

INFORME FINAL 2016



CONVENIO DE COLABORACIÓN ENTRE O CONCELLO DA CORUÑA E A UNIVERSIDADE DA CORUÑA

“MEDIDA DOS NIVEIS DE PARTÍCULAS PM₁₀ NA ZONA DOS CASTROS”

Instituto Universitario de Medio Ambiente (IUMA)
Universidade da Coruña (UDC)

AUTORES:

Han intervenido:

Dña. María del Pilar Esperón Porto. Técnica superior en Química Ambiental.

Dra. María Piñeiro Iglesias. Técnica superior en Instrumentación Analítica.

Dra. Purificación López Mahía. Catedrática de Química Analítica.

Dra. Soledad Muniategui Lorenzo. Catedrática de Química Analítica.

Dr. Darío Prada Rodríguez. Catedrático de Química Analítica.

de la

Universidad de A Coruña,



AGRADECIMIENTOS:

- La Fundación ALCOA por financiar la adquisición del muestreador de partículas DIGITEL dentro del Proyecto titulado “Levels of PM10 in the City of a Coruña” entre 2005-2006.
- Centro Meteorológico Territorial de Galicia de A Coruña (Agencia Estatal de Meteorología)
- Personal de mantenimiento del Complejo Deportivo San Diego.

IMPORTANTE: CUALQUIER USO CIENTÍFICO O TÉCNICO DE LOS DATOS QUE AQUÍ SE REMITEN TENDRÁN QUE CITAR EXPLÍCITAMENTE LA FUENTE DE LOS MISMOS: Datos suministrados como fruto del Convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña y el Instituto Universitario de Medio Ambiente (IUMA) de la Universidad de A Coruña (UDC) para la medida de los niveles de partículas PM₁₀ en la zona de Os Castros (A Coruña).

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	5
METODOLOGÍA.....	7
Muestreo.....	7
Tratamiento de los filtros y medida gravimétrica.....	9
RESULTADOS.....	10
Marco Normativo.....	10
Niveles de PM ₁₀ según medida gravimétrica.....	11
Niveles de PM ₁₀ , PM _{2,5} y PM ₁ según espectrómetro láser.....	31
CONCLUSIONES.....	45
ANEXOS	
I. Gráficos de control de las condiciones de humedad y temperatura de la sala de balanzas para la pesada de los filtros con materia particulada PM ₁₀	47
II. Intercomparación del espectrómetro láser con el equipo gravimétrico.....	48
III. Gráficas de los niveles de partículas PM ₁₀ para días laborables y fines de semana (método gravimétrico).....	51
IV. Origen de las masas de aire.....	54
V. Comparativa de los resultados para los años 2007-2015.....	56
Niveles de PM ₁₀ según medida gravimétrica.....	56
Niveles de PM ₁₀ , PM _{2,5} y PM ₁ según espectrómetro láser.....	67

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La calidad del aire es un tema relevante por su implicación en la salud humana, el medio ambiente y demás bienes de cualquier naturaleza^{1,2}. Además, la adaptación del Real Decreto incorporado al ordenamiento jurídico español en 2002 junto a la Ley 34/2007, incluyen los estudios sobre el conocimiento de la calidad del aire^{3,4}. A esta normativa se le une la Directiva 2008/50 relativa a la calidad de aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa⁵ que se incorporó al derecho interno las novedades de esta Directiva a través del Real Decreto 102/2011⁶.

Para una continua vigilancia de la misma es necesario contar con una serie de sistemas que controlen los distintos parámetros, a pesar de que aún queden algunos aspectos por consensuar relativos a la metodología de medida y de criterios unificados que regulen la medición de emisiones e inmisión para ciertos contaminantes. Por último y no menos importante, indicar que no se conocen todas las sustancias presentes en la atmósfera, que cualquier actividad produce emisiones de sustancias a la misma y que para algunos componentes no hay umbral de protección en cuanto a niveles de concentración. Unido a todo lo anterior resaltar que en las ciudades existen fuentes móviles, fijas, puntuales, lineales, difusas, etc. lo que hace complejo el estudio.

El material particulado atmosférico es el conjunto de materia en estado sólido y/o líquido presente en suspensión en la atmósfera, exceptuando el agua pura. Se considera un constituyente habitual de la atmósfera terrestre y es emitido por fuentes naturales (materia mineral resuspendida, aerosol marino, actividad volcánica, incendios forestales no intencionados, emisiones biogénicas, etc.) que contribuyen de forma dominante a las emisiones a escala global (IPCC, 2013)⁷. Además existen numerosas fuentes de emisión antropogénicas (emisiones residenciales y domésticas, tráfico rodado, procesos industriales, generación de energía, actividades de construcción y demolición, procesos extractivos, agricultura, ganadería, incendios forestales intencionados, quemas de biomasa, entre otros...) que contribuyen incrementar los niveles de particulado atmosférico en suspensión.

¹ Directiva 96/62/CE del Consejo de 27 de septiembre de 1996, sobre evaluación y gestión de la calidad del aire.

² Ley 8/2002 de 18 de diciembre de protección del medio ambiente atmosférico de Galicia. DOG nº 25 de martes 31 de diciembre de 2002.

³ Real Decreto 1073/2002, de 18 de octubre, sobre la evaluación y gestión de la calidad del aire ambiente en relación con el dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno, óxidos de nitrógeno, partículas, plomo, benceno y monóxido de carbono.

⁴ Ley 34/2007, de 15 de noviembre, de calidad del aire y protección de la atmósfera.

⁵ Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 21 de mayo de 2008 relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa (DO L152 de 11.6.2008).

⁶ Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire (B.O.E. 25 del 29/01/2011).

⁷ IPCC, 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the IPCC. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>

Uno de los parámetros incluidos en la evaluación de la calidad de aire ambiente⁵⁻⁶ son las partículas PM₁₀, que son las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo, definido por el método de referencia para el muestreo y la medición de PM₁₀ de la norma UNE-EN 12341:1999⁸ para un diámetro aerodinámico de 10 µm con una eficiencia de corte del 50%.

Sin embargo, también ha sido reconocida la importancia y trascendencia, por parte de la Comisión Europea, de la fracción inferior a 2,5 µm (PM_{2,5}). Tanto en la Directiva 2008/50⁵ como en el Real Decreto 102/2011⁶ se indica que estas partículas tienen importantes repercusiones negativas para la salud humana y debe tenderse a una reducción general de las concentraciones en el medio urbano para garantizar que amplios sectores de la población puedan disfrutar de una mejor calidad del aire. Esta fracción PM_{2,5} se define como las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo definido por el método de referencia para el muestreo y la medición de PM_{2,5} de la norma UNE-EN 14907⁹, para un diámetro aerodinámico de 2,5 µm con una eficiencia de corte del 50%.

Desde el 12/07/2013 el Instituto Universitario de Medio Ambiente está acreditado por la Entidad Nacional de Acreditación (ENAC) para la realización de ensayos medioambientales: toma de muestra y determinación de PM₁₀. El alcance de la acreditación puede consultarse en el Anexo Técnico vigente en la página web de ENAC (<http://www.enac.es/documents/7020/a5c00c5d-9b05-4e37-8f46-a984c01be353>).

El presente informe final resume los resultados sobre los niveles diarios de partículas PM₁₀, desde enero a diciembre de 2016 en la zona de Os Castros, según el convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña y la UDC. La selección del punto de muestreo se realizó por parte de los autores del estudio conjuntamente con personal del área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de A Coruña.

Los objetivos principales han sido:

- Evaluar los niveles de partículas en suspensión PM₁₀ realizando el estudio de la evolución temporal a lo largo del período de muestreo.
- Obtener una serie temporal de niveles de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ para determinar los niveles de partículas de diferentes fracciones granulométricas.
- Comparar las medidas de PM₁₀ obtenidas simultáneamente con un equipo en continuo GRIMM y las procedentes del captador de referencia gravimétrico.

⁸ Norma UNE-EN 12341:1999 Calidad del aire. Determinación de la fracción PM₁₀ de la materia particulada en suspensión. Método de referencia y procedimiento de ensayo de campo para demostrar la equivalencia de los métodos de medida de referencia.

⁹ Norma UNE-EN 14907:2006 Calidad de aire ambiente. Método de medición gravimétrica para la determinación de la fracción másica PM_{2,5} de la materia particulada en suspensión.

- Realizar una evaluación de la calidad de aire en el lugar de muestreo de acuerdo a la normativa vigente.
- Comparar los valores encontrados este año con los de años anteriores: período 2007-2016 (10 años continuados de medidas).

METODOLOGÍA

MUESTREO

El punto de muestreo se sitúa en las instalaciones del Complejo Deportivo San Diego (figura 1) en donde se han recogido muestras diarias de PM₁₀ desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2016.



Figura 1. Punto de muestreo (Complejo Deportivo de San Diego).

Para la recogida de las muestras se empleó un muestreador automático de alto volumen DIGITEL DHA-80¹⁰ (figura 2) que cumple los requisitos de la Norma UNE-EN 12341:1999 para el muestreo de PM₁₀. El caudal de aspiración durante el muestreo ha sido de 30 m³/h. El funcionamiento del equipo es el siguiente: el aire penetra por el cabezal de corte (PM₁₀) por efecto de la aspiración de una bomba, y atraviesa el filtro para ser finalmente expulsado por el extremo opuesto del equipo. Las partículas del diámetro seleccionado se retienen sobre el filtro. El equipo cuenta con un sensor para la medida del caudal de aspiración y un programador para el control de tiempo de muestreo. Además dispone de un cambio automático de filtros con una autonomía para 15 filtros. El tiempo de muestreo es de 24 horas, desde las 0 hasta las 24 horas (UTC). Aunque el muestreo es diario, las muestras se recogen semanalmente y una vez a la semana se comprueba que los equipos de muestreo funcionan correctamente.

¹⁰ Muestreador adquirido gracias a un Proyecto financiado por la Fundación ALCOA titulado “Levels of PM₁₀ in the City of a Coruña” entre 2005-2006.



Figura 2. Fotografías (exterior e interior) del equipo de muestreo DIGITEL DHA-80.

En el punto de muestreo se dispone además de un espectrómetro láser GRIMM 1107 (figura 3). El monitor láser GRIMM 1107 permite medir en modo continuo los niveles de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ (partículas de diámetro <1 μm). El equipo realiza medidas del número de partículas en función del diámetro por medio de la dispersión del haz de un láser. Las partículas penetran en el equipo y generan señales a diferentes longitudes de onda en función de su diámetro, que son registradas por el detector. El número de cuentas por cada fracción granulométrica es convertido a masa por medio de un algoritmo y finalmente expresado en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁. Al conocer la distribución de las tres fracciones granulométricas del material particulado en suspensión en el aire se puede establecer la contribución de cada una al total de PM₁₀.

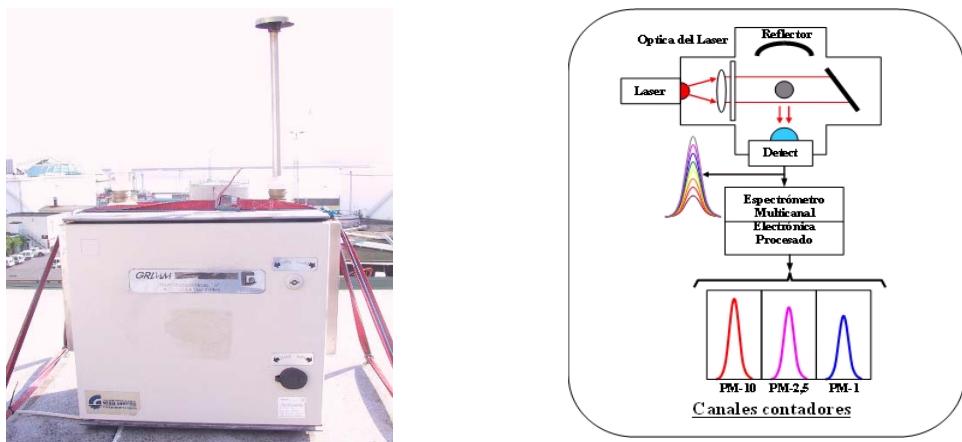


Figura 3. Fotografía y esquema de funcionamiento (cortesía de SIR S.A) del espectrómetro láser GRIMM 1107.

TRATAMIENTO DE LOS FILTROS Y MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Para el muestreo se han empleado filtros de fibra de cuarzo Munktell MK360 de 150 mm de diámetro. Los filtros se manejan con pinzas de teflón y antes de su uso se comprueba, visualmente y empleando una lámpara de luz visible que no presentan defecto alguno, tales como orificios o pérdidas de material que ocasionarían errores en la recolección de la muestra.

Los filtros en blanco y los filtros con muestra PM₁₀ se acondicionan, como mínimo 48 horas, antes de la pesada en una sala de balanzas acondicionada a 20±1°C de temperatura y 50±5% humedad relativa⁸. La balanza utilizada para la pesada se encuentra instalada en dicha sala y en cada sesión de pesada se comprueban las condiciones de la sala y se documentan (ver Anexo I, pág. 47).

Aunque se trata de la medida de PM₁₀, el tratamiento de los filtros se realizó según la norma relativa a la medida de PM_{2,5} por ser más restrictiva. Al inicio de cada sesión de pesada se verifica el correcto funcionamiento de la balanza con pesas de referencia de masas similares a los filtros, concretamente con las de 0,5 g y 1 g. Además, en el cuarto de balanzas se mantienen filtros blancos de referencia iguales a los que se usan en el muestreo y su peso se registra en cada sesión de pesada. Si las masas de los filtros blancos de referencia han cambiado menos de 500 µg desde la última sesión de pesada, su masa media se registra y se procede a la pesada de los filtros con la muestra. En caso contrario, no se pesan filtros con las muestras, hasta que la diferencia de pesada de los filtros blancos de referencia sea menor de los 500 µg.

Los filtros que se usan en el muestreo se pesan dos veces con un intervalo de al menos 12 h, para confirmar que el peso del filtro es estable. Posteriormente se toma la media de las dos medidas como peso del filtro en blanco. Después del muestreo los filtros, con materia particulada PM₁₀, se mantienen en la sala de balanzas durante un mínimo de 48 h antes de la primera pesada y después de al menos 12 h se realiza una segunda pesada. La masa del filtro PM₁₀ se toma como la media de las dos medidas.

A continuación se crea una base de datos con los valores de PM₁₀ referidos al volumen de muestreo ($\mu\text{g PM}_{10}/\text{m}^3$). Los datos obtenidos se redondean a un número entero y en hora UTC (Tiempo Universal Coordinado), antes de su almacenamiento en la base de datos. La hora local sería la hora UTC+1h (desde el último domingo de octubre hasta el último domingo de marzo) y UTC+2h (desde el último domingo de marzo hasta el último domingo de octubre).

RESULTADOS

MARCO NORMATIVO

En el Real Decreto 102/2011⁶ se establecen los valores indicados en la tabla I.

Tabla I. Valores límite (PM₁₀) en condiciones ambientales para la protección de la salud⁶.

Período de promedio	Valor límite*	Margen de tolerancia**	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor límite diario	24 horas 50 µg/m ³ , que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año	50%	En vigor desde el 1 de enero de 2005
Valor límite anual	1 año civil 40 µg/m ³	20%	En vigor desde el 1 de enero de 2005

*Valor límite: nivel fijado basándose en conocimientos científicos, con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, para el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza, que debe alcanzarse en un período determinado y no superarse una vez alcanzado.

**Margen de tolerancia: porcentaje del valor límite o cantidad en que éste puede sobrepasarse con arreglo a las condiciones establecidas.

Existen casos en los que el cumplimiento de los valores límite puede ser descontado cuando los valores límite son sobrepasados por las aportaciones de fuentes naturales, es decir: las emisiones de contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, que incluyen *fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, las actividades sísmicas o geotérmicas, los incendios forestales no intencionados, los fuertes vientos, los aerosoles marinos, la resuspensión atmosférica y el transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas*".

Dada la importancia de la medida de los niveles de partículas PM_{2,5}, tal y como se ha comentado en la introducción de este informe, se establecen valores para estas partículas finas, tal y como se recoge en la tabla II.

Tabla II. Valores objetivo y límite de las partículas (PM_{2,5}) en condiciones ambientales para la protección de la salud⁶.

Período de promedio	Valor	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor objetivo* anual	1 año civil 25 µg/m ³	-	En vigor desde el 1 de enero de 2015
Valor límite** anual (fase II)	1 año civil 20 µg/m ³	-	1 de enero de 2020

*Valor objetivo: nivel de un contaminante que deberá alcanzarse, en la medida de lo posible, en un momento determinado para evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana, el medio ambiente en su conjunto y demás bienes de cualquier naturaleza.

**Valor límite indicativo que deberá referirse como valor límite en 2013 a la luz de una mayor información acerca de los efectos sobre la salud y el medio ambiente, la viabilidad técnica y la experiencia obtenida con el valor objetivo en los Estados Miembros de la Unión Europea.

Además en el Real Decreto 102/2011⁶ se incluyen los umbrales superior e inferior de evaluación (UES y UEI), cuya superación se determinará sobre la base de las concentraciones registradas durante los cinco años anteriores si se dispone de datos. Se considerará que se ha superado un umbral de evaluación cuando, en el transcurso de esos cinco años, se haya superado el valor numérico del umbral durante al menos tres años distintos (tabla III).

Tabla III. Umbrales de evaluación superior e inferior para PM₁₀ y PM_{2,5}.

	Media diaria PM₁₀	Media anual PM₁₀	Media anual PM_{2,5} (1)
Umbral superior de evaluación*	70% del valor límite (35 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	70% del valor límite (28 µg/m ³)	70% del valor límite (17 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación**	50% del valor límite (25 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	50% del valor límite (20 µg/m ³)	50% del valor límite (12 µg/m ³)

*Umbral superior de evaluación: nivel por debajo del cual puede utilizarse una combinación de medidas fijas y técnicas de modelización y/o mediciones indicativas para evaluar la calidad del aire ambiente.

**Umbral inferior de evaluación: nivel por debajo del cual es posible limitarse al empleo de técnicas de modelización para evaluar la calidad del aire ambiente.

(1) El umbral superior de evaluación y el umbral inferior de evaluación para las PM_{2,5} no se aplica a las mediciones para evaluar el cumplimiento del objetivo de reducción de la exposición a las PM_{2,5} para la protección de la salud humana.

NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

La concentración media anual de PM₁₀ obtenida en el punto de muestreo objeto de estudio es de 19 µg/m³. Valor que cumple con los requerimientos de la normativa⁶ al estar por debajo del valor límite promedio anual de 40 µg/m³ y aproximadamente el 50% del valor límite como media anual (20 µg/m³) considerado para el umbral inferior de evaluación (tabla III) y similar al obtenido en el año 2015.

En la tabla IV se indica un resumen de los resultados obtenidos observando que se han producido 1 superación del valor límite diario de 50 µg/m³. En este año el porcentaje de datos válidos ha sido del 93%, ligeramente superior al mínimo indicado en la normativa. El valor máximo de 65 µg/m³ se produce en el tercer trimestre (mes de julio) y el mínimo de 4 µg/m³ en el segundo trimestre (mes de abril).

Tabla IV. Resumen de los niveles de PM₁₀ en las muestras recogidas durante el año 2016.

Nº muestras recogidas	342
Cobertura temporal (relativa al año civil)	93%
VALOR MÁXIMO PROMEDIO DIARIO de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65
VALOR MÍNIMO PROMEDIO DIARIO de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1
VALOR MEDIO ANUAL de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19

La tabla V y la figura 4 recogen los niveles medios mensuales de PM₁₀ que oscilan entre 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de enero, y los ~22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de marzo, mayo y diciembre.

Los valores máximos diarios se producen en los meses de julio con 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y agosto y marzo, con 46 y 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ respectivamente, disminuyendo hasta los 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en enero. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 4 y 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de abril y julio, respectivamente, y los 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de diciembre.

En la tabla también se indica la distribución por mes del número de superaciones del valor límite diario, observando que durante este año se ha producido una única superación, en el mes de julio.

Tabla V. Valores medios, rangos de concentración y número de superaciones.

	Media ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Mínimo	Máximo	nº superaciones
Enero	14	7	24	0
Febrero	18	9	32	0
Marzo	22	8	45	0
Abril	13	4	40	0
Mayo	22	10	40	0
Junio	17	8	28	0
Julio	19	6	65	1
Agosto	20	9	46	0
Septiembre	20	8	31	0
Octubre	21	7	40	0
Noviembre	17	7	33	0
Diciembre	23	12	43	0

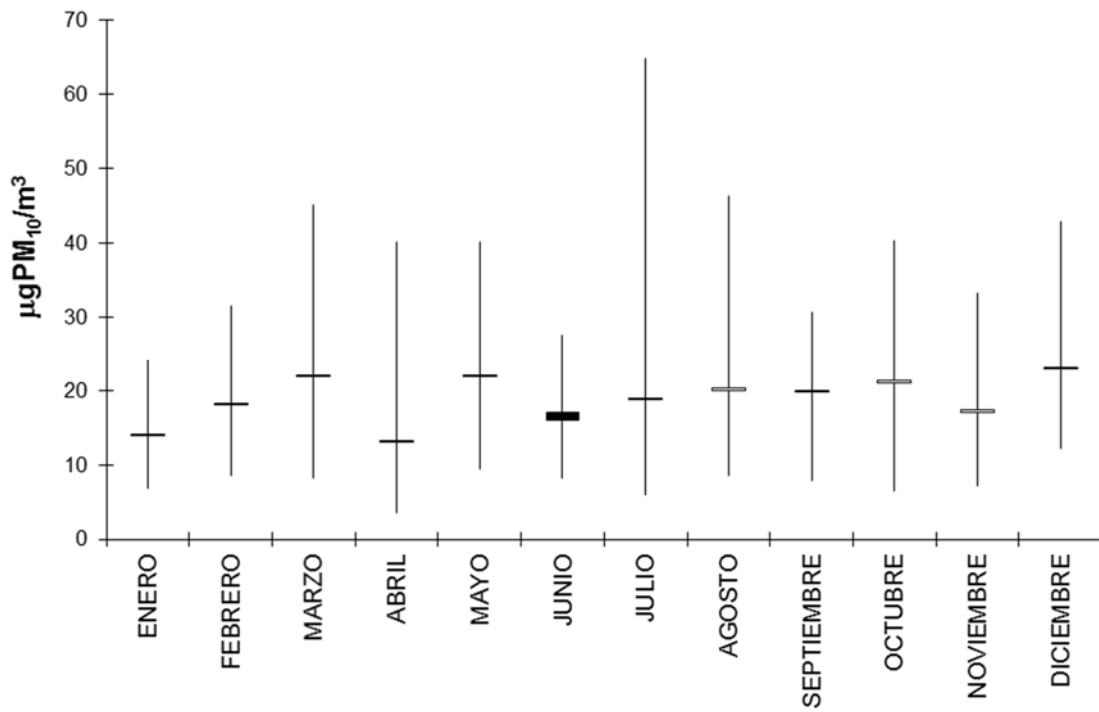
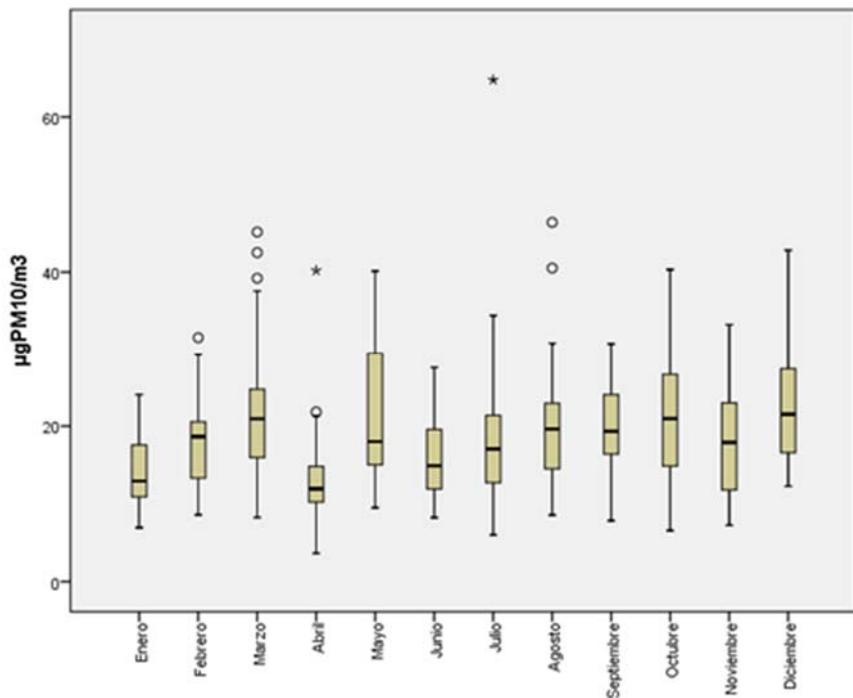


Figura 4. Variación mensual del valor medio y del rango de concentración de PM_{10} .

Para facilitar el análisis de los datos, a menudo se utilizan métodos gráficos simples entre los cuales están los diagramas de caja o de Box-Whisker. Los valores máximo y mínimo, los cuartiles inferior y superior (percentil 25 y 75 respectivamente) y la mediana (percentil 50) se representan en una caja rectangular alineada verticalmente. La caja se extiende del cuartil inferior al superior, y es atravesada de un lado a otro por la mediana. A partir de los extremos de la caja se extienden líneas (llamadas comúnmente “bigotes”) hasta los valores máximo y mínimo. Si un dato dista del cuartil más cercano en más de 1,5 y de 3 veces el intervalo intercuartílico se representa separado de los bigotes.

En la figura 5 se muestran los gráficos para el total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional de la concentración de PM_{10} en el punto de muestreo refleja la variación estacional con los valores más altos en los meses de marzo, mayo y de septiembre a diciembre.



º Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 5. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo.

En la tabla VI se muestran los valores promedio diarios de PM₁₀ para todos los meses del año. Un 1,8% de los días superan los 40 µg/m³, un 8,5% superan los 30 µg/m³ y un 34,5% superan los 20 µg/m³.

En relación con los valores de UES y UEI de la media diaria, indicar que un 3,8% de las muestras (13 días) superan el UES de 35 µg/m³ y un 18,1% (62 días) superan el UEI de 25 µg/m³. Se han superado las 35 ocasiones como máximo permitidas durante un año civil de superación del UEI (25 µg/m³) para la media diaria de PM₁₀.

El valor medio anual de PM₁₀ obtenido de 19 µg PM₁₀/m³ es aproximadamente igual al UEI calculado como media anual de PM₁₀ (20 µg/m³ = 50% del VL) (tabla III, página 11).

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀.

ENERO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	FEBRERO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MARZO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Viernes 1	15	0,79	Lunes 1	16	0,81	Martes 1	16	0,82
Sábado 2	13	0,77	Martes 2	13	0,77	Miércoles 2	21	0,91
Domingo 3	10	0,72	Miércoles 3	26	1,01	Jueves 3	25	0,99
Lunes 4	15	0,79	Jueves 4	29	1,08	Viernes 4	16	0,81
Martes 5	18	0,84	Viernes 5	-	-	Sábado 5	21	0,89
Miércoles 6	12	0,75	Sábado 6	18	0,85	Domingo 6	15	0,80
Jueves 7	8	0,69	Domingo 7	14	0,78	Lunes 7	24	0,96
Viernes 8	12	0,75	Lunes 8	10	0,73	Martes 8	16	0,82
Sábado 9	12	0,74	Martes 9	21	0,88	Miércoles 9	22	0,93
Domingo 10	11	0,73	Miércoles 10	19	0,85	Jueves 10	45	1,46
Lunes 11	22	0,91	Jueves 11	9	0,71	Viernes 11	23	0,94
Martes 12	19	0,86	Viernes 12	9	0,70	Sábado 12	14	0,78
Miércoles 13	8	0,71	Sábado 13	19	0,85	Domingo 13	22	0,91
Jueves 14	14	0,78	Domingo 14	27	1,01	Lunes 14	36	1,23
Viernes 15	16	0,82	Lunes 15	32	1,13	Martes 15	38	1,26
Sábado 16	12	0,76	Martes 16	27	1,03	Miércoles 16	43	1,39
Domingo 17	-	-	Miércoles 17	19	0,87	Jueves 17	28	1,03
Lunes 18	-	-	Jueves 18	19	0,86	Viernes 18	21	0,90
Martes 19	19	0,86	Viernes 19	19	0,87	Sábado 19	16	0,81
Miércoles 20	13	0,77	Sábado 20	12	0,75	Domingo 20	39	1,30
Jueves 21	7	0,69	Domingo 21	15	0,79	Lunes 21	26	0,99
Viernes 22	10	0,72	Lunes 22	19	0,87	Martes 22	18	0,83
Sábado 23	13	0,76	Martes 23	12	0,75	Miércoles 23	19	0,86
Domingo 24	13	0,75	Miércoles 24	9	0,72	Jueves 24	24	0,95
Lunes 25	21	0,90	Jueves 25	15	0,80	Viernes 25	8	0,71
Martes 26	18	0,84	Viernes 26	13	0,76	Sábado 26	8	0,70
Miércoles 27	14	0,77	Sábado 27	20	0,88	Domingo 27	13	0,76
Jueves 28	24	0,97	Domingo 28	25	0,98	Lunes 28	24	0,94
Viernes 29	21	0,91	Lunes 29	27	1,02	Martes 29	11	0,74
Sábado 30	8	0,71				Miércoles 30	11	0,74
Domingo 31	12	0,75				Jueves 31	18	0,84

^(*) U: incertidumbre

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀ (continuación).

ABRIL 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MAYO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	JUNIO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Viernes 1	15	1	Domingo 1	11	1	Miércoles 1	<i>Calibración cabezal</i>	
Sábado 2	11	1	Lunes 2	28	1	Jueves 2	23	1
Domingo 3	11	1	Martes 3	18	1	Viernes 3	26	1
Lunes 4	15	1	Miércoles 4	31	1	Sábado 4	18	1
Martes 5	19	1	Jueves 5	40	1	Domingo 5	18	1
Miércoles 6	22	1	Viernes 6	<i>Fallo eléctrico</i>		Lunes 6	14	1
Jueves 7	40	1	Sábado 7			Martes 7	26	1
Viernes 8	20	1	Domingo 8	<i>Calibración caudalímetro</i>		Miércoles 8	28	1
Sábado 9	11	1	Lunes 9			Jueves 9	20	1
Domingo 10	4	1	Martes 10			Viernes 10	16	1
Lunes 11	4	1	Miércoles 11			Sábado 11	12	1
Martes 12	8	1	Jueves 12			Domingo 12	8	1
Miércoles 13	10	1	Viernes 13			Lunes 13	16	1
Jueves 14	10	1	Sábado 14			Martes 14	15	1
Viernes 15	12	1	Domingo 15			Miércoles 15	12	1
Sábado 16	6	1	Lunes 16			Jueves 16	20	1
Domingo 17	6	1	Martes 17			Viernes 17	20	1
Lunes 18	13	1	Miércoles 18			Sábado 18	11	1
Martes 19	7	1	Jueves 19			Domingo 19	10	1
Miércoles 20	14	1	Viernes 20			Lunes 20	14	1
Jueves 21	12	1	Sábado 21			Martes 21	12	1
Viernes 22	19	1	Domingo 22			Miércoles 22	13	1
Sábado 23	10	1	Lunes 23			Jueves 23	10	1
Domingo 24	11	1	Martes 24			Viernes 24	16	1
Lunes 25	21	1	Miércoles 25			Sábado 25	10	1
Martes 26	17	1	Jueves 26	23	1	Domingo 26	12	1
Miércoles 27	14	1	Viernes 27	15	1	Lunes 27	24	1
Jueves 28	11	1	Sábado 28	10	1	Martes 28	11	1
Viernes 29	14	1	Domingo 29	15	1	Miércoles 29	18	1
Sábado 30	12	1	Lunes 30	17	1	Jueves 30	12	1
			Martes 31	31	1			

^(*) U: incertidumbre

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀ (continuación).

