

## **INFORME FINAL 2013**



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

**“MEDIDA DOS NIVEIS DE PARTÍCULAS PM<sub>10</sub> 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 y perteneciente 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 (IUUMA) de la Universidad de A Coruña (UDC) para la medida de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> 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 <sub>10</sub> según medida gravimétrica.....	11
Niveles de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>1</sub> según espectrómetro láser .....	31
CONCLUSIONES .....	46
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 <sub>10</sub> .....	48
II. Intercomparación del espectrómetro láser con el equipo gravimétrico .....	49
III. Gráficas de los niveles de partículas PM <sub>10</sub> para días laborables y fines de semana (método gravimétrico).....	53
IV. Origen de las masas de aire .....	56
V. Comparativa de los resultados para los años 2007-2013 .....	58
Niveles de PM <sub>10</sub> según medida gravimétrica .....	58
Niveles de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>1</sub> según espectrómetro láser .....	64



## 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<sup>1,2</sup>. 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<sup>3,4</sup>. A esta normativa se le une la Directiva 2008/50 relativa a la calidad de aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa<sup>5</sup> y el Real Decreto 102/2011<sup>6</sup> que incorpora al derecho interno las novedades de esta Directiva.

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, 2007)<sup>7</sup>. 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.

---

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

<sup>2</sup> 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.

<sup>3</sup> 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.

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

<sup>5</sup> 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).

<sup>6</sup> Real Decreto 102/2011, de 28 de enero, relativo a la mejora de la calidad del aire.

<sup>7</sup> IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth 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 ambiente<sup>5-6</sup> son las partículas PM<sub>10</sub>, entendidas 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<sub>10</sub> de la norma UNE-EN 12341<sup>8</sup> 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<sub>2,5</sub>). Tanto en la Directiva 2008/50<sup>5</sup> como en el Real Decreto 102/2011<sup>6</sup> 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<sub>2,5</sub> 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<sub>2,5</sub> de la norma UNE-EN 14907<sup>9</sup>, 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 PM<sub>10</sub>. 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 PM<sub>10</sub>, desde enero a diciembre de 2013 en la zona de Os Castros, según el convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña-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:

- Evaluación de los niveles de partículas en suspensión PM<sub>10</sub> realizando el estudio de la evolución temporal a lo largo del período de muestreo.
- Obtener una serie temporal de niveles de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub> para determinar los niveles de partículas de diferentes fracciones granulométricas.
- Comparación simultánea de las medidas de PM<sub>10</sub> obtenidas con un equipo en continuo GRIMM y las procedentes del captador de referencia gravimétrico.

---

<sup>8</sup> Norma UNE-EN 12341:1999 Calidad del aire. Determinación de la fracción PM<sub>10</sub> 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.

<sup>9</sup> Norma UNE-EN 14907:2006 Calidad de aire ambiente. Método de medición gravimétrica para la determinación de la fracción másica PM<sub>2,5</sub> 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.
- Además se incluye una comparativa con los valores encontrados en años anteriores: 2007-2013 (7 años continuos 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 desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2013.



**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-80<sup>10</sup> (figura 2) que cumple los requisitos de la Norma UNE-EN 12341 para el muestreo de PM<sub>10</sub>. El caudal de aspiración durante el muestreo ha sido de 30 m<sup>3</sup>/h. El funcionamiento del equipo es el siguiente: el aire penetra por el cabezal de corte (PM<sub>10</sub>) 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.

---

<sup>10</sup> Muestreador adquirido gracias a un Proyecto financiado por la Fundación ALCOA titulado “Levels of PM<sub>10</sub> 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  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$  (partículas de diámetro  $<1 \mu m$ ). Este 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  $\mu g/m^3$  de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$ . Así, 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  $PM_{10}$ .

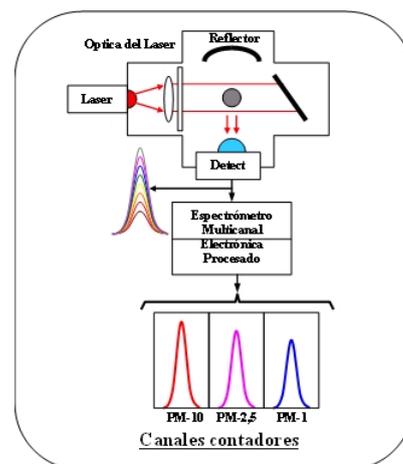


Figura 3. Fotografía y esquema de funcionamiento (cortesía de SIR S.A) del espectrómetro láser GRIMM 1107.

## 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  $PM_{10}$  se acondicionan, como mínimo 48 horas, antes de la pesada en una sala de balanzas acondicionada a  $20\pm 1^\circ C$  de temperatura y  $50\pm 5\%$  humedad relativa<sup>8</sup>. 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. 48).

Aunque se trata de la medida de  $PM_{10}$ , 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  $\mu g$  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  $\mu g$ .

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  $PM_{10}$ , se mantienen en la sala de balanzas durante un mínimo de 48 h antes de la primera pesada y después de 24 a 72 h se realiza una segunda pesada. La masa del filtro  $PM_{10}$  se toma como la media de las dos medidas.

A continuación se crea una base de datos con los valores de  $PM_{10}$  referidos al volumen de muestreo ( $\mu g PM_{10}/m^3$ ). 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 102/2011<sup>6</sup> se establecen los valores indicados en la tabla I.

**Tabla I. Valores límite (PM<sub>10</sub>) en condiciones ambientales para la protección de la salud<sup>6</sup>.**

	Período de promedio	Valor límite*	Margen de tolerancia**	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor límite diario	24 horas	50 µg/m <sup>3</sup> , 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 <sup>3</sup>	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 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<sub>2,5</sub>, 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.

Además en el Real Decreto 102/2011<sup>6</sup> 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 II. Valores objetivo y límite de las partículas (PM<sub>2,5</sub>) en condiciones ambientales para la protección de la salud<sup>6</sup>.**

	Período de promedio	Valor	Margen de tolerancia	Fecha de cumplimiento del valor límite
Valor objetivo* anual	1 año civil	25 µg/m <sup>3</sup>	-	En vigor desde el 1 de enero de 2010
Valor límite anual (fase I)	1 año civil	25 µg/m <sup>3</sup>	20% el 11 de junio de 2008, que se reducirá el 1 de enero siguiente y en lo sucesivo, cada 12 meses, en porcentajes idénticos anuales hasta alcanzar un 0% el 1 de enero de 2015 (4 µg/m <sup>3</sup> en 2010)	1 de enero de 2015
Valor límite** anual (fase II)	1 año civil	20 µg/m <sup>3</sup>	-	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.

**Tabla III. Umbrales de evaluación superior e inferior para PM<sub>10</sub> y PM<sub>2,5</sub>.**

	Media diaria PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>10</sub>	Media anual PM <sub>2,5</sub> (1)
Umbral superior de evaluación*	70% del valor límite (35 µg/m <sup>3</sup> que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	70% del valor límite (28 µg/m <sup>3</sup> )	70% del valor límite (17 µg/m <sup>3</sup> )
Umbral inferior de evaluación**	50% del valor límite (25 µg/m <sup>3</sup> que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	50% del valor límite (20 µg/m <sup>3</sup> )	50% del valor límite (12 µg/m <sup>3</sup> )

\**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<sub>2,5</sub> no se aplica a las mediciones para evaluar el cumplimiento del objetivo de reducción de la exposición a las PM<sub>2,5</sub> para la protección de la salud humana.

## NIVELES DE PM<sub>10</sub> SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

La concentración media anual de PM<sub>10</sub> obtenida en el punto de muestreo objeto de estudio es de 21 µg/m<sup>3</sup>. Valor que cumple con los requerimientos de la normativa<sup>6</sup> al estar por debajo del valor límite promedio anual de 40 µg/m<sup>3</sup> y que representa aproximadamente el 52,5% del valor límite como media anual, es decir, coincide prácticamente con el límite permitido como media anual para el umbral inferior de evaluación de 20 µg/m<sup>3</sup> (50% del VL), mencionado en la tabla III.

En la tabla IV se indica un resumen de los resultados obtenidos observando que no se han superaciones del valor límite diario de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , hay que tener en cuenta que este año el porcentaje de datos válidos ha sido del 79%, no alcanzando el 90% como mínimo. El valor máximo de  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  se produce en el cuarto trimestre y el mínimo de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en el primero.

**Tabla IV. Resumen de los niveles de  $\text{PM}_{10}$  en las muestras recogidas durante el año 2013.**

Nº muestras recogidas	289
Cobertura temporal (relativa al año civil)	79%
VALOR MÁXIMO PROMEDIO DIARIO de $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	43
VALOR MÍNIMO PROMEDIO DIARIO de $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	4
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	0*
VALOR MEDIO ANUAL de $\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	21

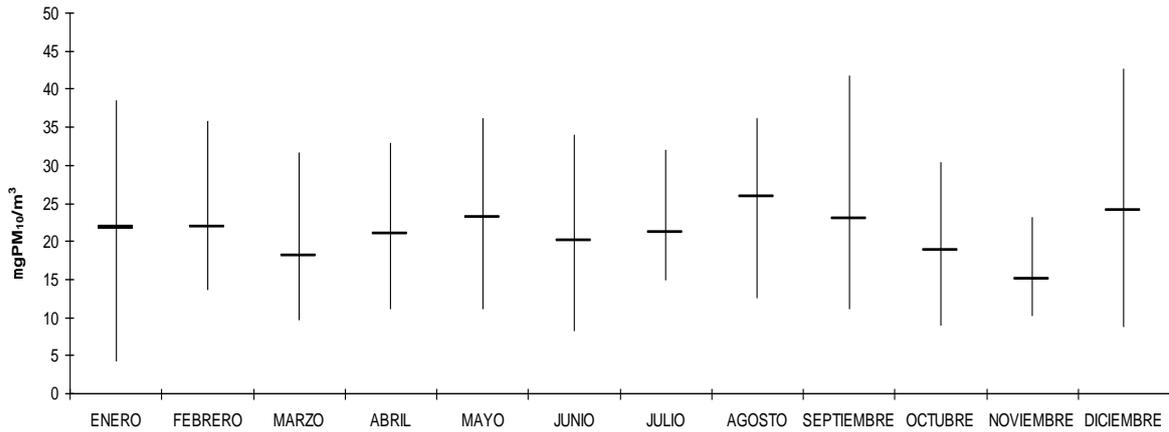
*\*En 7 años de medidas es la primera vez que no se producen superaciones al valor límite diario.*

La tabla V y la figura 4 recogen los niveles medios mensuales de  $\text{PM}_{10}$  que oscilan entre  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de noviembre y los  $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de agosto. Los valores máximos diarios se producen en los meses de septiembre y diciembre con  $42$  y  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, disminuyendo hasta los  $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en noviembre. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de enero y los  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de julio.

En la tabla también se indica la distribución por mes del número de superaciones del valor límite diario, observando que durante este año no se han producido superación alguna.

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

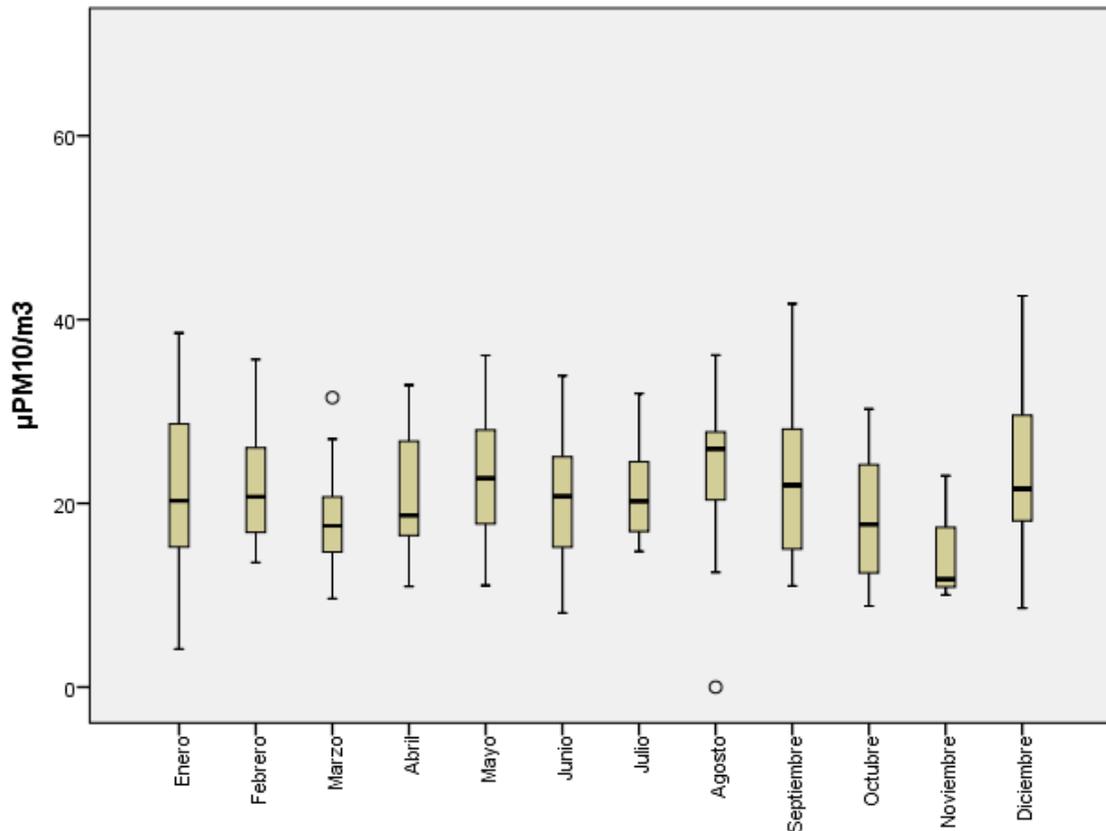
	Máximo	Mínimo	Media	Nº superaciones
	(μg/m³)			
Enero	39	4	22	0
Febrero	36	14	22	0
Marzo	32	10	18	0
Abril	33	11	21	0
Mayo	36	11	23	0
Junio	34	8	20	0
Julio	32	15	21	0
Agosto	36	13	26	0
Septiembre	42	11	23	0
Octubre	30	9	19	0
Noviembre	23	10	15	0
Diciembre	43	9	24	0



**Figura 4. Variación mensual del valor medio y del rango de concentración de PM<sub>10</sub>.**

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<sub>10</sub> en el punto de muestreo refleja poca variación estacional en el punto de muestreo debido quizás a que las precipitaciones tienen lugar en los meses de enero-abril y de octubre a diciembre.



° 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 PM<sub>10</sub>. Un 1,0% superan los 40 µg/m<sup>3</sup>, un 13,1% superan los 30 µg/m<sup>3</sup> y un 49,1% superan los 20 µg/m<sup>3</sup>.

En relación con los valores de UES y UEI de la media diaria, indicar que un 5,9% de las muestras (17 muestras) superan el UES de 35 µg/m<sup>3</sup> y un 29,1% (84 muestras) superan el UEI de 25 µg/m<sup>3</sup>. Por lo tanto se superan las 35 ocasiones como máximo permitidas durante un año civil de superación del umbral de evaluación inferior (25 µg/m<sup>3</sup>) para la media diaria de PM<sub>10</sub>. Sin embargo el valor medio anual obtenido de 21 µg PM<sub>10</sub>/m<sup>3</sup> es aproximadamente igual al calculado como media anual de PM<sub>10</sub> (20 µg/m<sup>3</sup> = 50% del VL) (tabla III, página 11).

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM<sub>10</sub>.

ENERO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	FEBRERO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	MARZO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
Martes 1	24	2	Viernes 1	<i>sin dato</i>	-	Viernes 1	26	2
Miércoles 2	28	2	Sábado 2	<i>sin dato</i>	-	Sábado 2	32	2
Jueves 3	38	2	Domingo 3	<i>sin dato</i>	-	Domingo 3	27	2
Viernes 4	31	2	Lunes 4	<i>sin dato</i>	-	Lunes 4	22	2
Sábado 5	30	2	Martes 5	<i>sin dato</i>	-	Martes 5	19	2
Domingo 6	39	2	Miércoles 6	31	2	Miércoles 6	18	2
Lunes 7	33	2	Jueves 7	24	2	Jueves 7	23	2
Martes 8	25	2	Viernes 8	31	2	Viernes 8	20	1,23
Miércoles 9	20	2	Sábado 9	21	2	Sábado 9	18	1,15
Jueves 10	29	2	Domingo 10	14	2	Domingo 10	22	1,34
Viernes 11	<i>sin dato</i>	-	Lunes 11	20	2	Lunes 11	18	1,14
Sábado 12	15	2	Martes 12	15	2	Martes 12	13	0,91
Domingo 13	19	2	Miércoles 13	28	2	Miércoles 13	19	1,25
Lunes 14	<i>sin dato</i>	-	Jueves 14	19	2	Jueves 14	17	1,14
Martes 15	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 15	32	2	Viernes 15	21	1,35
Miércoles 16	10	2	Viernes 15	21	2	Sábado 16	13	0,89
Jueves 17	13	2	Sábado 16	27	2	Domingo 17	17	1,10
Viernes 18	13	2	Domingo 17	15	2	Lunes 18	17	1,09
Sábado 19	22	2	Lunes 18	19	2	Martes 19	13	0,92
Domingo 20	15	2	Martes 19	36	2	Miércoles 20	15	1,00
Lunes 21	16	2	Miércoles 20	27	2	Jueves 21	13	0,87
Martes 22	17	2	Jueves 21	16	2	Viernes 22	15	0,97
Miércoles 23	17	2	Viernes 22	14	2	Sábado 23	10	0,73
Jueves 24	30	2	Sábado 23	25	2	Domingo 24	17	1,10
Viernes 25	<i>sin dato</i>	-	Domingo 24	14	2	Lunes 25	14	0,95
Sábado 26	21	2	Lunes 25	18	2	Martes 26	15	0,99
Domingo 27	19	2	Martes 26	18	2	Miércoles 27	15	1,00
Lunes 28	25	2	Miércoles 27	22	2	Jueves 28	11	0,79
Martes 29	7	2	Jueves 28	23	2	Viernes 29	20	1,27
Miércoles 30	4	2				Sábado 30	27	1,65
Jueves 31	<i>sin dato</i>	-				Domingo 31	18	1,12

(\*) U: incertidumbre

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM<sub>10</sub> (continuación).

