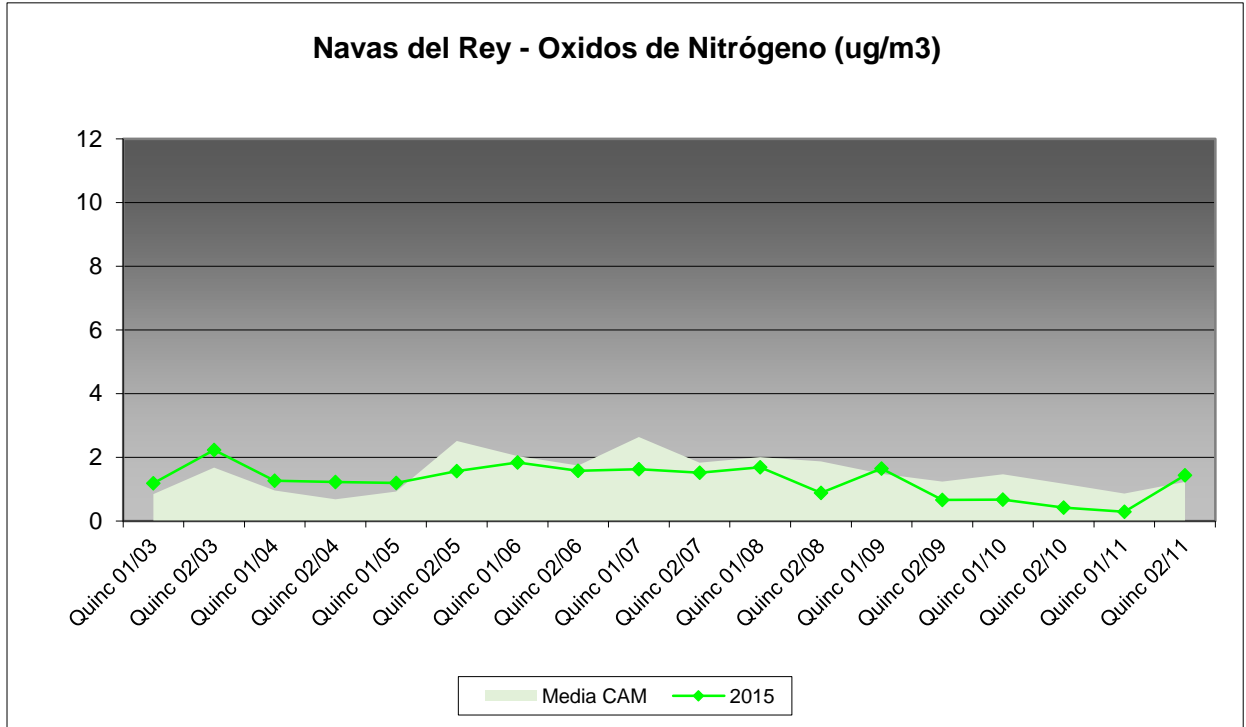
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	1,18
3	Quinc 02/03	17/03/2015	2,23
4	Quinc 01/04	09/04/2015	1,27
5	Quinc 02/04	23/04/2015	1,22
6	Quinc 01/05	08/05/2015	1,19
4	Quinc 02/05	22/05/2015	1,56
8	Quinc 01/06	05/06/2015	1,84
9	Quinc 02/06	17/06/2015	1,57
10	Quinc 01/07	29/06/2015	1,62
11	Quinc 02/07	21/07/2015	1,51
12	Quinc 01/08	04/08/2015	1,69
13	Quinc 02/08	18/08/2015	0,88
14	Quinc 01/09	02/09/2015	1,64
15	Quinc 02/09	17/09/2015	0,66
16	Quinc 01/10	08/10/2015	0,67
17	Quinc 02/10	22/10/2015	0,42
18	Quinc 01/11	03/11/2015	0,29
19	Quinc 02/11	27/11/2015	1,44
Media:			1,27

Los niveles medios de óxidos de nitrógeno en Navas del Rey experimentan una ligera disminución con respecto a la campaña de 2014, al pasar de 1,39 a 1,27 µg/m³, como ya sucediera el año pasado, manteniéndose en tasas comparativamente bajas, que oscilan entre 2,23 µg/m³ a comienzos del muestreo en el mes de marzo y 0,29 µg/m³ a comienzos de noviembre, sin que se advierta una

tendencia estacional clara en su distribución, fuera de la inexistencia del pico de agosto que se configuraba como una constante en casi todos los puntos anteriores. Los niveles encontrados se han situado, en general, por debajo de la media de la comunidad., salvo a comienzos de la primavera, en la que se situaban ligeramente por encima.



Figura 5.4.2.VII. Evolución concentración NO₂ durante la campaña





E-024-01 (Alcalá de Henares):