JULIO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	AGOSTO 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	SEPTIEMBRE 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Viernes 1	10	1	Lunes 1	9	1	Jueves 1	31	1
Sábado 2	15	1	Martes 2	9	1	Viernes 2	29	1
Domingo 3	22	1	Miércoles 3	13	1	Sábado 3	24	1
Lunes 4	18	1	Jueves 4	11	1	Domingo 4	27	1
Martes 5	11	1	Viernes 5	14	1	Lunes 5	24	1
Miércoles 6	22	1	Sábado 6	12	1	Martes 6	30	1
Jueves 7	21	1	Domingo 7	15	1	Miércoles 7	23	1
Viernes 8	17	1	Lunes 8	21	1	Jueves 8	17	1
Sábado 9	19	1	Martes 9	19	1	Viernes 9	17	1
Domingo 10	15	1	Miércoles 10	20	1	Sábado 10	15	1
Lunes 11	16	1	Jueves 11	13	1	Domingo 11	11	1
Martes 12	12	1	Viernes 12	30	1	Lunes 12	9	1
Miércoles 13	17	1	Sábado 13	46	1	Martes 13	16	1
Jueves 14	17	1	Domingo 14	29	1	Miércoles 14	15	1
Viernes 15	21	1	Lunes 15	20	1	Jueves 15	20	1
Sábado 16	23	1	Martes 16	20	1	Viernes 16	24	1
Domingo 17	25	1	Miércoles 17	18	1	Sábado 17	18	1
Lunes 18	34	1	Jueves 18	15	1	Domingo 18	13	1
Martes 19	23	1	Viernes 19	20	1	Lunes 19	16	1
Miércoles 20	13	1	Sábado 20	20	1	Martes 20	16	1
Jueves 21	17	1	Domingo 21	27	1	Miércoles 21	19	1
Viernes 22	19	1	Lunes 22	41	1	Jueves 22	17	1
Sábado 23	12	1	Martes 23	24	1	Viernes 23	23	1
Domingo 24	12	1	Miércoles 24	30	1	Sábado 24	8	1
Lunes 25	9	1	Jueves 25	31	1	Domingo 25	28	1
Martes 26	65	2 ^(**)	Viernes 26	20	1	Lunes 26	22	1
Miércoles 27	31	1	Sábado 27	14	1	Martes 27	18	1
Jueves 28	17	1	Domingo 28	17	1	Miércoles 28	23	1
Viernes 29	13	1	Lunes 29	17	1	Jueves 29	25	1
Sábado 30	9	1	Martes 30	17	1	Viernes 30	22	1
Domingo 31	6	1	Miércoles 31	20	1			

^(*) U: incertidumbre

^(**) Detectado un error en el informe del tercer trimestre

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀ (continuación).

OCTUBRE 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NOVIEMBRE 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	DICIEMBRE 2016	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	U ^(*) ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Sábado 1	11	1	Martes 1	24	1	Jueves 1	23	1
Domingo 2	12	1	Miércoles 2	33	1	Viernes 2	30	1
Lunes 3	19	1	Jueves 3	31	1	Sábado 3	15	1
Martes 4	21	1	Viernes 4	20	1	Domingo 4	22	1
Miércoles 5	26	1	Sábado 5	12	1	Lunes 5	23	1
Jueves 6	24	1	Domingo 6	12	1	Martes 6	18	1
Viernes 7	25	1	Lunes 7	13	1	Miércoles 7	17	1
Sábado 8	18	1	Martes 8	9	1	Jueves 8	13	1
Domingo 9	10	1	Miércoles 9	17	1	Viernes 9	14	1
Lunes 10	20	1	Jueves 10	16	1	Sábado 10	17	1
Martes 11	26	1	Viernes 11	13	1	Domingo 11	28	1
Miércoles 12	20	1	Sábado 12	8	1	Lunes 12	31	1
Jueves 13	20	1	Domingo 13	11	1	Martes 13	25	1
Viernes 14	13	1	Lunes 14	14	1	Miércoles 14	16	1
Sábado 15	8	1	Martes 15	19	1	Jueves 15	16	1
Domingo 16	12	1	Miércoles 16	26	1	Viernes 16	28	1
Lunes 17	14	1	Jueves 17	22	1	Sábado 17	27	1
Martes 18	17	1	Viernes 18	26	1	Domingo 18	21	1
Miércoles 19	21	1	Sábado 19	7	1	Lunes 19	27	1
Jueves 20	15	1	Domingo 20	10	1	Martes 20	32	1
Viernes 21	31	1	Lunes 21	19	1	Miércoles 21	17	1
Sábado 22	27	1	Martes 22	14	1	Jueves 22	16	1
Domingo 23	7	1	Miércoles 23	19	1	Viernes 23	12	1
Lunes 24	23	1	Jueves 24	8	1	Sábado 24	19	1
Martes 25	27	1	Viernes 25	11	1	Domingo 25	18	1
Miércoles 26	29	1	Sábado 26	21	1	Lunes 26	18	1
Jueves 27	29	1	Domingo 27	23	1	Martes 27	25	1
Viernes 28	34	1	Lunes 28	25	1	Miércoles 28	27	1
Sábado 29	31	1	Martes 29	24	1	Jueves 29	34	1
Domingo 30	40	1	Miércoles 30	18	1	Viernes 30	38	1
Lunes 31	34	1				Sábado 31	43	1

(*) **U:** incertidumbre

Por lo general, a igualdad de fuentes y tasas de emisión, las altas concentraciones de contaminantes en el aire pueden estar relacionadas con las inversiones de temperatura en la atmósfera ya que éstas inhiben la dispersión de contaminantes, y con la escasa precipitación.

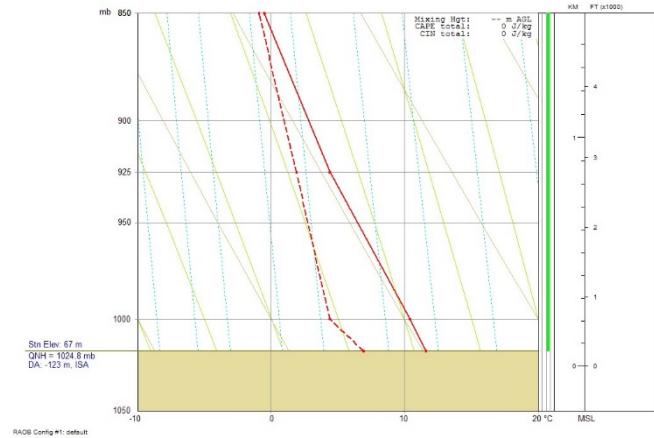
La capa límite atmosférica o capa de mezcla representa el estrato de aire sujeto a la influencia de la superficie terrestre. La determinación de la altura de capa de mezcla nos permite conocer la profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado y dispersión de los contaminantes, de ahí la gran importancia a la hora de estudiar episodios de contaminación.

Por ello se abre un ilimitado campo de investigación orientado a descubrir cómo se comporta y cuál es la extensión del estrato en el que se emiten los contaminantes y en el que se desarrolla la vida sobre la Tierra.

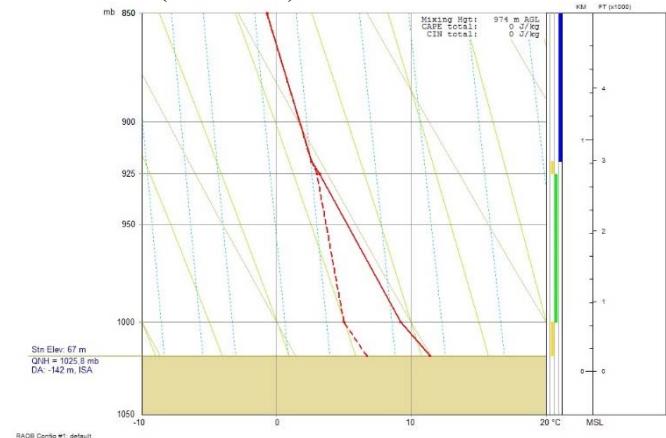
Lo interesante sería conocer la variación horaria de la misma a lo largo del día, lo cual no se realiza en este estudio. No obstante y con las limitaciones que presenta se han calculado las alturas de la capa de mezcla mediante el programa RAOB 5.7 (*RAwinsonde OBservation, Environmental Research Services, LLC*) a partir de los radiosondeos proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología, realizados a las 12 h del mediodía y a las 0 h de la noche, hora local.

En la figura 6 se presentan los perfiles de temperatura de la atmósfera de algunos días representativos con niveles altos de partículas. Estas gráficas se han obtenido mediante el programa RAOB 5.7, y se representa la presión atmosférica (en mb) en el eje principal y la altura (en km) en el eje secundario frente a la temperatura (en °C). La línea continua de color rojo representa la temperatura ambiente y la discontinua la temperatura de rocío (temperatura a partir de la cual el vapor de agua comienza a condensar en pequeñas gotas). Cuanto más cerca estén estas dos líneas más humedad en el aire. Las zonas de color verde indican inversiones de temperatura que se producen cuando la temperatura del aire aumenta con la altura, situación muy común pero generalmente confinada a una capa relativamente superficial.

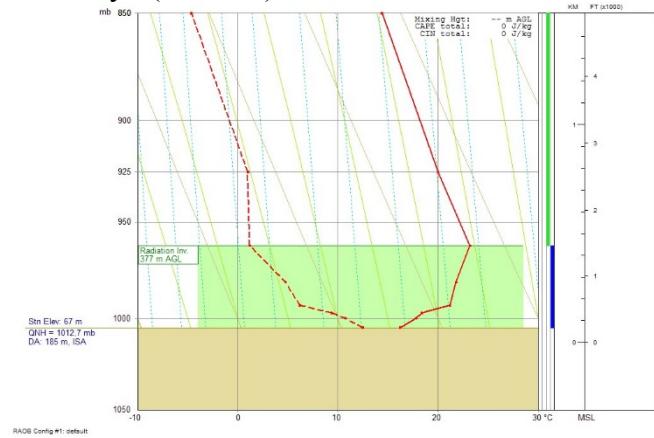
07 de abril (0h UTC)



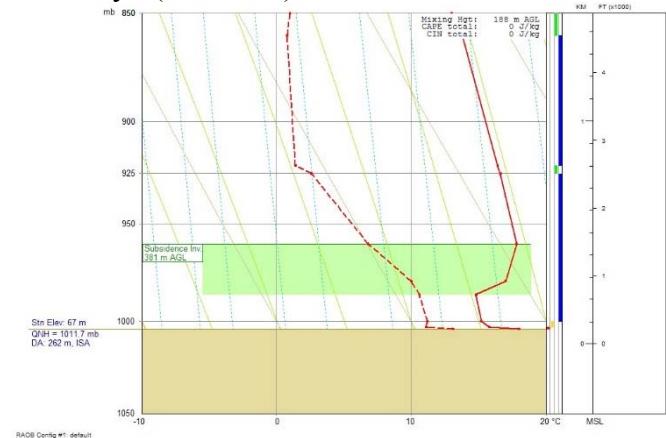
07 de abril (12h UTC)



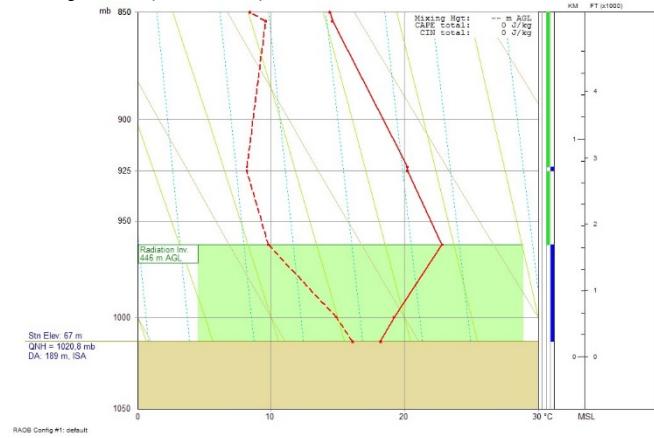
5 de mayo (0h UTC)



5 de mayo (12h UTC)



8 de junio (0h UTC)



8 de junio (12h UTC)

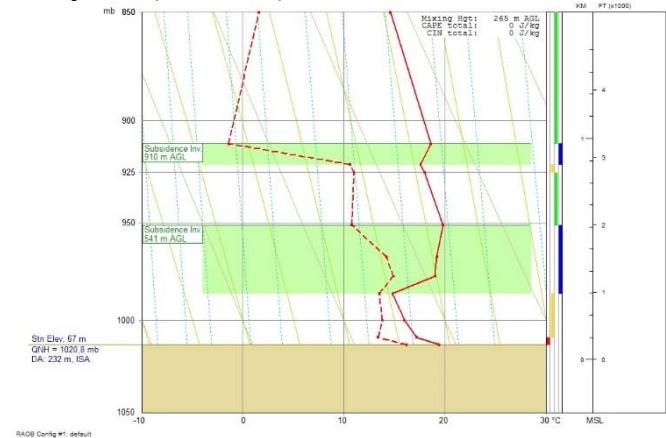
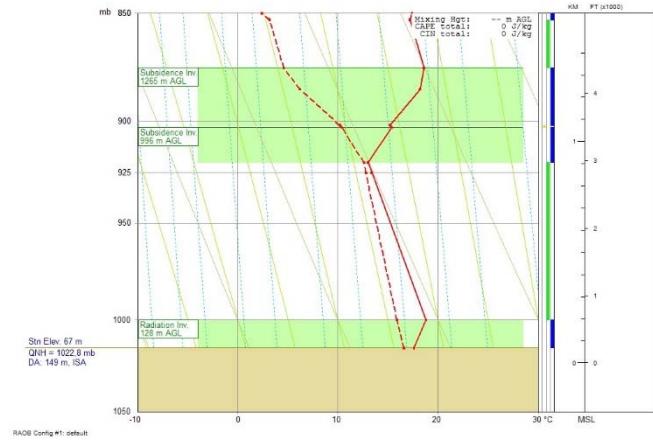
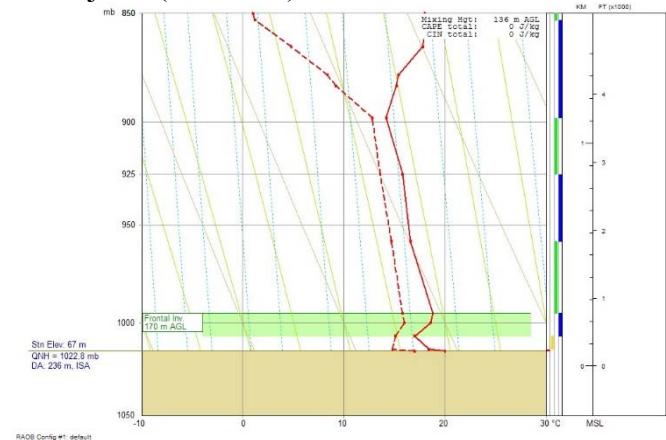


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

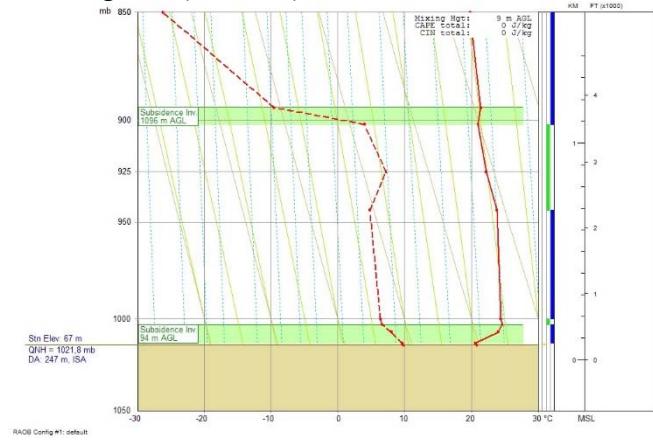
26 de julio (0h UTC)



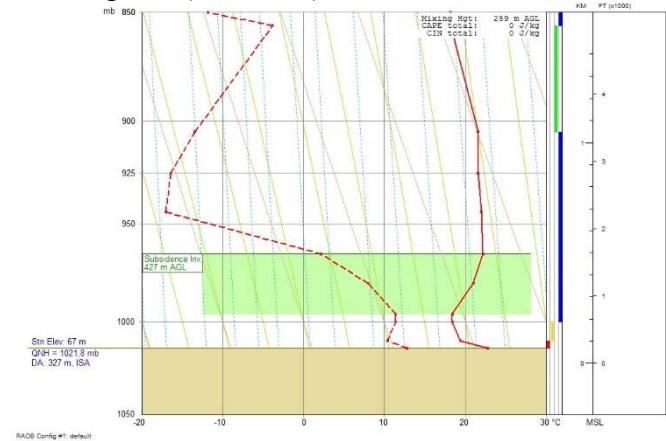
26 de julio (12h UTC)



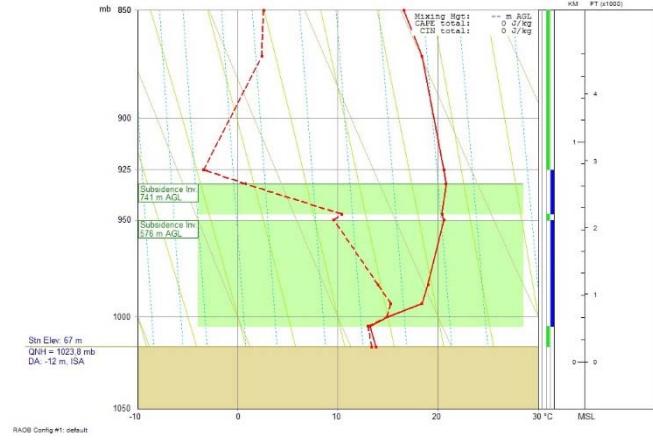
13 de agosto (0h UTC)



13 de agosto (12h UTC)



30 de octubre (0h UTC)



30 de octubre (12h UTC)

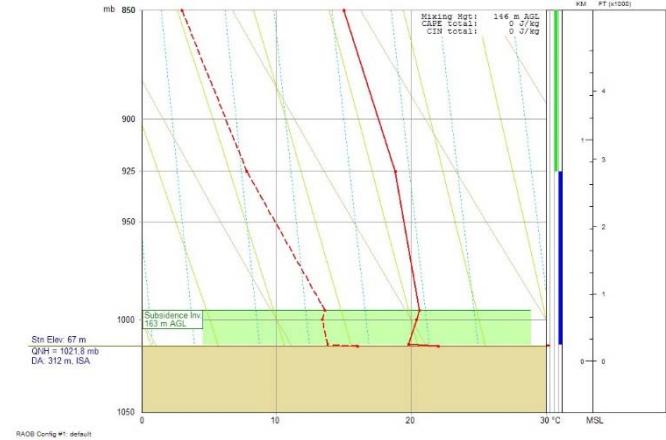
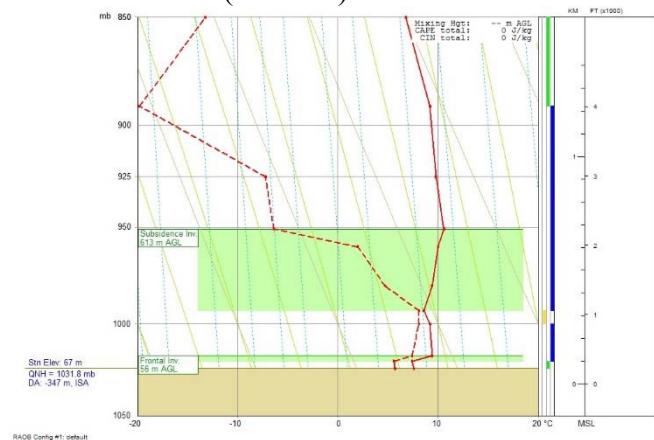


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

31 de diciembre (0h UTC)



31 de diciembre (12h UTC)

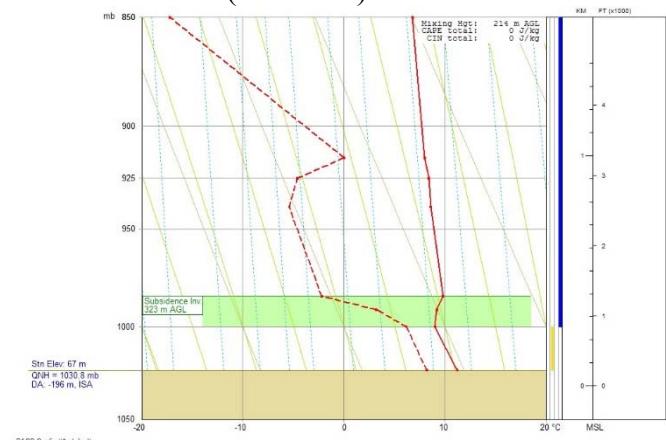


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB.

A continuación, en la figura 7 se expresan los resultados en forma de gráfica donde se pueden ver la evolución de los niveles diarios de PM₁₀, para cada mes. En las gráficas se sombrean en gris claro los valores por encima del umbral de evaluación inferior (UEI, 25 µg/m³) y con gris oscuro por encima del umbral de evaluación superior (UES, 35 µg/m³).

Los niveles de partículas son ligeramente inferiores a los del año pasado. Con la excepción de los meses de mayo, octubre y diciembre, en el resto de los meses aproximadamente el 80% de los valores están por debajo del UEI.

Los niveles más elevados se producen en períodos continuados de 3-4 días.

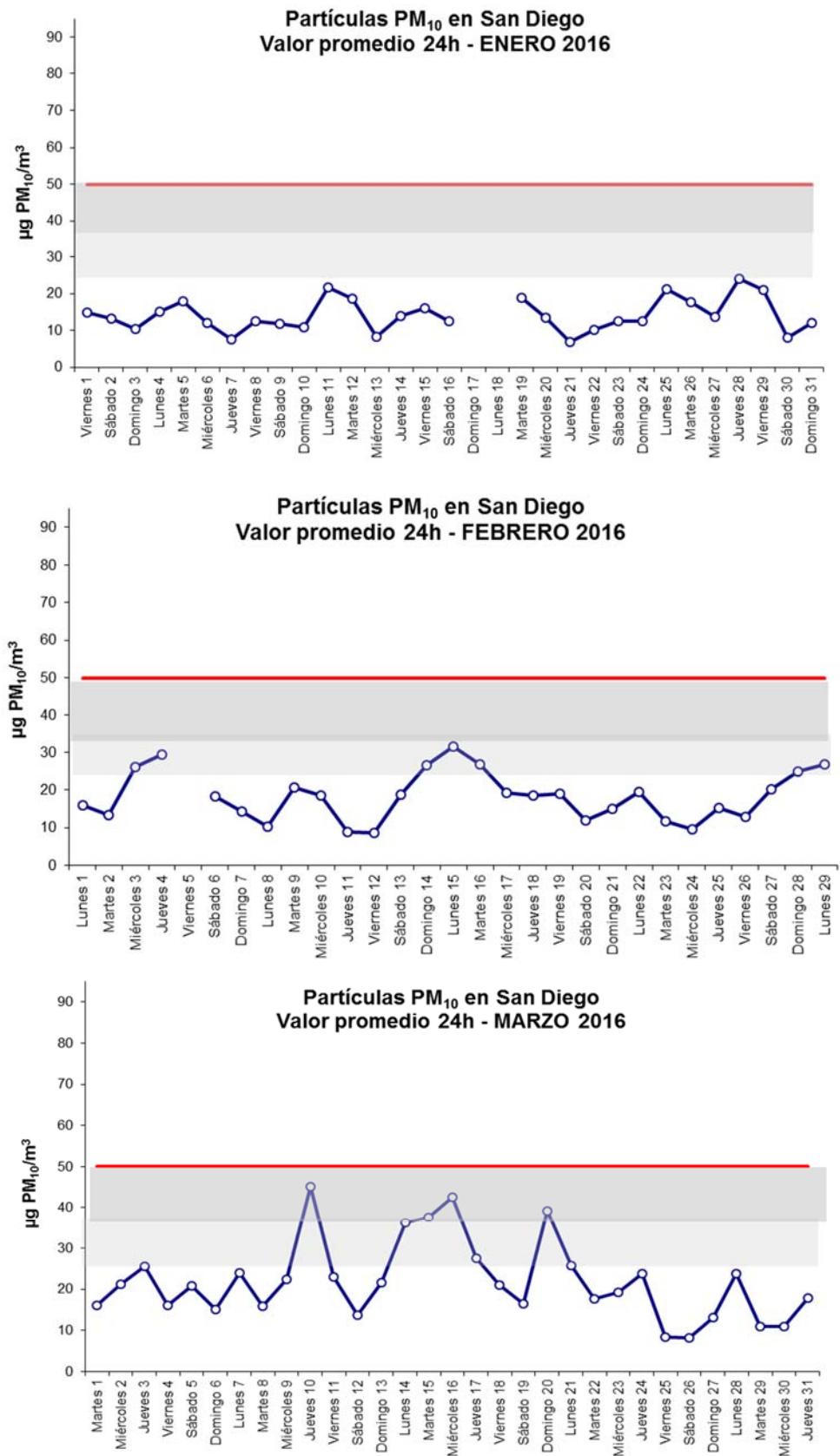


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀. (continúa)

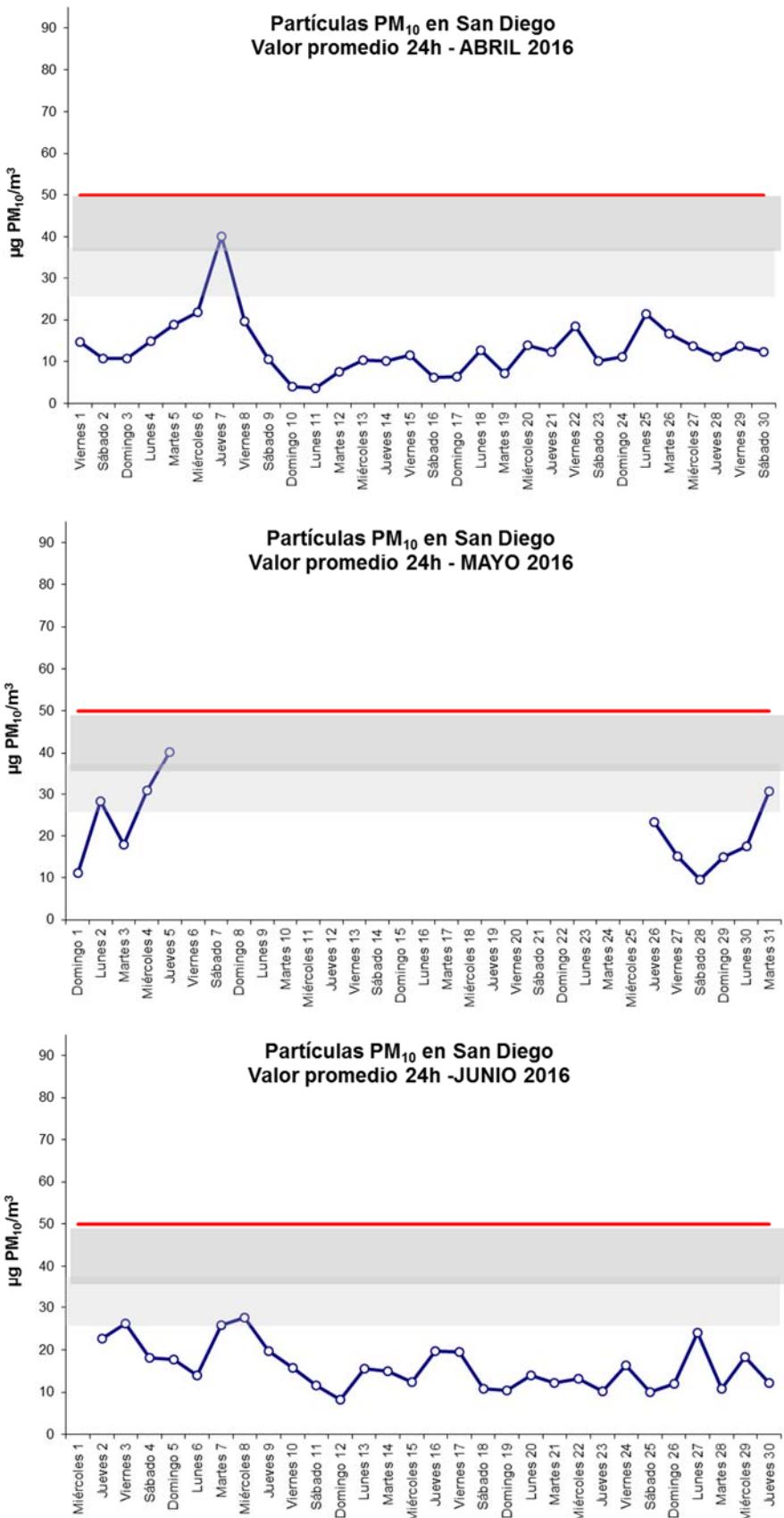


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀. (continúa)

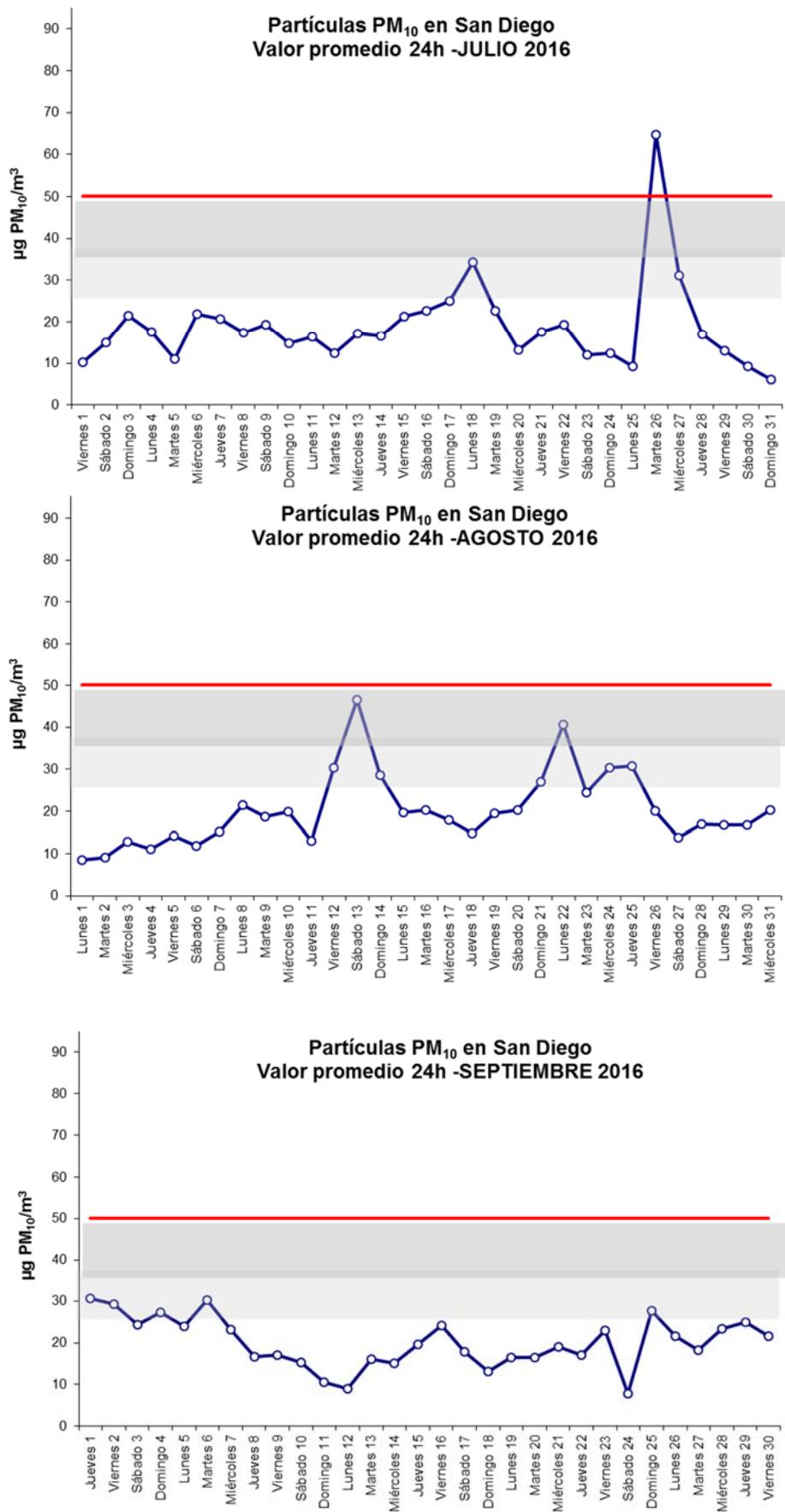


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀. (continúa)

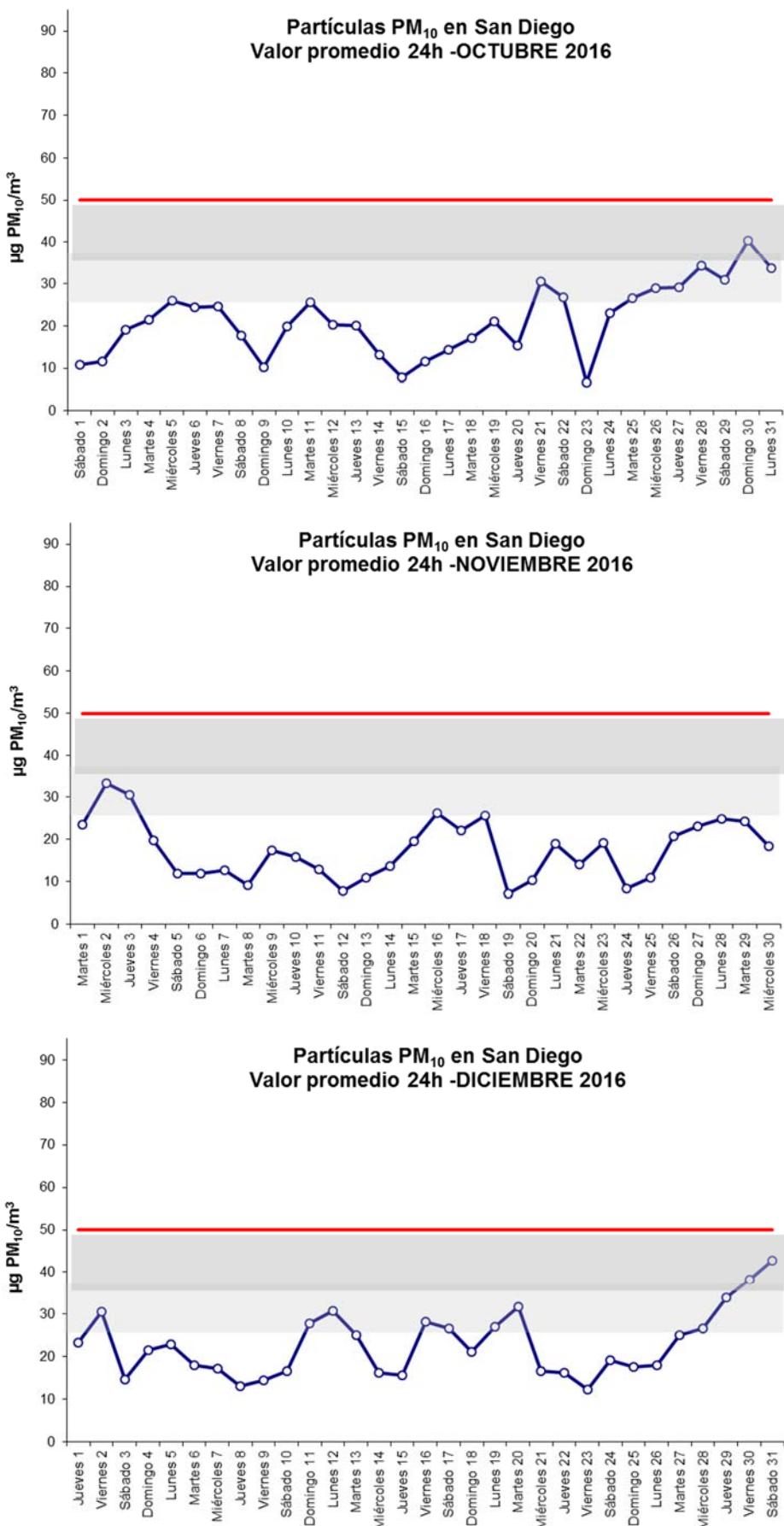


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀.

En la figura 8 se representan el porcentaje de muestras que superan dentro de cada mes el UEI y el UES.

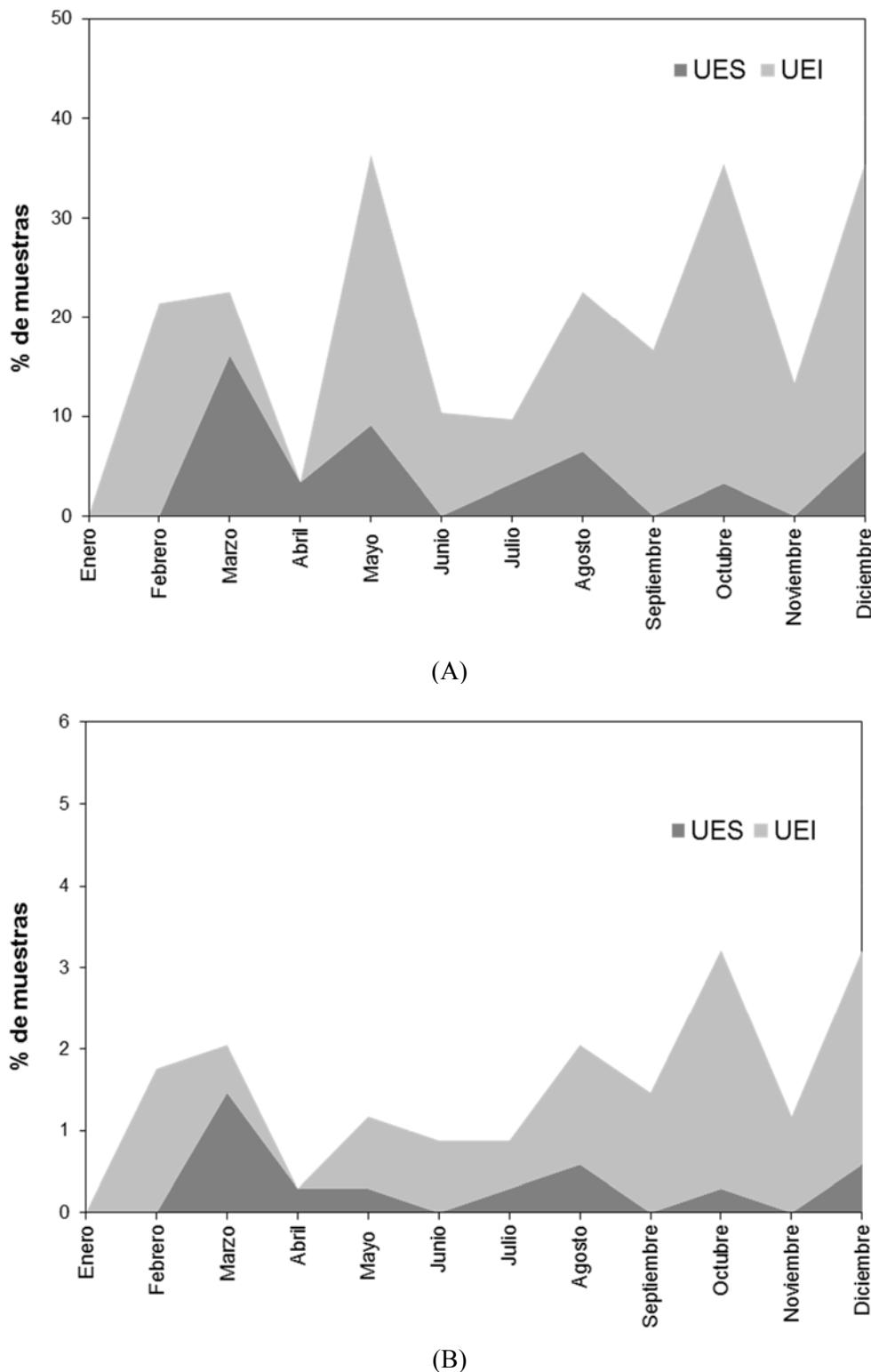


Figura 8. Evolución mensual del porcentaje de muestras que superan los UEI y UES:
(A) en cada mes (B) en relación al total de muestras del año 2016.

Para evaluar la influencia de la precipitación en los niveles de materia particulada PM₁₀ se ha representado el sumatorio de la precipitación acumulada en un mes frente a la media mensual de los niveles de PM₁₀ (figura 9). Los datos de precipitación han sido obtenidos en la estación de inmisión “Pablo Iglesias” situada en el Castrillón perteneciente al Ayuntamiento de A Coruña. Así, se observan las diferencias entre los distintos meses de estudio, siendo los meses de mayo a agosto, octubre y diciembre los menos lluviosos.

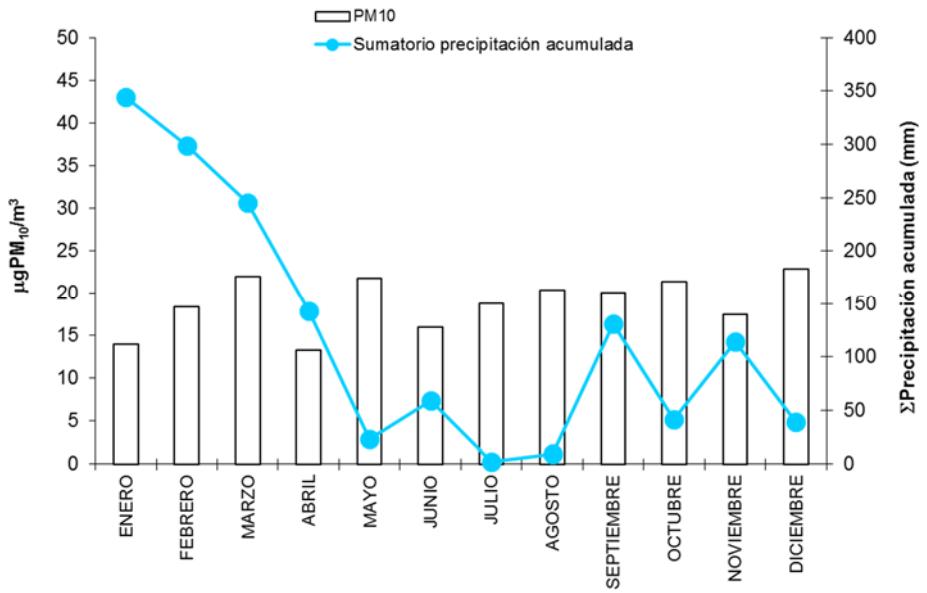


Figura 9. Niveles promedio mensuales de PM₁₀ y de sumatorio de precipitación acumulada.

Para una discusión más detallada, en la figura 10 se presenta el valor diario de la precipitación acumulada y del valor de PM₁₀. Se observa que el primer trimestre del año ha sido la época más lluviosa coincidiendo con niveles de partículas más bajos.

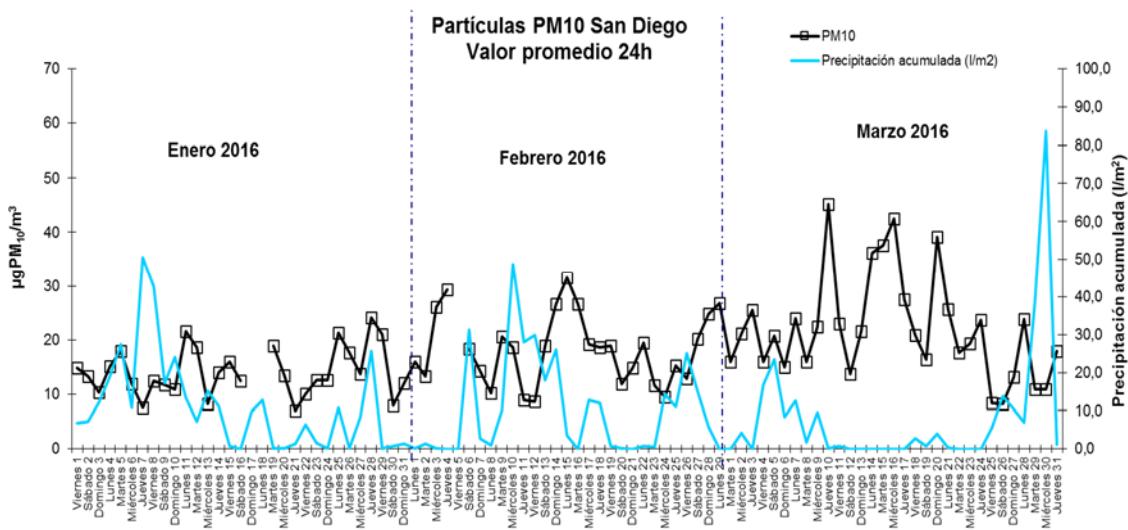


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedios diarios de partículas PM₁₀.
(continúa)

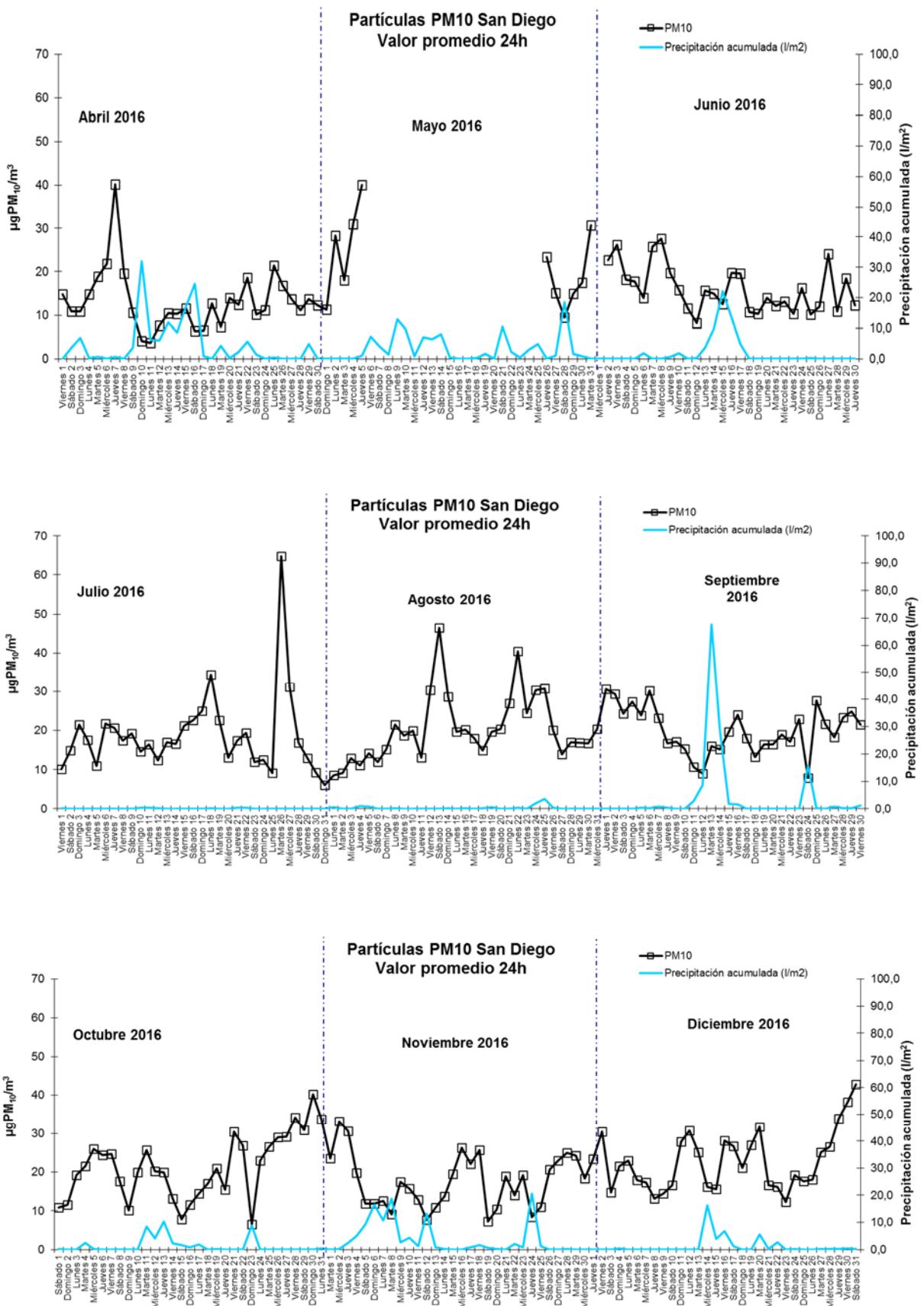
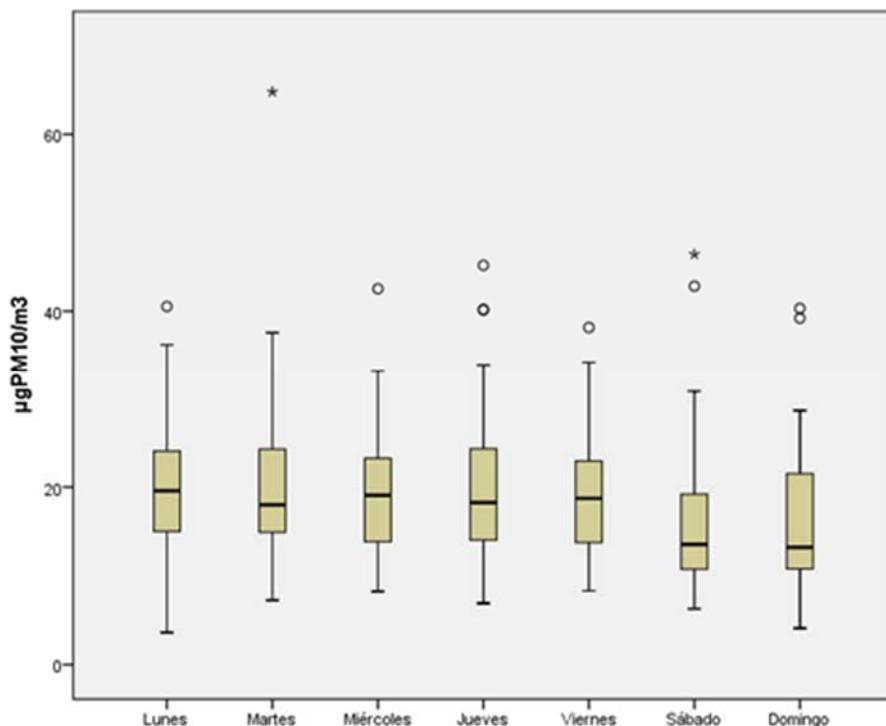


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedios diarios de partículas PM₁₀.

En relación con la variación de los niveles de PM₁₀ en función del día de la semana en la representación de Box-Whisker (figura 11), se observa que los niveles aumentan ligeramente de lunes a viernes para luego disminuir durante el fin de semana, tendencia similar a la del año anterior.



^o Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 11. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana durante el período de muestreo.

Para un estudio en detalle de la variación diaria a lo largo de la semana, en la tabla VII se indica la comparación entre los niveles promedios diarios de partículas PM₁₀ obtenidos los días laborables (lunes a viernes) y los fines de semana (sábado y domingo) durante el año 2016.

Los valores más altos y el número de superaciones del valor límite promedio diario tienen lugar en días laborables, y al igual que el año pasado existe un incremento de 4 µg/m³ en relación con los valores obtenidos los fines de semana (20 y 16 µg/m³, respectivamente).

Además en la tabla se clasifican las muestras en función de diferentes rangos de concentración de partículas; indicando en forma de porcentaje la diferencia clara entre ambos períodos (ver Anexo III, pág. 51-53).

Tabla VII. Comparación de los niveles de PM₁₀ en días laborables y fines de semana.

	Laborables	Fin de semana
Nº de muestras	244	98
Valor promedio diario PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20	16
Valor máximo de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	65	46
Valor mínimo de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4	4
Nº de superaciones del valor límite diario	1	0
PORCENTAJE*		
N	> 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	38,5 (27,5)
I	> 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (UEI)	20,1 (14,3)
V	> 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9,8 (7,0)
E	> 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (UES)	3,7 (2,6)
L	> 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,6 (1,2)
E	> 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (valor límite diario)	0,4 (0,3)
S		24,5(7,0) 13,3 (3,8) 5,1 (1,5) 4,1 (1,2) 2,0 (0,6) 0 (0)

*Porcentaje referido al número de muestras de cada período (laborable-fin de semana) y entre paréntesis referido al total anual de muestras

NIVELES DE PM₁₀, PM_{2,5} Y PM₁ SEGÚN ESPECTRÓMETRO LÁSER

Como se ha comentado al principio de este estudio en el apartado de metodología, se ha muestreado simultáneamente con un espectrómetro láser GRIMM obteniendo valores para las tres fracciones granulométricas PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁.

Aunque este método de medida en continuo no es método de referencia^{3,9} aporta una ventaja adicional ya que posibilita la realización de un seguimiento en base horaria de los niveles registrados de partículas y poder establecer relaciones de los niveles de inmisión con las emisiones en el entorno y los escenarios meteorológicos.

El método de referencia gravimétrico proporciona la información sobre los niveles de PM registrados con varios días de retraso respecto al método de medida en continuo, y además la medida gravimétrica tiene un período de integración de 24 h. Sin embargo, los métodos de medida en tiempo real permiten obtener los registros con carácter inmediato, lo cual es de vital importancia a la hora de establecer el correcto diagnóstico y aportar información a la población en caso de necesidad. Además, la resolución horaria de la medida permite la identificación de procesos y fuentes de emisión con impacto en la calidad del aire. Por estos motivos la mayor parte de las estaciones de control de la calidad de aire en la UE utilizan técnicas automáticas de medida de contaminantes.

Existe un protocolo para comparar el método en continuo con el equipo de referencia y obtener un factor de corrección o bien una ecuación de calibración. Los niveles medios mensuales y el promedio anual de las tres fracciones granulométricas se muestran en la

tabla VIII. En este apartado se indican los valores obtenidos directamente sin aplicarles el factor de corrección calculado de 1,13 para PM₁₀ o la ecuación de calibración:

$$[\text{PM}_{10} \text{ gravimétrico}] = +1,437 + 0,989 \times [\text{PM}_{10} \text{ automático (GRIMM)}], \text{ (ver Anexo II, pág. 48).}$$

Tabla VIII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas (promedio mensual) para el año 2016.

	PM ₁₀	PM _{2,5}	PM ₁
	(µg/m ³)		
Enero	13	11	7
Febrero	14	12	8
Marzo	20	16	12
Abril	14	10	7
Mayo	19	15	11
Junio	16	13	9
Julio	15	12	8
Agosto	20	16	11
Septiembre	20	16	11
Octubre	21	16	11
Noviembre	17	14	10
Diciembre	22	18	14
Media Anual	18	14	10

Tal y como se ha comentado al inicio de este informe en el RD 102/2011⁶ se establecen unas pautas para regular los niveles de PM_{2,5} con el objetivo de reducir la exposición a la población de dichas partículas. Desde el año 2015 el valor límite es de 25 µg/m³ e incluso podrá ser reducido a 20 µg/m³ a la luz de una mayor información acerca de los efectos de la salud, en el año 2020. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y “suponiendo” el mismo factor gravimétrico de 1,13 calculado para PM₁₀, el valor promedio anual de PM_{2,5} en el punto de muestreo sería de 16 µg/m³, ligeramente inferior al obtenido el año anterior de 17,0 µg/m³.

En la figura 12 se indica la evolución del promedio mensual para cada fracción en donde se observa variación estacional en cuanto a los niveles de las tres fracciones PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁. La alta contribución de partículas con diámetros inferiores a 2,5 µm al PM₁₀ es muy similar a lo largo del año, observando un incremento de la fracción gruesa en los meses de marzo, junio y octubre.

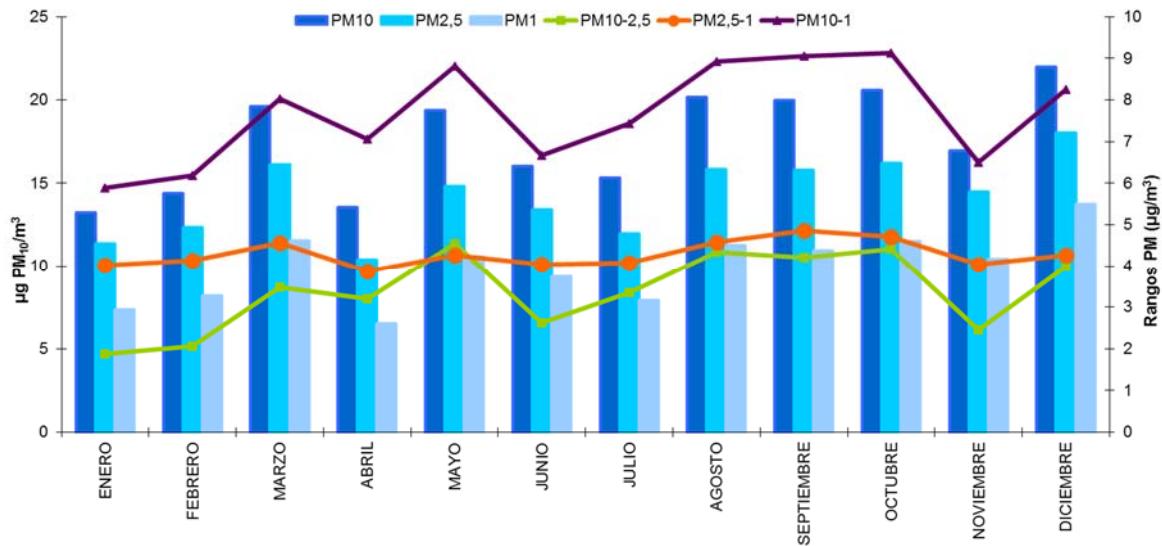


Figura 12. Evolución mensual de los niveles de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ durante el año 2016.

La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. El 81% de la fracción de PM₁₀ está constituida por PM_{2,5} y un 70% de ésta por PM₁ (tabla IX). Todas las relaciones entre las fracciones granulométricas PM₁/PM_{2,5} y PM₁/PM₁₀ son similares a las obtenidas en los últimos tres años.

Tabla IX. Valores de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas en el año 2016.

	PM _{2,5} /PM ₁₀	PM ₁ /PM _{2,5}	PM ₁ /PM ₁₀
Enero	0,86	0,65	0,56
Febrero	0,86	0,67	0,57
Marzo	0,83	0,72	0,59
Abril	0,76	0,63	0,48
Mayo	0,77	0,71	0,54
Junio	0,84	0,70	0,58
Julio	0,78	0,66	0,52
Agosto	0,79	0,71	0,56
Septiembre	0,79	0,69	0,55
Octubre	0,79	0,71	0,56
Noviembre	0,85	0,72	0,62
Diciembre	0,82	0,76	0,63
Anual	0,81	0,69	0,56

Otra manera de ver esta variación es de forma gráfica y así en la figura 13 (A) se presenta la evolución de las relaciones entre las diferentes fracciones granulométricas a lo largo de los meses de muestreo, observando entre un 4-7% de variación a lo largo de todo el período, muy similar a la obtenida en el 2015. En la figura 13 (B) se puede observar la proporción relativa de cada fracción al nivel total de PM₁₀. Aquí las variaciones son mayores a lo largo del año, aproximadamente un 18,8% para el rango PM_{10-2,5}; 9,2% para el rango PM₁₀₋₁ y 12,8% para el rango más fino PM_{2,5-1}. Este año se observa un ligero aumento de la fracción fina en relación con el año 2015.