ABRIL 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	MAYO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	JUNIO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
Lunes 1	27	1,63	Miércoles 1	35	2,11	Sábado 1	10	0,76
Martes 2	19	1,22	Jueves 2	36	2,19	Domingo 2	19	1,23
Miércoles 3	16	1,07	Viernes 3	33	1,99	Lunes 3	15	1,01
Jueves 4	33	2,00	Sábado 4	23	1,42	Martes 4	28	1,71
Viernes 5	29	1,78	Domingo 5	25	1,57	Miércoles 5	34	2,04
Sábado 6	22	1,42	Lunes 6	23	1,45	Jueves 6	27	1,63
Domingo 7	17	1,10	Martes 7	12	0,83	Viernes 7	24	1,47
Lunes 8	13	0,87	Miércoles 8	17	1,13	Sábado 8	20	1,26
Martes 9	20	1,26	Jueves 9	36	2,19	Domingo 9	13	0,91
Miércoles 10	11	0,79	Viernes 10	28	1,70	Lunes 10	9	0,72
Jueves 11	16	1,02	Sábado 11	20	1,26	Martes 11	8	0,66
Viernes 12	16	1,03	Domingo 12	24	1,47	Miércoles 12	13	0,90
Sábado 13	13	0,87	Lunes 13	32	1,98	Jueves 13	27	1,65
Domingo 14	11	0,79	Martes 14	23	1,44	Viernes 14	21	1,33
Lunes 15	18	1,14	Miércoles 15	32	1,93	Sábado 15	17	1,10
Martes 16	30	1,85	Jueves 16	18	1,14	Domingo 16	12	0,84
Miércoles 17	27	1,63	Viernes 17	11	0,80	Lunes 17	15	0,97
Jueves 18	31	1,89	Sábado 18	21	1,31	Martes 18	18	1,18
Viernes 19	19	1,22	Domingo 19	15	1,02	Miércoles 19	22	1,38
Sábado 20	16	1,05	Lunes 20	16	1,08	Jueves 20	18	1,18
Domingo 21	18	1,19	Martes 21	16	1,05	Viernes 21	21	1,34
Lunes 22	20	1,25	Miércoles 22	28	1,72	Sábado 22	18	1,17
Martes 23	26	1,59	Jueves 23	26	1,61	Domingo 23	28	1,70
Miércoles 24	30	1,79	Viernes 24	28	1,73	Lunes 24	25	1,56
Jueves 25	33	2,00	Sábado 25	18	1,16	Martes 25	23	1,44
Viernes 26	18	1,18	Domingo 26	17	1,12	Miércoles 26	20	1,29
Sábado 27	17	1,09	Lunes 27	21	1,30	Jueves 27	21	1,33
Domingo 20	17	1,09	Martes 28	20	1,28	Viernes 20	31	1,88
Lunes 29	17	1,10	Miércoles 29	18	1,17	Sábado 29	26	1,60
Martes 30	31	1,90	Jueves 30	30	1,86	Domingo 30	24	1,48
			Viernes 31	19	1,24			

(\*) U: incertidumbre

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM<sub>10</sub> (continuación).

JULIO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	AGOSTO 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	SEPTIEMBRE 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
Lunes 1	25	1,52	Jueves 1	<i>sin dato</i>	-	Domingo 1	14	0,64
Martes 2	17	1,10	Viernes 2	18	0,73	Lunes 2	<i>sin dato</i>	-
Miércoles 3	17	1,08	Sábado 3	<i>sin dato</i>	-	Martes 3	42	1,43
Jueves 4	29	1,73	Domingo 4	19	0,78	Miércoles 4	37	1,29
Viernes 5	24	1,49	Lunes 5	<i>sin dato</i>	-	Jueves 5	33	1,17
Sábado 6	21	1,28	Martes 6	20	0,81	Viernes 6	25	0,94
Domingo 7	20	1,24	Miércoles 7	<i>sin dato</i>	-	Sábado 7	20	0,80
Lunes 8	32	1,92	Jueves 8	24	0,90	Domingo 8	11	0,60
Martes 9	<i>sin dato</i>	-	Viernes 9	<i>sin dato</i>	-	Lunes 9	13	0,62
Miércoles 10	<i>sin dato</i>	-	Sábado 10	26	0,96	Martes 10	15	0,67
Jueves 11	<i>sin dato</i>	-	Domingo 11	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 11	18	0,77
Viernes 12	<i>sin dato</i>	-	Lunes 12	22	0,86	Jueves 12	22	0,86
Sábado 13	<i>sin dato</i>	-	Martes 13	<i>sin dato</i>	-	Viernes 13	21	0,83
Domingo 14	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 14	36	1,26	Sábado 14	16	0,72
Lunes 15	<i>sin dato</i>	-	Jueves 15	<i>sin dato</i>	-	Domingo 15	15	0,69
Martes 16	<i>sin dato</i>	-	Viernes 16	36	1,26	Lunes 16	40	1,39
Miércoles 17	<i>sin dato</i>	-	Sábado 17	<i>sin dato</i>	-	Martes 17	38	1,32
Jueves 18	<i>sin dato</i>	-	Domingo 18	15	0,67	Miércoles 18	25	0,95
Viernes 19	<i>sin dato</i>	-	Lunes 19	<i>sin dato</i>	-	Jueves 19	22	0,86
Sábado 20	<i>sin dato</i>	-	Martes 20	25	0,94	Viernes 20	23	0,88
Domingo 21	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 21	34	1,19	Sábado 21	19	0,77
Lunes 22	<i>sin dato</i>	-	Jueves 22	36	1,26	Domingo 22	27	0,99
Martes 23	<i>sin dato</i>	-	Viernes 23	27	1,00	Lunes 23	38	1,34
Miércoles 24	<i>sin dato</i>	-	Sábado 24	27	0,99	Martes 24	29	1,07
Jueves 25	15	0,67	Domingo 25	24	0,92	Miércoles 25	25	0,94
Viernes 26	<i>sin dato</i>	-	Lunes 26	29	1,04	Jueves 26	24	0,91
Sábado 27	19	0,78	Martes 27	<i>sin dato</i>	-	Viernes 27	<i>sin dato</i>	-
Domingo 28	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 28	28	1,02	Sábado 28	11	0,59
Lunes 29	17	0,72	Jueves 29	26	0,98	Domingo 29	11	0,59
Martes 30	<i>sin dato</i>	-	Viernes 30	27	0,98	Lunes 30	14	0,64
Miércoles 31	22	0,85	Sábado 31	13	0,62			

(\*) U: incertidumbre

(continúa)

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM<sub>10</sub> (continuación).

OCTUBRE 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	NOVIEMBRE 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )	DICIEMBRE 2013	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	U <sup>(*)</sup> (µg/m <sup>3</sup> )
Martes 1	19	0,77	Viernes 1	<i>sin dato</i>	-	Domingo 1	13	0,64
Miércoles 2	<i>sin dato</i>	-	Sábado 2	<i>sin dato</i>	-	Lunes 2	21	0,85
Jueves 3	<i>sin dato</i>	-	Domingo 3	<i>sin dato</i>	-	Martes 3	37	1,34
Viernes 4	<i>sin dato</i>	-	Lunes 4	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 4	43	1,51
Sábado 5	16	0,70	Martes 5	<i>sin dato</i>	-	Jueves 5	30	1,12
Domingo 6	16	0,71	Miércoles 6	<i>sin dato</i>	-	Viernes 6	29	1,09
Lunes 7	30	1,09	Jueves 7	<i>sin dato</i>	-	Sábado 7	34	1,25
Martes 8	27	1,00	Viernes 8	<i>sin dato</i>	-	Domingo 8	41	1,46
Miércoles 9	26	0,99	Sábado 9	<i>sin dato</i>	-	Lunes 9	37	1,33
Jueves 10	21	0,83	Domingo 10	<i>sin dato</i>	-	Martes 10	28	1,12
Viernes 11	21	0,84	Lunes 11	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 11	18	0,75
Sábado 12	25	0,97	Martes 12	<i>sin dato</i>	-	Jueves 12	29	1,06
Domingo 13	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 13	<i>sin dato</i>	-	Viernes 13	32	1,16
Lunes 14	18	0,75	Jueves 14	<i>sin dato</i>	-	Sábado 14	26	0,98
Martes 15	<i>sin dato</i>		Viernes 15	<i>sin dato</i>	-	Domingo 15	19	0,78
Miércoles 16	25	0,94	Sábado 16	<i>sin dato</i>	-	Lunes 16	26	0,97
Jueves 17	22	0,85	Domingo 17	<i>sin dato</i>	-	Martes 17	19	0,80
Viernes 18	12	0,61	Lunes 18	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 18	20	0,82
Sábado 19	13	0,62	Martes 19	<i>sin dato</i>	-	Jueves 19	33	1,19
Domingo 20	12	0,60	Miércoles 20	<i>sin dato</i>	-	Viernes 20	26	1,01
Lunes 21	10	0,56	Jueves 21	<i>sin dato</i>	-	Sábado 21	18	0,78
Martes 22	18	0,73	Viernes 22	<i>sin dato</i>	-	Domingo 22	15	0,69
Miércoles 23	16	0,71	Sábado 23	<i>sin dato</i>	-	Lunes 23	16	0,70
Jueves 24	12	0,61	Domingo 24	<i>sin dato</i>	-	Martes 24	15	0,68
Viernes 25	17	0,73	Lunes 25	<i>sin dato</i>	-	Miércoles 25	22	0,88
Sábado 26	11	0,59	Martes 26	12	0,62	Jueves 26	18	0,78
Domingo 27	9	0,55	Miércoles 27	<i>sin dato</i>	-	Viernes 27	16	0,70
Lunes 28	24	0,92	Jueves 28	<i>sin dato</i>	-	Sábado 28	9	0,56
Martes 29	24	0,93	Viernes 29	23	0,90	Domingo 29	19	0,80
Miércoles 30	<i>sin dato</i>	-	Sábado 30	10	0,58	Lunes 30	22	0,86
Jueves 31	<i>sin dato</i>	-				Martes 31	15	0,68

(\*) 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.

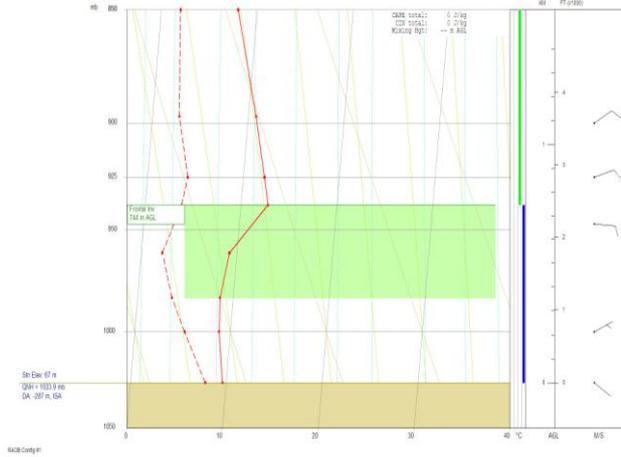
La capa límite atmosférica o capa de mezcla representa el estrato de aire sujeto a la influencia de la superficie terrestre. La determinación de la altura de capa de mezcla nos permite conocer la profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado y dispersión de los contaminantes, de ahí 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 vertidos contaminantes y en el que se desarrolla la vida sobre la Tierra.

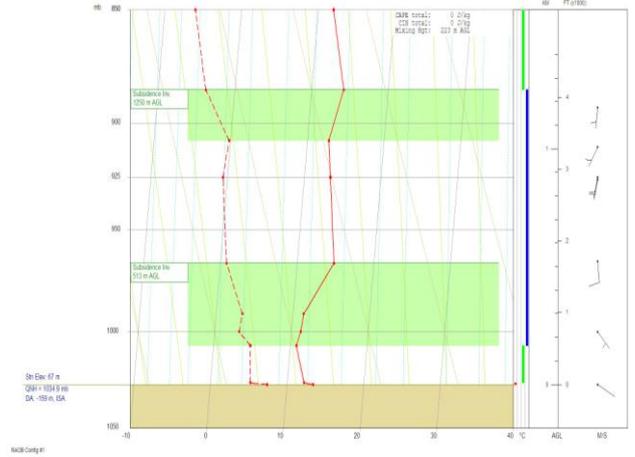
Lo interesante sería conocer la variación horaria de la misma a lo largo del día, lo cual no se realiza en este estudio. No obstante y con las limitaciones que presenta se han calculado las alturas de la capa de mezcla mediante el programa RAOB 5.7 (*RAwinsonde OBservation, Environmental Research Services, 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.

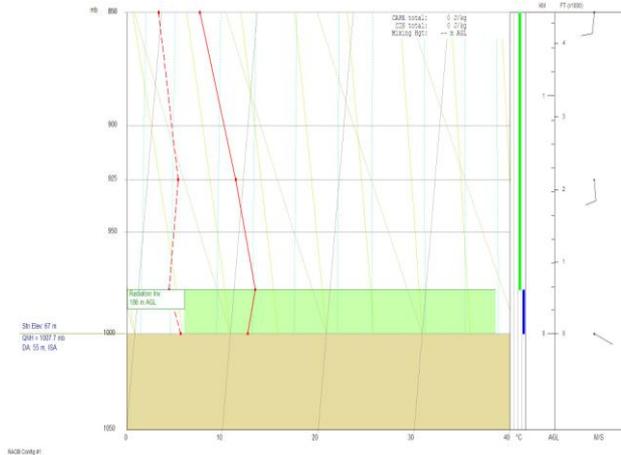
3 de enero (0h UTC)



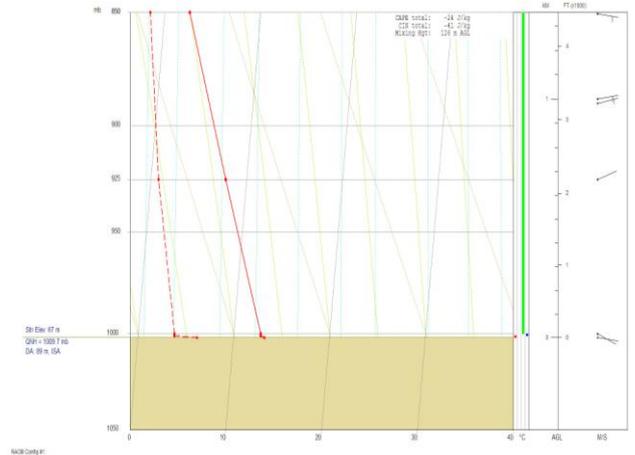
3 de enero (12h UTC)



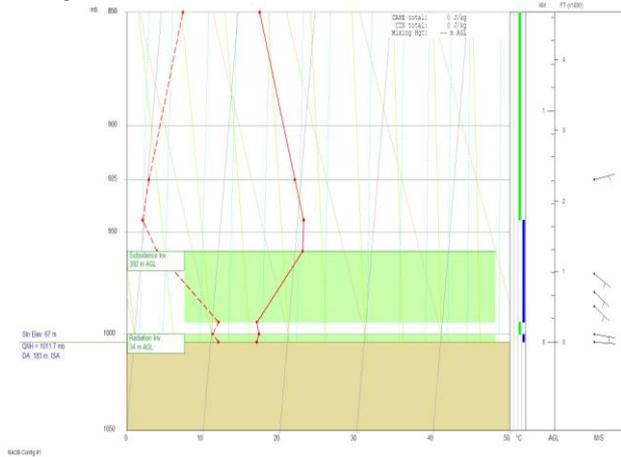
19 de febrero (0h UTC)



19 de febrero (12h UTC)



5 de junio (0h UTC)



5 de junio (12h UTC)