Tabla 5.4.2.VIII. Concentración NO₂ Alcalá de Henares

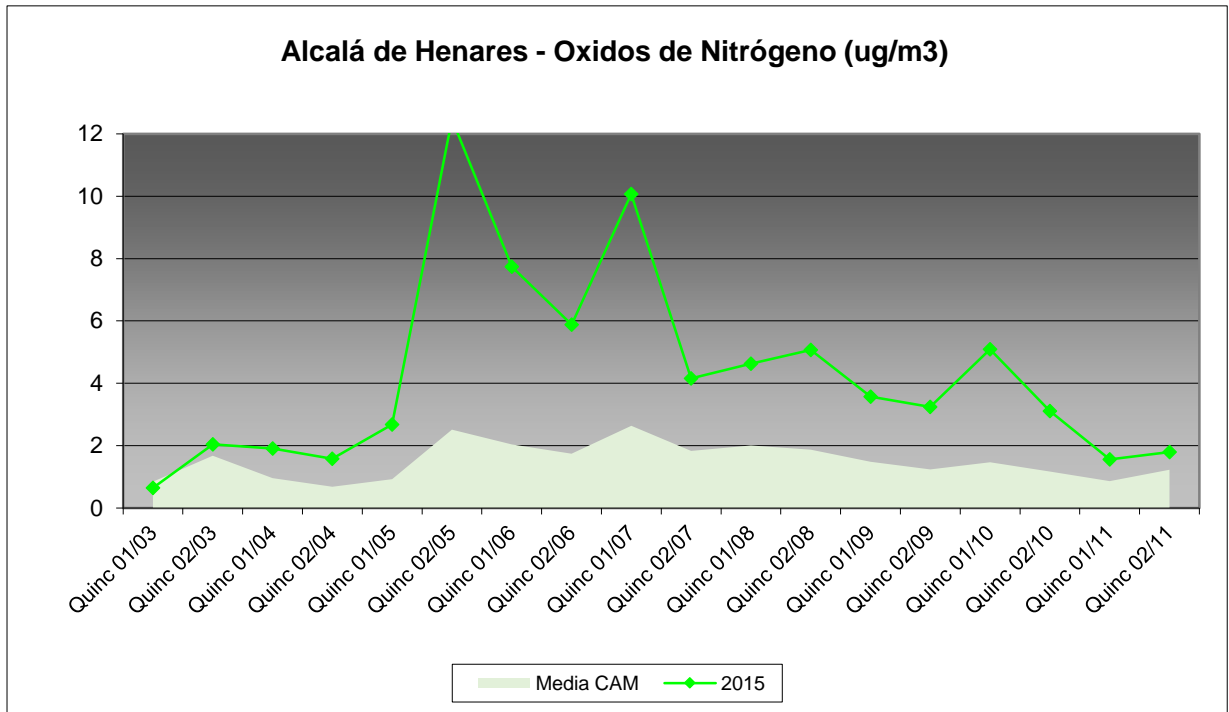
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	18/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	05/03/2015	0,65
3	Quinc 02/03	17/03/2015	2,04
4	Quinc 01/04	08/04/2015	1,91
5	Quinc 02/04	22/04/2015	1,58
6	Quinc 01/05	09/05/2015	2,68
4	Quinc 02/05	20/05/2015	12,48
8	Quinc 01/06	02/06/2015	7,74
9	Quinc 02/06	18/06/2015	5,88
10	Quinc 01/07	30/06/2015	10,07
11	Quinc 02/07	21/07/2015	4,16
12	Quinc 01/08	04/08/2015	4,62
13	Quinc 02/08	19/08/2015	5,07
14	Quinc 01/09	03/09/2015	3,57
15	Quinc 02/09	16/09/2015	3,24
16	Quinc 01/10	08/10/2015	5,09
17	Quinc 02/10	22/10/2015	3,11
18	Quinc 01/11	03/11/2015	1,55
19	Quinc 02/11	27/11/2015	1,80
Media:			4,29

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

al resto de la red, superándose en varias ocasiones el umbral de los 10 µg/m³ y resultando el punto con mayor nivel en prácticamente todas las revisiones efectuadas. Pese a ello y con respecto a los niveles obtenidos en la campaña de 2014, los niveles medios se han reducido ligeramente, al pasar de 7,66 a 4,29 µg/m³, registrándose niveles comparativamente elevados durante los meses de mayo y junio, que contrastan con las escasas tasas observadas al inicio y el final del muestreo.



Figura 5.4.2.VIII. Evolución concentración NO₂ durante la campaña



E-024-03 (Fuentidueña de Tajo):

Tabla 5.4.2.IX. Concentración NO₂ Fuentidueña de Tajo

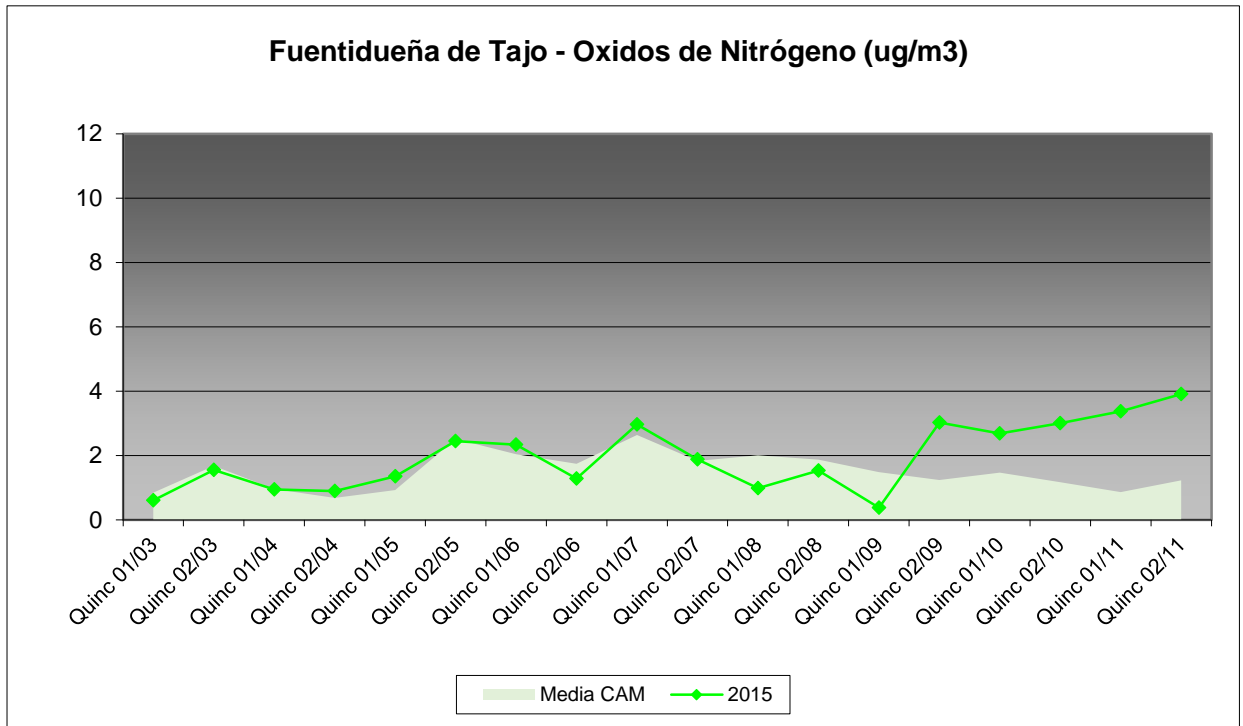
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	18/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	05/03/2015	0,61
3	Quinc 02/03	17/03/2015	1,55
4	Quinc 01/04	08/04/2015	0,95
5	Quinc 02/04	22/04/2015	0,89
6	Quinc 01/05	08/05/2015	1,35
4	Quinc 02/05	20/05/2015	2,45
8	Quinc 01/06	02/06/2015	2,33
9	Quinc 02/06	18/06/2015	1,28
10	Quinc 01/07	30/06/2015	2,97
11	Quinc 02/07	21/07/2015	1,88
12	Quinc 01/08	03/08/2015	0,98
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,53
14	Quinc 01/09	03/09/2015	0,37
15	Quinc 02/09	16/09/2015	3,03
16	Quinc 01/10	07/10/2015	2,68
17	Quinc 02/10	22/10/2015	3,00
18	Quinc 01/11	02/11/2015	3,37
19	Quinc 02/11	27/11/2015	3,91
Media:			1,95