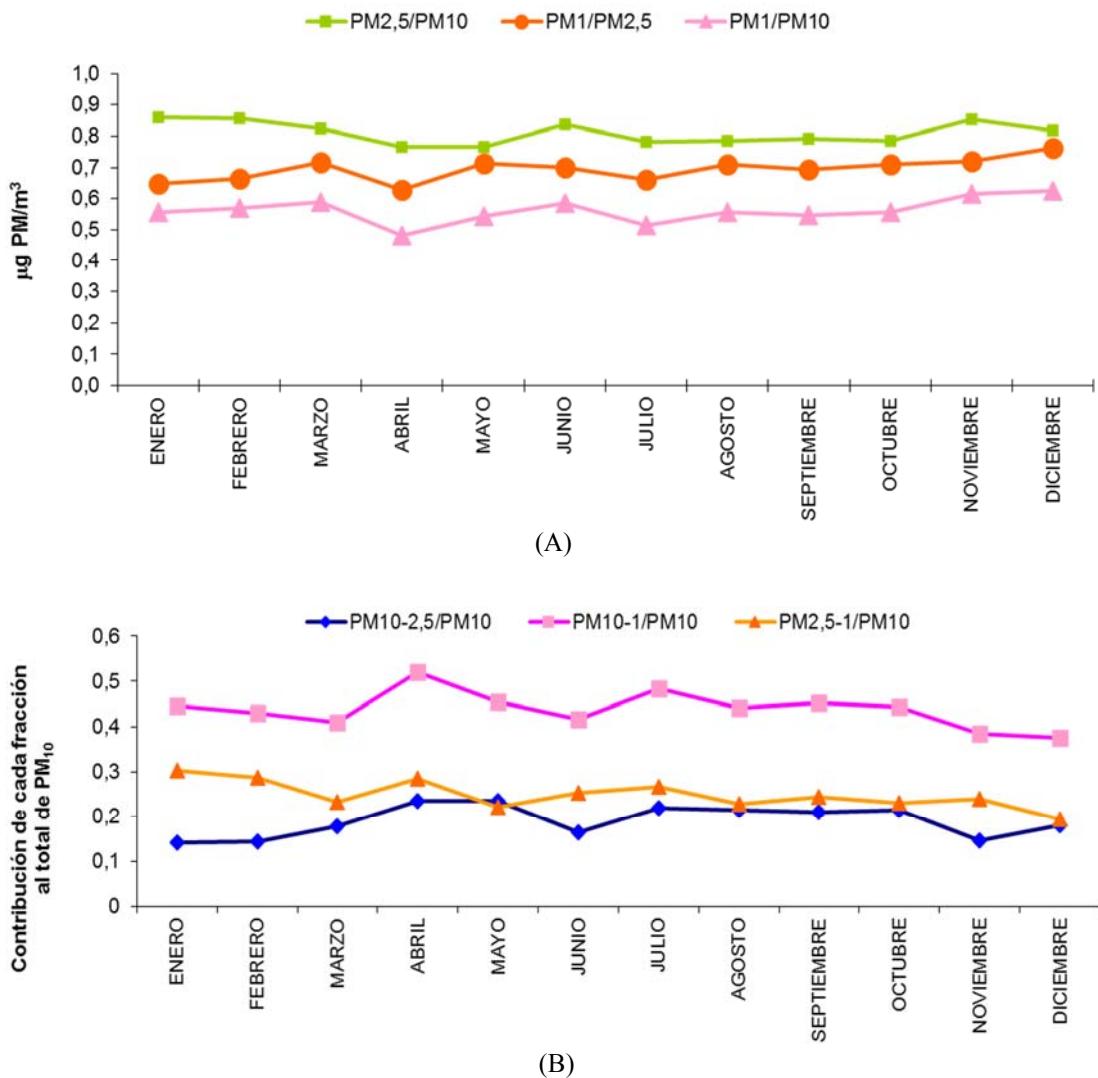
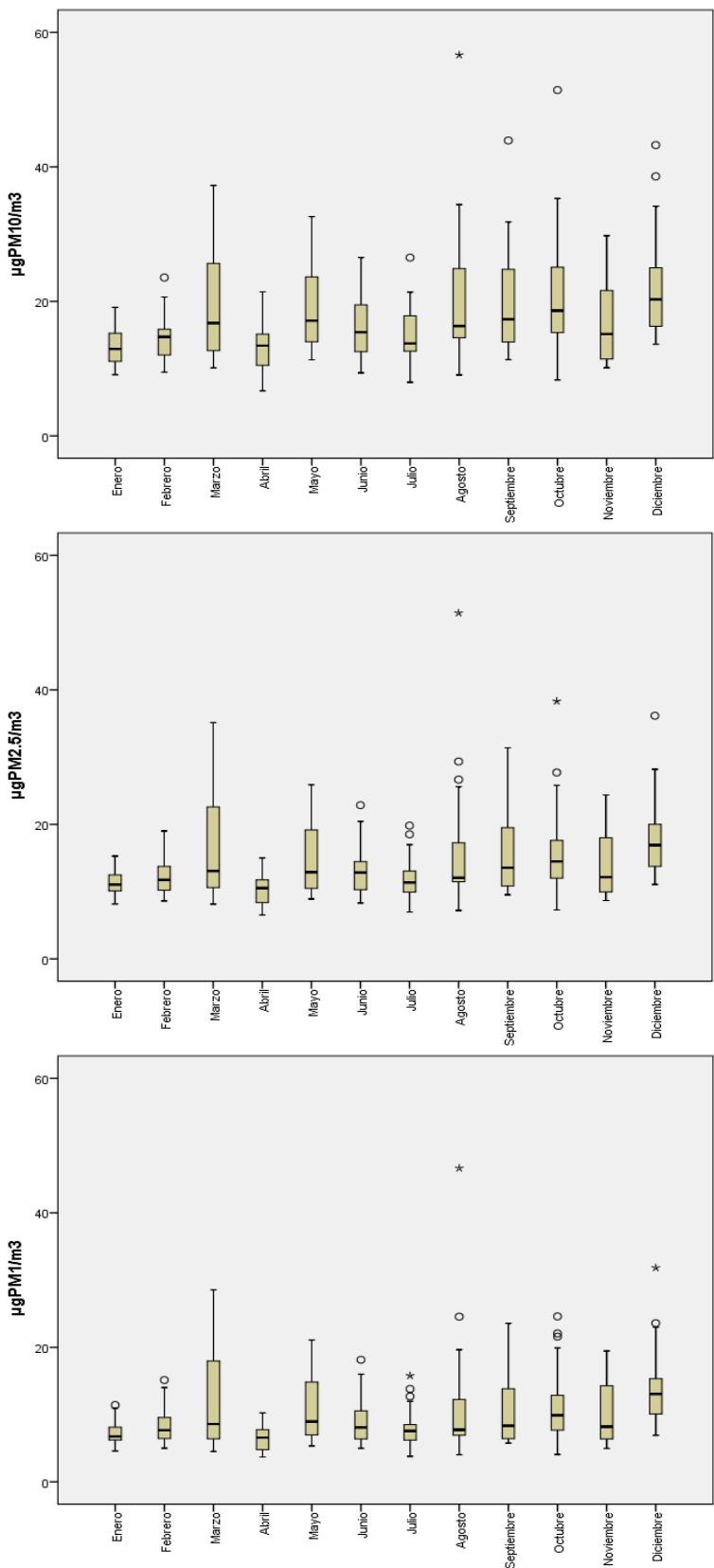


Figura 13. Evolución mensual de (A) las ratios de las tres fracciones granulométricas y (B) de los rangos de materia particulada durante el año 2016.

En las gráficas de Box-Whisker (figura 14) en donde se observa la dispersión de los niveles de PM₁₀ durante el período de muestreo. Las variaciones en PM₁₀ obtenidas con el procedimiento automático sigue la misma evolución que las obtenidas con el método gravimétrico (ver figura 5, pág. 14).



^o Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 14. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios en función del mes de las fracciones granulométricas del año 2016.

En la figura 15 se observan las mayores variaciones en los meses de marzo, agosto, octubre y diciembre para las tres fracciones granulométricas.

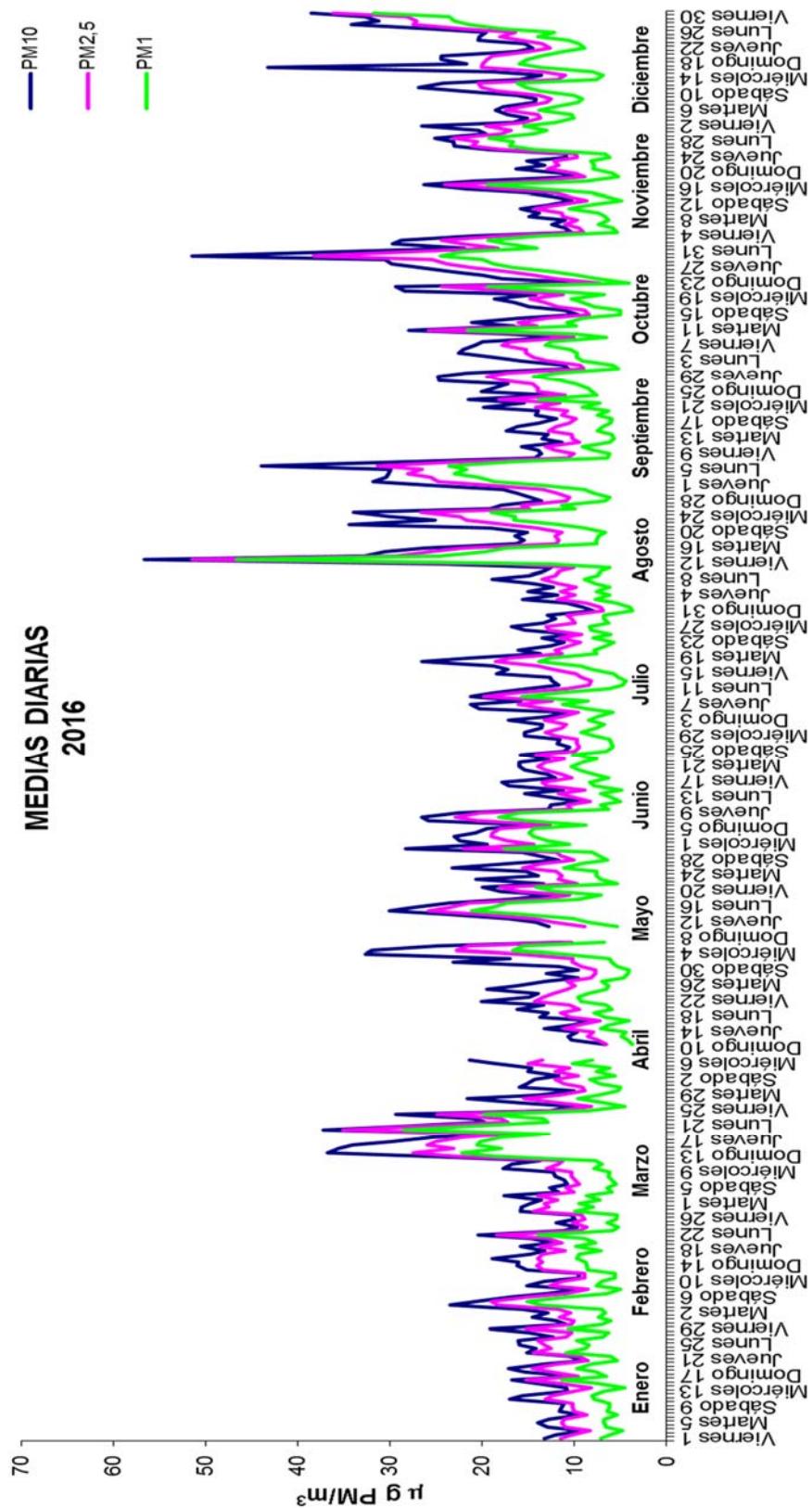


Figura 15. Evolución de la media diaria de las fracciones granulométricas durante el año 2016.

Como se observa en la gráfica un aumento en los niveles de PM₁₀ va siempre acompañado de un aumento en los niveles de las fracciones finas PM_{2,5} y PM₁, sin embargo el aumento no siempre es proporcional para todas las fracciones.

A veces aumenta la fracción PM_{10-2,5} sin que lo hagan las fracciones menores de PM_{2,5} y en casos puntuales predomina la fracción inferior a 2,5 μm. Esto sugiere que al aumento de los niveles de partículas de las tres fracciones granulométricas contribuyen fuentes de diferente naturaleza.

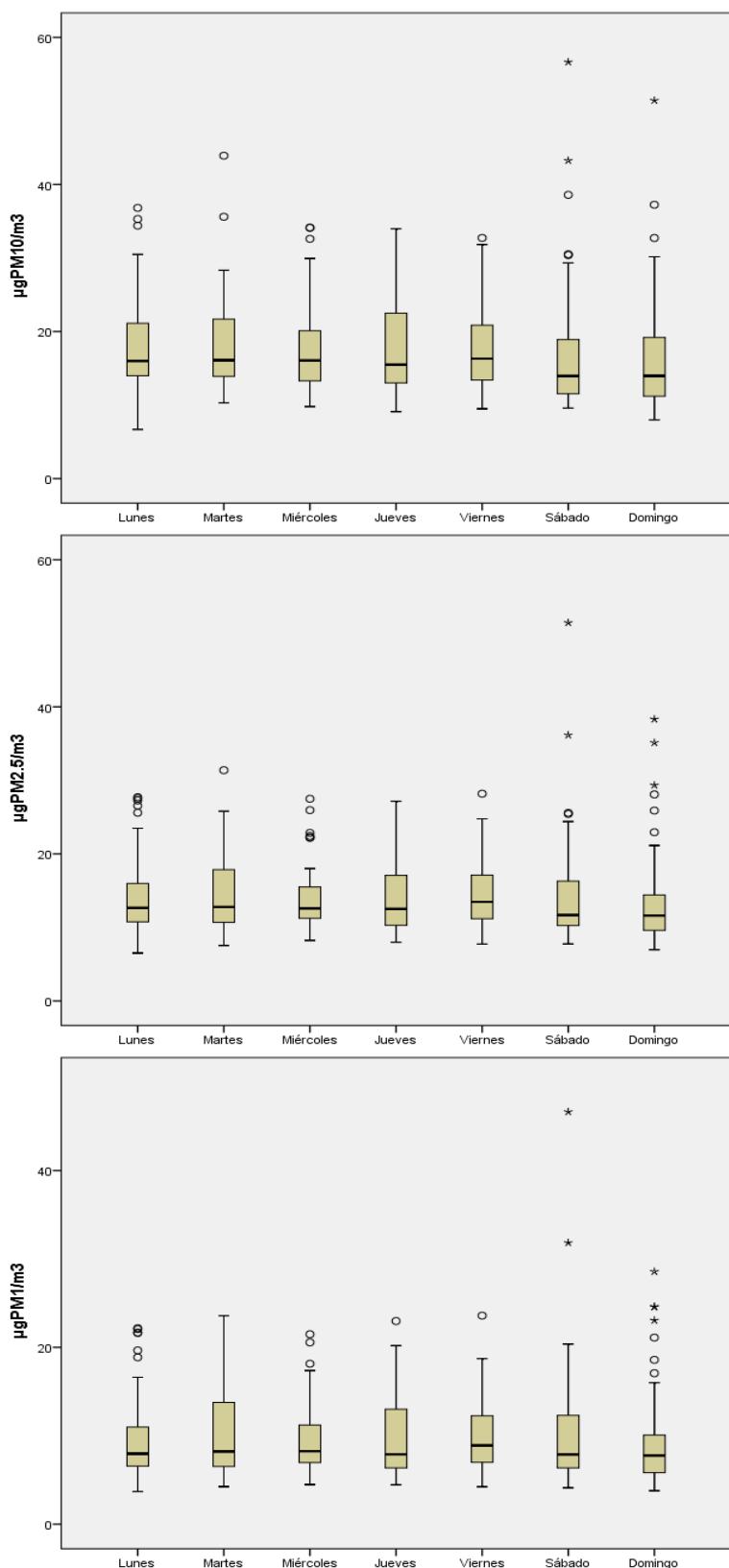
Para un estudio más exhaustivo sería conveniente disponer de un inventario de las posibles fuentes de emisión cercanas, conocer los niveles de ciertos gases contaminantes, y de otros datos de variables meteorológicas como dirección, velocidad de viento y temperatura.

Las representaciones de Box-Whisker de la figura 16 indican la variabilidad existente para las tres fracciones según el día de la semana. Se observa el incremento en los días centrales de la semana en relación con los fines de semana, siendo un poco más acusada para la fracción PM₁₀, seguida de la PM₁ y finalmente la PM_{2,5}.

En la figura 17 se representan las series temporales de los niveles medios horarios de PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁ en los que se puede observar la variación horaria de los niveles de las diferentes fracciones granulométricas para cada uno de los días de muestreo.

No existe un patrón horario común a lo largo de todos los días de muestreo, corroborando que existen diferentes fuentes posibles de emisión de materia particulada a la atmósfera con influencia en el punto de muestreo y/o que las fuentes que las emiten no lo hacen de una manera continua.

Se observa que aumentos en los niveles de PM₁₀ no siempre van acompañados de un aumento de las fracciones PM_{2,5} y PM₁.



° Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 16. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios en función del día de muestreo de las fracciones granulométricas durante el año 2016.

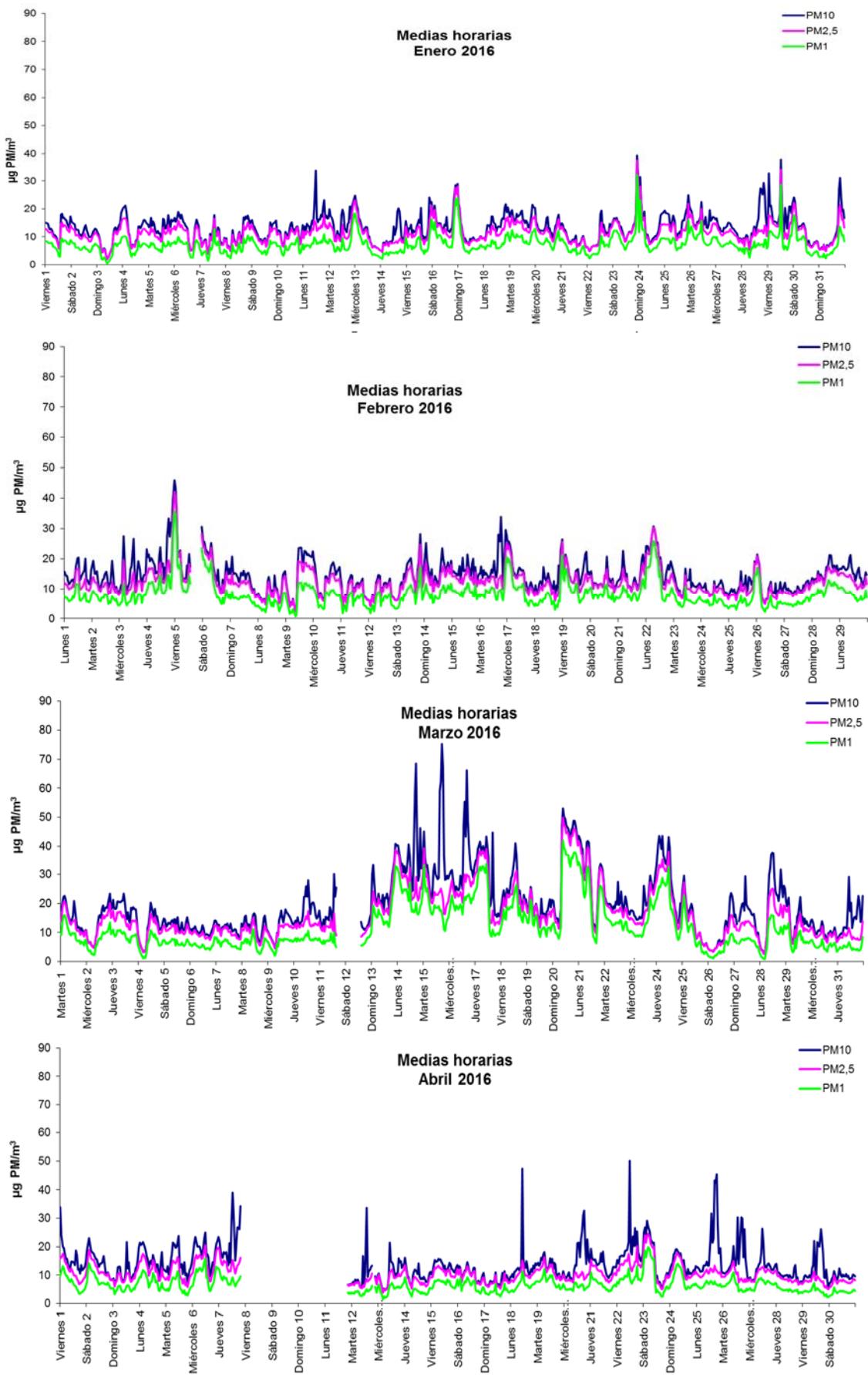


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁ año 2016.
(continúa)

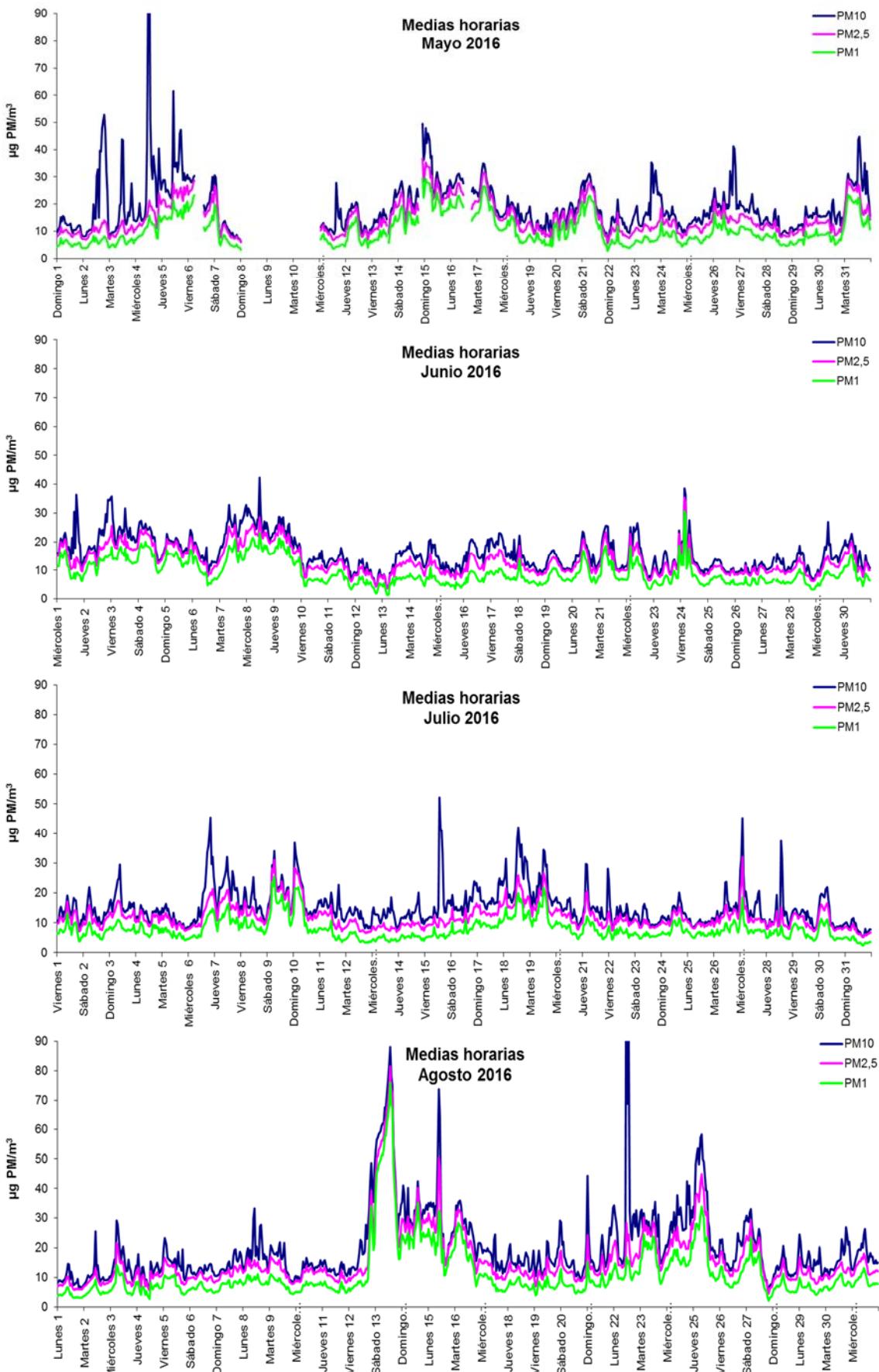


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁ año 2016.
(continúa)

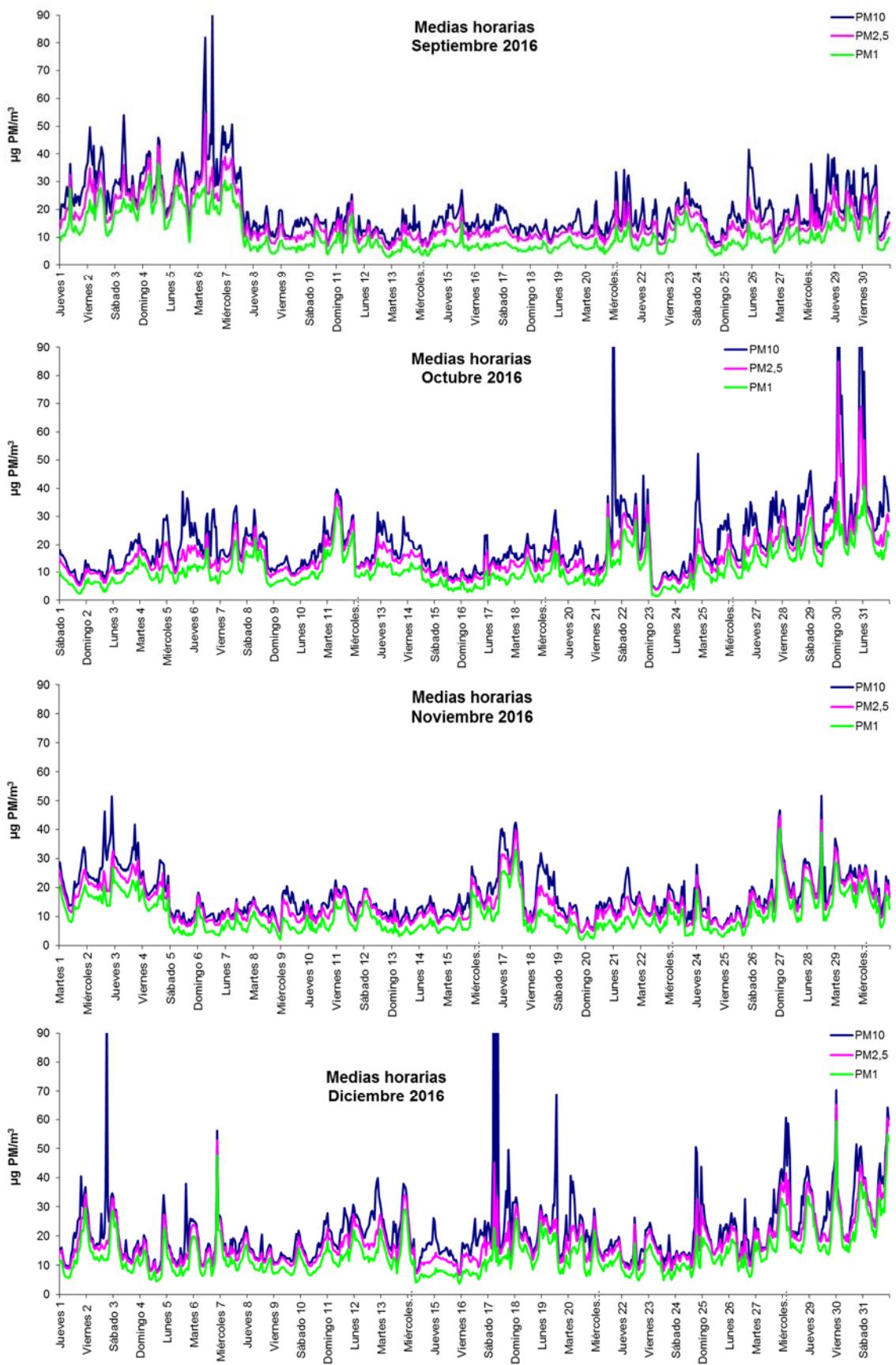
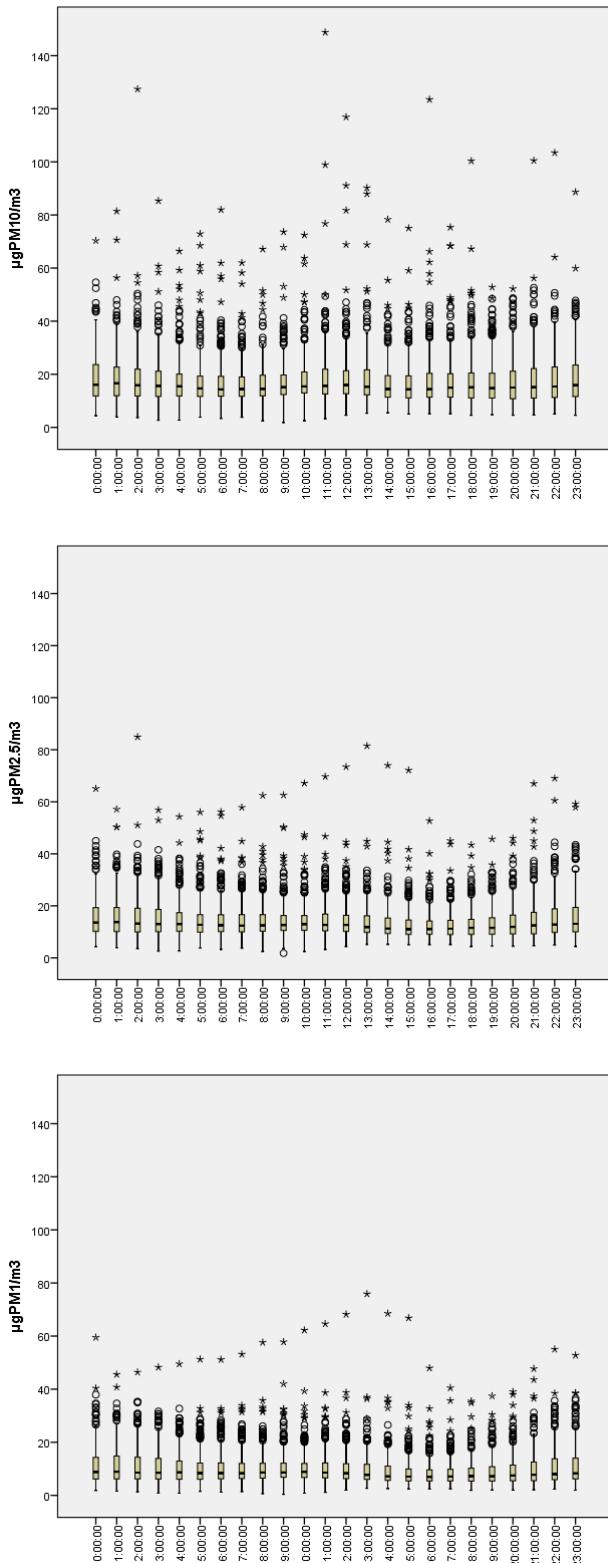


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM₁₀, PM_{2.5} y PM₁ año 2016.