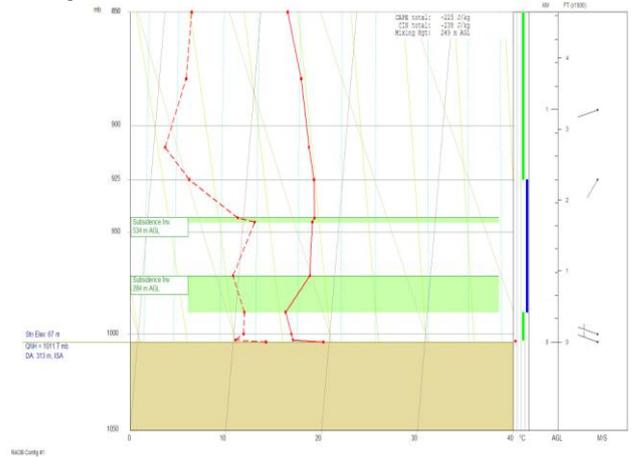
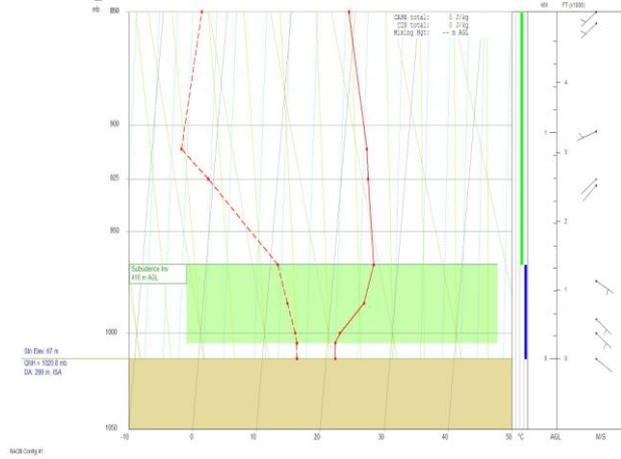
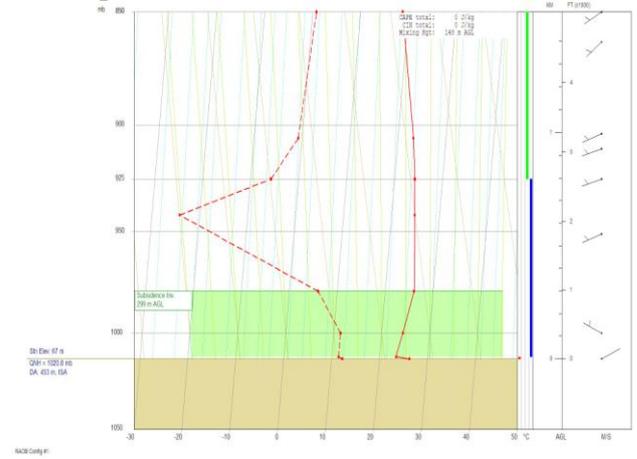


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

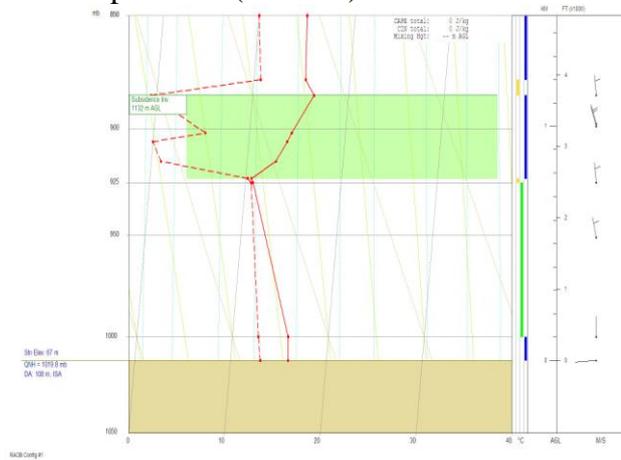
3 de septiembre (0h UTC)



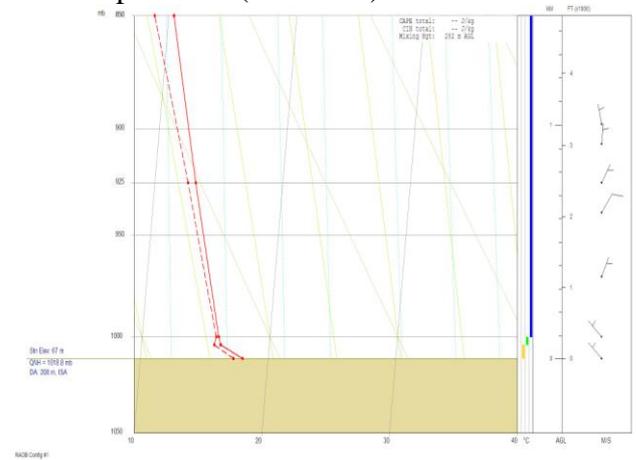
3 de septiembre (12h UTC)



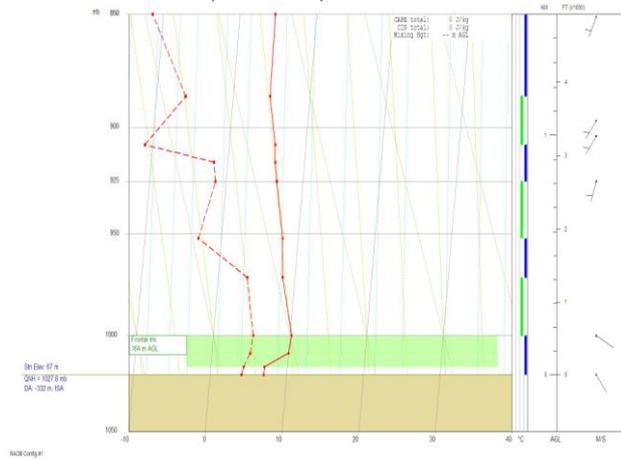
16 de septiembre (0h UTC)



16 de septiembre (12h UTC)



4 de diciembre (0h UTC)



4 de diciembre (12h UTC)

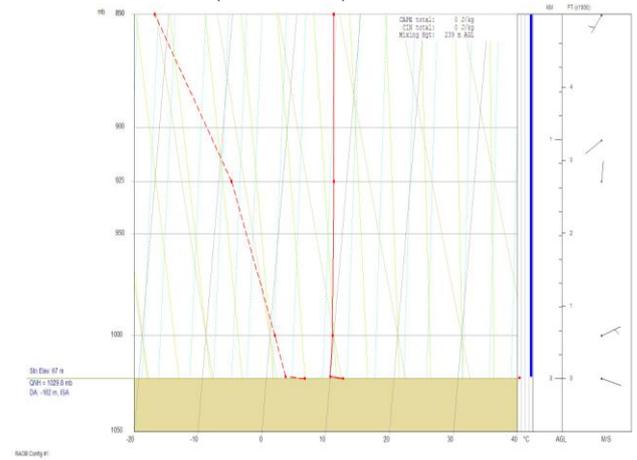
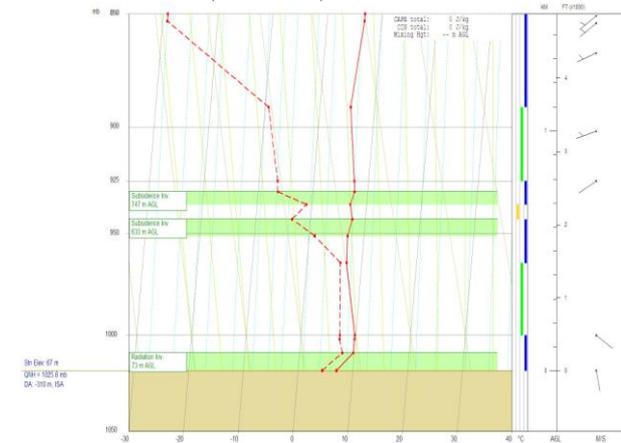
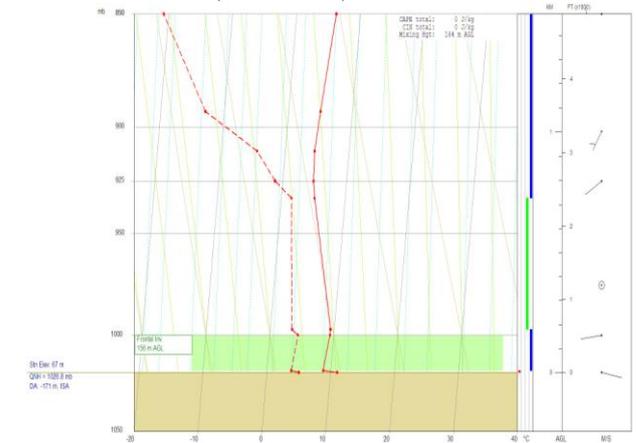


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

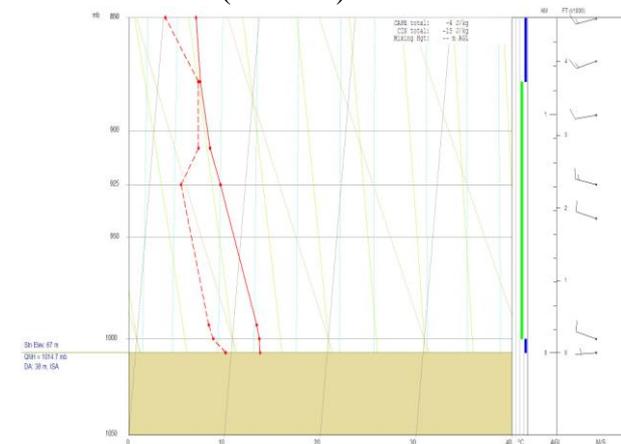
8 de diciembre (0h UTC)



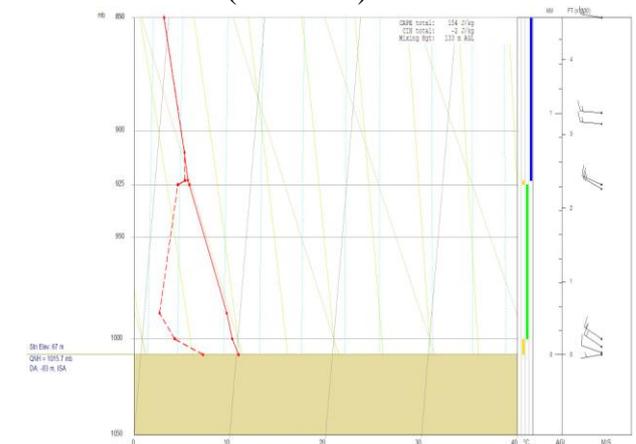
8 de diciembre (12h UTC)



19 de diciembre (0h UTC)



19 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  $PM_{10}$ , a lo largo de los meses de muestreo. En las gráficas se somborean en gris claro los valores por encima del umbral de evaluación inferior (UEI,  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) y con gris oscuro por encima del umbral de evaluación superior (UES,  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Como se puede observar los niveles de partículas son inferiores a los alcanzados en años anteriores, notándose un marcado descenso. Siempre los niveles un poco más elevados se producen en períodos continuados de 4-5 días.

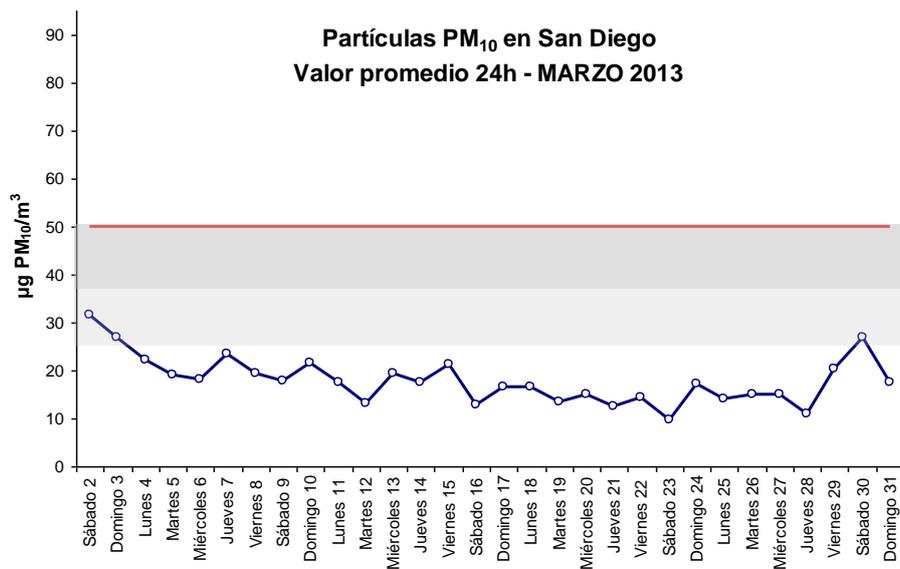
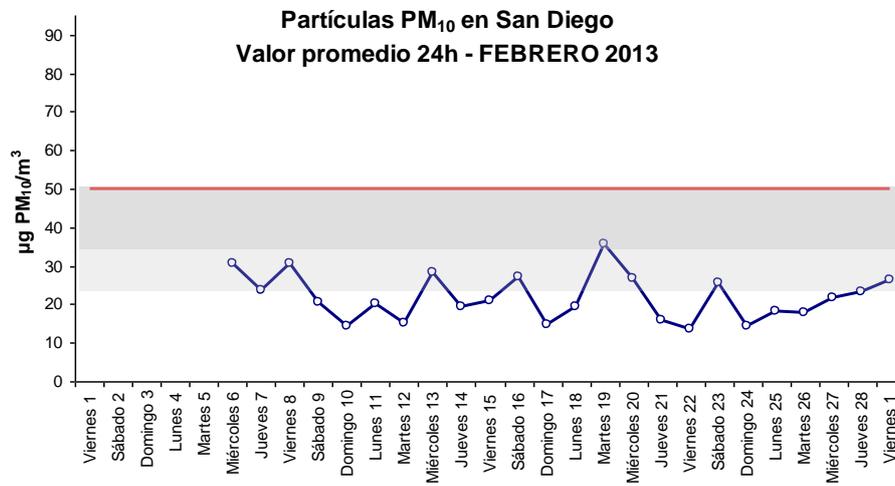
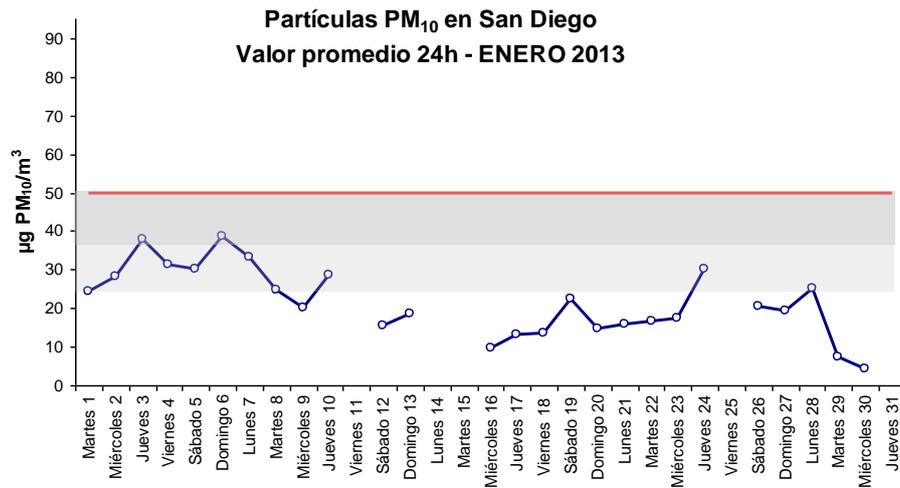


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>. (continúa)

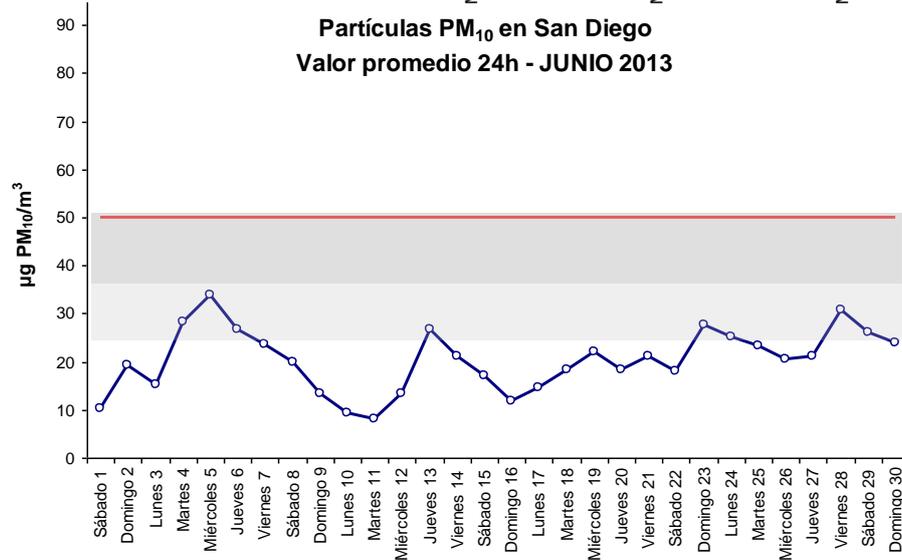
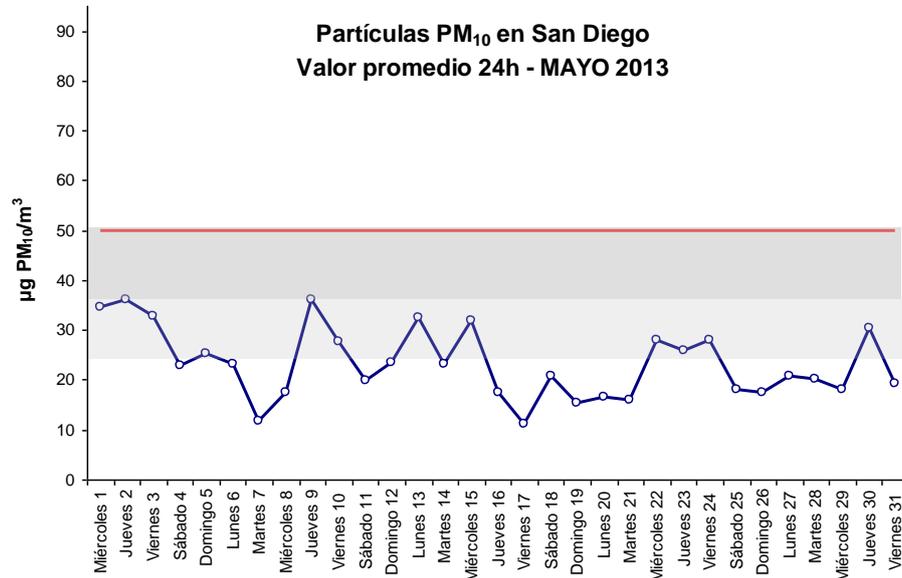
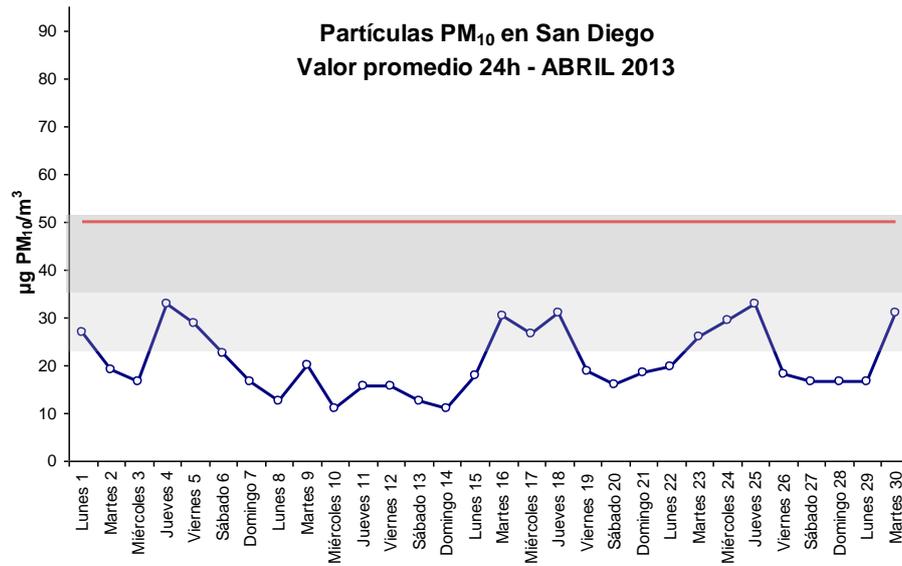