Por lo que se refiere a Fuentidueña de Tajo, se advierte en primer lugar –como ha sucedido en el punto anterior- una reducción en la concentración media de este contaminante con respecto a la revisión anterior, al pasar de 2,78 a 1,95 µg/m³, aunque continúa siendo una estación con niveles comparativamente altos dentro de la red, y por las mismas

razones que en el caso de Alcalá de Henares, aunque la concentración industrial de la zona es mucho más reducida. Al igual que sucediera en 2014 se advierte un cierto incremento de los niveles a lo largo del último trimestre, alcanzándose el máximo a finales de noviembre y el mínimo a comienzos de septiembre.



Figura 5.4.2.IX. Evolución concentración NO₂ durante la campaña





E-026-02 (Robledo de Chavela):

Tabla 5.4.2.X. Concentración NO₂ Robledo de Chavela

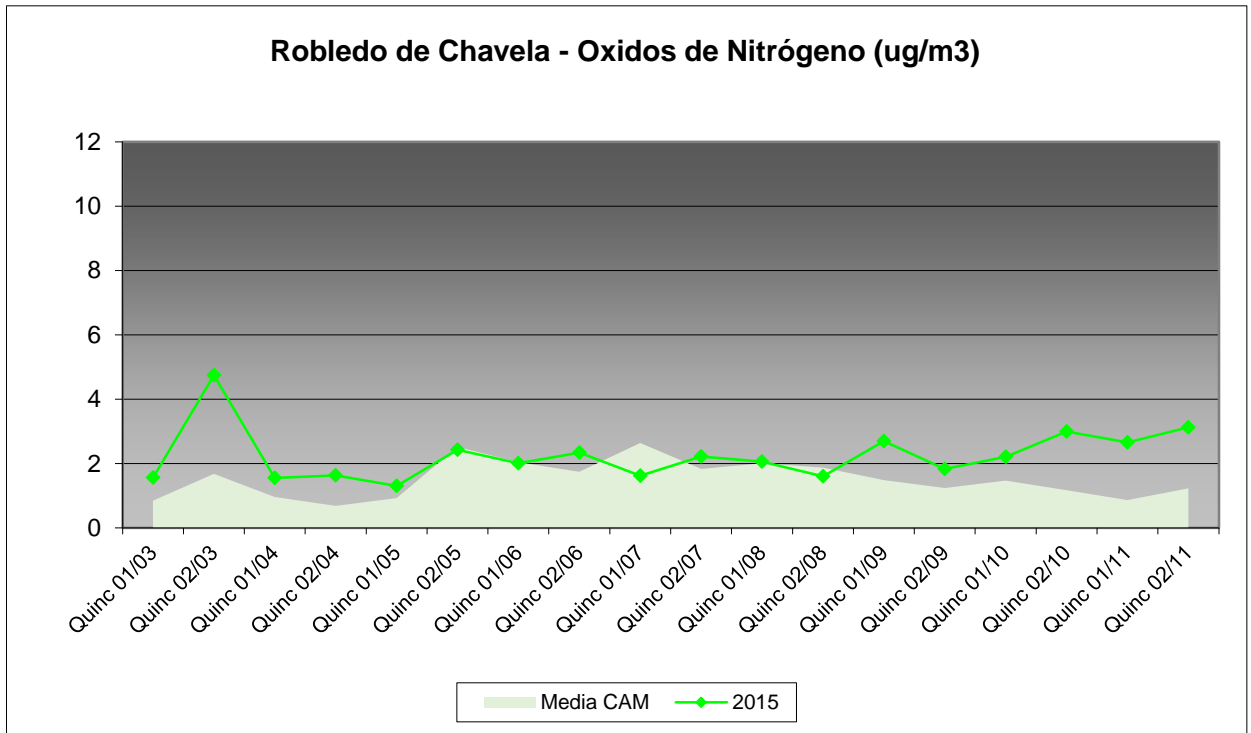
Muestreo	Quincena	Fecha 2015	2015 (µg/m ³)
1	Quinc 02/02	19/02/2015	Instalación
2	Quinc 01/03	06/03/2015	1,56
3	Quinc 02/03	17/03/2015	4,74
4	Quinc 01/04	09/04/2015	1,55
5	Quinc 02/04	23/04/2015	1,63
6	Quinc 01/05	08/05/2015	1,31
4	Quinc 02/05	22/05/2015	2,42
8	Quinc 01/06	05/06/2015	2,01
9	Quinc 02/06	17/06/2015	2,33
10	Quinc 01/07	29/06/2015	1,62
11	Quinc 02/07	21/07/2015	2,21
12	Quinc 01/08	04/08/2015	2,06
13	Quinc 02/08	18/08/2015	1,60
14	Quinc 01/09	02/09/2015	2,70
15	Quinc 02/09	17/09/2015	1,83
16	Quinc 01/10	08/10/2015	2,21
17	Quinc 02/10	22/10/2015	2,99
18	Quinc 01/11	03/11/2015	2,65
19	Quinc 02/11	27/11/2015	3,12
Media:			2,25