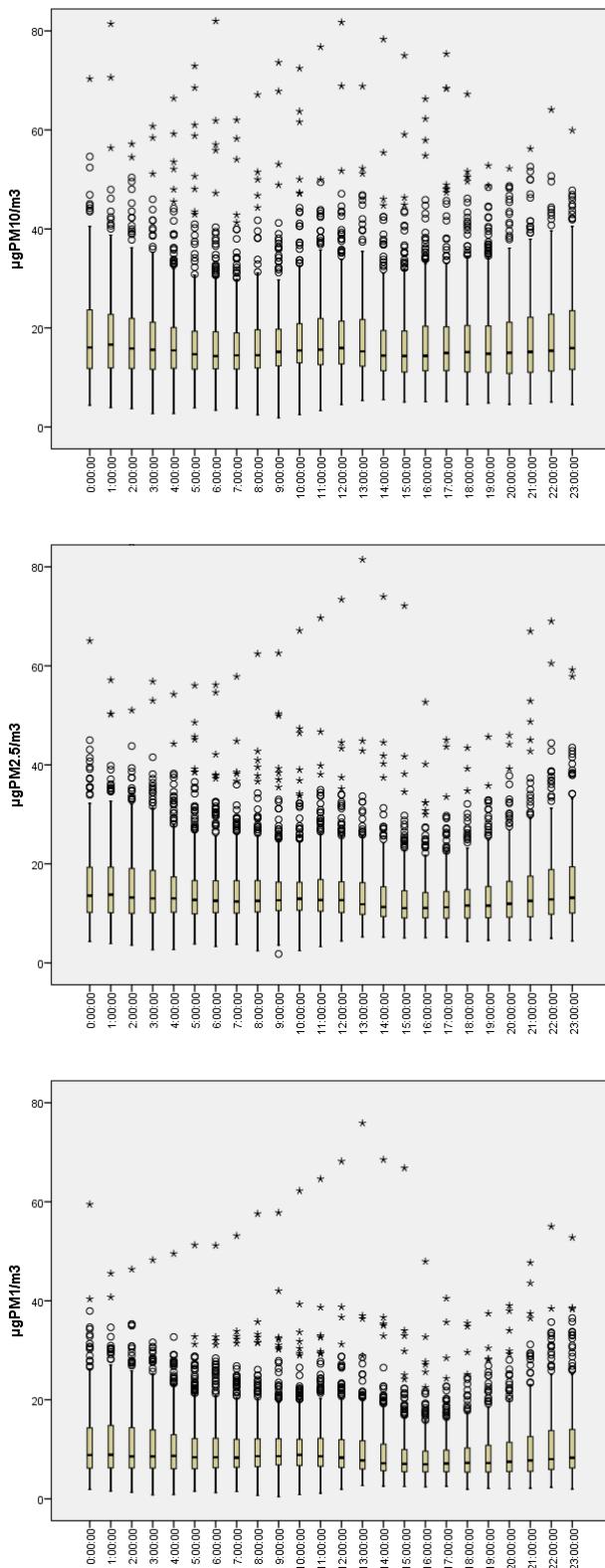
A continuación se representan las gráficas de evolución de la media horaria a lo largo de los días (figuras 18a y 18b) para evaluar la existencia de un patrón horario.



^o Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 18a. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios horarios de las tres fracciones granulométricas desde enero a diciembre de 2016.



^o Casos con valores entre 1,5 y 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

* Casos con valores superiores a 3 longitudes de caja desde el borde superior o inferior de la caja. La longitud de la caja es la amplitud intercuartil.

Figura 18b. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios horarios de las tres fracciones granulométricas desde enero a diciembre de 2016 (eliminados los valores más altos).

En la figura 19 se observa cómo las tres fracciones sufren variaciones a lo largo del día con valores máximos entre las 10 h-13 h de la mañana con un ligero aumento a partir de las 16 h de la tarde. También se observa cómo la fracción PM_{10-2,5} y por lo tanto la fracción PM₁₀₋₁ son las que más variación sufren mientras que la moda fina PM_{2,5-1} permanece sin muchos cambios en el día.

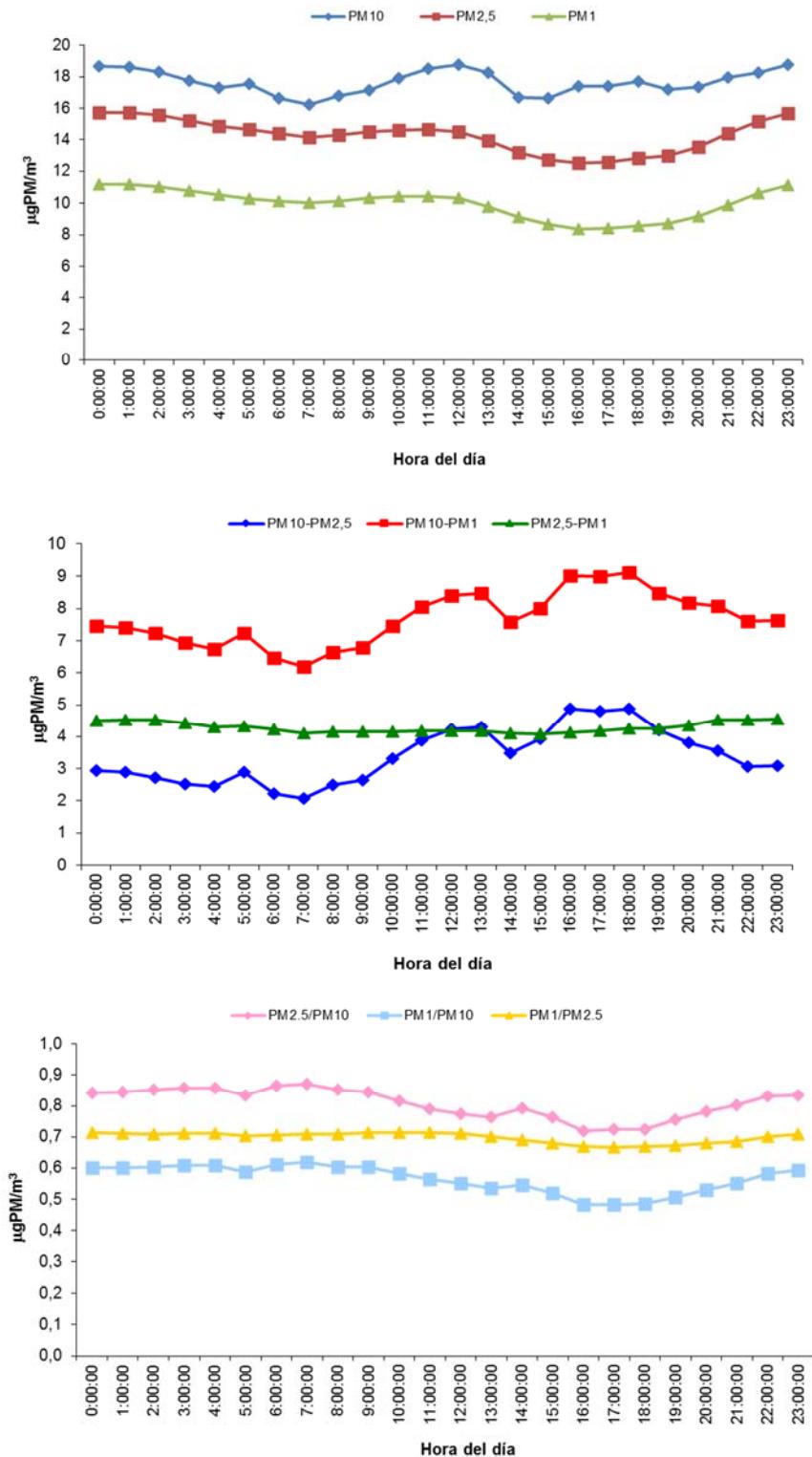


Figura 19. Evolución de los niveles medios horarios a lo largo del día de las tres fracciones granulométricas y sus relaciones en el año 2016.

CONCLUSIONES

- Se han determinado los niveles diarios de PM₁₀ en la zona de Os Castros durante el año 2016. Se han recogido un total de 342 muestras que representan una cobertura anual del 93%.
- El valor promedio anual de PM₁₀ ha sido de 19 µg/m³ no superando el valor límite permitido por la normativa de 40 µg/m³.
- El valor límite diario de 50 µg/m³ ha sido superado en una ocasión en el mes de julio. Es el valor más bajo de superaciones obtenido desde el inicio del estudio, con la excepción del año 2013 en el que no hubo superaciones. Esta superación coincide con una posible combustión de biomasa que se confirmará una vez que esté disponible el Informe del Ministerio sobre Episodios Naturales de Partículas 2016¹¹
- Los valores máximos diarios oscilan entre los 65 µg/m³ del mes de julio, los 46 y 45 µg/m³ de los meses de agosto y marzo y los 24 µg/m³ del mes de enero. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 4-6µg/m³ de los meses de abril y julio y los 12 µg/m³ del mes de diciembre.
- La tendencia estacional de la concentración de PM₁₀ en el punto de muestreo refleja la variación estacional en el punto de muestreo con los valores más altos en los meses de marzo, mayo y de septiembre a diciembre, meses con escasa precipitación.
- El 1,8% del total de muestras superan los 40 µg/m³, un 8,5% superan los 30 µg/m³ y un 34,5% superan los 20 µg/m³. Estos valores son inferiores a los obtenidos en el año 2015, en un 2,5 y 9% respectivamente.
- En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 3,8% de las muestras (13 días) superan el umbral de evaluación superior de 35 µg/m³ y un 18,1% (62 días) superan el umbral de evaluación inferior de 25 µg/m³. Estos valores son un 3 y 7% inferiores a los obtenidos en el año 2015.

¹¹http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/atmosfera-y-calidad-del-aire/metodologiaparaepisodiosnaturales-revabril2013_tcm7-418844.pdf

- Los promedios mensuales oscilan entre los $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de enero, y los $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de marzo, mayo y diciembre.
- Existe variabilidad semanal en los niveles de PM_{10} observándose una ligera disminución los fines de semana (un 4%). Un 14,3% de las muestras durante los días laborables y un 3,8% para los fines de semana superan el UEI.

Sin embargo el UES es superado en un 2,6% los días laborables y en un 1,2% los fines de semana. Los días laborables que han superado los UES y UEI son un 65% y un 40% menores que en el año 2015.

- La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Durante el período de muestreo el 81% de la fracción de PM_{10} está constituida por $\text{PM}_{2,5}$ y un 69% de ésta por PM_1 . Las relaciones entre las fracciones granulométricas $\text{PM}_1/\text{PM}_{2,5}$ y $\text{PM}_1/\text{PM}_{10}$ son similares a las obtenidas en el año 2015.
- No existe un patrón horario común a lo largo de todos los días de muestreo, para las diferentes fracciones granulométricas. Ello indica que existen diferentes fuentes posibles de emisión de materia particulada a la atmósfera con influencia en el punto de muestreo y/o que las fuentes que las emiten no lo hacen de una manera continua. Se observa que aumentos en los niveles de PM_{10} no siempre van acompañados de un aumento de las fracciones $\text{PM}_{2,5}$ y PM_1 .
- Para poder estimar qué fuentes producen un aumento de los niveles de partículas es necesario un estudio más exhaustivo y disponer de más información como datos meteorológicos y de contaminantes gaseosos en el punto de muestreo y también en zonas de fondo urbano y suburbano para poder determinar ciertos episodios de contaminación a larga distancia, etc.

**ANEXO I.- GRÁFICOS DE CONTROL DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y
TEMPERATURA DE LA SALA DE BALANZAS PARA LA PESADA DE LOS FILTROS
CON MATERIA PARTICULADA PM₁₀**

Siguiendo los requisitos de las Normas UNE-EN 1234:199 y UNE-EN 14907:2006, los filtros de fibra de cuarzo se acondicionan durante 5 días antes de la pesada y previamente al muestreo, a una temperatura de $20\pm1^{\circ}\text{C}$ y $50\pm5\%$ humedad relativa. En las figuras 20 y 21 se indican los registros horarios tanto de humedad relativa como de la temperatura de la sala de balanzas durante todo el año. La pesada de los filtros ha sido realizada cuando la sala de balanzas estaba en condiciones bajo control.

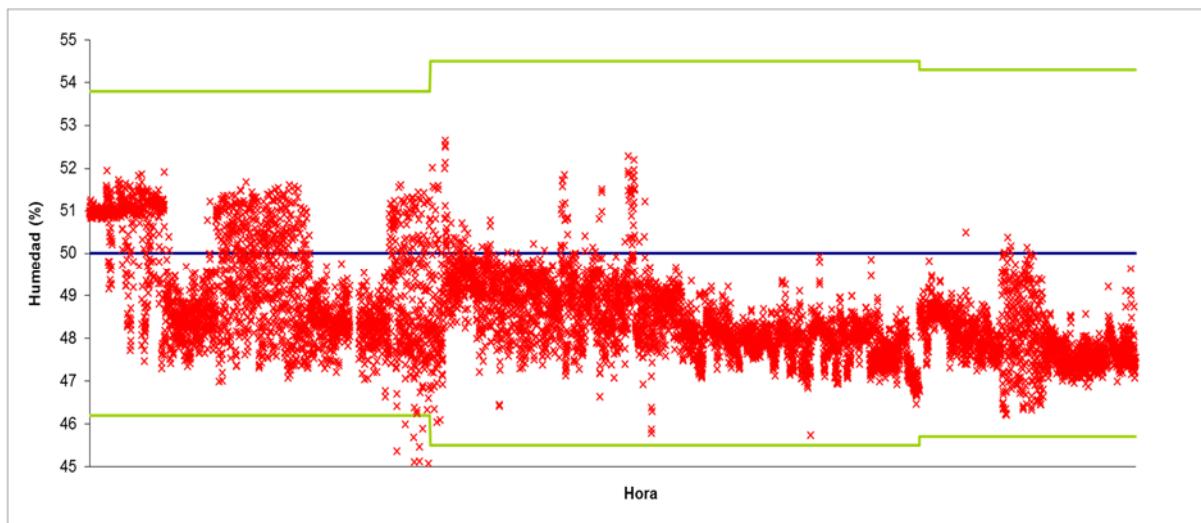


Figura 20. Carta de control del % de humedad relativa en la sala de balanzas.

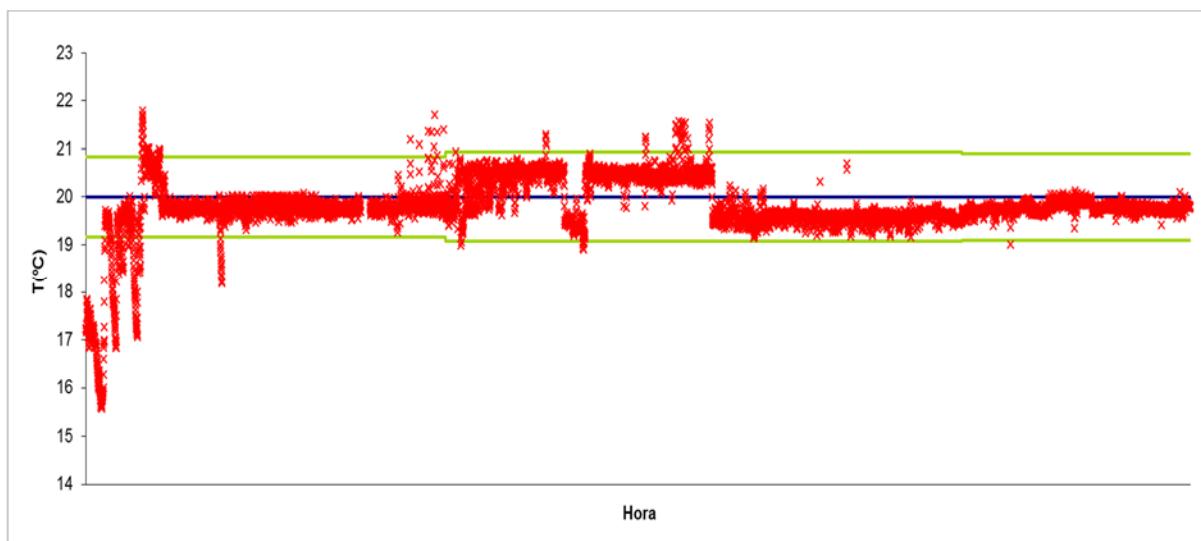


Figura 21. Carta de control de la temperatura (°C) en la sala de balanzas.

ANEXO II.- INTERCOMPARACIÓN DEL ESPECTRÓMETRO LÁSER CON EL EQUIPO GRAVIMÉTRICO

La Directiva 1999/30/CE¹² establece las metodologías y técnicas para medir los niveles de partículas, bien utilizando la instrumentación del método de referencia o utilizando equipos que puedan demostrar su equivalencia a un instrumento de referencia. Para ello se muestreó de manera simultánea con el Digitel y el GRIMM (método automático).

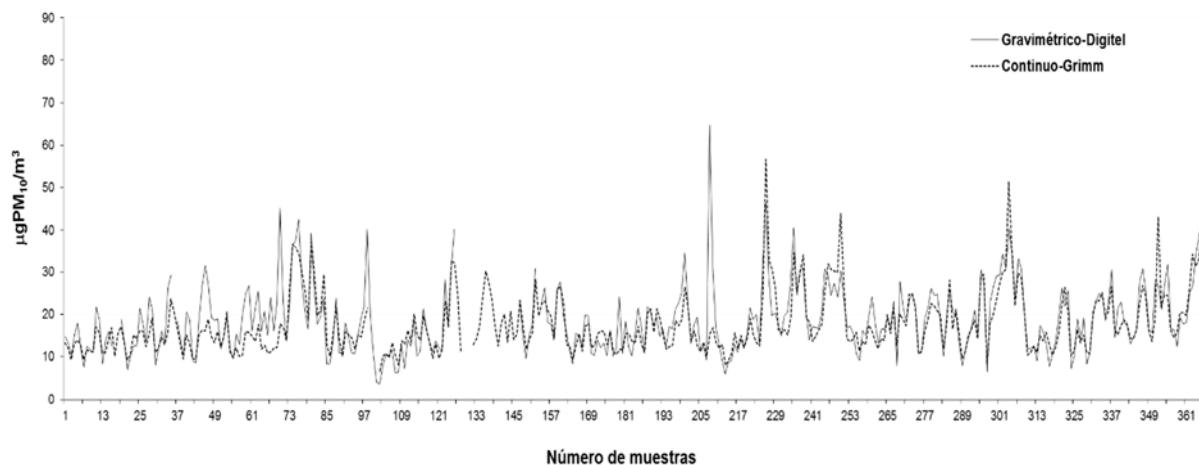


Figura 22. Comparación de las medias diarias obtenidas por el método automático (Grimm) y por el método gravimétrico (Digitel).

Teniendo en cuenta la “Guía para la demostración de la equivalencia de los métodos de monitorización del aire ambiente” publicada en el 2010 y la Norma UNE-CEN/TS 16450 EX “Sistemas automáticos de medida de la concentración de materia particulada (PM₁₀; PM_{2,5})” publicada en marzo de 2014, se evaluará la equivalencia del sistema automático de medida para la medición de la concentración de materia particulada (método candidato, MC) con el método gravimétrico (método de referencia, MR). Se intercomparan dichos sistemas para establecer factores o ecuaciones que permitan calibrar los resultados de los sistemas automáticos de medida y que proporcionen, de este modo, datos que cumplan con los objetivos de calidad establecidos en las Directivas relativas a la calidad del aire. El término “corrección” se ha utilizado históricamente, pero es reemplazado en este contexto por el término “calibración” para la demostración de la equivalencia de los métodos candidatos para el monitoreo de la materia particulada.

Los requisitos para llevar a cabo el test de equivalencia propuesto son que como mínimo existan 40 pares de datos válidos y promediados en períodos de 24 horas. En principio, los pares de datos solamente se pueden quitar si hay razones técnicas para

¹² Directiva Europea de calidad del aire 30/CE de 22 de abril de 1999, relativa a los valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, partículas y plomo en el aire ambiente.

ello. No obstante, cuando se aplica el método de referencia pueden aparecer errores debido a la manipulación de los filtros. Por lo tanto, además, está permitido quitar hasta el 2,5% de los pares de datos considerados atípicos siempre y cuando existan al menos 40 pares de datos válidos para la comparación.

Además, del total de datos completos, al menos el 20% de los resultados obtenidos usando el método de referencia debería ser mayor que el umbral de evaluación superior del límite anual ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Por último, lo ideal sería disponer de datos en más de un emplazamiento pero en este caso se aplican igual como aproximación.

A pesar de que en este año solo un 3,8 % de los resultados superan el umbral de la evaluación superior (UES), se introducen los pares de datos en el macro Excel disponible en la web de la Comisión Europea, que se puede descargar desde el link “*Test the equivalence*” en la sección “*Equivalence*”:

<http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/assessment.htm>

Los resultados se presentan a continuación en la figura 23 y en la Tabla X. El test de equivalencia fue aplicado con referencia al valor límite (VL) de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, a una incertidumbre establecida del método de referencia de $0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y al nivel de confianza del 97,5%.

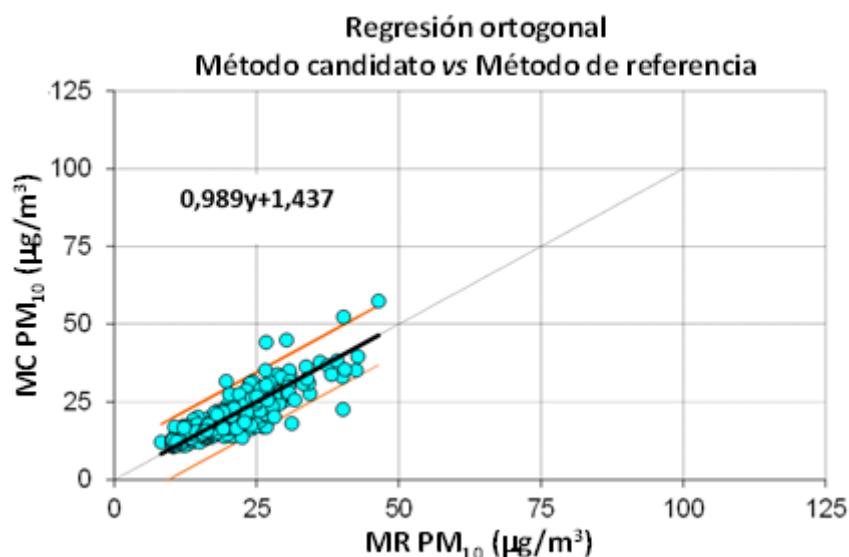


Figura 23. Demostración de la equivalencia entre el equipo automático (candidato-MC) y el equipo gravimétrico (referencia-MR) en el punto de muestreo.

Tabla X. Resultados test de equivalencia.

DATOS BRUTOS		RESULTADOS DESPUÉS DE LA CALIBRACIÓN		
Regresión	0,989y + 1,437		N (primavera)	57
Regresión (i=0)	1,058y	n	N (verano)	80
N	301	n	N (otoño)	83
		n	N (invierno)	81
Atípicos	11	n	Atípicos	8
Atípicos	4%	%	Atípicos	3%
Media MC	18,4	μg/m ³	Media MC	19,6
Media MR	19,6	μg/m ³	Media MR	19,6
Número de MR > 0.5LV	62	n	Número de MR > 0.5LV	56
Número de MR > LV	0	n	Número de MR > LV	2
RESULTADOS REGRASIÓN (DATOS BRUTOS)		RESULTADOS REGRASIÓN (CALIBRADO)		
Pendiente b	1,012	significativa	Pendiente b	0,998
Incertidumbre de b	0,030		Incertidumbre de b	0,030
Ordenada en el origen a	-1,454		Ordenada en el origen a	0,039
Incertidumbre de a	0,634		Incertidumbre de a	0,626
r^2	0,731	significativa	r^2	0,731
Pendiente forzada pasar por origen	0,945			
Incertidumbre de b (forzada)	0,0104			
TEST DE EQUIVALENCIA (DATOS BRUTOS)		TEST DE EQUIVALENCIA (CALIBRADO)		
Incertidumbre de calibración	1,64	μg/m ³	Calibración	0,989y + 1,437
Incertidumbre calibración(forzada)	0,52	μg/m ³	u(calibración)	1,6
Término aleatorio	3,84	μg/m ³	Término aleatorio	4,13
Incertidumbre adicional (opcional)	0,00	μg/m ³	Incertidumbre adicional (opcional)	0,00
Sesgo al valor límite	-0,87	μg/m ³	Sesgo al valor límite	-0,06
Incertidumbre combinada	3,94	μg/m ³	Incertidumbre combinada	4,13
Incertidumbre relativa expandida	15,8%	pasa	Incertidumbre relativa expandida	16,5%
Incertidumbre del MR	0,67	μg/m ³	Incertidumbre del MR	0,67
Valor límite	50	μg/m ³	Valor límite	50

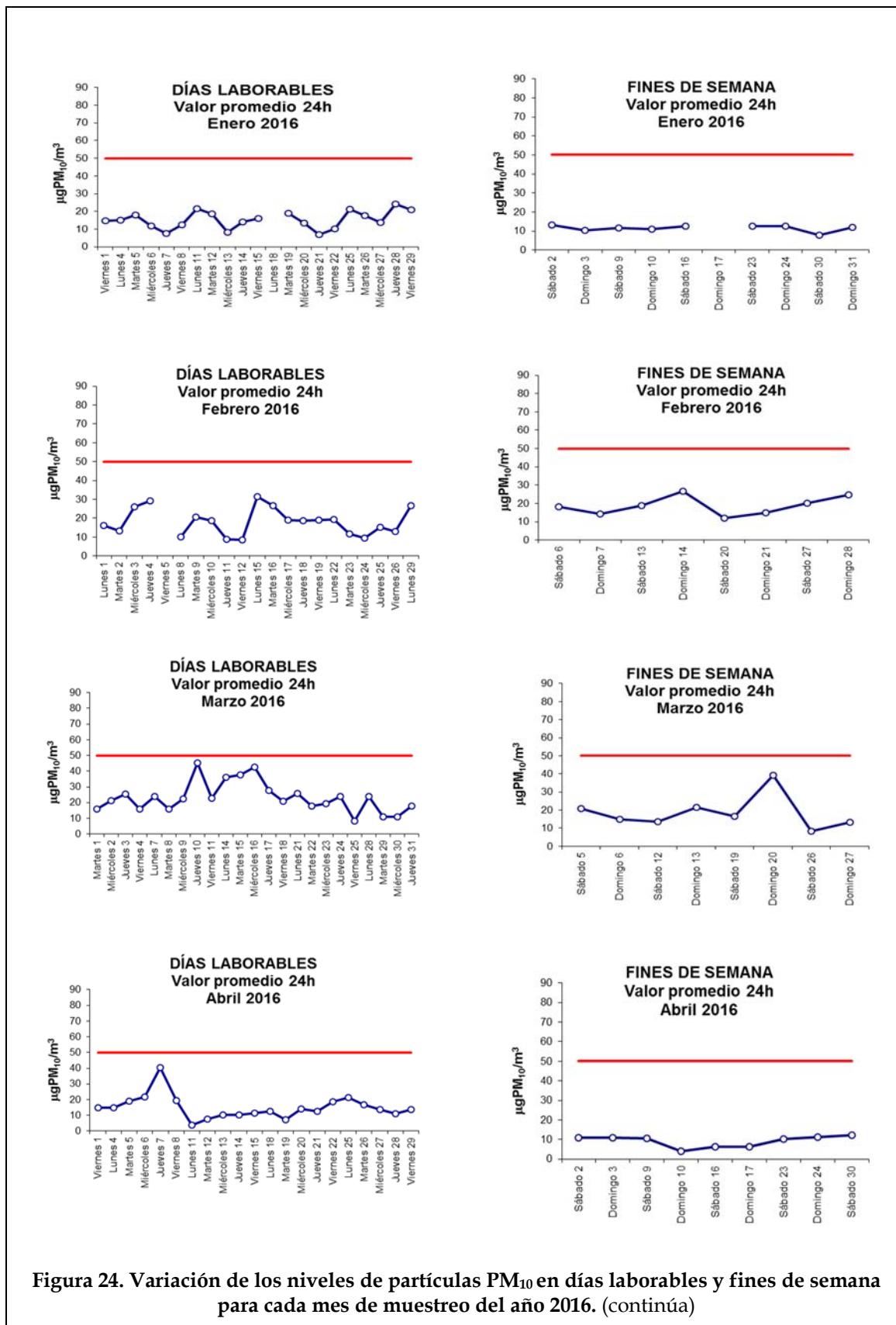
Para cada conjunto de datos, se deberían aplicar los siguientes criterios para aceptar la función de calibración:

- La pendiente b no difiere significativamente de 1: $|b-1| \leq 2ub$
- El término independiente a no difiere significativamente de 0: $|a| \leq ua$

Como tanto la pendiente b y el término independiente a son significativamente distintos de 1 y 0, respectivamente, se aplica la calibración. Se obtiene un resultado satisfactorio de $U_{relativa\ expandida} = 16,9\% < U_{max} = 25\%$; por lo tanto, la ecuación de calibración que se debería aplicar en este caso al monitor GRIMM es:

$$[\text{PM}_{10} \text{ gravimétrico}] = 1,437 + 0,989 \times [\text{PM}_{10} \text{ automático (GRIMM)}]$$

ANEXO III.- GRÁFICAS DE LOS NIVELES DE PARTÍCULAS PM₁₀ PARA LOS DÍAS LABORABLES Y FINES DE SEMANA (método gravimétrico)