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>. (continúa)

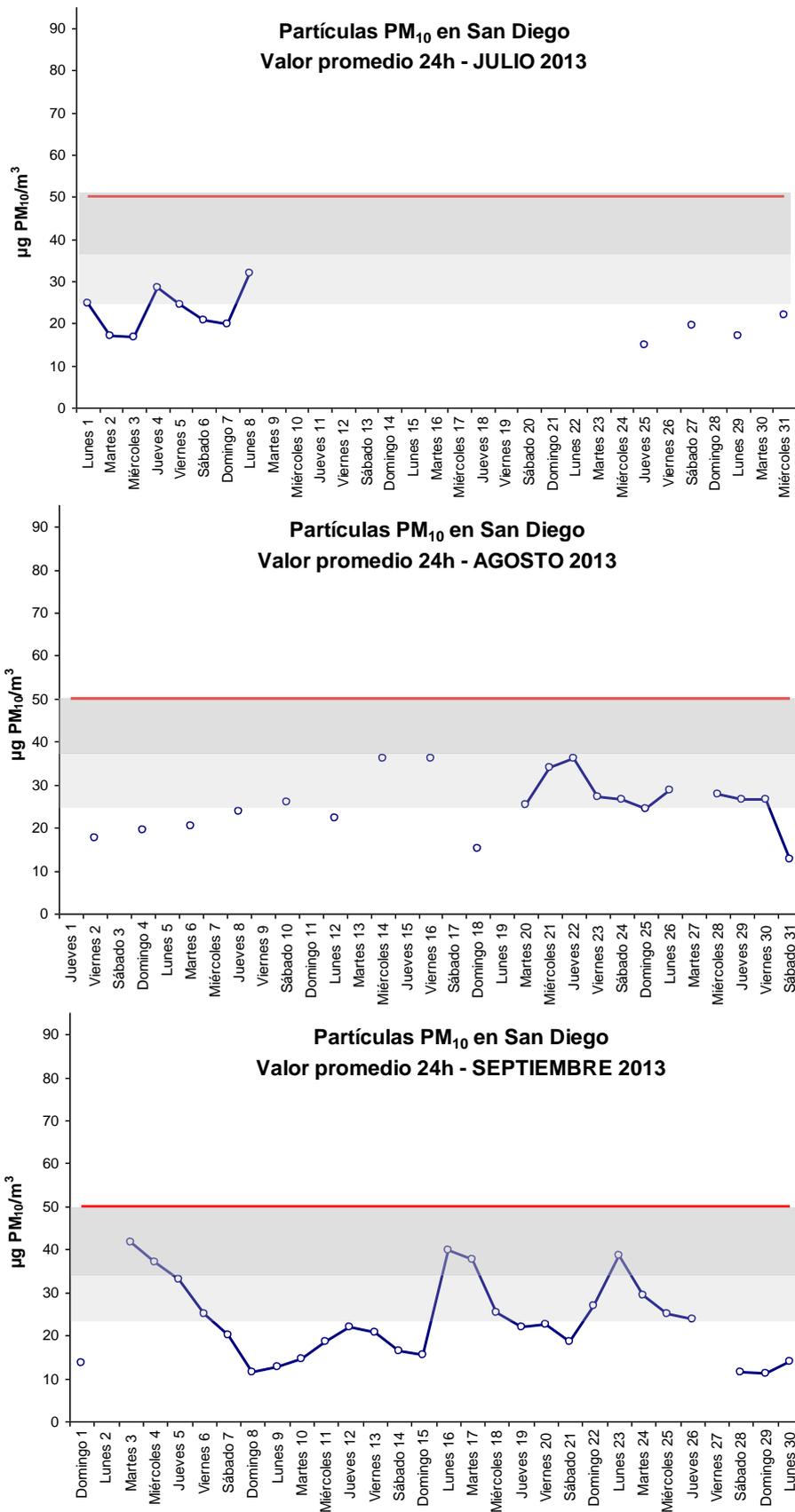


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>. (continúa)

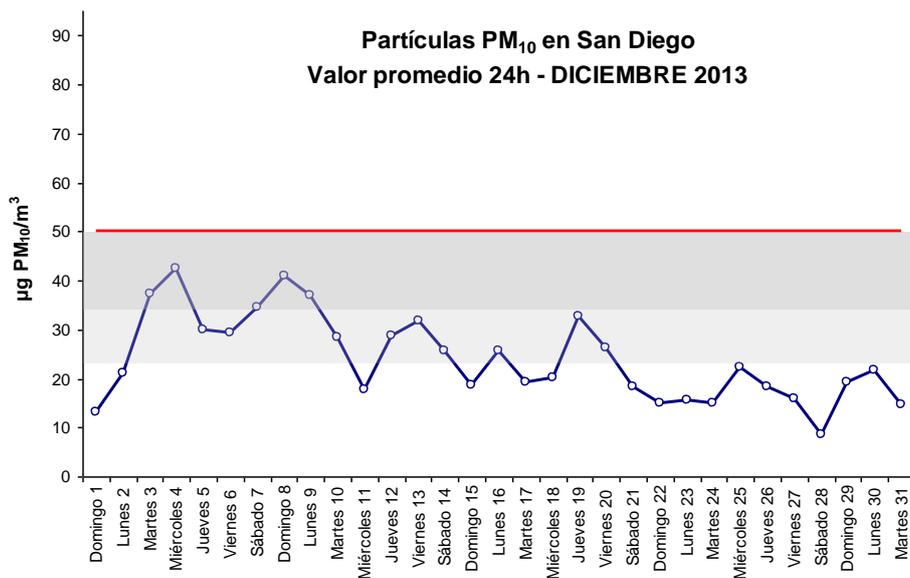
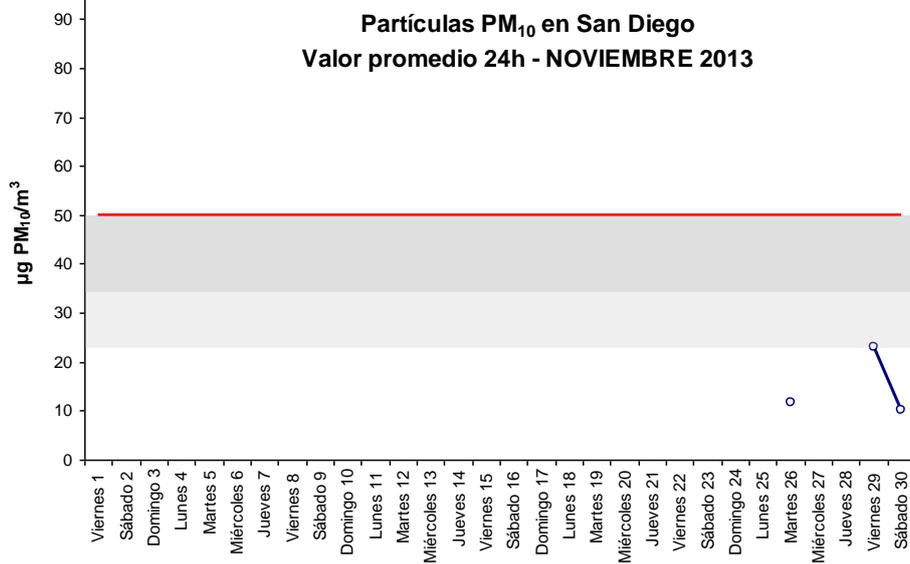
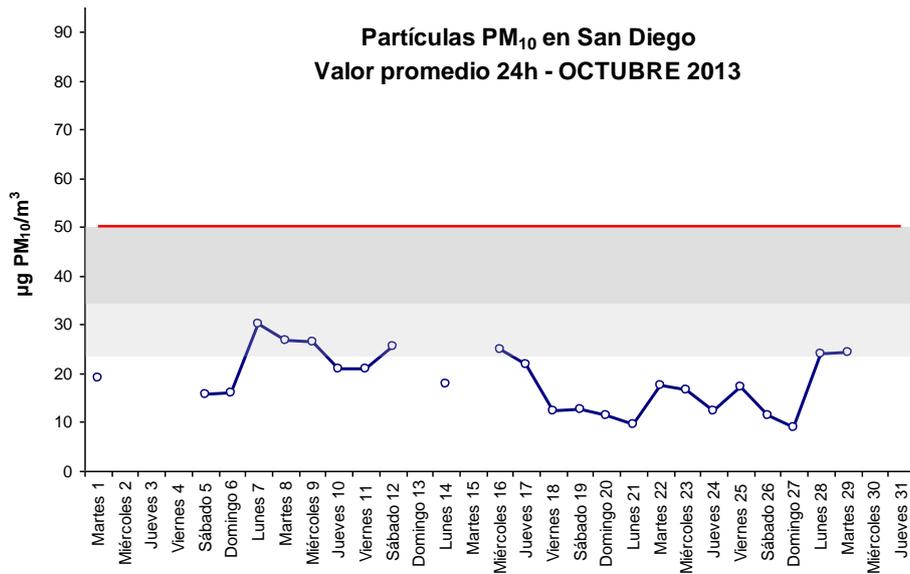
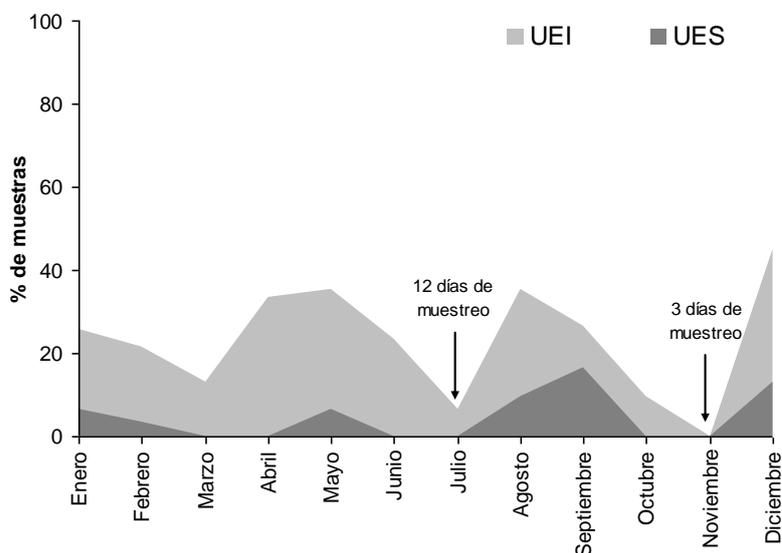


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>.

En la figura 8 se representan el porcentaje de muestras que superan dentro de cada mes el UEI y qué porcentaje de ellas supera también el UES. Así observamos que en los meses de enero, abril, mayo, agosto, septiembre y diciembre un número mayor de muestras superan el UEI sin embargo el porcentaje de estas muestras que superan también el UES es mayor en los últimos meses de agosto, septiembre y diciembre.



**Figura 8. Evolución mensual del porcentaje de muestras que superan los UEI y UES.**

Para evaluar la influencia de la precipitación en los niveles de materia particulada  $PM_{10}$  se ha representado el sumatorio de la precipitación acumulada en un mes frente a la media mensual de los niveles de  $PM_{10}$  (figura 9). Los datos de precipitación han sido obtenidos en la estación de inmisión situada en el Castrillón perteneciente al Ayuntamiento de A Coruña.

Así, se observan las diferencias entre los distintos meses de estudio, los meses de mayo a septiembre se caracterizaron por tiempo seco con precipitación muy escasa.

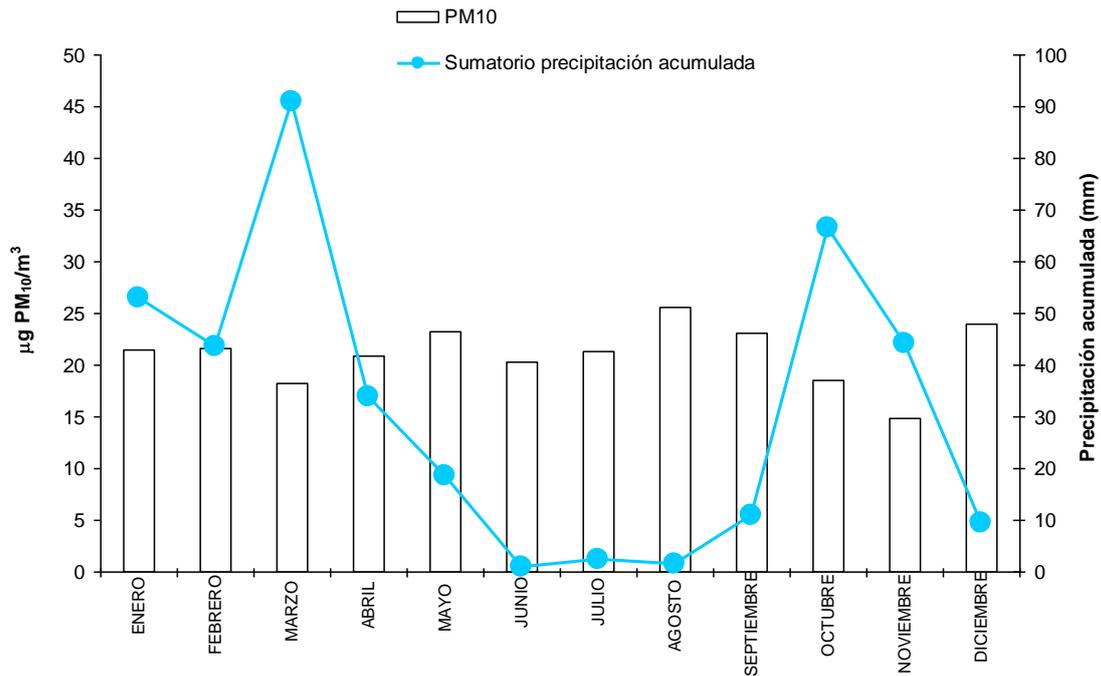


Figura 9. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y de sumatorio de precipitación acumulada.

Si se hace una discusión más detallada representando la precipitación acumulada diaria se observa que el primer trimestre, así como octubre y noviembre han sido los meses más lluviosos. En los meses restantes las lluvias, además de ser escasas, tuvieron una duración como máximo de 2 o 3 días (figura 10).