En lo que respecta a los niveles en la estación de Robledo de Chavela, se advierte en primer lugar un ligero incremento del nivel medio del parámetro al pasar de 1,96 µg/m³ en 2014 a 2,25 en la evaluación del año en curso, registrando también el máximo y el mínimo de la serie concentrados a comienzos de la primavera, alejado así del

punto de máximos de comienzos de agosto. Se advierte también, que contrariamente a lo que ocurría en anteriores evaluaciones, los niveles encontrados han tendido a situarse por encima de los valores medios de la comunidad.



Figura 5.4.2.X. Evolución concentración NO₂ durante la campaña





6. RESULTADOS ANALÍTICOS FOLIARES

6.1. INTRODUCCIÓN.

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

6.2. AFECCIÓN POR AZUFRE.

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

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

El impacto de la deposición del azufre atmosférico sobre los ecosistemas forestales ha sido, y es todavía, motivo de

numerosas controversias entre los científicos (MILLER & McBRIDE, 1975; LINZON, 1978; SMITH, 1981). Estas discusiones han proliferado en los últimos años como consecuencia del debilitamiento progresivo de los bosques en Europa y la parte este de Estados Unidos y Canadá (McLAUGHLIN, 1985). Sin embargo, no es fácil establecer valores límite debido a que tenemos un conocimiento muy elemental del funcionamiento de los ecosistemas forestales.

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

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

6.3. TOMA DE MUESTRAS Y PROCEDIMIENTO ANALÍTICO.

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

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

Azufre hidrosoluble

- Extracción del azufre hidrosoluble por agitación continua durante 30 minutos con agua destilada.



- Filtración del extracto y determinación de los sulfatos mediante cromatografía iónica, previa purificación en Sep-Pack c-18.
 - Columna ICPACK-aniónica.
 - Fase móvil borato-gluconato pH: 8,5.
 - Detector de conductividad.

Azufre total

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

La determinación del azufre total se basa en la absorción IR por el SO₂. La muestra se quema en un tubo de combustión operando a una temperatura de 1400°C en corriente de O₂ que oxida el S a SO₂. La humedad y las partículas son retenidas por perclorato de magnesio antes de pasar a un detector. Este sensor recibe una intensidad de radiación proporcional a la cantidad de SO₂. El equipo se calibra diariamente con un estándar de carbón cuyo contenido en

azufre es de 0,58%±0,03. Las medidas se controlan con una muestra certificada por el CBR (*Community Bureau of Reference* de la Comisión de la Unión Europea) de *Picea abies*. La muestra de referencia es la CRM-101 cuyo contenido certificado es del 0,17%.

6.4. AZUFRE HIDROSOLUBLE.

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

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

Tabla 7.I. Azufre hidrosoluble. Valores medios por estación. (µg/g MS)

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	34,83	54,69	44,76
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	543,78	47,90	295,84
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	116,45	103,43	109,94
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	26,72	76,12	51,42
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	91,03	128,53	109,78
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	46,55	367,61	207,08
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	15,70	266,46	141,08
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	137,54	321,09	229,32
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	28,17	58,74	43,46
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	33,35	160,95	97,15

En los resultados estadísticos por especie se puede apreciar que los coeficientes de variación (v) son altos, lo que indica que hay dispersión en los valores encontrados para cada estación. Destacan los comparativamente altos resultados de Cercedilla, mientras que se reducen apreciablemente los

niveles de Canencia, Montejo, Navas, Alcalá, Fuentidueña y Robledo con respecto a la campaña anterior, lo que indicaría unas mejores condiciones generales en el territorio prospectado.

Tabla 7.II. Resultados estadísticos para azufre hidrosoluble.

Especie	Edad de las hojas	\bar{x}	S	S \bar{x}	v(%)	M	m	R	Σ
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	143,23	199,28	81,35	139,13	543,78	26,72	517,06	859,37
	Año previo	129,71	120,40	49,15	92,82	367,61	47,90	319,71	778,27
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	15,70		0,00		15,70	15,70	0,00	15,70
	Año previo	266,46		0,00		266,46	266,46	0,00	266,46
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	82,86	77,34	54,68	93,34	137,54	28,17	109,37	165,72
	Año previo	189,92	185,51	131,18	97,68	321,09	58,74	262,35	379,83
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	33,35		0,00		33,35	33,35	0,00	33,35



Año previo 160,95 0,00 160,95 160,95 0,00 160,95

(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.)

6.5. AZUFRE TOTAL.

Se observan valores altos en todos los casos, siendo siempre mayores los de las hojas del año previo, a excepción de lo que ocurre en la estación de Navas de Rey y Cercedilla, donde los valores tienden a igualarse. Los mayores niveles en las medidas más antiguas

se deben a la permanencia del árbol en zonas con SO₂ en el aire, mientras que en el segundo caso podría estarse ante algún fenómeno de naturaleza aguda. Los niveles se mantienen en general en el orden de magnitudes ya observado en 2014, con reducciones en Canencia, Navas del Rey, Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo.