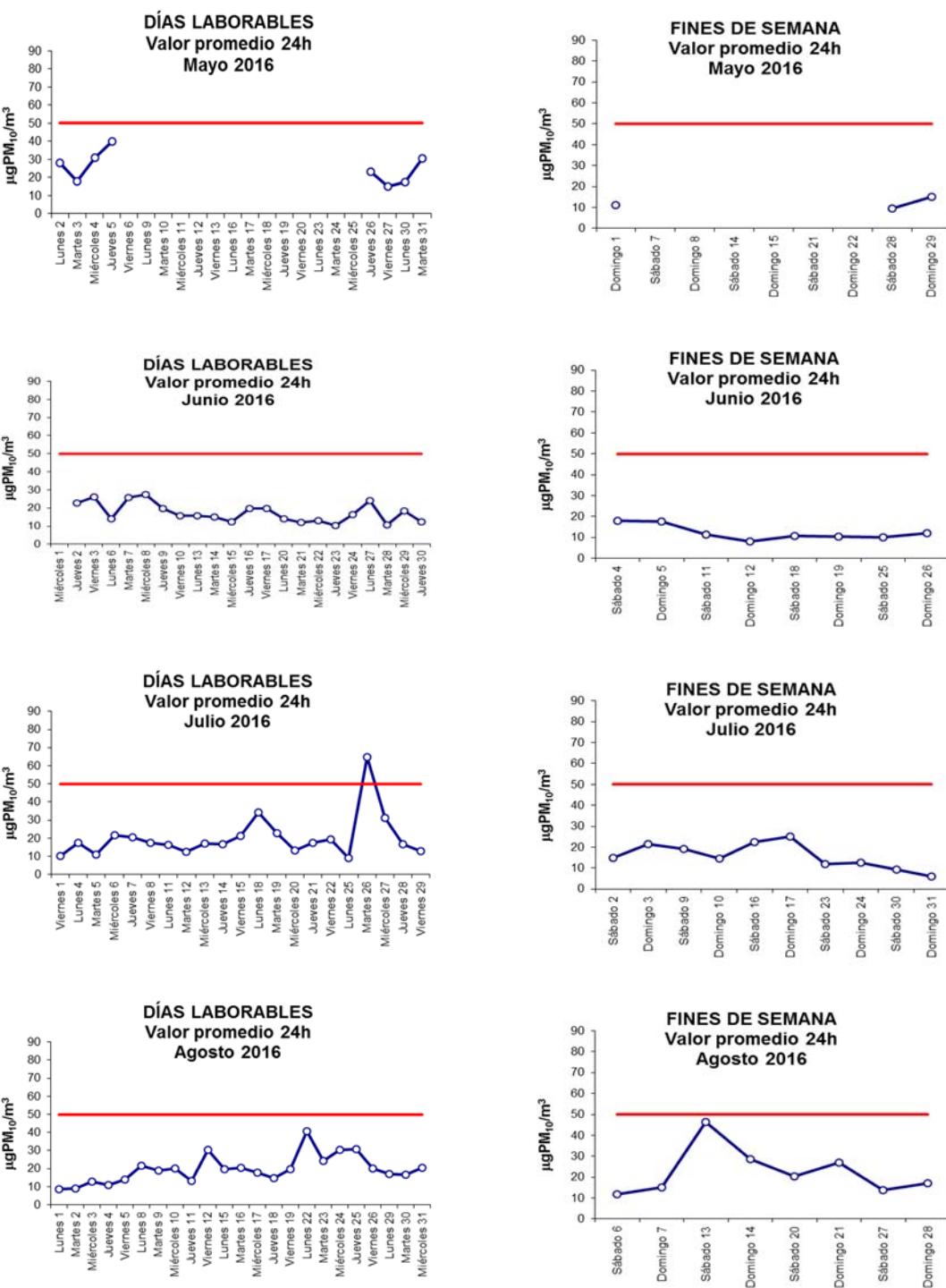


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM_{10} en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2016. (continúa)

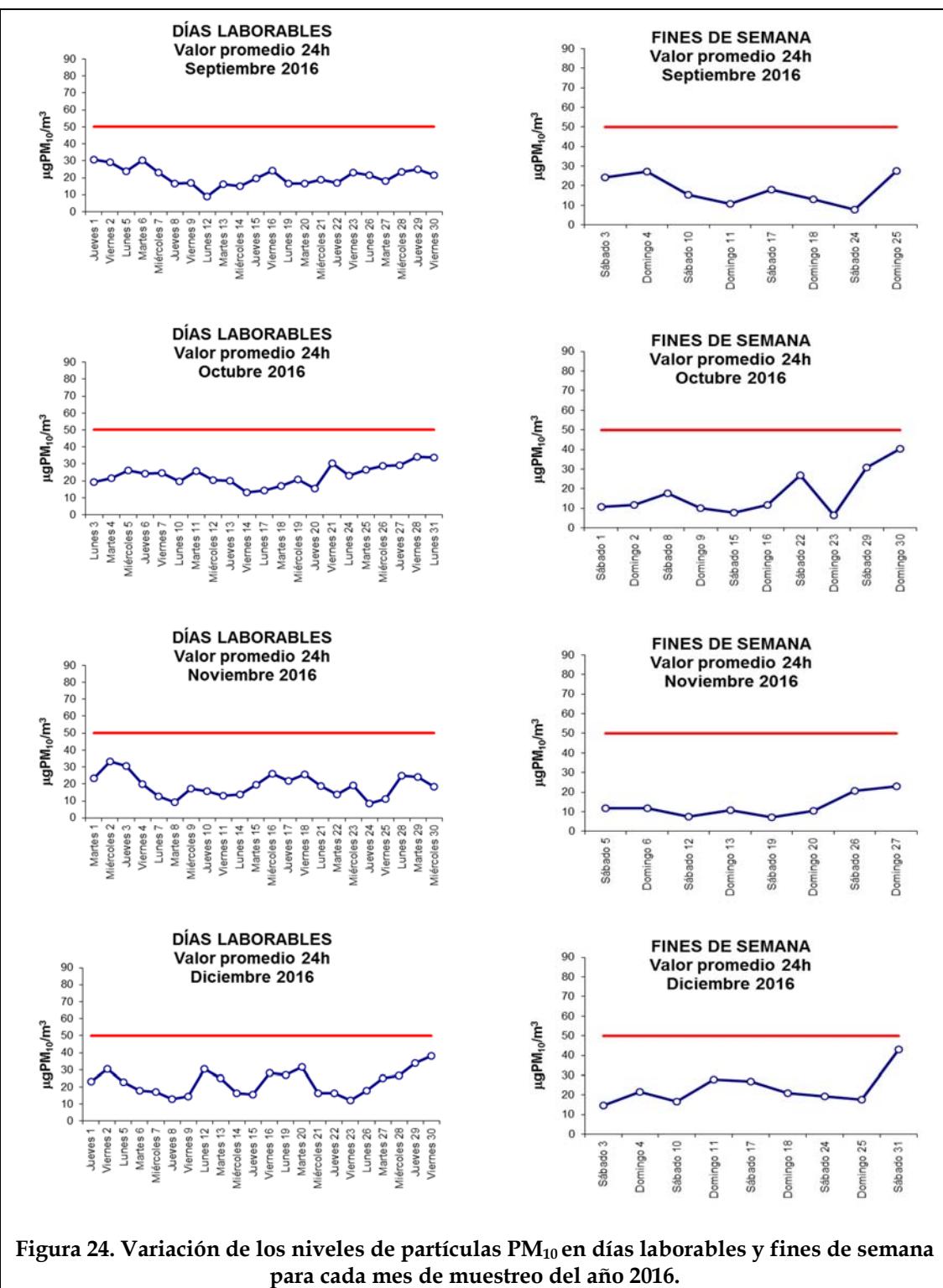


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM_{10} en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2016.

ANEXO IV.- ORIGEN DE LAS MASAS DE AIRE

Se ha realizado un estudio del origen de las masas de aire a partir del cálculo de las retrotrayectorias con el modelo HYSPLIT 4 (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory)^{13,14}, distinguiendo ocho sectores (figura 25).

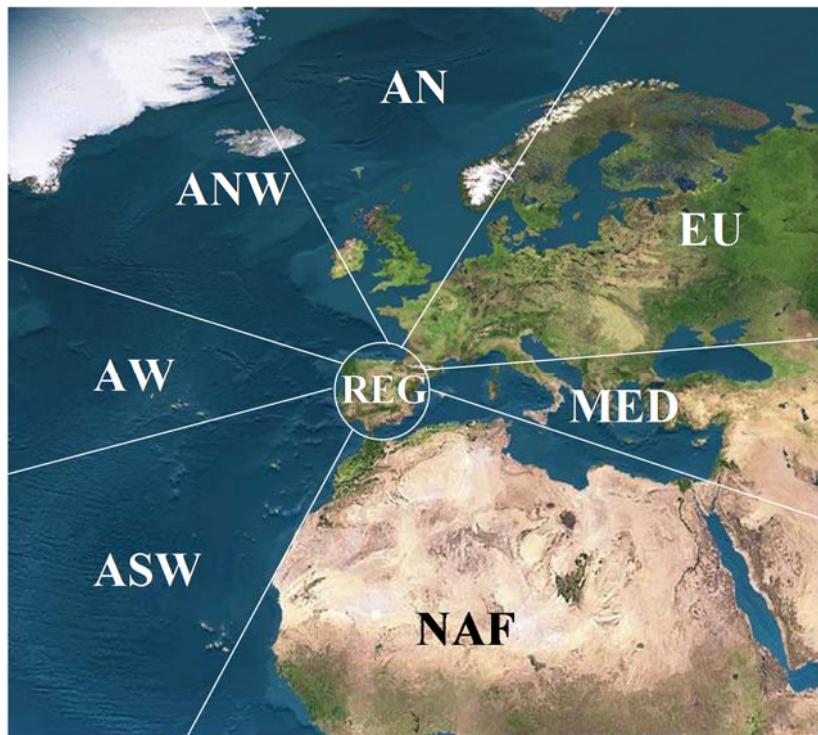


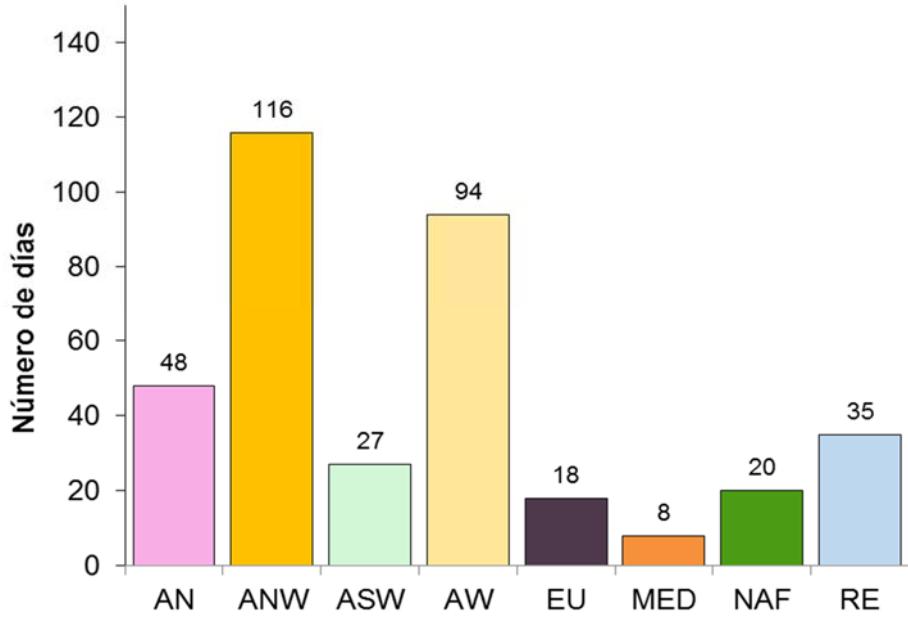
Figura 25. Clasificación del origen de las masas de aire : AN (Atlántico Norte), ANW (Atlántico Noroeste), AW (Atlántico Oeste), ASW (Atlántico Suroeste), NAF (Norte de África), ME (Mediterráneo), EU (Europa Central), REG (Recirculación regional).

En la figura 26 (A) se indica el número de días con influencia de masas de aire de diferente origen, observando que aproximadamente el 78% de los días existió un claro predominio del transporte de masas de aire procedentes de diversos sectores del Atlántico, seguido de un 5% de componente europeo, un 10% de componente regional, un 6% de componente africano y finalmente 2% de influencia mediterránea.

En la figura 26 (B) se indica el porcentaje de días dentro de cada mes con las diferentes influencias, según origen, de las masas de aire y así indicar la evolución estacional de los escenarios de transporte.

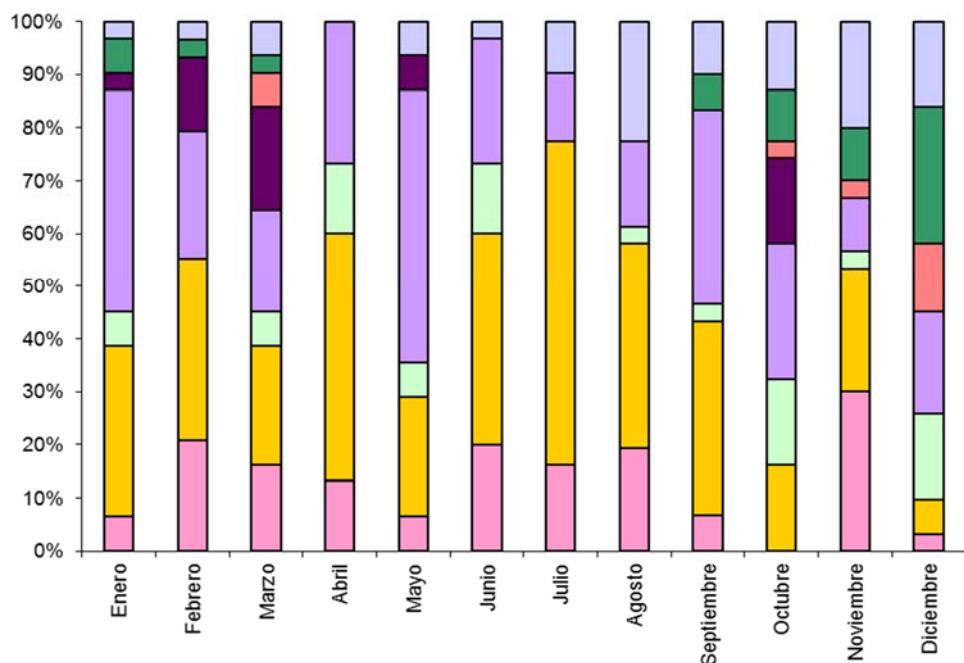
¹³ Draxler, R.R. and Rolph, G.D., 2003. HYSPLIT (HYbrid Single-Particle Lagrangian Integrated Trajectory) Model access via NOAA ARL READY Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.

¹⁴ Rolph, G.D., 2003. Real-time Environmental Applications and Display sYstem (READY) Website (<http://www.arl.noaa.gov/ready/hysplit4.html>). NOAA Air Resources Laboratory, Silver Spring, MD.



(A)

■ AN ■ ANW ■ ASW ■ AW ■ EU ■ MED ■ NAF ■ RE



(B)

Figura 26. Origen de las masas de aire en A Coruña en 2016, obtenido a partir del cálculo de retrotrayectorias de las masas de aire: (A) Número de días (B) Frecuencia a lo largo del año.

Para poder estimar cual es la influencia de las masas de aire en el nivel de partículas se requiere un estudio más exhaustivo y detallado, así como para poder identificar el aporte de materia particulada durante episodios de transporte a larga distancia como las intrusiones de aire sahariano, combustión de biomasa, etc.

ANEXO V.- COMPARATIVA DE LOS RESULTADOS PARA LOS AÑOS AÑO 2007-2016

NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Tabla XI. Resumen global de las muestras recogidas durante el período 2007-2016.

	2007*	2008#	2009	2010	2011	2012	2013+	2014 ^Φ	2015\$	2016 ^ø
Nº muestras recogidas	288	330	360	358	354	340	289	263	328	342
% de muestras (año civil)	79	90,4	99	98	97	93	79	72	90	93
VALOR MÁXIMO DIARIO de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	71	85	77	74	94	70	43	65	57	65
VALOR MÍNIMO DIARIO de PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12	10	10	7	11	9	4	3	3	14
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	28	27	12	10	15	18	0	6	2	1
% SUPERACIONES con respecto al número total de muestras	9,7	8,2	3,3	2,8	4,2	5,3	-	2,3	0,6	0,3
VALOR MEDIO ANUAL de PM₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	32	29	27	28	29	26	21	21	20	19

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo.

en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril

+ en el año 2013 durante los meses de julio, agosto y noviembre se muestrearon solamente 35 días

^Φ en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio

\$ en el año 2015 no hubo muestreo durante el mes de mayo

ø en el año 2016 durante el mes de mayo se ha muestreado 10 días

Tabla XII. Valores máximo diario mensual durante el período 2007-2016.

	Máximo mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	2007*	2008#	2009	2010	2011	2012	2013+	2014 ^Φ	2015\$	2016 ^ø
Enero	-	81	57	49	46	57	39	36	37	24
Febrero	-	85	58	35	60	58	36	39	40	32
Marzo	71	54	70	43	72	70	32	65	46	45
Abril	71	48	62	54	83	62	33	42	57	40
Mayo	43	60	46	64	43	46	36	-	14	40
Junio	61	56	66	74	48	66	34	-	42	28
Julio	41	37	39	52	38	39	32	37	31	65
Agosto	52	41	38	37	47	38	36	28	38	46
Septiembre	71	45	40	53	51	40	42	48	38	31
Octubre	57	63	35	61	94	35	30	53	29	40
Noviembre	44	39	46	47	39	46	23	42	51	33
Diciembre	60	60	44	42	46	44	43	36	39	43

^Φen el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio

\$ en el año 2015 no hubo muestreo durante el mes de mayo

ø en el año 2016 durante el mes de mayo se ha muestreado 10 días

Tabla XIII. Valores mínimo diario mensual durante el período 2007-2016.

	Mínimo mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	2007*	2008#	2009	2010	2011	2012	2013+	2014 Φ	2015\$	2016 Θ
Enero	-	10	10	14	14	11	4	11	11	7
Febrero	-	14	10	11	17	14	14	11	11	9
Marzo	14	20	17	13	19	15	10	13	3	8
Abril	14	12	12	18	20	14	11	10	9	4
Mayo	14	14	17	16	18	9	11	-	9	10
Junio	13	12	12	17	13	11	8	-	12	8
Julio	12	10	12	18	13	19	15	3	7	6
Agosto	12	10	14	14	11	9	13	5	7	9
Septiembre	15	15	18	17	15	15	11	8	6	8
Octubre	24	12	11	7	13	14	9	11	6	7
Noviembre	17	10	15	10	16	17	10	10	5	7
Diciembre	16	10	13	7	13	11	9	10	8	12

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo, # en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril, + en el año 2013 se muestrearon solamente 12 días en julio, 20 días en agosto y 3 días en noviembre, Φ en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio, \$ en el año 2015 no hubo muestreo durante el mes de mayo, Θ en el año 2016 durante el mes de mayo se ha muestreado 10 días

Tabla XIV. Valores medios mensuales durante el período 2007-2016.

	Media mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)									
	2007*	2008#	2009	2010	2011	2012	2013+	2014 Φ	2015\$	2016 Θ
Enero	-	38	24	24	23	27	22	20	21	14
Febrero	-	38	32	23	34	29	22	20	20	18
Marzo	35	31	34	27	34	40	18	39	26	22
Abril	44	26	24	34	37	26	21	24	25	13
Mayo	27	25	27	32	29	21	23	-	11	22
Junio	28	28	28	36	27	27	20	-	23	17
Julio	24	21	20	30	24	26	21	18	17	19
Agosto	29	23	23	22	25	22	26	14	18	20
Septiembre	30	28	34	30	27	26	23	22	17	20
Octubre	40	33	26	25	37	23	19	28	19	21
Noviembre	30	24	29	27	26	27	15	18	23	17
Diciembre	38	31	24	20	27	23	24	21	20	23

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo, # en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril, + en el año 2013 se muestrearon solamente 12 días en julio, 20 días en agosto y 3 días en noviembre, Φ en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio, \$ en el año 2015 no hubo muestreo durante el mes de mayo, Θ en el año 2016 durante el mes de mayo se ha muestreado 10 días.

Tabla XV. Número de superaciones por mes durante el período 2007-2016.

	Número de superaciones									
	2007*	2008#	2009	2010	2011	2012	2013+	2014	2015\$	2016 Θ
Enero	-	9	0	0	0	1	0	0	0	0
Febrero	-	7	3	0	1	2	0	0	0	0
Marzo	2	1	3	0	6	13	0	5	0	0
Abril	13	0	0	1	4	1	0	0	1	0
Mayo	0	1	0	3	0	0	0	-	0	0
Junio	2	2	1	2	0	1	0	-	0	0
Julio	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
Agosto	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Septiembre	3	0	3	2	1	0	0	0	0	0
Octubre	2	0	1	1	3	0	0	1	0	0
Noviembre	0	4	1	0	0	0	0	0	1	0
Diciembre	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 13 de marzo, # en el año 2008 se comenzó el 1 de enero pero no se muestreó entre el 13 de marzo y el 16 de abril, + en el año 2013 se muestrearon solamente 12 días en julio, 20 días en agosto y 3 días en noviembre, Φ en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio, \$ en el año 2015 no hubo muestreo durante el mes de mayo, Θ en el año 2016 durante el mes de mayo se ha muestreado 10 días.

En la figura 27 se indica la comparativa del total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional entre 2007- 2016 refleja los valores más altos en el otoño/invierno, siendo menores en el resto de la primavera y verano. En el año 2010 los valores más altos se produjeron desde marzo hasta julio y de septiembre a octubre.

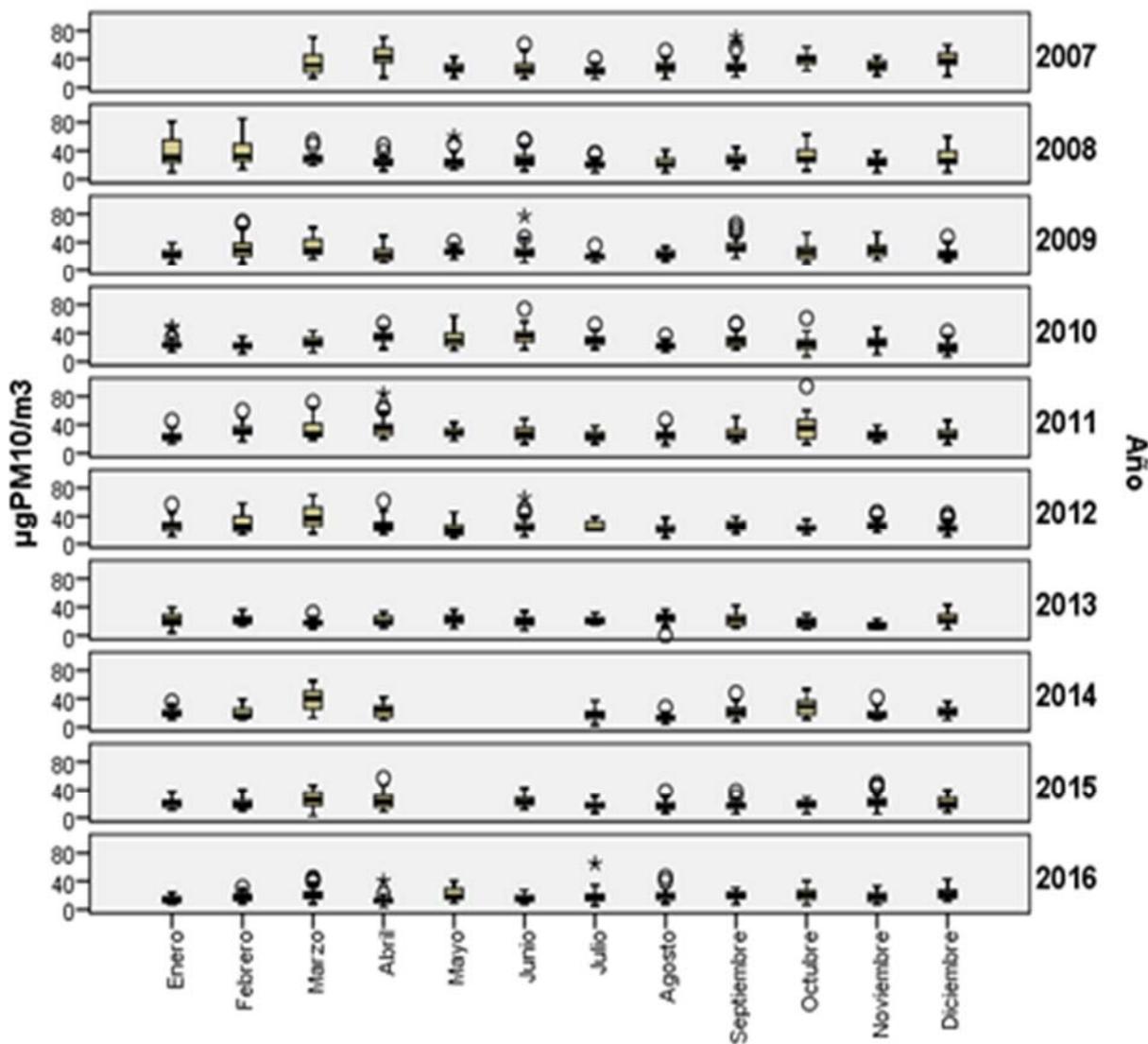


Figura 27. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo desde el año 2007 a 2016.

También se puede observar la variabilidad dentro de cada estación y para cada año; debida en parte a las diferentes precipitaciones ocurridas en los diez años de muestreo tal y como se representa en la figura 28.

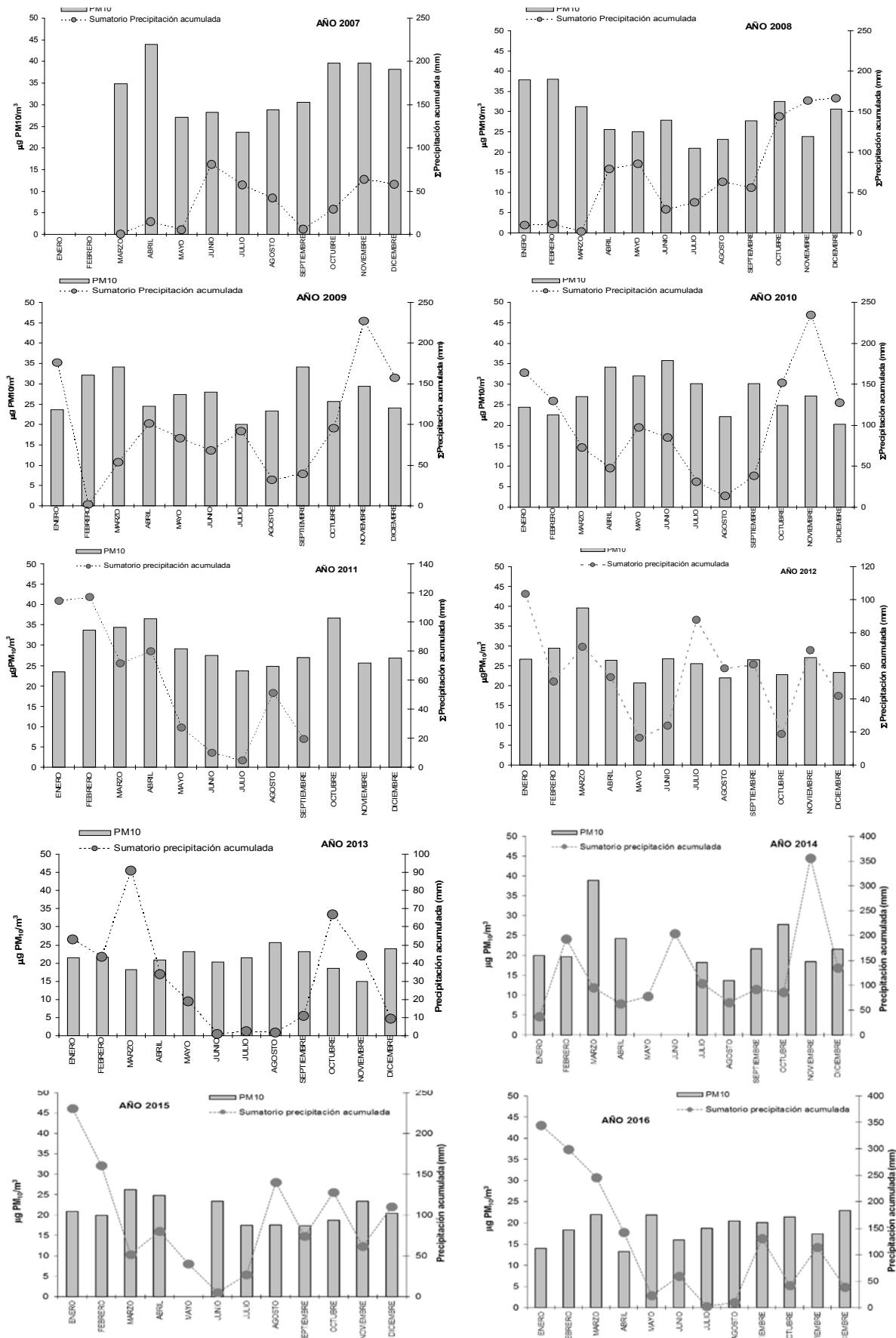


Figura 28. Niveles promedio mensuales de PM₁₀ y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2016 (para el tercer trimestre del año 2011 no se disponen de datos de precipitación).

En la figura 29 se indica la distribución de los niveles de PM₁₀ según el día de la semana en donde se observa que los niveles diarios aumentan ligeramente de lunes a viernes disminuyendo los fines de semana.