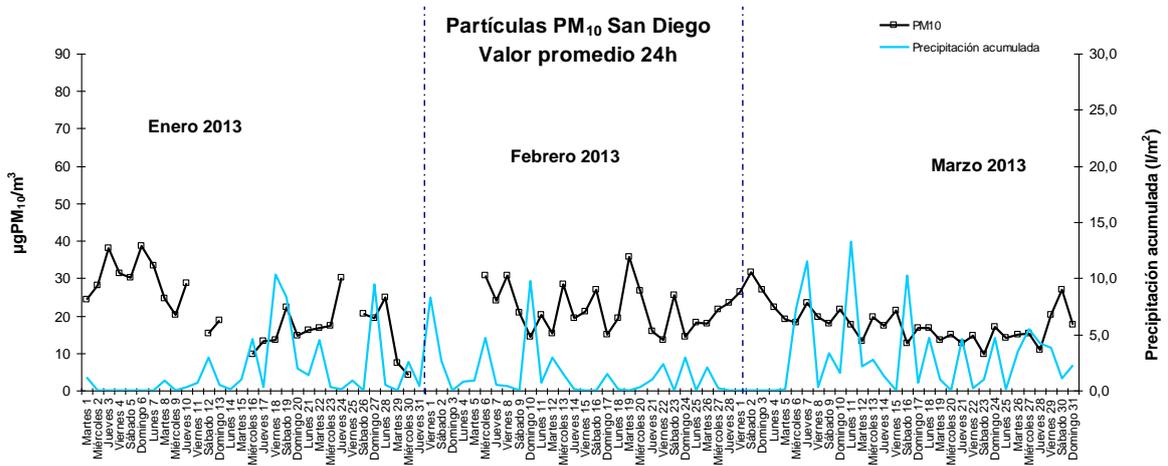


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedios diarios de partículas PM<sub>10</sub>.  
(continúa)

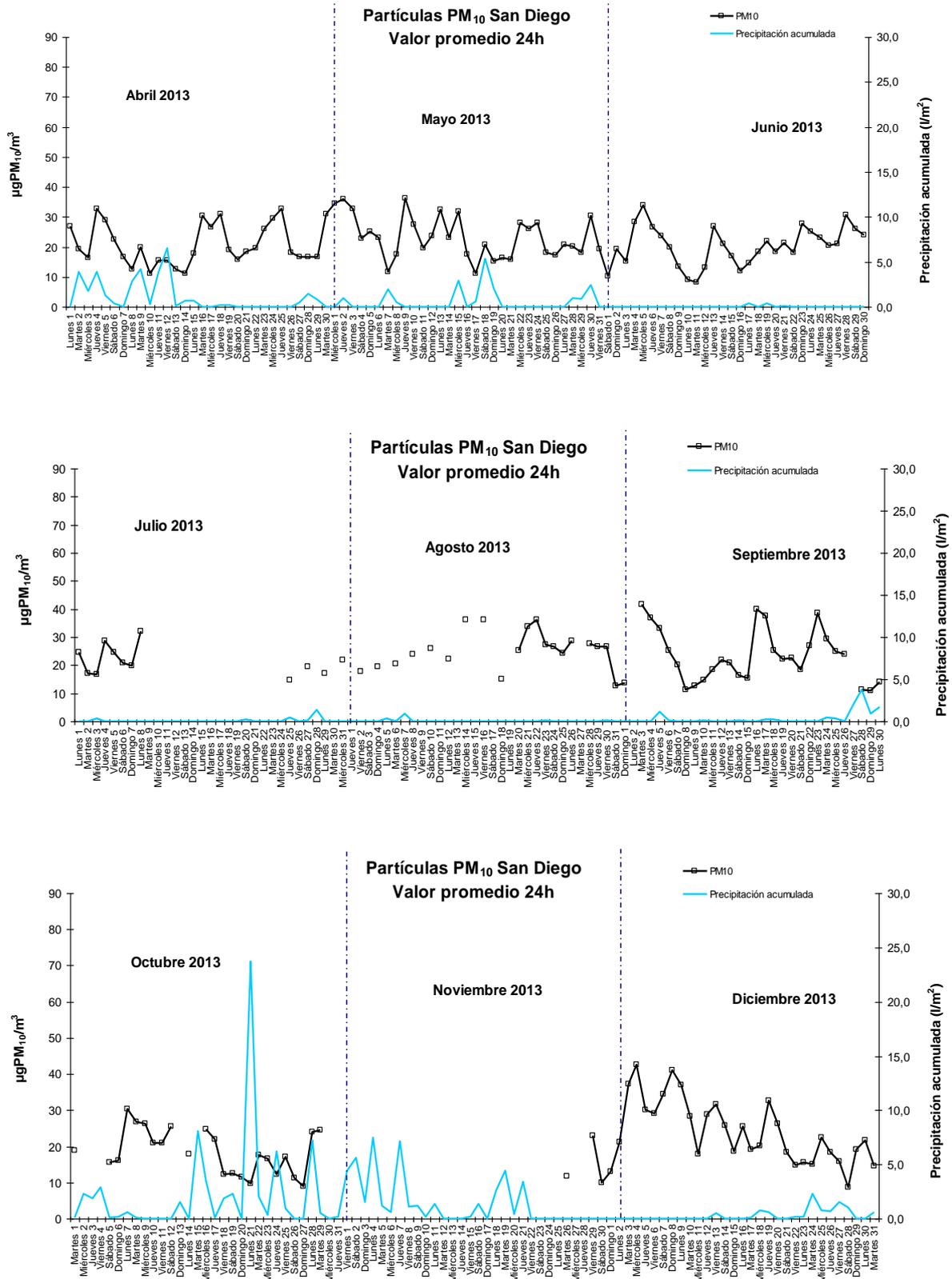
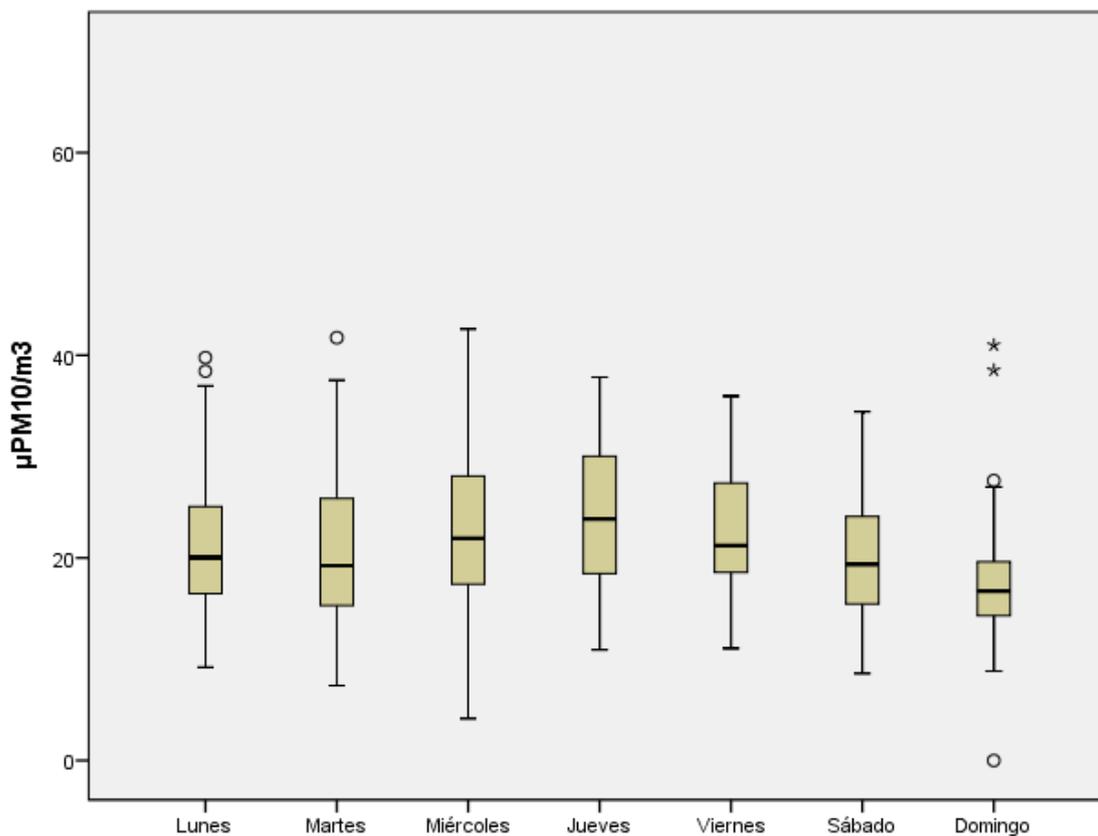


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedio diarios de partículas PM<sub>10</sub>.

En relación con la variación de los niveles de  $PM_{10}$  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.



° 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 más en detalle de la variación diaria a lo largo de las semanas, en la tabla VII se indica una comparación entre los niveles promedio diarios de partículas  $PM_{10}$  obtenidos los días laborales (lunes a viernes) y los fines de semana (sábado y domingo) durante el año 2013.

Los valores más altos y el número de superaciones del valor límite promedio diario tienen lugar en días laborales, existiendo un incremento de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en relación con los valores obtenidos los fines de semana.

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. 53-55).

**Tabla VII. Comparación de los niveles de PM<sub>10</sub> en días laborales y fines de semana.**

		Laborales	Fin de semana
Nº de muestras		204	85
Valor promedio diario PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		23	19
Valor máximo de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		43	41
Valor mínimo de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )		4	9
Nº de superaciones del valor límite diario		0	0
<b>Porcentaje*</b>			
N I V E L E S	> 20 µg/m <sup>3</sup>	55,9 (39,4)	32,9 (9,7)
	> 25 µg/m <sup>3</sup> (UEI)	34,3 (24,2)	16,5 (4,8)
	> 30 µg/m <sup>3</sup>	16,7 (11,8)	4,7 (1,4)
	> 35 µg/m <sup>3</sup> (UES)	7,4 (5,2)	2,4 (0,7)
	> 40 µg/m <sup>3</sup>	1,0 (0,7)	1,2 (0,3)
	> 50 µg/m <sup>3</sup> (valor límite diario)	0	0

\*Porcentaje referido al número de muestras de cada período y entre paréntesis referido al total de muestras

### NIVELES DE PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> Y PM<sub>1</sub> 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 PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>. Este equipo no ha estado operativo en el mes de agosto.

Aunque este método de medida en continuo no es método de referencia<sup>3,9</sup> 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 1,21 para PM<sub>10</sub> o la ecuación de calibración: [PM<sub>10</sub> gravimétrico] = -0,33 + 1,02x[PM<sub>10</sub> automático (GRIMM)]*

(ver Anexo II, pág. 49).

**Tabla VIII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas (promedio mensual) para el año 2013.**

	PM <sub>10</sub>	PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub>
	(µg/m <sup>3</sup> )		
Enero	17	14	9
Febrero	19	16	11
Marzo	15	13	9
Abril	17	14	9
Mayo	16	13	9
Junio	17	14	10
Julio	23	20	14
Agosto	17	14	10
Septiembre	19	15	10
Octubre	14	12	8
Noviembre	12	11	7
Diciembre	23	20	14
<b>Media Anual</b>	<b>17</b>	<b>15</b>	<b>10</b>

Tal y como se ha comentado al inicio de este informe en el RD 102/2011<sup>6</sup> se establecen unas pautas para regular los niveles de PM<sub>2,5</sub> con el objetivo de reducir la exposición a la población de dichas partículas y establecer un valor objetivo anual para 2010 de 25 µg/m<sup>3</sup>, que posteriormente se convertirá en valor límite en el año 2015 e incluso podrá ser reducido a 20 µg/m<sup>3</sup> a la luz de una mayor información acerca de los efectos de la salud. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y “suponiendo” el mismo factor gravimétrico de 1,21 calculado para PM<sub>10</sub>, el valor promedio anual de PM<sub>2,5</sub> en el punto de muestreo sería de 18,2 µg/m<sup>3</sup>, ligeramente inferior al obtenido el año anterior de 20,7 µg/m<sup>3</sup>.

En la figura 12 se indica al evolución del promedio mensual para cada fracción en donde se observa variación estacional en cuanto a los niveles de las tres fracciones PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>. La alta contribución de partículas con diámetros inferiores a 2,5 µm al PM<sub>10</sub> es muy similar a lo largo del año excepto en los meses de marzo, junio y de octubre-noviembre, en los que la contribución es mayor.

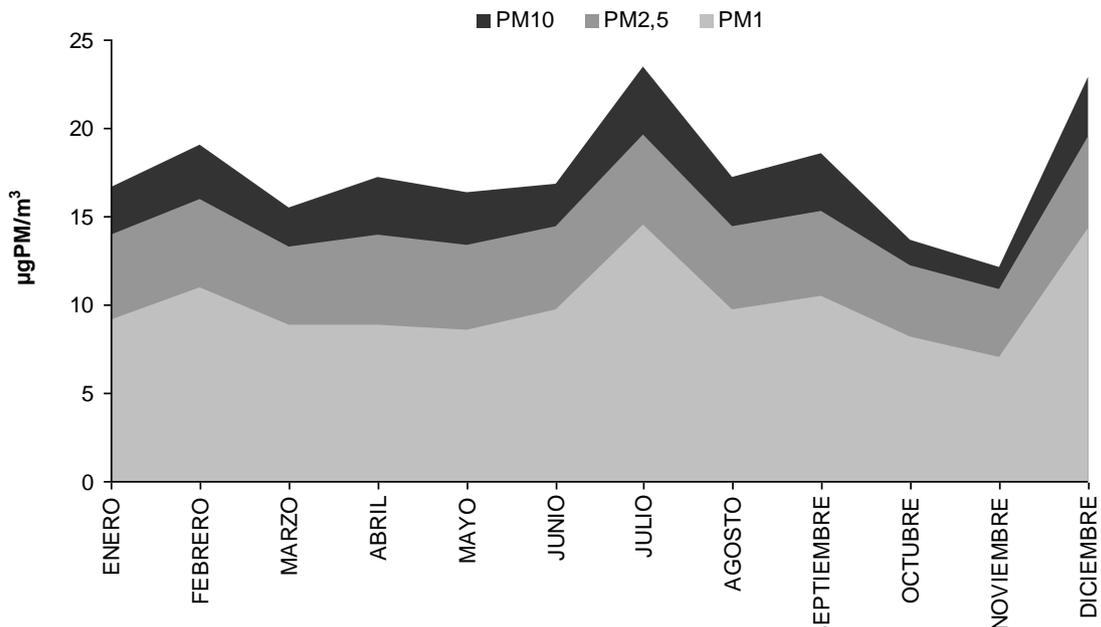


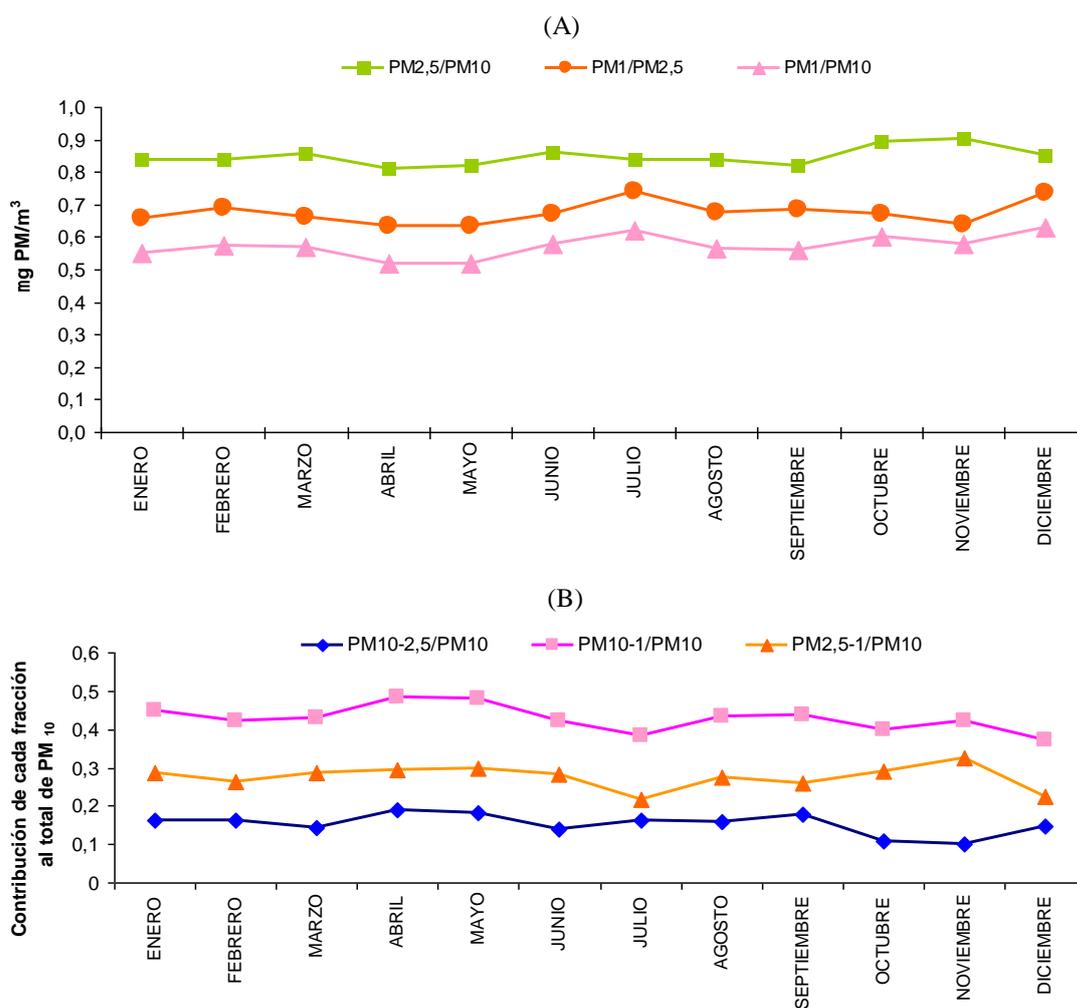
Figura 12. Evolución mensual de los niveles de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub> durante el año 2013.

La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Durante el período de muestreo el 85% de la fracción de PM<sub>10</sub> está constituida por PM<sub>2,5</sub> y un 68% de ésta por PM<sub>1</sub> (tabla IX). Todas las relaciones entre las fracciones granulométricas PM<sub>1</sub>/PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>/PM<sub>10</sub> son similares a las obtenidas en el año 2012.

Tabla IX. Valores de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas en el año 2013.