Tabla 7.III. Azufre total. Valores medios por estación. ($\mu\text{g/g MS}$)

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	946,11	1.160,86	1.053,48
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	1.169,83	1.166,77	1.168,30
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	867,79	986,93	927,36
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	864,17	1.096,34	980,25
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	960,93	1.039,73	1.000,33
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	1.040,35	1.083,98	1.062,16
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	1.148,32	1.056,87	1.102,59
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1.230,05	1.361,02	1.295,53
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1.867,96	2.499,05	2.183,51
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	764,20	1.206,93	985,56

Tabla 7.IV. Resultados estadísticos para azufre total.

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	974,86	115,79	47,27	11,88	1.169,83	864,17	305,66	5.849,17
	Año previo	1.089,10	69,48	28,36	6,38	1.166,77	986,93	179,84	6.534,62
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	1.148,32		0,00		1.148,32	1.148,32	0,00	1.148,32
	Año previo	1.056,87		0,00		1.056,87	1.056,87	0,00	1.056,87
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1.549,00	451,07	318,95	29,12	1.867,96	1.230,05	637,91	3.098,01
	Año previo	1.930,04	804,72	569,02	41,69	2.499,05	1.361,02	1.138,04	3.860,07
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	764,20		0,00		764,20	764,20	0,00	764,20
	Año previo	1.206,93		0,00		1.206,93	1.206,93	0,00	1.206,93

(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.)

6.6. AZUFRE ORGÁNICO.

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

exceso de este elemento está fundamentalmente en forma soluble. Se advierte un incremento notable del parámetro en los puntos de Alcalá de Henares, Fuentidueña de Tajo, El Escorial y Robledo de Chavela.



Tabla 7.V. Azufre orgánico. Valores medios por estación. ($\mu\text{g/g MS}$)

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	911,28	1.106,17	1.008,72
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	626,04	1.118,87	872,46
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	751,34	883,50	817,42
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	837,45	1.020,23	928,84
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	869,90	911,20	890,55
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	993,79	716,38	855,08
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	1.132,62	790,41	961,51
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	1.092,51	1.039,92	1.066,21
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	1.839,78	2.440,32	2.140,05
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	730,85	1.045,98	888,41

Tabla 7.VI. Resultados estadísticos para azufre orgánico.

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	831,63	128,73	52,55	15,48	993,79	626,04	367,75	4.989,80
	Año previo	959,39	153,50	62,67	16,00	1.118,87	716,38	402,50	5.756,34
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	1.132,62		0,00		1.132,62	1.132,62	0,00	1.132,62
	Año previo	790,41		0,00		790,41	790,41	0,00	790,41
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	1.466,15	528,40	373,64	36,04	1.839,78	1.092,51	747,28	2.932,29
	Año previo	1.740,12	990,23	700,20	56,91	2.440,32	1.039,92	1.400,39	3.480,24
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	730,85		0,00		730,85	730,85	0,00	730,85
	Año previo	1.045,98		0,00		1.045,98	1.045,98	0,00	1.045,98

(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.)

6.7. RELACIÓN AZUFRE HIDROSOLUBLE / AZUFRE ORGÁNICO.

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

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

En la presente revisión los valores observados se reducen en general, lo que indicaría una mejora de la situación, destacando únicamente el incremento observado en Cercedilla, que triplica las tasas de transformación observadas en 2014.

Tabla 7.VII. Relación azufre hidrosoluble / azufre orgánico. Valores medios por estación.

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	0,0382	0,0494	0,0438
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	0,8686	0,0428	0,4557
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	0,1550	0,1171	0,1360
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	0,0319	0,0746	0,0533
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	0,1046	0,1411	0,1228
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	0,0468	0,5131	0,2800
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	0,0139	0,3371	0,1755
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	0,1259	0,3088	0,2173
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	0,0153	0,0241	0,0197



Tabla 7.VII. Relación azufre hidrosoluble / azufre orgánico. Valores medios por estación.

Estación	T.M	Especie	Hojas del año en curso	Hojas del año previo	Media
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	0,0456	0,1539	0,0998

Tabla 7.VIII. Resultados estadísticos para la relación azufre hidrosoluble / azufre orgánico.

Especie	Edad de las hojas	χ	S	$S\chi$	$v(\%)$	M	m	R	Σ
<i>Pinus sylvestris</i>	Año en curso	0,21	0,33	0,13	157,72	0,87	0,03	0,84	1,25
	Año previo	0,16	0,18	0,07	114,44	0,51	0,04	0,47	0,94
<i>Pinus pinea</i>	Año en curso	0,01		0,00		0,01	0,01	0,00	0,01
	Año previo	0,34		0,00		0,34	0,34	0,00	0,34
<i>Pinus halepensis</i>	Año en curso	0,07	0,08	0,06	110,75	0,13	0,02	0,11	0,14
	Año previo	0,17	0,20	0,14	120,97	0,31	0,02	0,28	0,33
<i>Pinus pinaster</i>	Año en curso	0,05		0,00		0,05	0,05	0,00	0,05
	Año previo	0,15		0,00		0,15	0,15	0,00	0,15

(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.)

6.8. COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS CON LOS VALORES PATRÓN.

Como ya se indicó en la primera parte de este capítulo, no sirve de nada conocer la concentración foliar de azufre si no se tienen unos valores

de referencia para cada especie que sirvan para saber el grado de contaminación en cada caso. Estos valores se han determinado para las principales especies forestales españolas (DGCN, 1992) y se denominan valores patrón.

Tabla 7.IX. Valores patrón. Contenidos foliares de Azufre Total. (Concentraciones en $\mu\text{g/gMS}$ 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 7.X. Comparación de resultados con los valores patrón. Valores medios por estación.