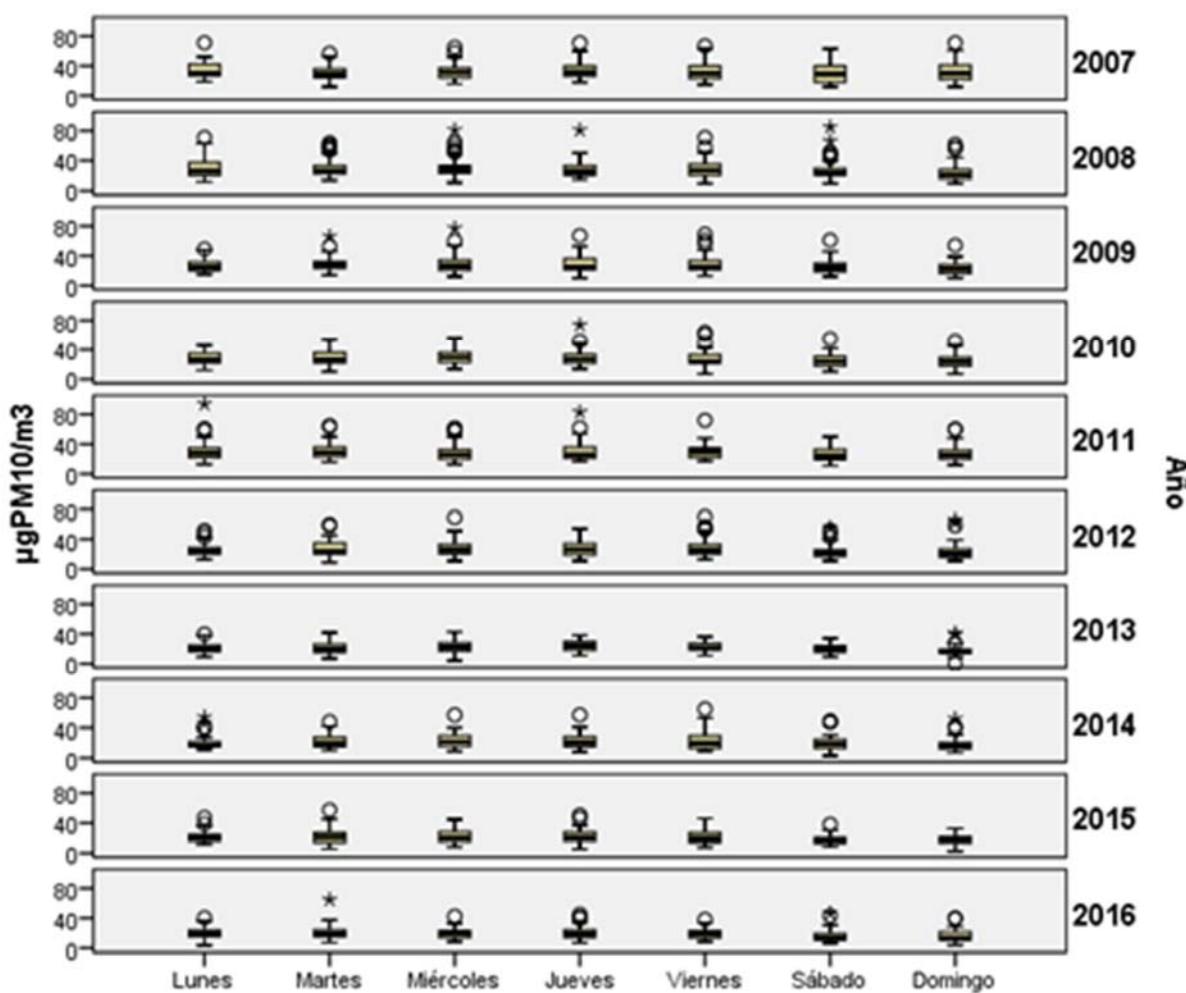
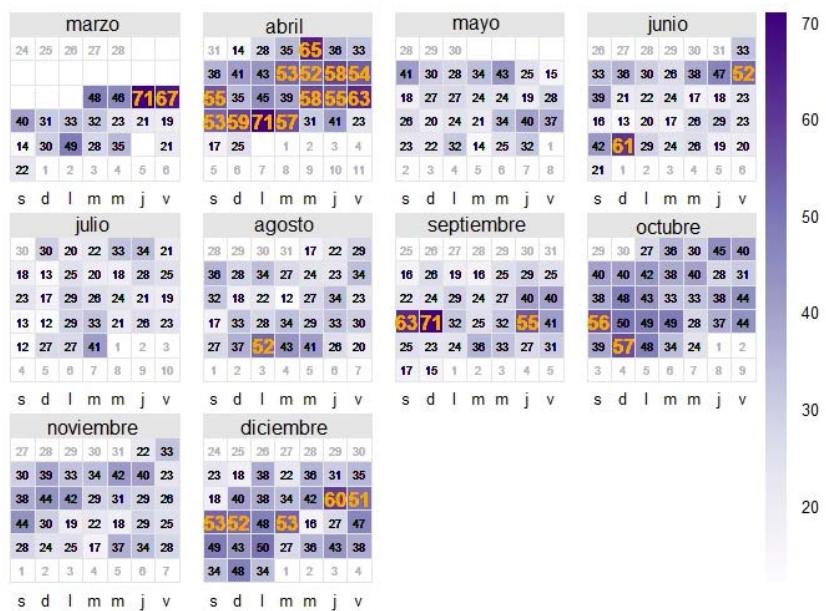


Figura 29. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana desde el año 2007 a 2016.

En las figuras 30-34 se muestran los calendarios de los años 2007 a 2016 con los niveles medios diarios para cada día, resaltando los días con superación del valor límite diario de 50 µg/m³.

PM₁₀ in 2007



PM₁₀ in 2008

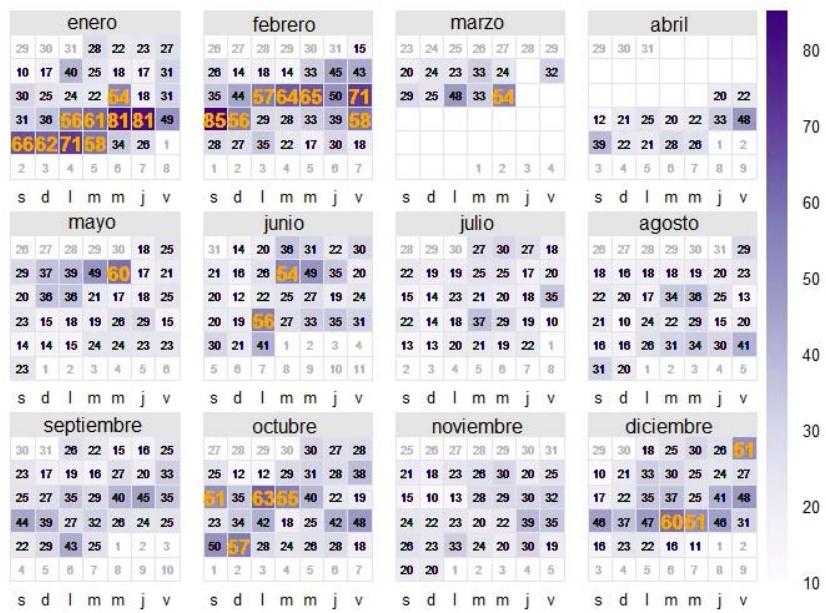
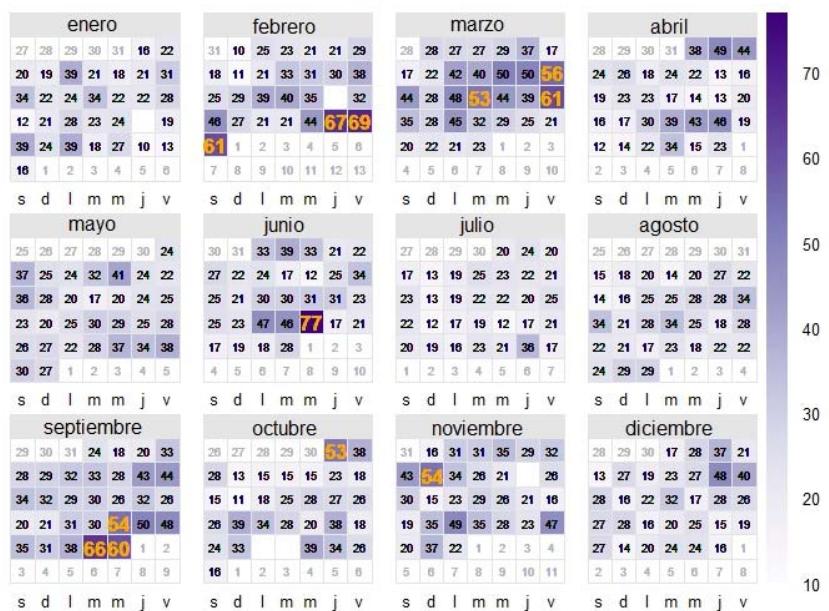


Figura 30. Evolución de los niveles medios diarios de PM10 a lo largo de los días para los años 2007 y 2008.

PM_{10} in 2009



PM_{10} in 2010

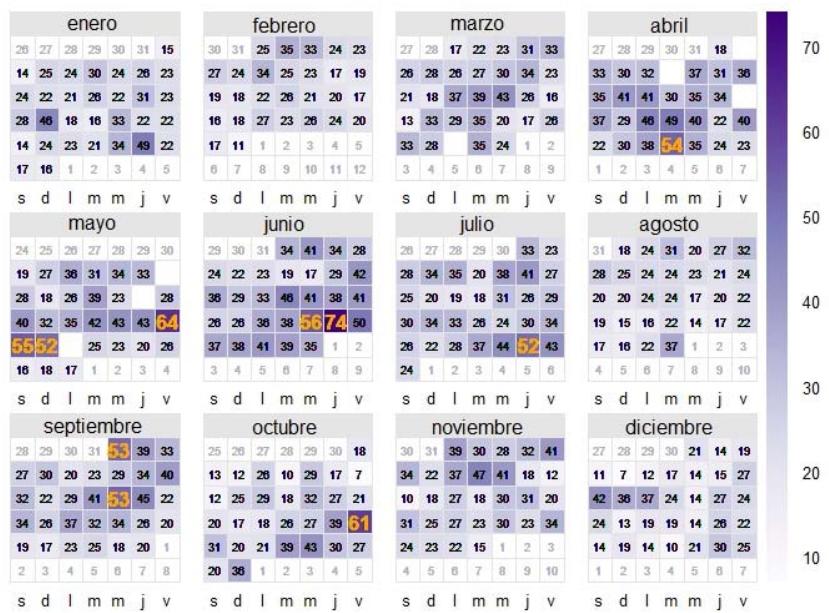


Figura 31. Evolución de los niveles medios diarios de PM_{10} a lo largo de los días para los años 2009 y 2010.

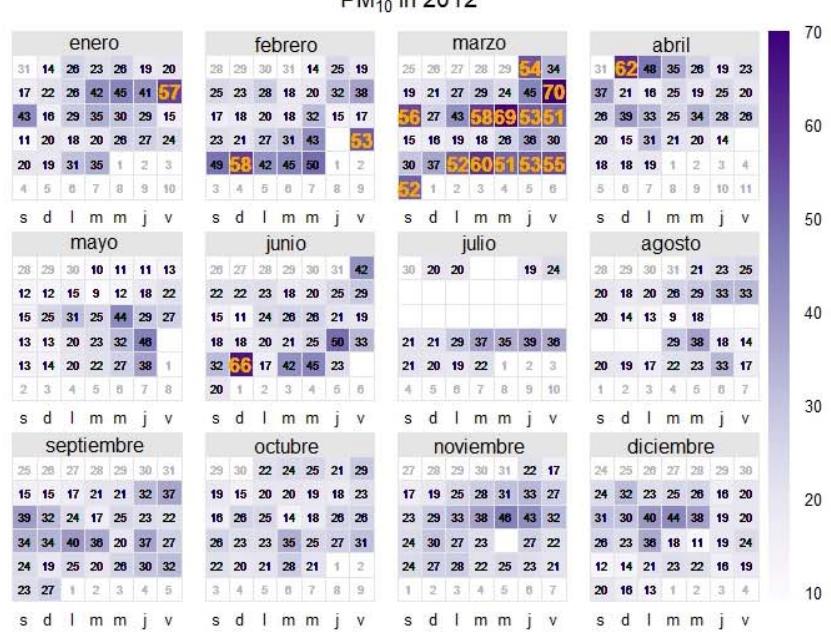
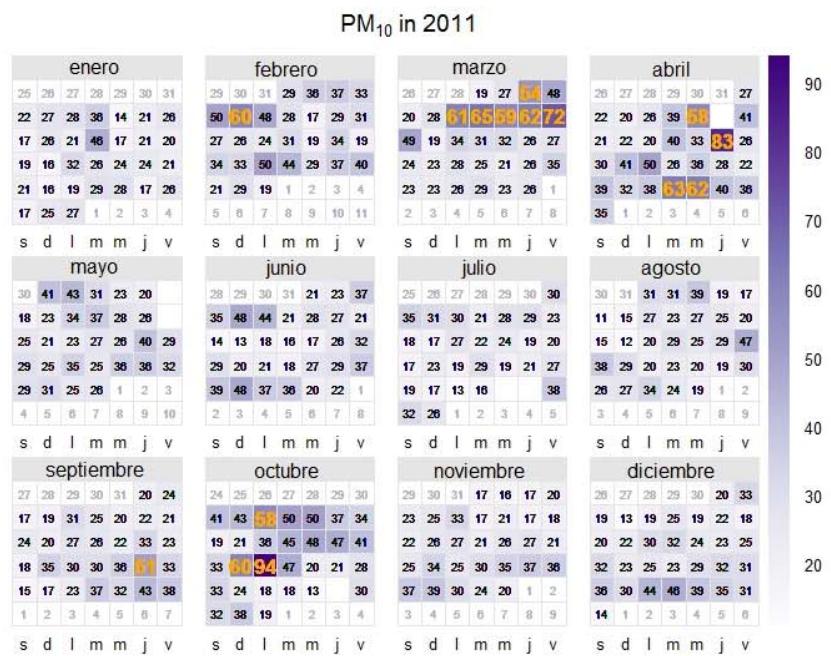


Figura 32. Evolución de los niveles medios diarios de PM_{10} a lo largo de los días para los años 2011 y 2012.

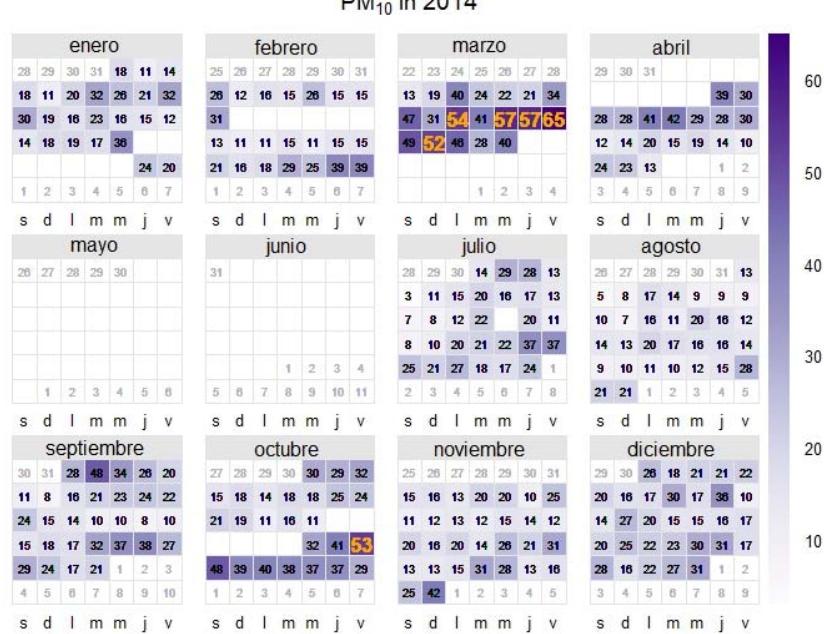
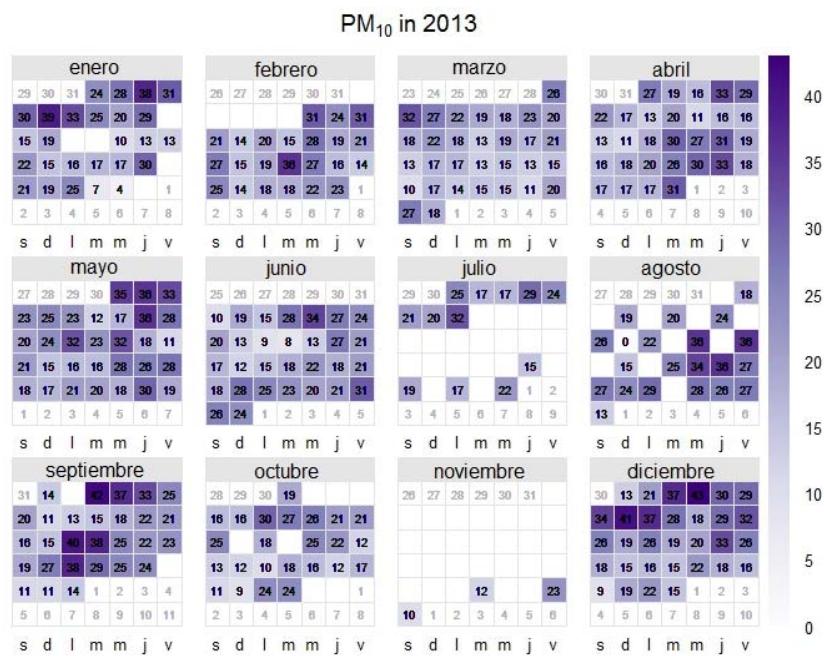
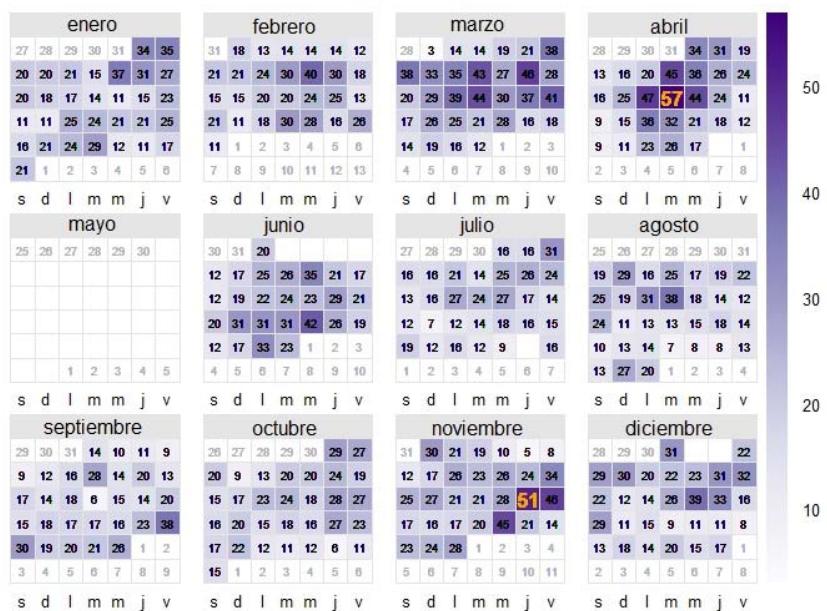


Figura 33. Evolución de los niveles medios diarios de PM10 a lo largo de los días para los años 2013 y 2014.

PM₁₀ in 2015



PM₁₀ in 2016

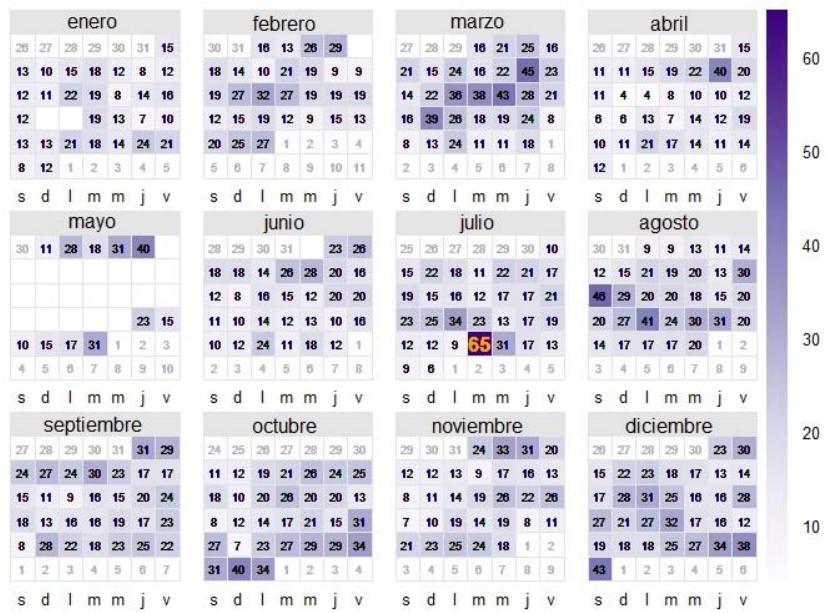


Figura 34. Evolución de los niveles medios diarios de PM10 a lo largo de los días para el año 2015 y 2016.

En la figura 35 se puede observar que las concentraciones de PM10 han disminuido a lo largo de los años 2007-2016, a razón de $1,32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ por año ($-1,63; -1,01 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

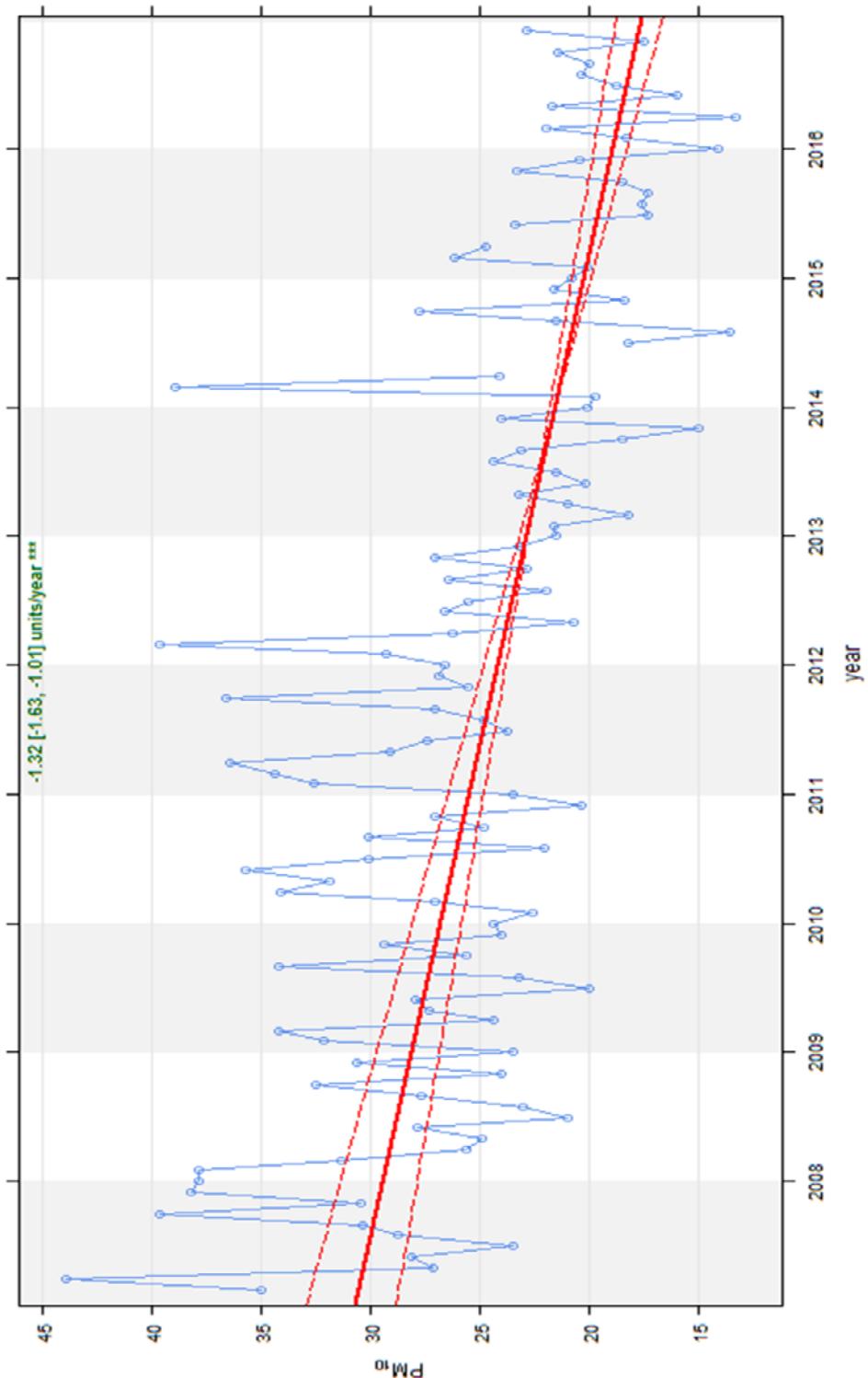


Figura 35. Medias mensuales y tendencia TheilSen (2007-2016). La línea sólida roja muestra la estimación de la tendencia y las líneas rojas punteadas muestran los intervalos de confianza al 99,9%. Los *** indican que la tendencia es significativa al nivel $p<0,001$.

NIVELES DE PM₁₀, PM_{2,5} Y PM₁ SEGÚN ESPECTRÓMETRO LÁSER

Dado que a lo largo del año 2009 el espectrómetro láser estuvo fuera de servicio, a continuación se presenta la comparativa relativa a los años 2007-2008 y 2010-2016.

Tabla XVI. Factor gravimétrico.

Período	2007*	2008#	2010+	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Primavera/verano	1,22	1,28	1,47	1,44	1,37	1,25	1,13	1,13	1,13
Otoño/invierno	1,31	1,22	1,43	1,46	1,38	1,17	1,16	1,09	1,13
MEDIA ANUAL	1,27	1,25	1,45	1,45	1,38	1,21	1,15	1,11	1,13

* Año 2007

Primavera/verano (desde el 10 de mayo hasta el 30 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 1 de octubre hasta el 31 de diciembre)

Años 2008, 2012, 2013 y 2014

Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 20 de marzo)

+ Año 2010

Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 29 de octubre y desde 1 de febrero hasta el 20 de marzo)

\$Año 2011

Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)

Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 30 de diciembre y desde 1 de febrero hasta el 20 de marzo)

Tabla XVII. Resumen de los valores (promedio mensual) correspondientes a la fracción granulométrica PM₁₀ (μg/m³) durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

	PM ₁₀								
	2007*	2008#	2010+	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Enero	-	30	-	-	20	17	18	21	13
Febrero	-	33	16	17	22	19	17	19	14
Marzo	-	22	19	19	28	15	28	25	20
Abril	-	20	22	25	15	17	19	22	14
Mayo	24	19	20	20	15	16	16	16	19
Junio	23	21	24	18	16	17	22	20	16
Julio	18	18	16	17	15	23	18	15	15
Agosto	22	19	13	17	-	17	14	13	20
Septiembre	24	21	18	17	18	19	21	18	20
Octubre	29	22	16	25	17	14	24	19	21
Noviembre	25	-	-	16	18	12	18	21	17
Diciembre	27	-	-	12	17	23	21	19	22
MEDIA ANUAL	24	22	16	18	18	17	20	19	18

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

+ en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

\$ en el año 2011 el muestreo se realiza desde febrero a diciembre.

Tabla XVIII. Resumen de los valores (promedio mensual) correspondientes a la fracción granulométrica PM_{2,5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante los años 2007-2008 y 2010- 2016.

	PM _{2,5}								
	2007*	2008#	2010 ⁺	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Enero	-	22	-	-	17	14	15	18	11
Febrero	-	22	13	14	18	16	14	16	12
Marzo	-	16	15	15	22	13	23	20	16
Abril	-	15	18	17	13	14	16	16	10
Mayo	16	15	15	15	13	13	13	13	15
Junio	18	16	14	13	14	14	19	17	13
Julio	13	13	13	12	12	20	15	12	12
Agosto	16	14	11	13	-	14	11	11	16
Septiembre	18	16	15	13	15	15	18	14	16
Octubre	23	17	14	20	15	12	19	15	16
Noviembre	19	-	-	14	15	11	14	17	14
Diciembre	21	-	-	11	15	20	18	16	18
MEDIA ANUAL	18	17	14	14	15	15	16	15	14

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

⁺ en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

\$ en el año 2011 el muestreo se realiza desde febrero a diciembre.

Tabla XIX. Resumen de los valores (promedio mensual) correspondientes a la fracción granulométrica PM₁ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

	PM ₁								
	2007*	2008#	2010 ⁺	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Enero	-	15	-	-	12	9	10	14	7
Febrero		16	9	11	14	11	9	11	8
Marzo	-	10	10	12	16	9	17	15	12
Abril	-	10	13	12	8	9	11	11	7
Mayo	10	11	10	10	8	9	8	8	11
Junio	12	11	13	8	10	10	14	12	9
Julio	9	8	8	8	8	14	11	8	8
Agosto	10	10	7	9	-	10	7	8	11
Septiembre	12	11	10	9	10	10	13	9	11
Octubre	17	11	10	15	11	5	13	11	11
Noviembre	14	-	-	10	10	7	10	12	10
Diciembre	18	-	-	8	10	14	13	11	14
MEDIA ANUAL	13	11	10	10	11	10	11	11	10

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

⁺ en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

\$ en el año 2011 el muestreo se realiza desde febrero a diciembre.

Tabla XX. Valores de las ratios PM_{2,5}/ PM₁₀ entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

	PM _{2,5} / PM ₁₀								
	2007*	2008#	2010+	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Enero	-	0,74	-	-	0,83	0,84	0,83	0,86	0,86
Febrero	-	0,68	0,80	0,85	0,85	0,84	0,84	0,84	0,86
Marzo	-	0,73	0,78	0,79	0,78	0,86	0,83	0,81	0,82
Abril	-	0,75	0,80	0,68	0,85	0,81	0,84	0,75	0,76
Mayo	0,69	0,81	0,77	0,76	0,85	0,82	0,81	0,80	0,77
Junio	0,74	0,76	0,78	0,75	0,85	0,86	0,85	0,82	0,84
Julio	0,75	0,71	0,85	0,74	0,81	0,84	0,84	0,77	0,78
Agosto	0,73	0,77	0,83	0,75	-	0,84	0,81	0,89	0,79
Septiembre	0,74	0,77	0,82	0,77	0,87	0,82	0,85	0,79	0,79
Octubre	0,79	0,76	0,86	0,78	0,90	0,89	0,80	0,82	0,79
Noviembre	0,78	-	-	0,85	0,83	0,90	0,82	0,81	0,85
Diciembre	0,79	-	-	0,93	0,86	0,85	0,85	0,83	0,82
MEDIA ANUAL	0,75	0,75	0,81	0,79	0,84	0,85	0,83	0,82	0,81

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

+ en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

\$ en el año 2011 el muestreo se realiza desde febrero a diciembre.

Tabla XXI. Valores de las ratios PM₁/ PM_{2,5} entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

	PM ₁ / PM _{2,5}								
	2007*	2008#	2010+	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Enero	-	0,69	-	-	0,73	0,66	0,63	0,74	0,65
Febrero	-	0,74	0,65	0,75	0,75	0,69	0,61	0,68	0,67
Marzo	-	0,61	0,66	0,70	0,75	0,66	0,74	0,72	0,72
Abril	-	0,65	0,70	0,72	0,65	0,64	0,70	0,68	0,63
Mayo	0,61	0,69	0,66	0,67	0,67	0,64	0,65	0,65	0,71
Junio	0,65	0,67	0,68	0,64	0,69	0,67	0,73	0,71	0,70
Julio	0,63	0,63	0,65	0,65	0,65	0,74	0,70	0,64	0,66
Agosto	0,63	0,66	0,63	0,66	-	0,67	0,64	0,67	0,71
Septiembre	0,67	0,70	0,67	0,66	0,68	0,68	0,74	0,68	0,69
Octubre	0,74	0,66	0,66	0,76	0,71	0,67	0,71	0,72	0,71
Noviembre	0,71	-	-	0,71	0,68	0,64	0,67	0,71	0,72
Diciembre	0,82	-	-	0,69	0,69	0,74	0,73	0,61	0,76
MEDIA ANUAL	0,69	0,67	0,66	0,69	0,70	0,68	0,69	0,69	0,69

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

+ en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

\$ en el año 2011 el muestreo se realiza desde febrero a diciembre.