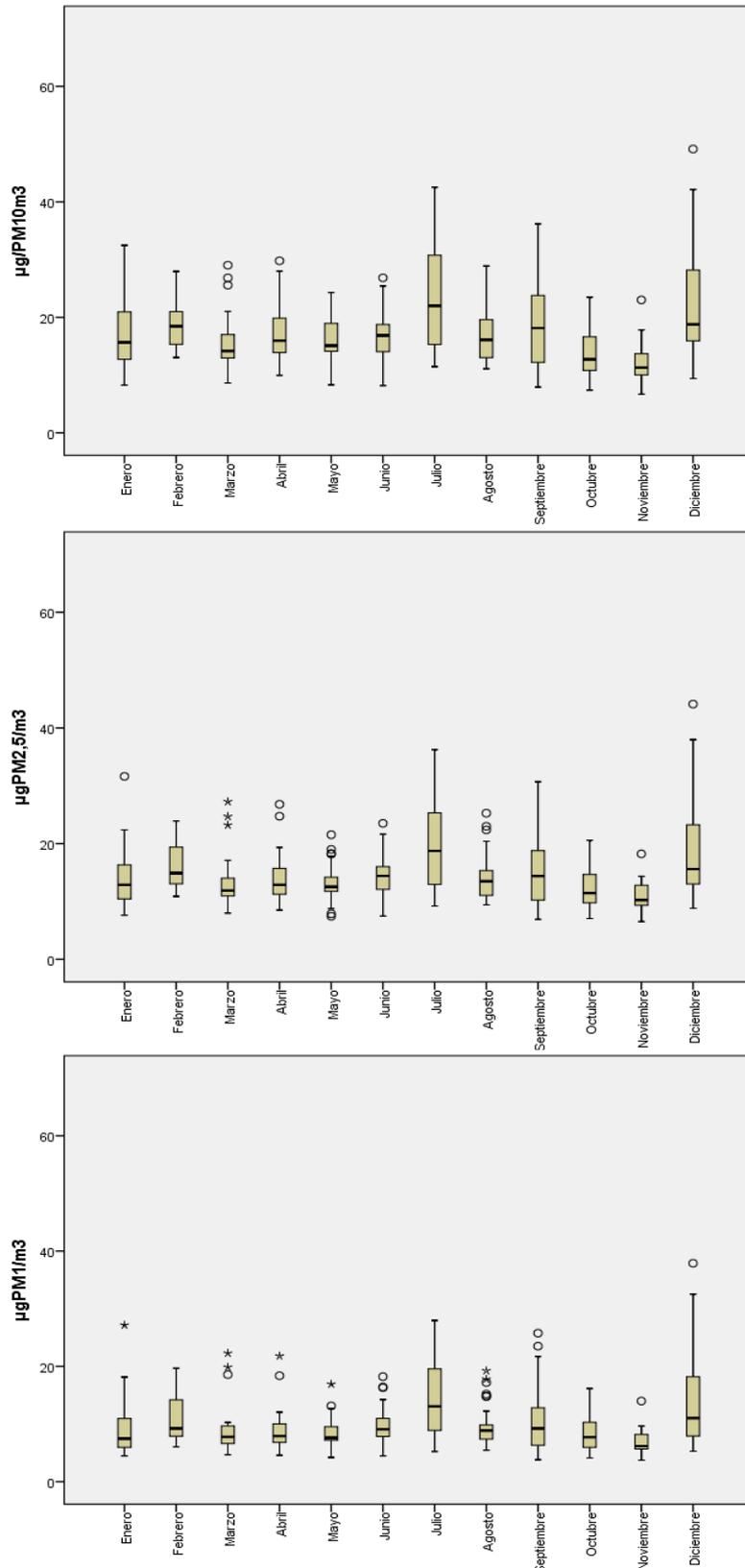
	PM <sub>2,5</sub> /PM <sub>10</sub>	PM <sub>1</sub> /PM <sub>2,5</sub>	PM <sub>1</sub> /PM <sub>10</sub>
Enero	0,84	0,66	0,55
Febrero	0,84	0,69	0,58
Marzo	0,86	0,66	0,57
Abril	0,81	0,64	0,52
Mayo	0,82	0,64	0,52
Junio	0,86	0,67	0,58
Julio	0,84	0,74	0,62
Agosto	0,84	0,67	0,57
Septiembre	0,82	0,68	0,56
Octubre	0,89	0,67	0,60
Noviembre	0,90	0,64	0,58
Diciembre	0,85	0,74	0,63
<b>Anual</b>	<b>0,85</b>	<b>0,68</b>	<b>0,57</b>

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 3-6% de variación a lo largo de todo el período. En la figura 13 (B) se puede observar la proporción relativa de cada fracción al nivel total de  $PM_{10}$ . Aquí las variaciones son mayores a lo largo del año, aproximadamente un 17,81% para el rango  $PM_{10-2,5}$ ; 7,9% para el rango  $PM_{10-1}$  y 11,0% para el rango más fino  $PM_{2,5-1}$ .



**Figura 13. Evolución mensual de las ratios de las tres fracciones granulométricas y de los rangos de materia particulada durante el año 2013.**

En las gráficas de Box-Whisker (figura 14) en donde se observa la dispersión de los niveles de  $PM_{10}$  durante el período de muestreo. Las variaciones en  $PM_{10}$  obtenidas con el procedimiento automático sigue la misma evolución que las obtenidas con el método gravimétrico (ver figura 5, pág. 14). Las mayores variaciones se producen en julio, septiembre, octubre y diciembre para las tres fracciones granulométricas.



° 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 de las fracciones granulométricas del año 2013.**

A continuación y para hacer un estudio con más detalle se presenta en la figura 15 la evolución de la media diaria de las tres fracciones granulométricas, observando la evolución de las mismas a lo largo de los días de muestreo y en la cual se puede observar la variabilidad tanto en los niveles totales de cada fracción como en el porcentaje relativo que contribuye cada una de ellas al total de PM<sub>10</sub>.

Como se observa en las gráficas un aumento en los niveles de PM<sub>10</sub> va siempre acompañado de un aumento en los niveles de las fracciones finas PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>, sin embargo el aumento no siempre es proporcional para todas las fracciones, a veces aumenta la fracción PM<sub>10-2,5</sub> sin que lo hagan las fracciones menores de PM<sub>2,5</sub>. Esto sugiere que al aumento de los niveles de partículas de las tres fracciones granulométricas contribuyen fuentes de diferente naturaleza.

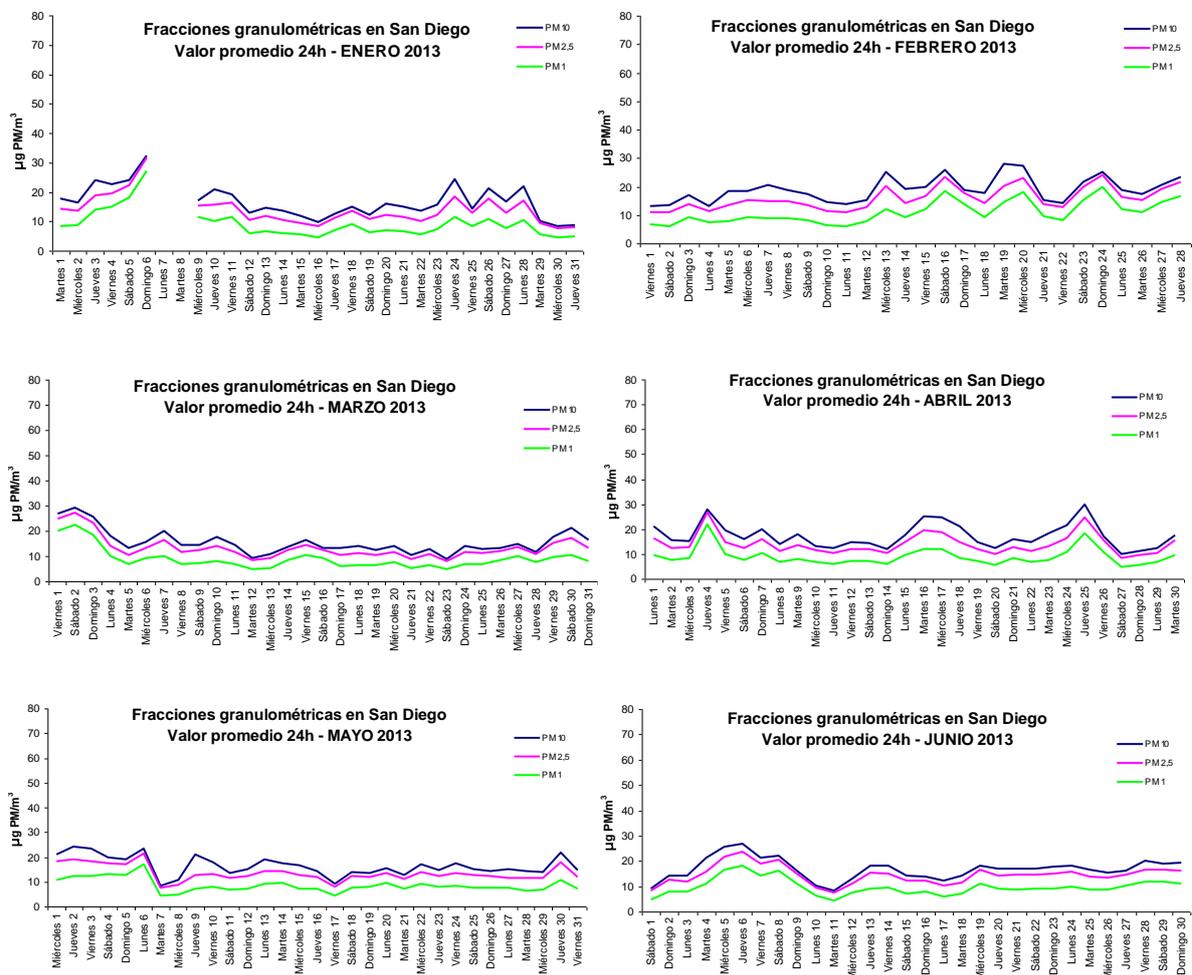


Figura 15. Evolución de la media diaria de las fracciones granulométricas durante el año 2013. (continúa)

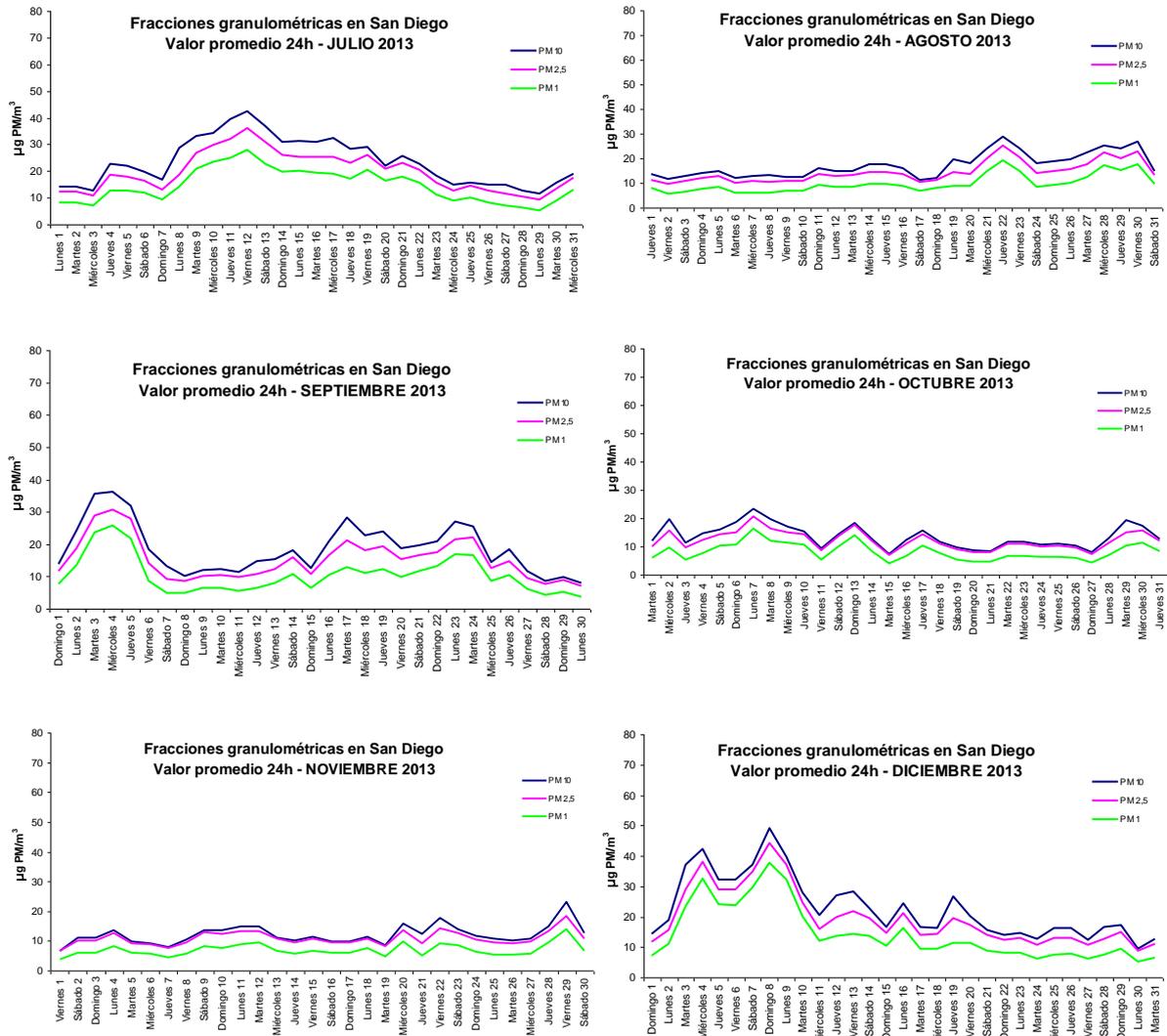
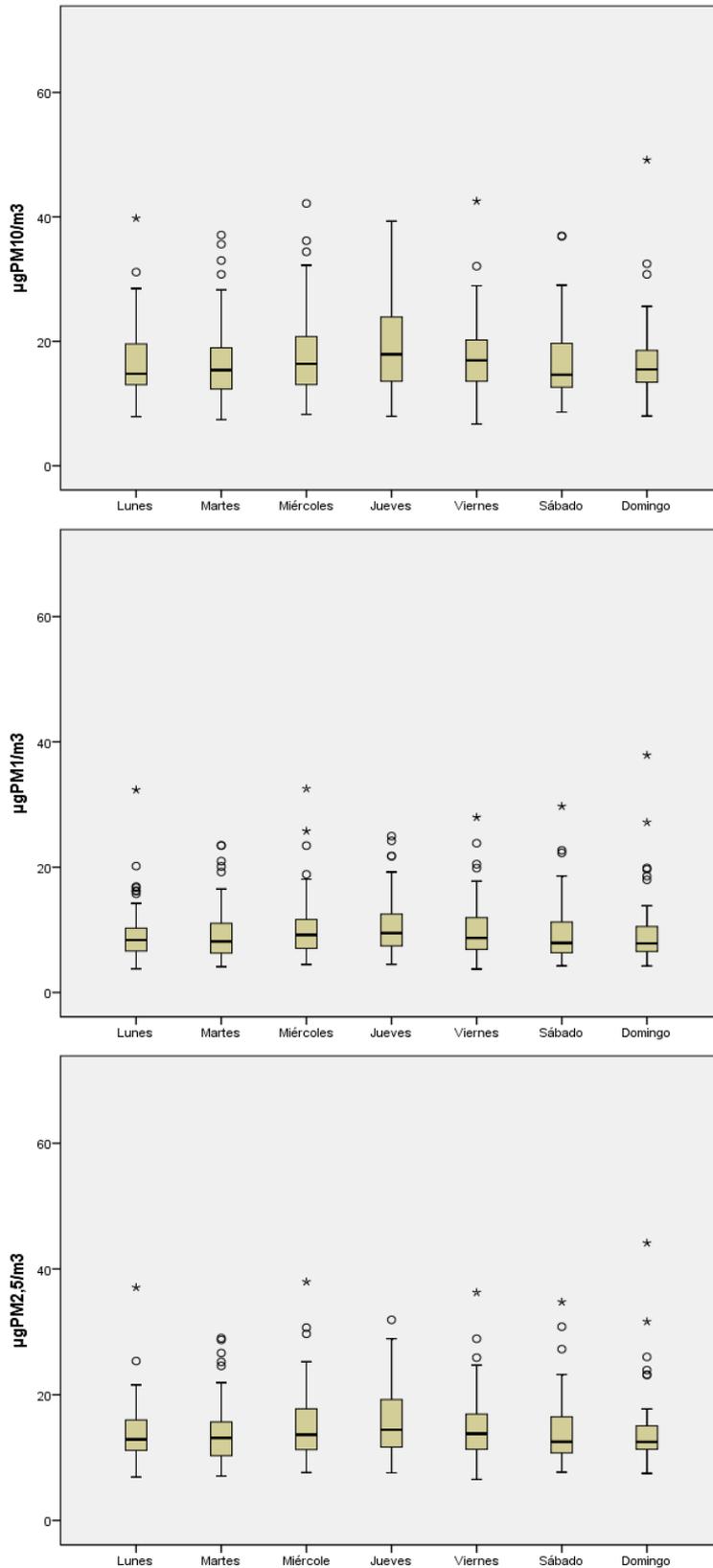


Figura 15. Evolución de la media diaria de las fracciones granulométricas durante el año 2013.

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 PM<sub>10</sub>, seguida de la PM<sub>1</sub> y finalmente la PM<sub>2.5</sub>.



° 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 2013.**

En la figura 17 se representan las series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$  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  $PM_{10}$  no siempre van acompañados de un aumento de las fracciones  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$ .