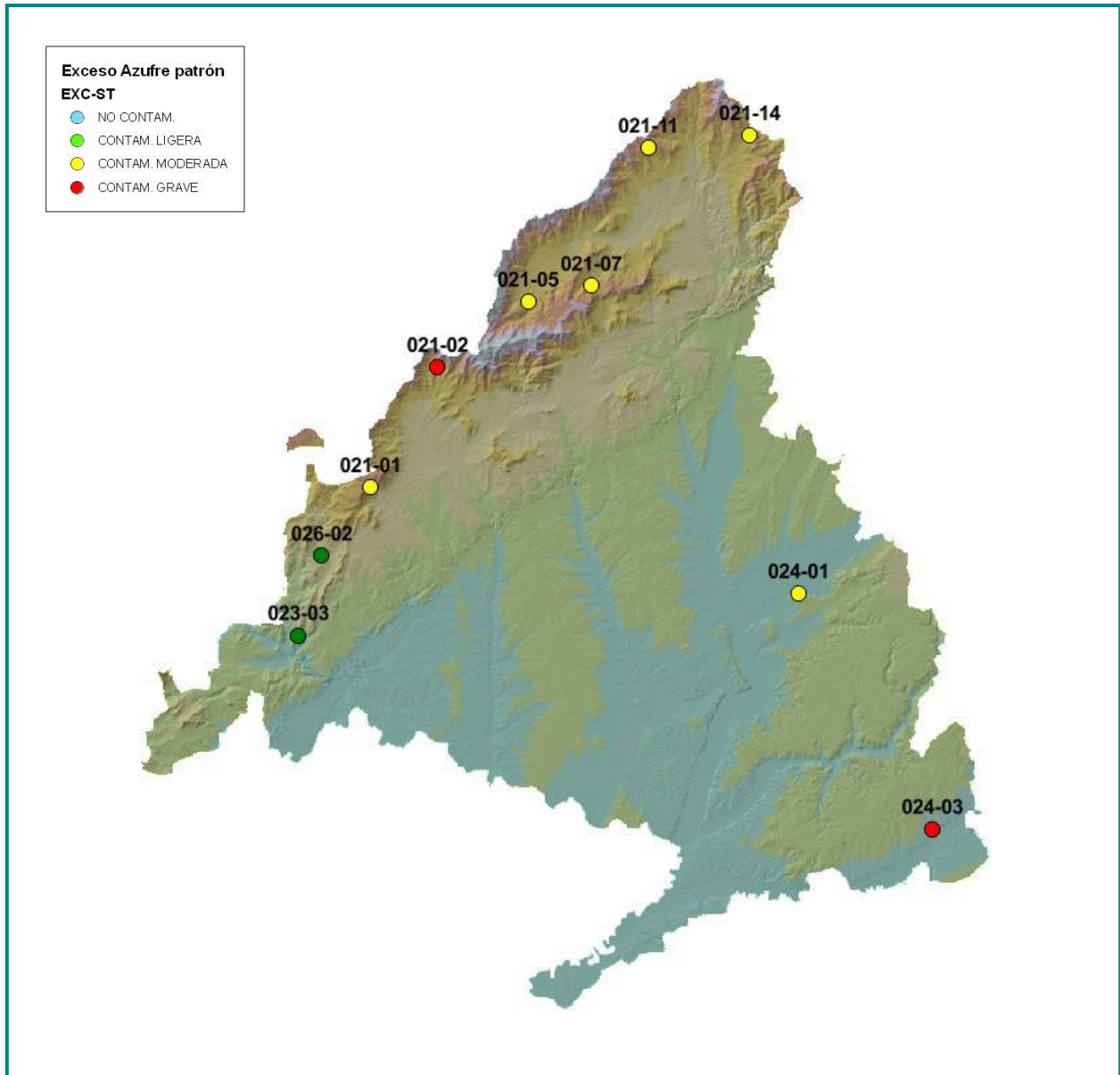
Estación	T.M	Especie	S hidro. ($\mu\text{g/g MS}$)	S total ($\mu\text{g/g MS}$)	S org. ($\mu\text{g/g MS}$)	Relación Sh/So	% Exceso patrón
021-01	El Escorial	<i>Pinus sylvestris</i>	44,76	1.053,48	1.008,72	0,0438	46,89
021-02	Cercedilla	<i>Pinus sylvestris</i>	295,84	1.168,30	872,46	0,4557	62,90
021-05	Rascafría	<i>Pinus sylvestris</i>	109,94	927,36	817,42	0,1360	29,31
021-07	Canencia de la S.	<i>Pinus sylvestris</i>	51,42	980,25	928,84	0,0533	36,68
021-11	Braojos	<i>Pinus sylvestris</i>	109,78	1.000,33	890,55	0,1228	39,48
021-14	Montejo de la Sierra	<i>Pinus sylvestris</i>	207,08	1.062,16	855,08	0,2800	48,10
023-03	Navas del Rey	<i>Pinus pinea</i>	141,08	1.102,59	961,51	0,1755	4,09
024-01	Alcalá de Henares	<i>Pinus halepensis</i>	229,32	1.295,53	1.066,21	0,2173	38,14
024-03	Fuentidueña de Tajo	<i>Pinus halepensis</i>	43,46	2.183,51	2.140,05	0,0197	132,82
026-02	Robledo de Chavela	<i>Pinus pinaster</i>	97,15	985,56	888,41	0,0998	18,71