Tabla XXII. Valores de las ratios PM₁/ PM₁₀ entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

	PM ₁ / PM ₁₀								
	2007*	2008#	2010+	2011\$	2012#	2013#	2014#	2015	2016
Enero	-	0,51	-	-	0,61	0,55	0,53	0,64	0,56
Febrero	-	0,50	0,52	0,63	0,64	0,58	0,51	0,57	0,57
Marzo	-	0,45	0,52	0,56	0,59	0,57	0,61	0,58	0,59
Abril	-	0,49	0,56	0,49	0,55	0,52	0,59	0,51	0,48
Mayo	0,42	0,56	0,50	0,51	0,56	0,52	0,53	0,52	0,54
Junio	0,49	0,51	0,53	0,48	0,59	0,58	0,63	0,59	0,58
Julio	0,48	0,45	0,55	0,48	0,53	0,62	0,58	0,50	0,52
Agosto	0,46	0,51	0,53	0,50	-	0,57	0,52	0,60	0,56
Septiembre	0,50	0,54	0,55	0,52	0,60	0,56	0,63	0,54	0,55
Octubre	0,59	0,50	0,57	0,59	0,64	0,60	0,57	0,59	0,56
Noviembre	0,56	-	-	0,60	0,56	0,58	0,54	0,57	0,62
Diciembre	0,65	-	-	0,64	0,60	0,63	0,62	0,59	0,63
MEDIA ANUAL	0,52	0,50	0,54	0,55	0,59	0,57	0,57	0,57	0,56

* en el año 2007 se comenzó el muestreo el 10 de mayo.

en el año 2008 se ha muestreado hasta el 15 de octubre.

+ en el año 2010 el muestreo se realiza desde febrero a octubre.

\$ en el año 2011 el muestreo se realiza desde febrero a diciembre.

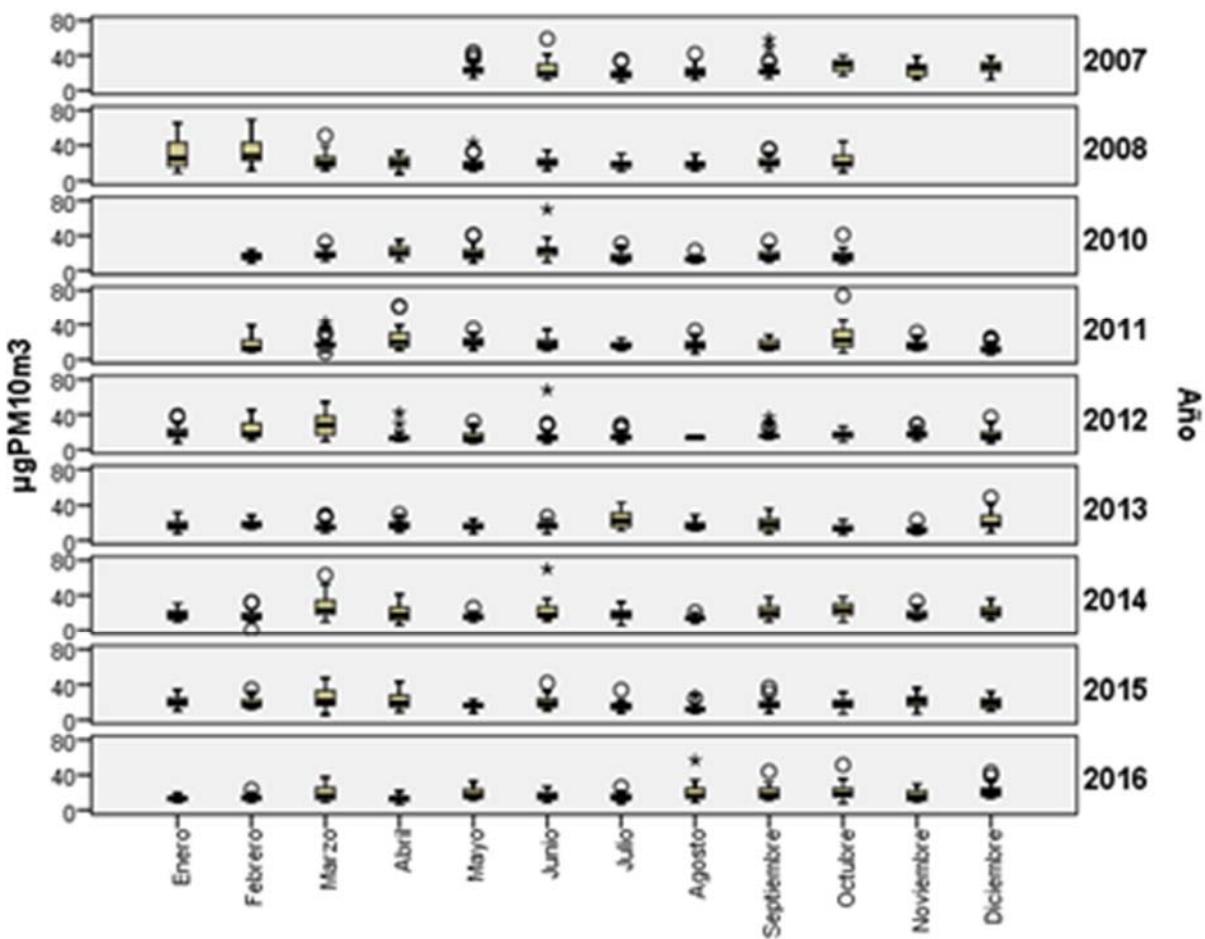


Figura 36. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM_{10} (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007-2008 y, 2010- 2016.

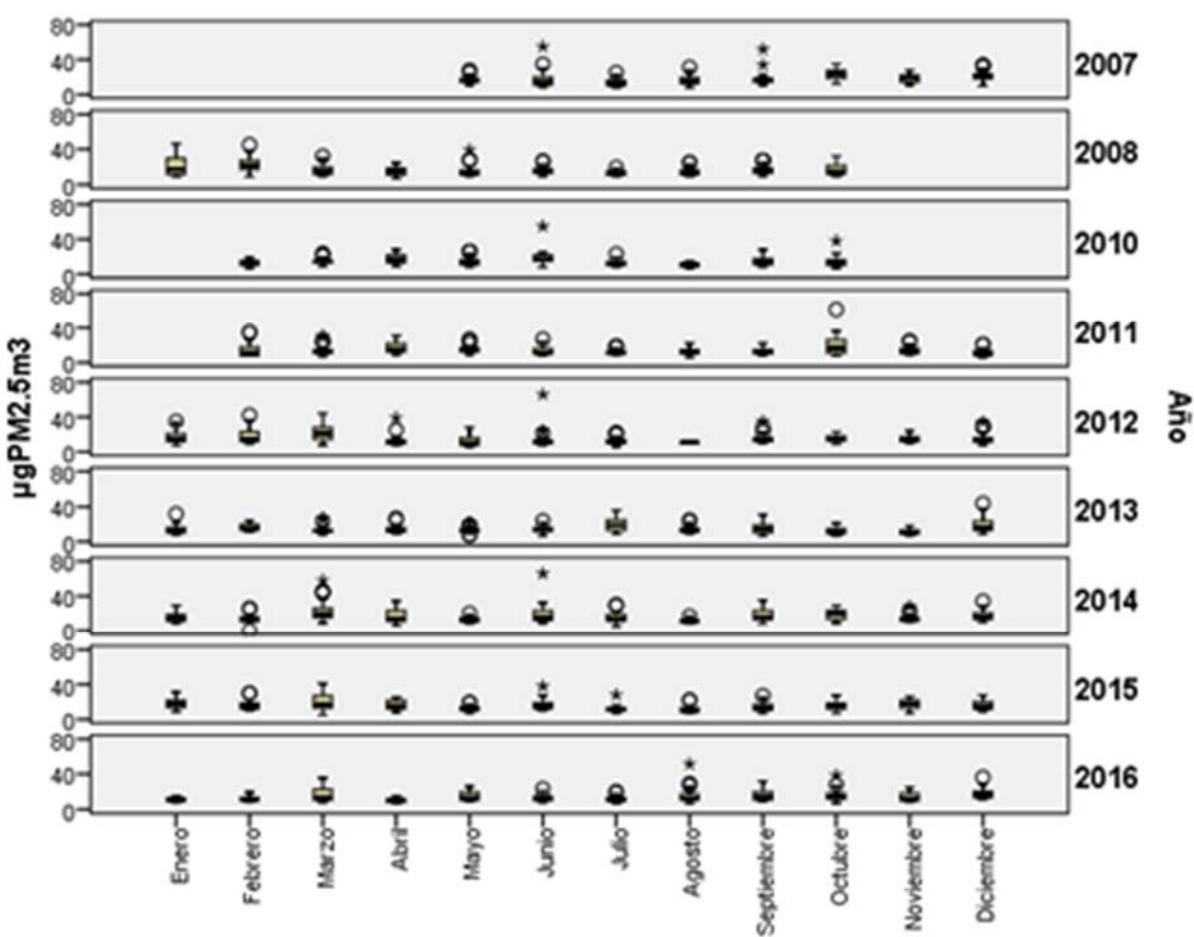


Figura 37. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de $\text{PM}_{2.5}$ (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

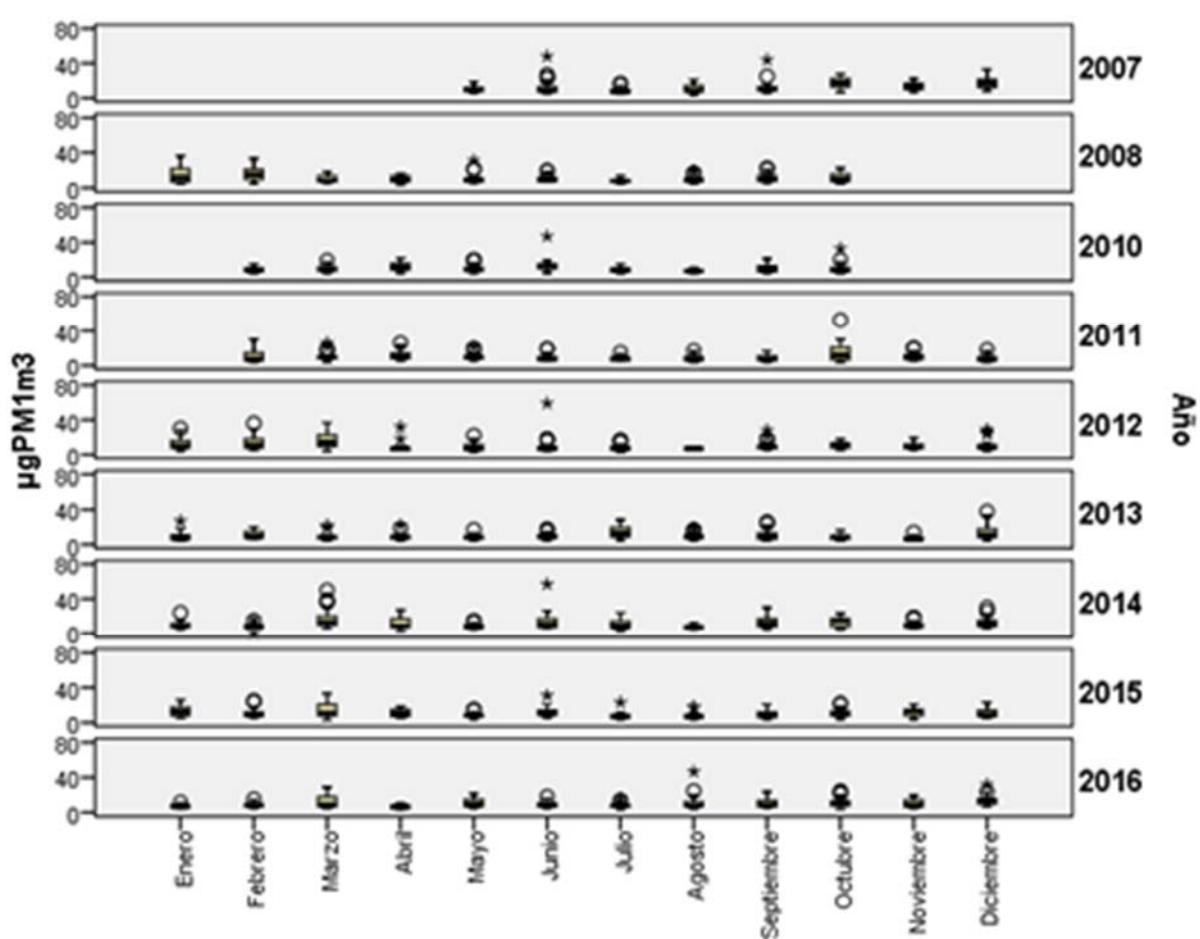


Figura 38. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM_1 (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007-2008 y 2010-2016.



Figura 39. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM₁₀ para los diferentes días de la semana durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

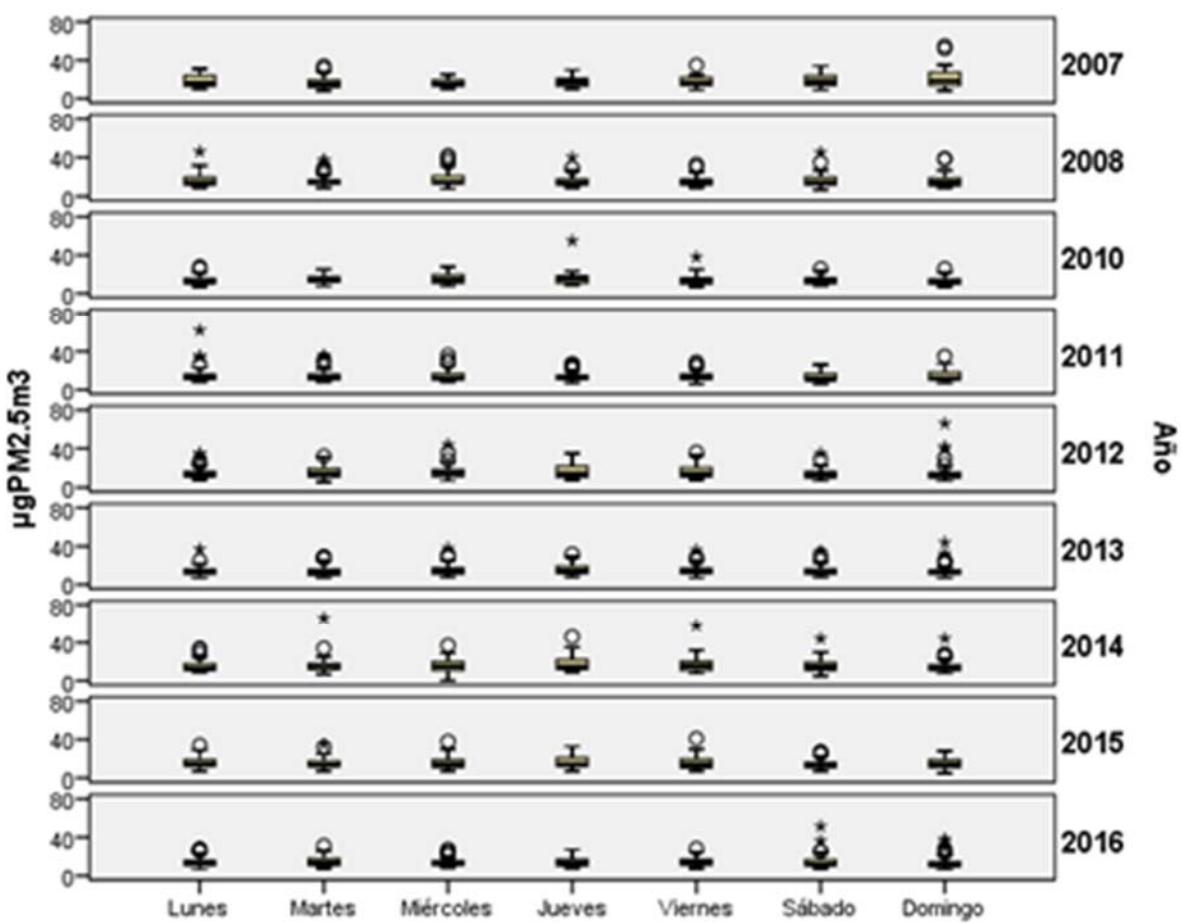


Figura 40. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_{2,5} para los diferentes días de la semana durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

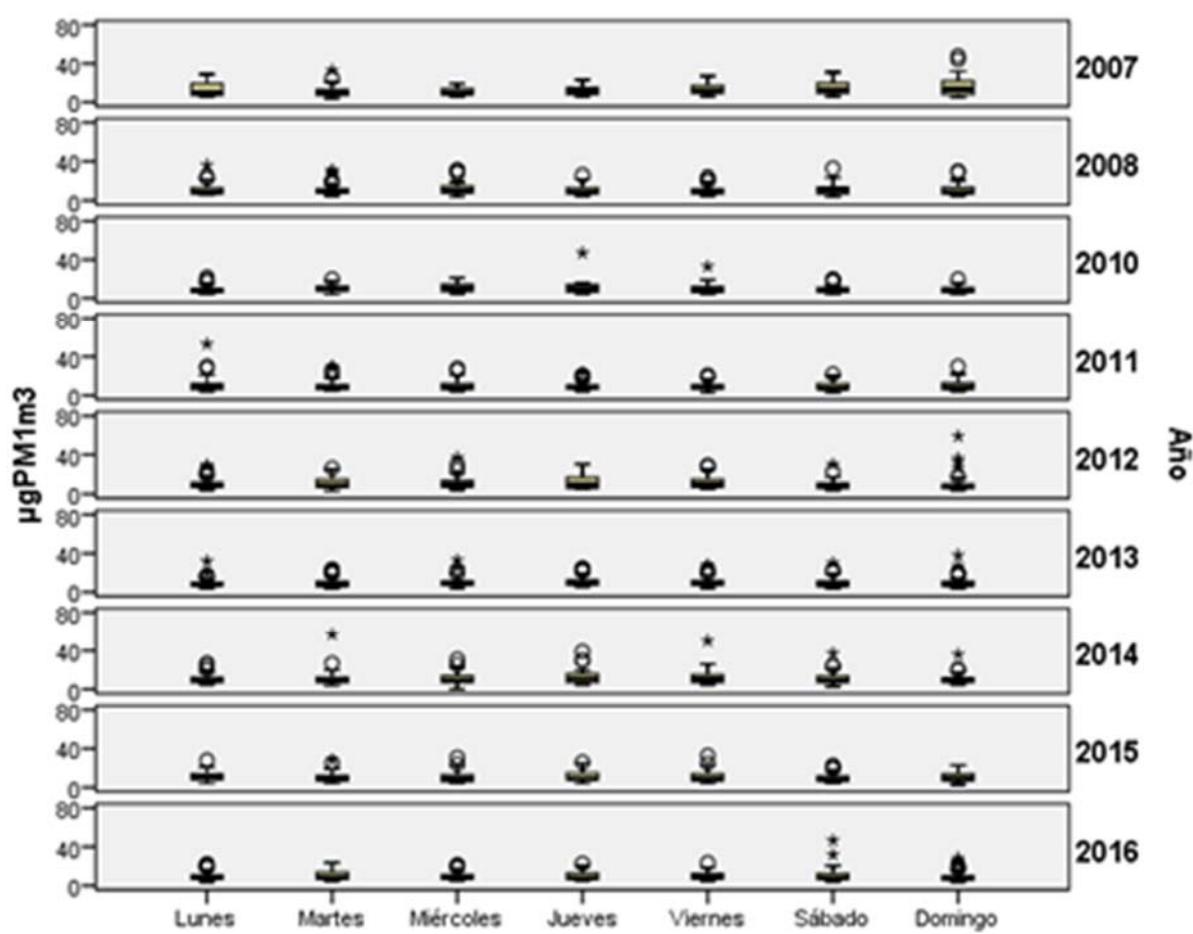


Figura 41. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM₁ para los diferentes días de la semana durante los años 2007-2008 y 2010-2016.

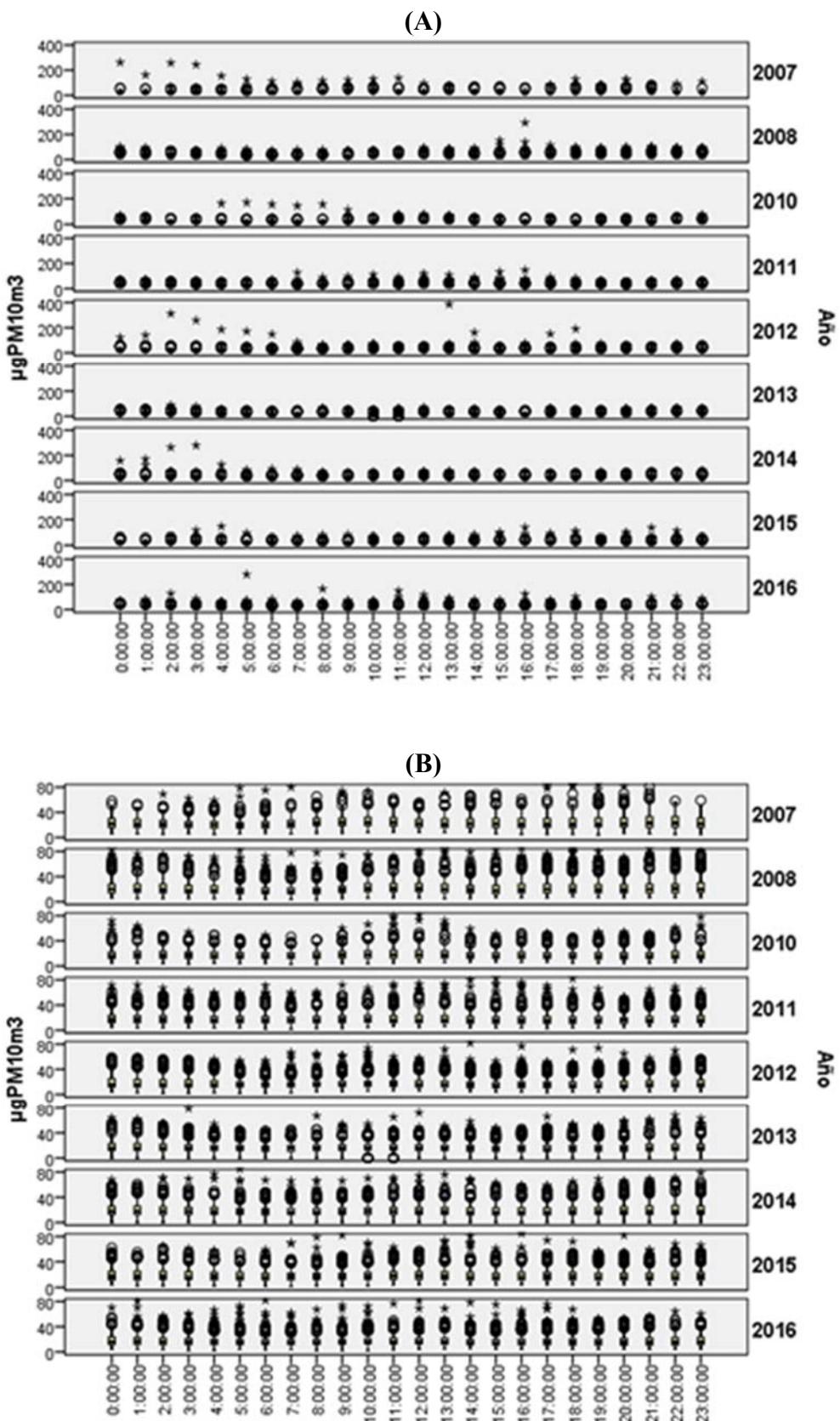


Figura 42. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM₁₀ durante los años 2007- 2008 y 2010-2016. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

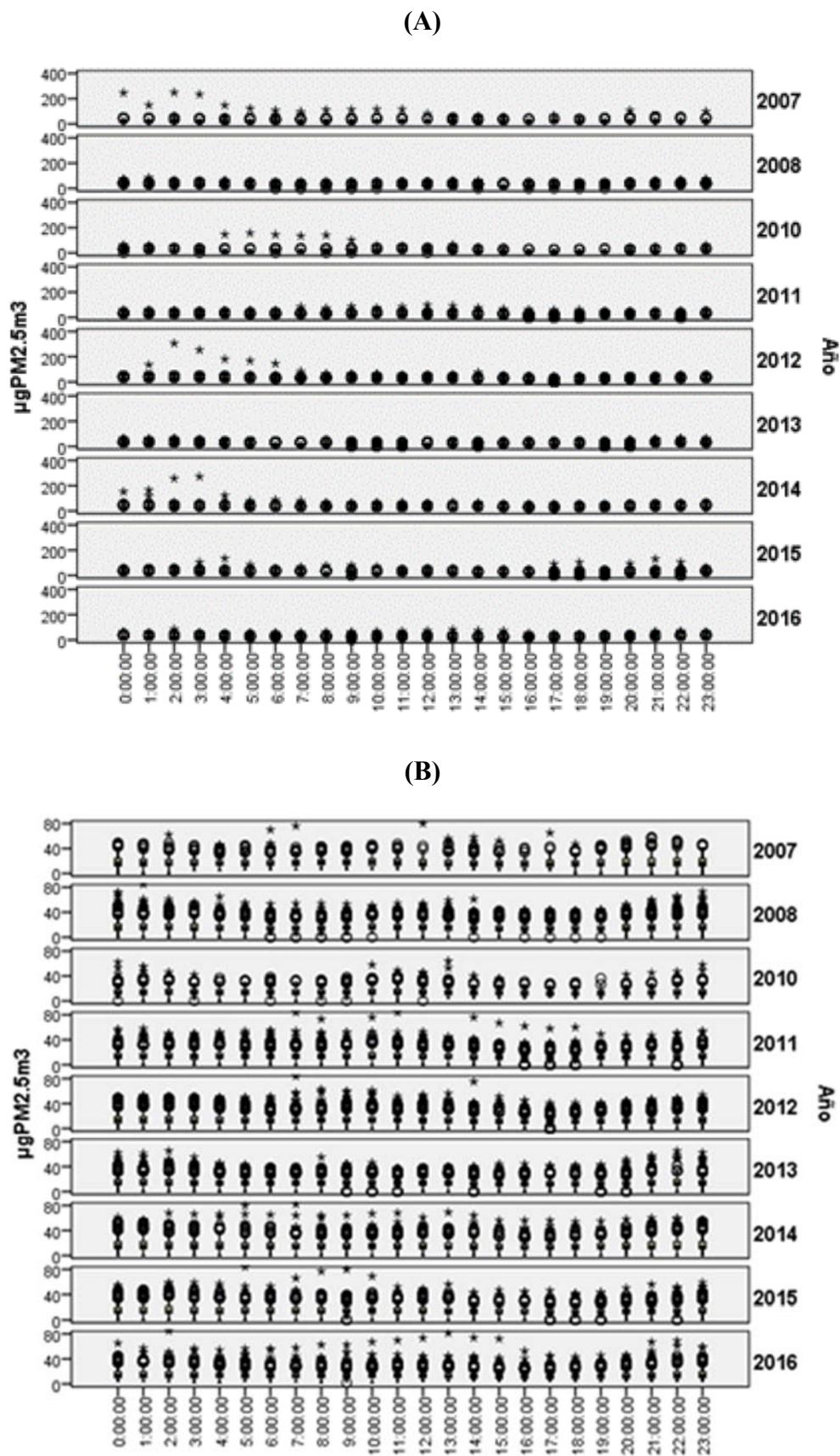


Figura 43. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_{2.5} durante los años 2007-2008 y 2010-2016. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

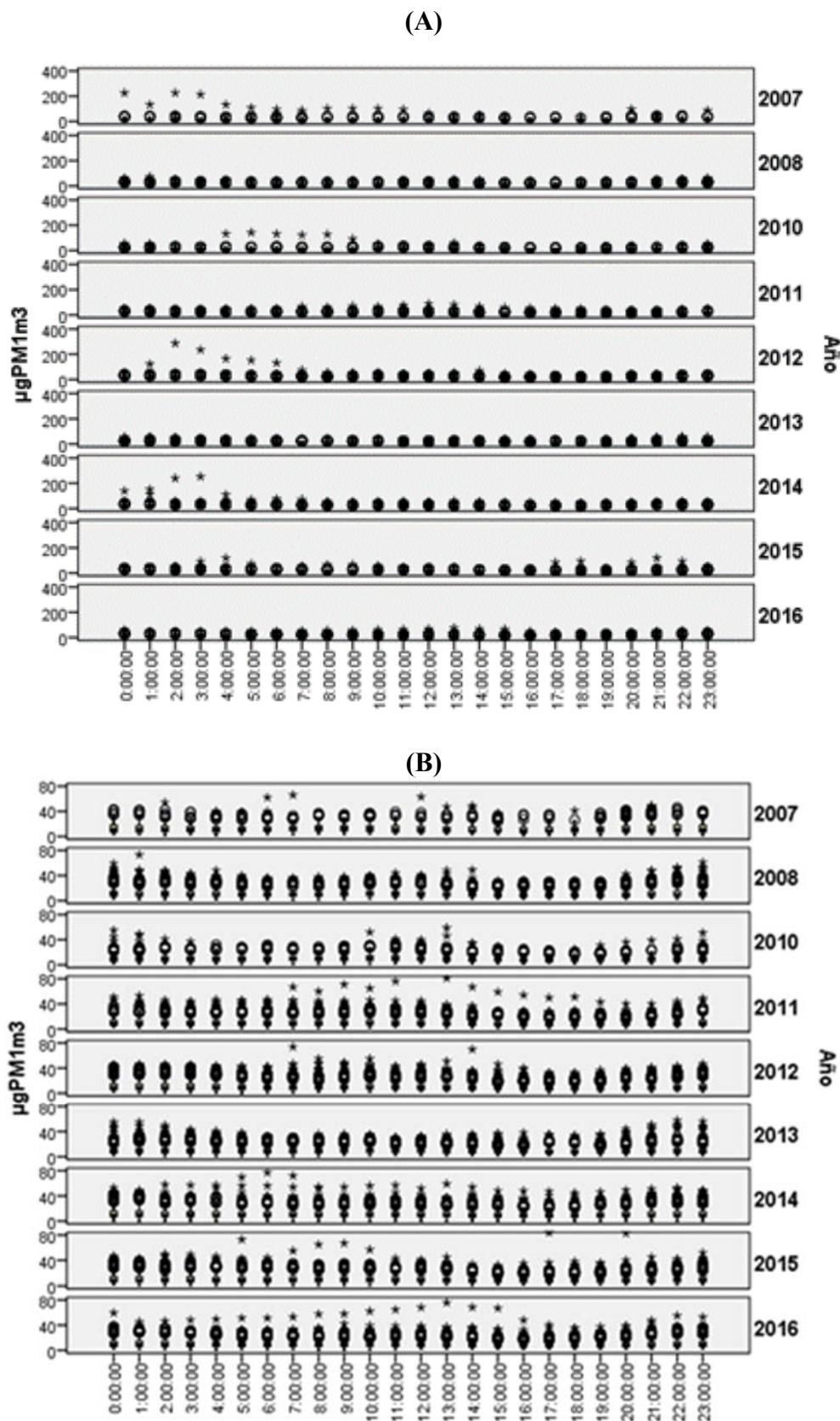


Figura 44. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM₁ durante los años 2007-2008 y 2010-2016. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.