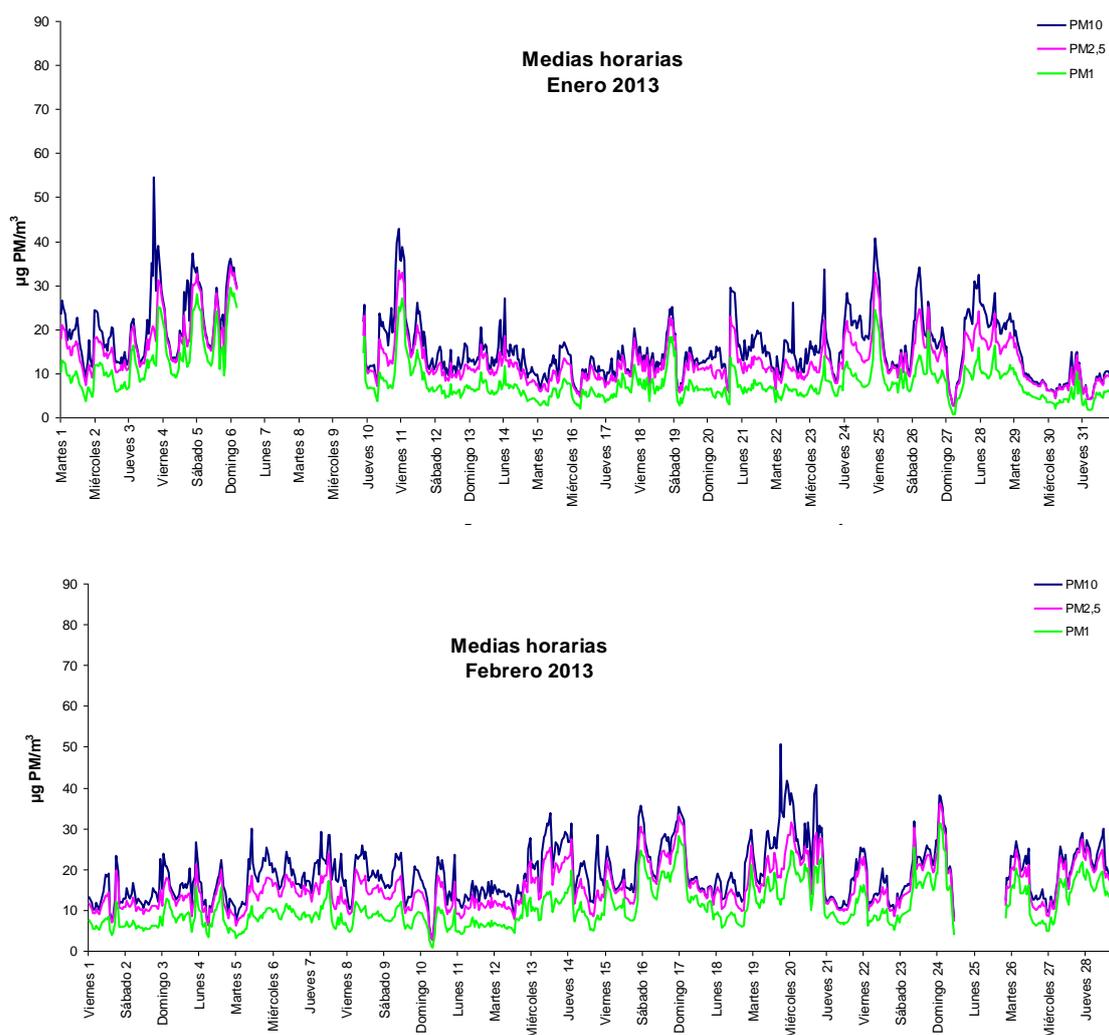
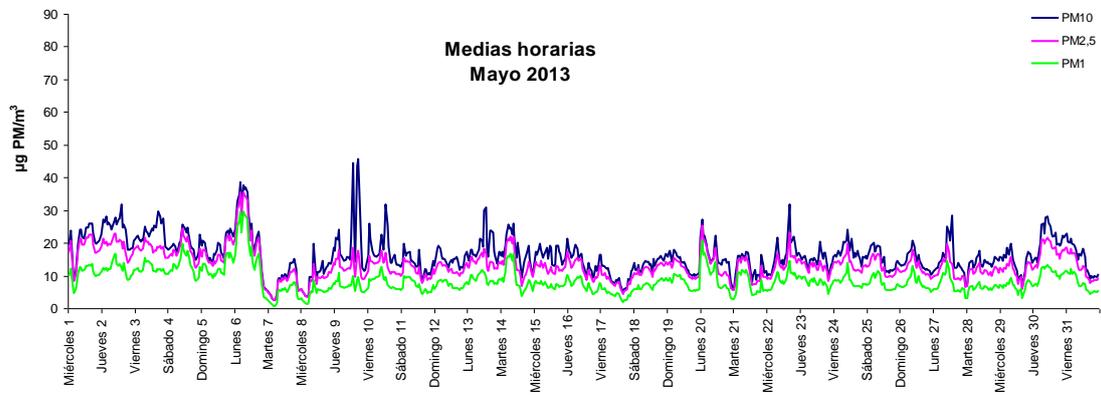
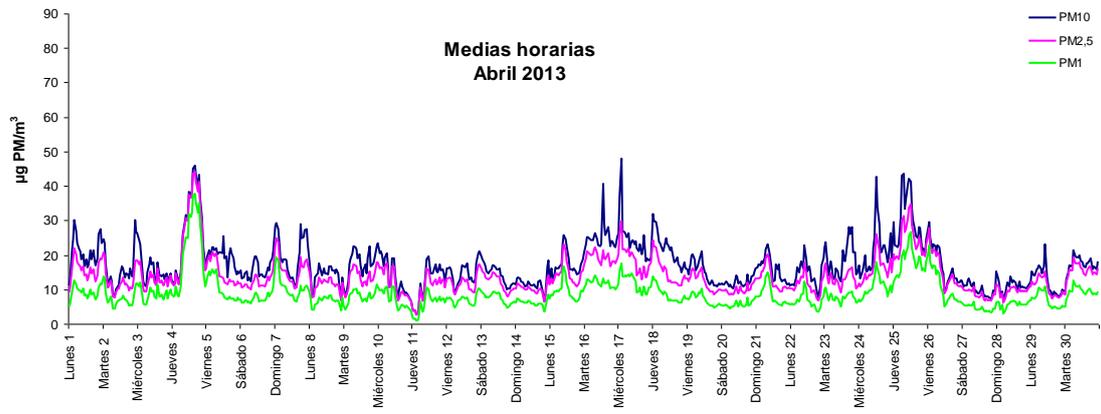
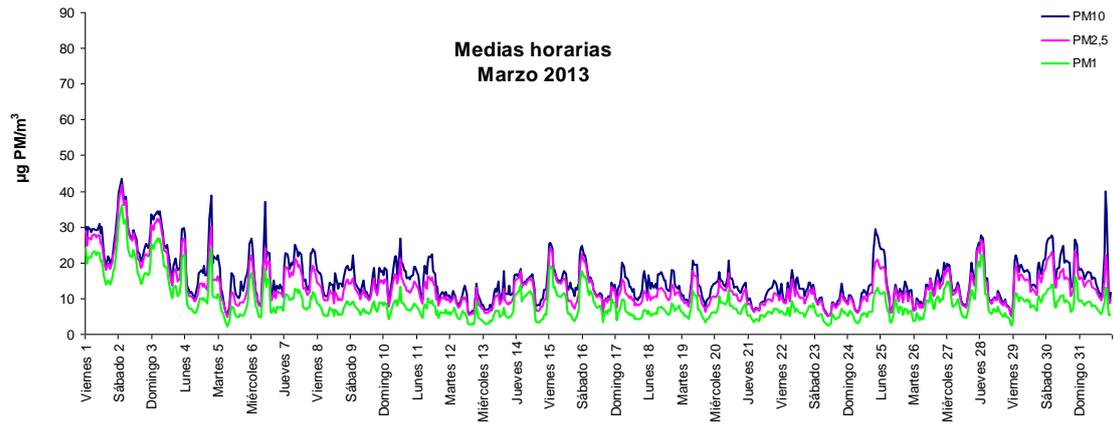


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$  año 2013. (continúa)



**Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_1$  año 2013.**  
(continúa)

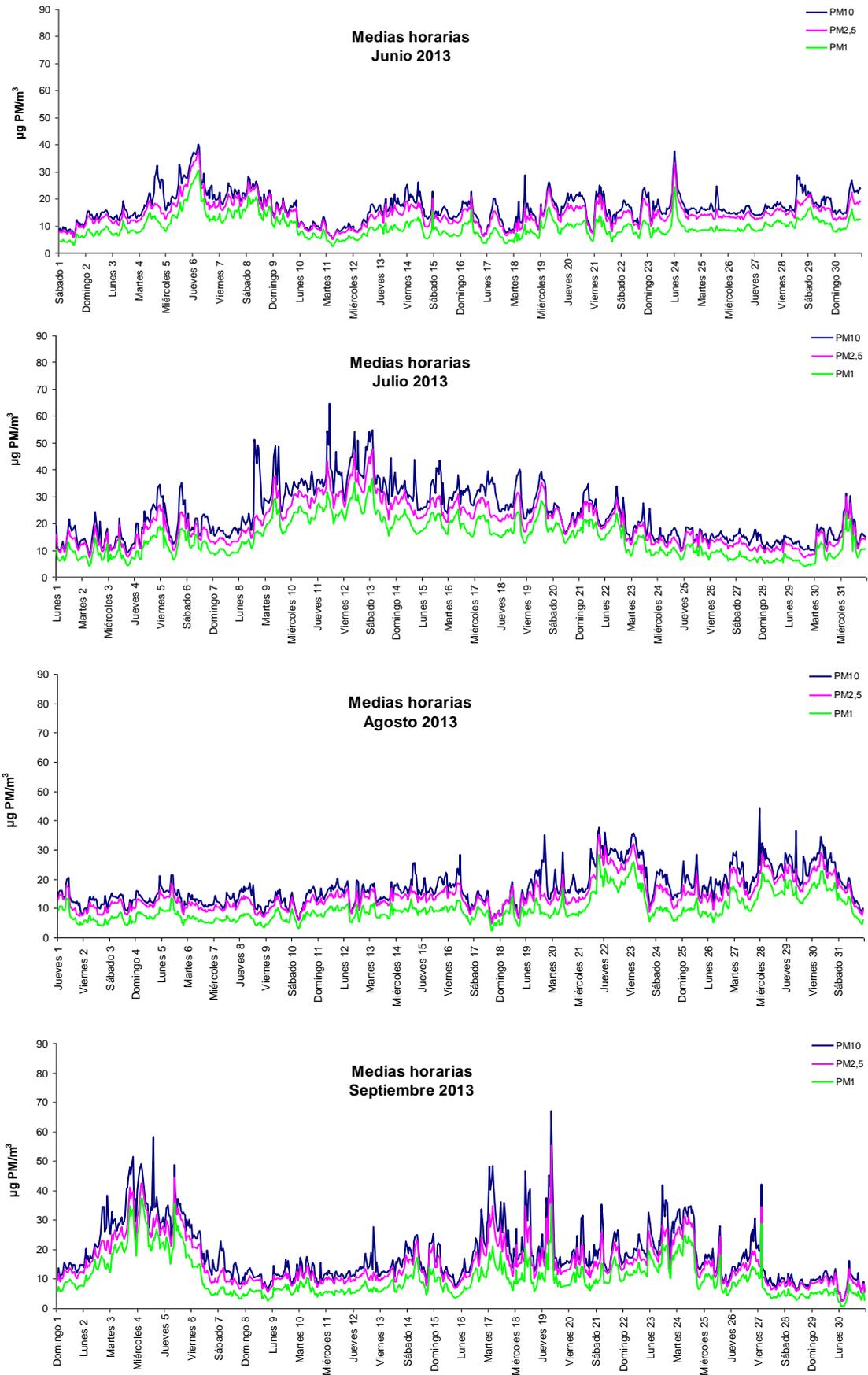
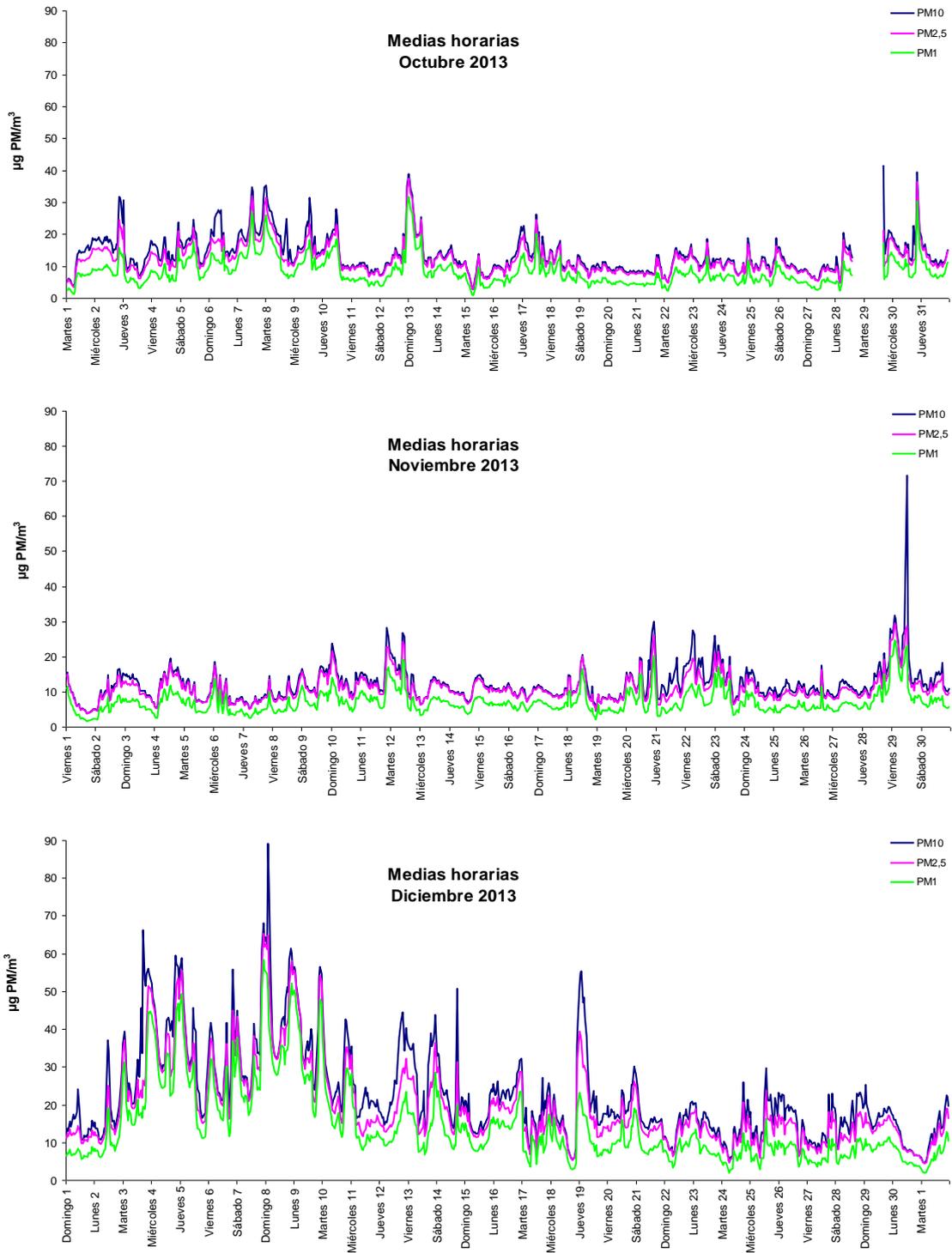
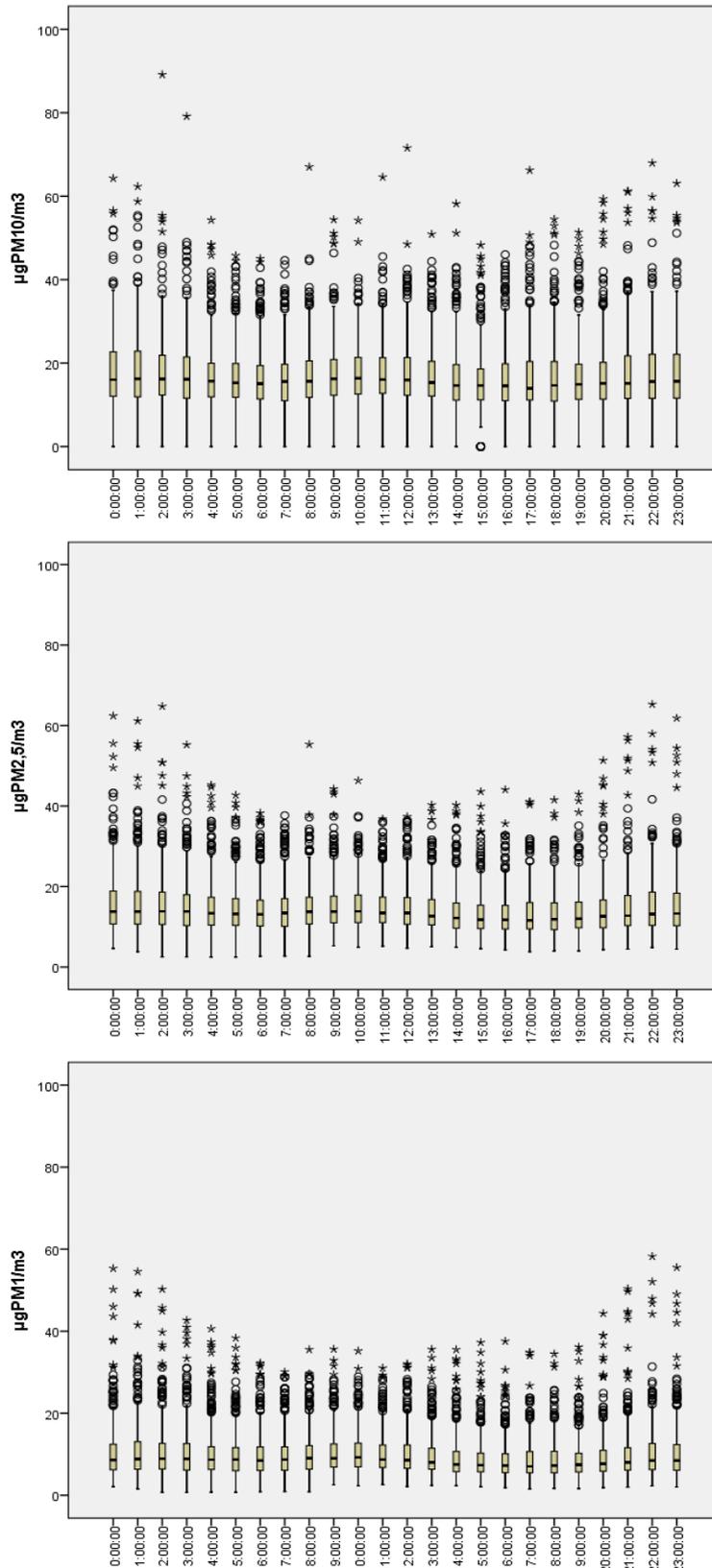