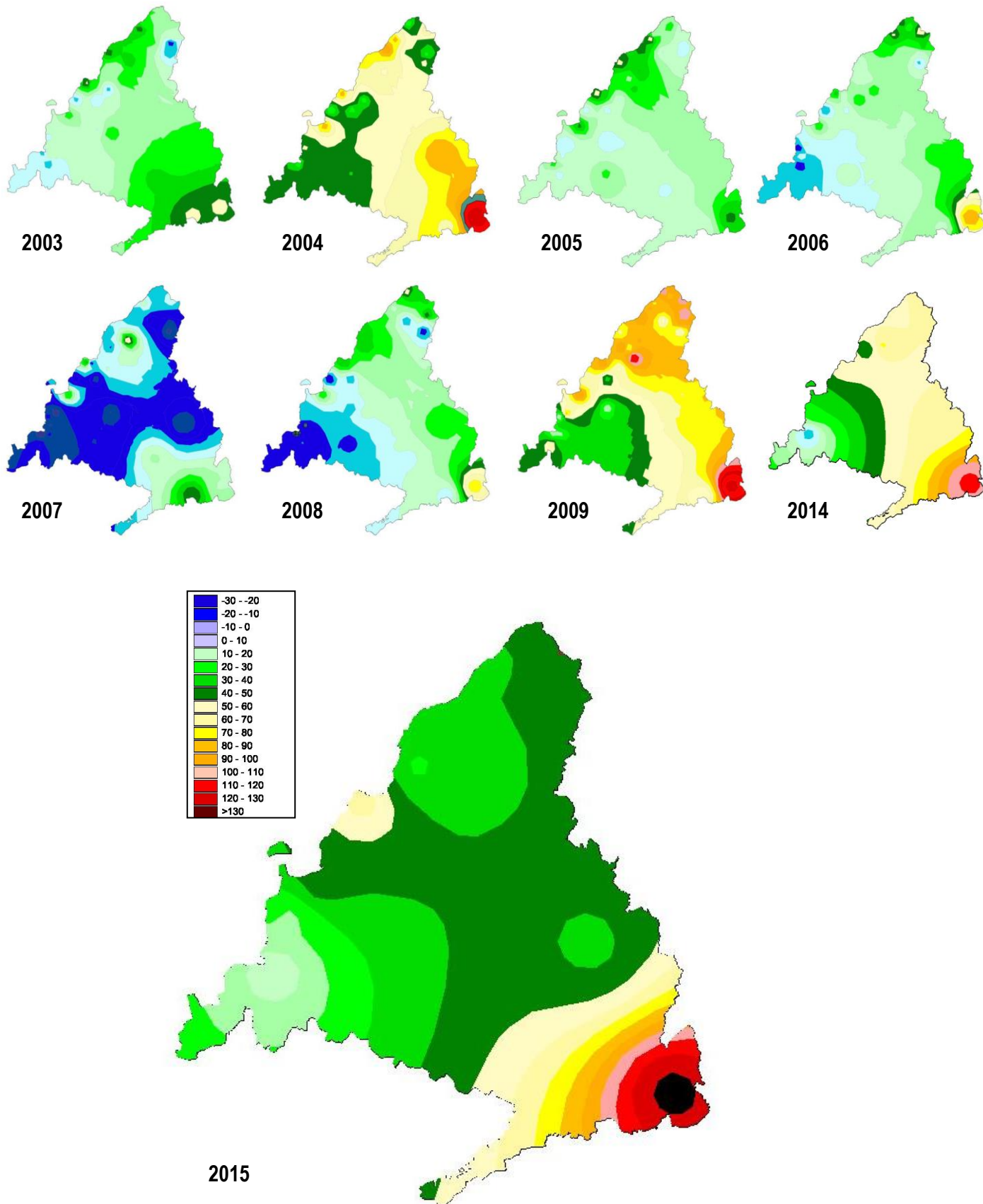


A continuación se incluye un mapa con la distribución del exceso de azufre por estación de muestreo. Con respecto a los valores obtenidos el año pasado, se obtiene una distribución muy similar a la del año pasado, con una reducción generalizada del parámetro excepto en la estación

de Fuentidueña de Tajo, donde los valores han aumentado.

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







En los mapas anteriores, que muestran la evolución del exceso de azufre total respecto al patrón para las distintas zonas de la comunidad, puede verse cómo continúa configurándose una zona más contaminada en el extremo sureste, en la ya repetidamente mencionada alineación Alcalá de Henares-Fuentidueña de Tajo, y que siguiendo el

sentido contrario al de las agujas del reloj va configurando una zona en el extremo suroeste con mayor nivel de afección, lo que está en consonancia con el modelo general de circulación de vientos en la comunidad de Madrid. Se advierte también una mejoría en el extremo oriental de la comunidad.

7. CONCLUSIONES

Como principales conclusiones del presente trabajo cabe apuntar:

1. En la presente revisión, y con respecto a la deposición o throughfall, se ha detectado una acidificación general de las muestras, con incremento de la conductividad, reducción de los niveles generales de cloruros, incremento de los nitratos y una situación más o menos estable en el nivel general de los sulfatos. Por lo que se refiere a la inmisión, se ha observado una reducción general de las tasas de óxidos de nitrógeno y ozono, variable esta cuyo punto de máximo valor o pico se retrasa unos 75 días con respecto a 2014, al pasar de observarse de mediados de mayo a comienzos de agosto.
2. En cuanto a la climatología durante el periodo de referencia, ha destacado por las temperaturas anormalmente altas, sobre todo en la mitad sur de la comunidad y una prolongada e intensa ola de calor extendida desde finales de junio a finales de julio. La primavera y el otoño resultaron más secos que el periodo meteorológico normal 1980-2010, particularmente en el cuadrante sureste de la comunidad, mientras que durante el verano se registraron precipitaciones superiores a lo normal, sobre todo en la franja central.
3. El comportamiento de la precipitación y muy especialmente la amplitud y distribución de los periodos de sequía resultarán determinantes en el comportamiento de los contaminantes al regular el fenómeno de la deposición seca.
4. En cuanto a la radiación solar, que interviene directamente en la formación de ozono troposférico, ha sido superior a la normal, particularmente en el mes de julio, según se desprende de las observaciones de la red AEMET, lo que podría explicar el incremento generalizado en su concentración a comienzos del mes de agosto, y su comportamiento marcadamente temporal.
5. En lo que respecta al **pH** de las precipitaciones obtenidas, se observa en general un empeoramiento del parámetro en las distintas estaciones, obteniéndose –como ha venido siendo habitual- los peores resultados en las parcelas del arco norte de la comunidad, Rascafría, Canencia y Braojos, con más del 40% de los muestreos situados en niveles de “lluvia ácida”, así como el empeoramiento generalizado del arco sureste: Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, que registran también tasas elevadas, y los comparativamente bajos resultados en el extremo occidental: Robledo de Chavela y Navas del Rey. Se advierte también que en ausencia de precipitaciones o tras periodos de sequía, el pH de la muestra obtenida es mayor, o más básico, que con un régimen de lluvias más normal, posiblemente relacionados con los efectos de la deposición seca. Se advierte también una cierta acidificación de las muestras a lo largo del otoño, en contraposición con las recogidas en los meses precedentes, pero que con un aumento del valor medio del parámetro a medida que se va avanzando en la estación.
6. En cuanto a la **conductividad**, se advierte en general un aumento del parámetro con respecto a la pasada revisión, alcanzándose las mayores tasas en Alcalá de Henares y Fuentidueña de Tajo, y los menores en Canencia y Montejo de la Sierra en un patrón de distribución espacial muy similar al observado en campañas pasadas; y al igual que en el caso anterior, y debido al mismo efecto, un incremento notable del parámetro en la primera precipitación tras un periodo de sequía prolongada, junto con una reducción a medida que progresa el otoño y con él las lluvias.
7. En cuanto a los **cloruros** se observan valores inferiores a los de años anteriores, en una tendencia que ya se observó el año pasado, resultando la zona más afectada el sur de la comunidad, en la alineación Navas del Rey-Alcalá de Henares-Fuentidueña de Tajo y con valores ligeramente superiores al entorno en Rascafría que reduce significativamente la concentración, mientras que la zona menos afectada es el núcleo Canencia-Braojos-Montejo. Se advierte también, como en los casos anteriores, un incremento en el contenido de estos solutos tras un periodo de sequía prolongada, tal como ocurre en la primera quincena de junio, de tal forma que el contenido en cloruros va disminuyendo a medida que va avanzando el otoño, hasta alcanzar los mínimos en el mes de noviembre.
8. En lo que respecta a los **nitratos** se advierte un aumento en general de las tasas obtenidas, e



incremento notable tras el periodo de sequía estival posiblemente debido a efectos de la deposición seca, alcanzándose tasas de hasta 232 mg/l en Alcalá de Henares a comienzos de septiembre más de dos meses sin llover. Se advierten también tasas elevadas, por encima del umbral admisible de 50 mg/l marcado por el Reglamento Técnico Sanitario de Aguas Potables (RTSAP) a lo largo del verano en Alcalá, Fuentidueña, Cercedilla y Navas del Rey de forma salpicada. Como en casi todas las campañas efectuadas es en Alcalá 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.

9. En cuanto a los **sulfatos** se advierte un comportamiento similar al de los nitratos: ligero incremento de las tasas respecto al año pasado, repunte de la variable tras los periodos de sequía debido sobre todo a la influencia de la deposición seca y tasas notablemente superiores en la alineación Alcalá de Henares-Fuentidueña de Tajo, donde tienden a concentrarse los resultados más adversos que llegan a cuadruplicar los niveles obtenidos en el resto de estaciones, que se mantienen en el entorno de 1-2 mg/l. Al contrario de lo que sucedía en los nitratos, no se han sobrepasado los límites marcados por el RTSAP.
10. En cuanto a los **daños por ozono** se advierte una estabilidad en lo que se refiere a la presencia de punteaduras necróticas con respecto a revisiones anteriores, destacando 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.
11. En lo que respecta a los **niveles de ozono obtenidos mediante dosímetros** se ha observado una reducción de los valores medios obtenidos con respecto al año pasado, sin que se haya superado en ningún caso el nivel de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alejándose así de valores de umbral de protección o alerta. Se advierte también un retraso en la aparición del pico estival característico del contaminante. Las mayores tasas se han obtenido en Navas del Rey, El Escorial y Cercedilla; muy relacionadas con el esquema general de vientos en la comunidad de Madrid.
12. En cuanto a los **niveles de óxidos de nitrógeno obtenidos mediante dosímetros**, destaca también una disminución relativa del contaminante, muy inferior al del caso anterior y de quien actúa como agente precursor, destacando los niveles obtenidos en Alcalá de Henares a lo largo de todo el año (donde en algún momento puntual se han llegado a registrar valores superiores a los de 2014), y en menor medida Fuentidueña de Tajo, a lo largo del Corredor del Henares, en la zona más industrializada y encajonada entre las autovías A-2 y A-3, de las de mayor intensidad de tráfico; y un cierto incremento en la zona de Robledo de Chavela; junto con algunos picos salpicados en Canencia, sin que esté tan clara la relación causa-efecto.
13. 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, si bien continúan observándose valores superiores a los correspondientes a zonas contaminadas en todas las parcelas. El patrón de distribución es el que se ha encontrado en muestreos anteriores: niveles considerablemente elevados el en cuadrante sureste de la comunidad, seguido de una zona intermedia en el extremo norte –en la que se ha registrado una mejoría más marcada- y un nivel comparativamente más bajo en la zona occidental de Madrid.
14. Es interesante también reseñar, que en general, las muestras foliares tomadas en la Comunidad de Madrid tienden a presentar **valores mayores a los del patrón** de cada especie, lo que resulta lógico teniendo en cuenta lo fuertemente antropizado del medio, y la existencia de un factor desestabilizador de fondo de las masas de pinar relacionado con la contaminación atmosférica.