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$  año 2013. (continúa)



**Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_1$  año 2013.**

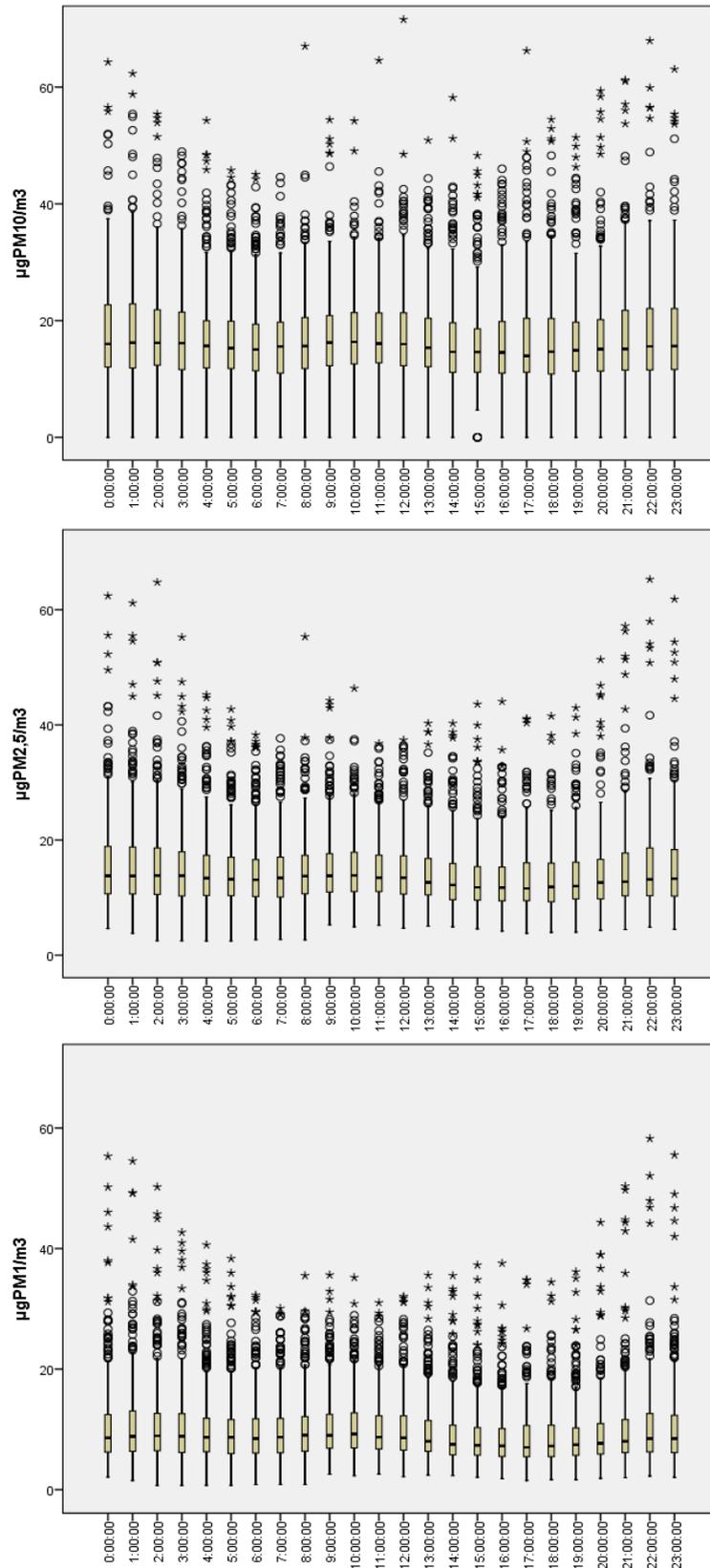
A continuación se representan las gráficas de evolución de la media horaria a lo largo de los días (figuras 18a y 18b) para evaluar la existencia de un patrón horario.



° 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 2013.**



° 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 2013 (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 9h-13h de la mañana con un ligero aumento desde las 21h hasta las 3h de la madrugada en que empiezan a disminuir. También se observa cómo la fracción  $PM_{10-2,5}$  y por lo tanto la fracción  $PM_{10-1}$  son las que más variación sufren mientras que la moda fina  $PM_{2,5-1}$  prácticamente permanece sin muchos cambios durante las horas del día.

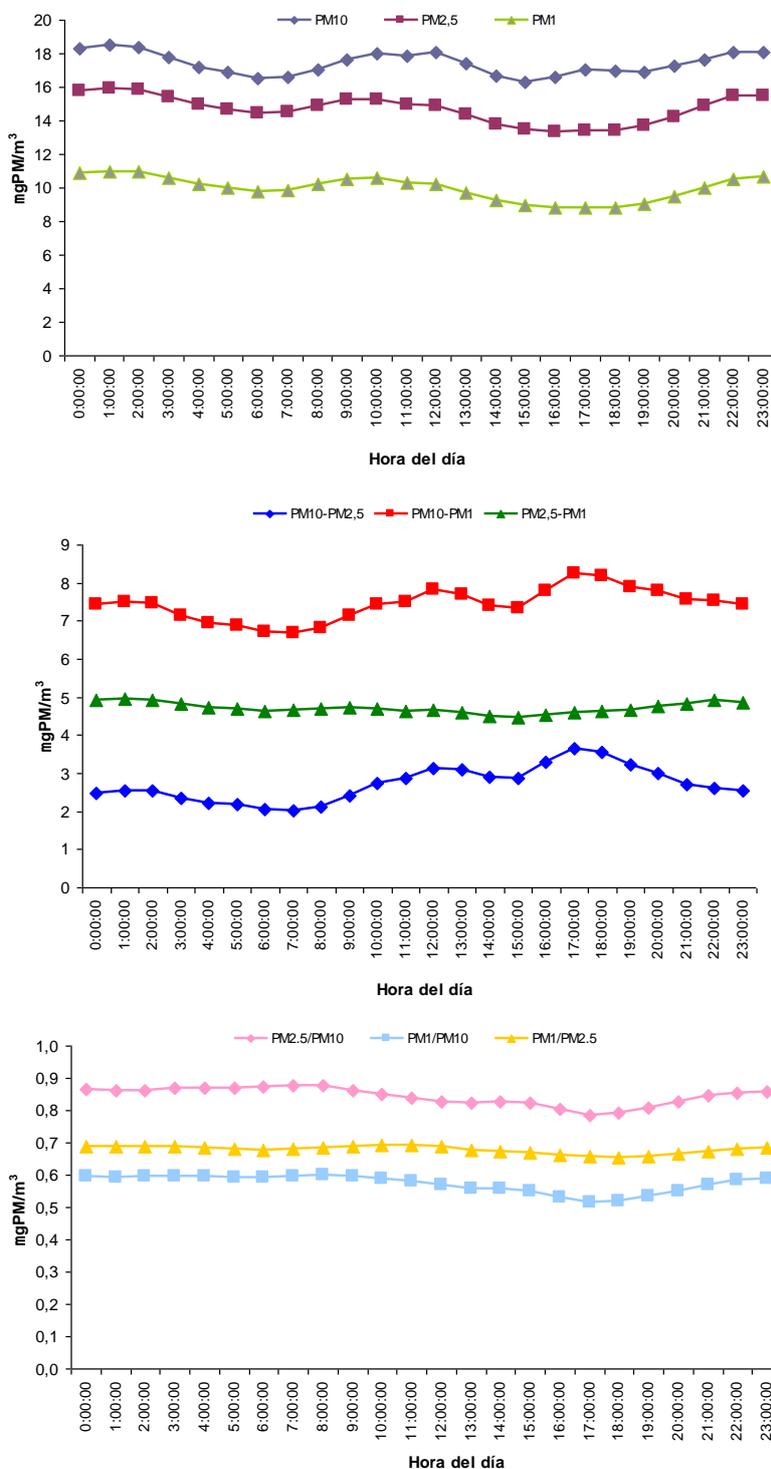


Figura 19. Evolución de los niveles medios horarios a lo largo del día de las tres fracciones granulométricas y sus relaciones en el año 2013.

## CONCLUSIONES

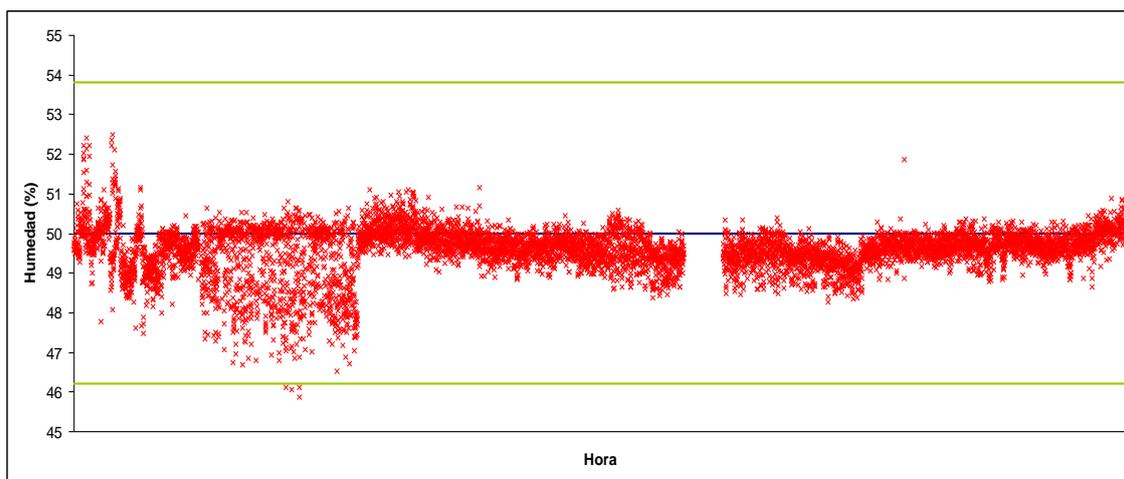
- Se han determinado los niveles diarios de PM<sub>10</sub> en la zona de Os Castros durante el año 2013. Se han recogido un total de 289 muestras que representan una cobertura anual del 79%.
- El valor promedio anual de PM<sub>10</sub> ha sido de 21 µg/m<sup>3</sup> no superando el valor límite permitido por la normativa de 40 µg/m<sup>3</sup>.
- El valor límite diario de 50 µg/m<sup>3</sup> no ha sido superado en ninguna ocasión. Este hecho es la primera vez que ocurre desde el año 2007.
- Los valores máximos diarios con valores de 42 y 43 µg/m<sup>3</sup>, se producen en los meses de septiembre y diciembre, respectivamente. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 4 µg/m<sup>3</sup> del mes de enero y los 15 µg/m<sup>3</sup> del mes de julio.
- La tendencia estacional de la concentración de PM<sub>10</sub> en el punto de muestreo refleja poca variación estacional en el punto de muestreo, debido quizás a que las precipitaciones tienen lugar en los meses de enero-abril y octubre a diciembre.
- El 1,0% del total de muestras superan los 40 µg/m<sup>3</sup>, un 13,1% superan los 30 µg/m<sup>3</sup> y un 49,1% superan los 20 µg/m<sup>3</sup>.
- En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 5,9% de las muestras (17 muestras) superan el umbral de evaluación superior de 35 µg/m<sup>3</sup> y un 29,1% (84 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de 25 µg/m<sup>3</sup>.
- Los niveles medios mensuales de PM<sub>10</sub> oscilan entre los 15 µg/m<sup>3</sup> del mes de noviembre y los 26 µg/m<sup>3</sup> del mes de agosto.
- Existe variabilidad semanal en los niveles de PM<sub>10</sub> observándose una ligera disminución los fines de semana (un 4%). Un 34,3% de las muestras durante los días laborales y un 16,5% para los fines de semana superan el UEI. Sin embargo el UES es superado en un 7,4% los días laborales y en un 2,4% los fines de semana.
- La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Durante el período de muestreo el 85% de la fracción de

PM<sub>10</sub> está constituida por PM<sub>2,5</sub> y un 68% de ésta por PM<sub>1</sub>. Todas las relaciones entre las fracciones granulométricas PM<sub>1</sub>/PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>/PM<sub>10</sub> son similares a las obtenidas en el año 2012.

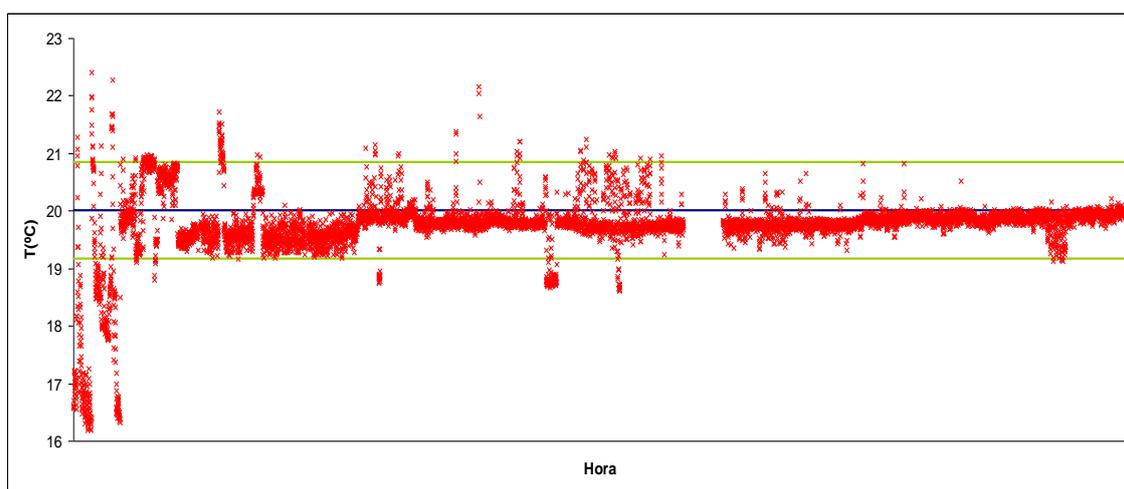
- No existe un patrón horario común a lo largo de todos los días de muestreo, para las diferentes fracciones granulométricas. Ello indica que existen diferentes fuentes posibles de emisión de materia particulada a la atmósfera con influencia en el punto de muestreo y/o que las fuentes que las emiten no lo hacen de una manera continua. Se observa que aumentos en los niveles de PM<sub>10</sub> no siempre van acompañados de un aumento de las fracciones PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub>.
- 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 PM<sub>10</sub>**

Siguiendo los requisitos de las Normas UNE-EN 12341 y UNE-EN 14907:2006, los filtros de fibra de cuarzo se acondicionan durante 48 horas antes de la pesada y previamente al muestreo, a una temperatura de  $20\pm 1^{\circ}\text{C}$  y  $50\pm 5\%$  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.**

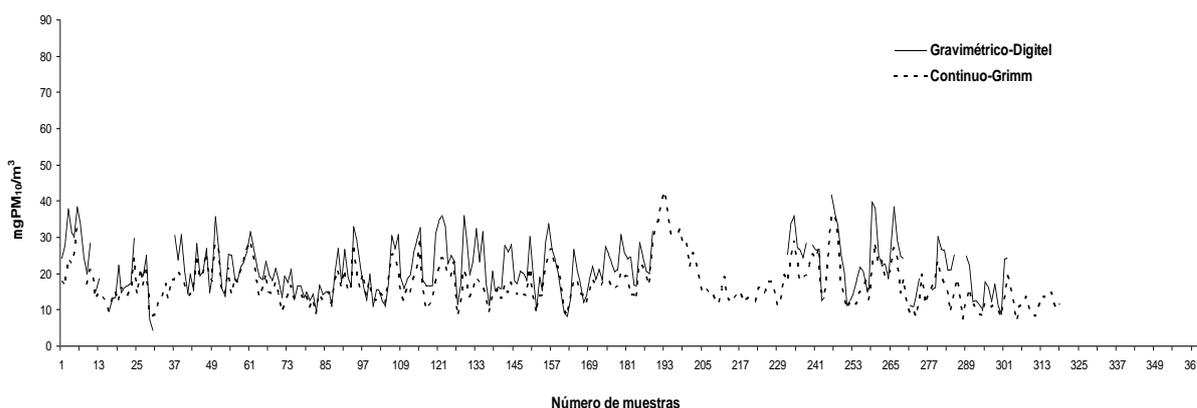


**Figura 21. Carta de control de la temperatura (°C) en la sala de balanzas.**

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

La Directiva 1999/30/CE<sup>11</sup> 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. En este estudio se siguieron las recomendaciones del Grupo de Trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado expuestas en la “Guía para los Estados Miembros sobre medidas de PM<sub>10</sub> e intercomparación con el método de referencia” para calcular el factor de corrección que hay que aplicar a las medidas del monitor. Esta información<sup>12</sup> está disponible y se puede descargar de la siguiente página web: <http://ec.europa.eu/environment/air/pdf/finalwgreportes.pdf>.

Para ello se muestreó de manera simultánea con el Digitel y el GRIMM (método automático). En este estudio, se han utilizado 225 medidas válidas (120 en primavera/verano y 105 en otoño/invierno, figura 22) y únicamente valores cuya media fue > 10 µg/m<sup>3</sup> de PM<sub>10</sub> (la guía establece un mínimo de 30 medidas continuadas):

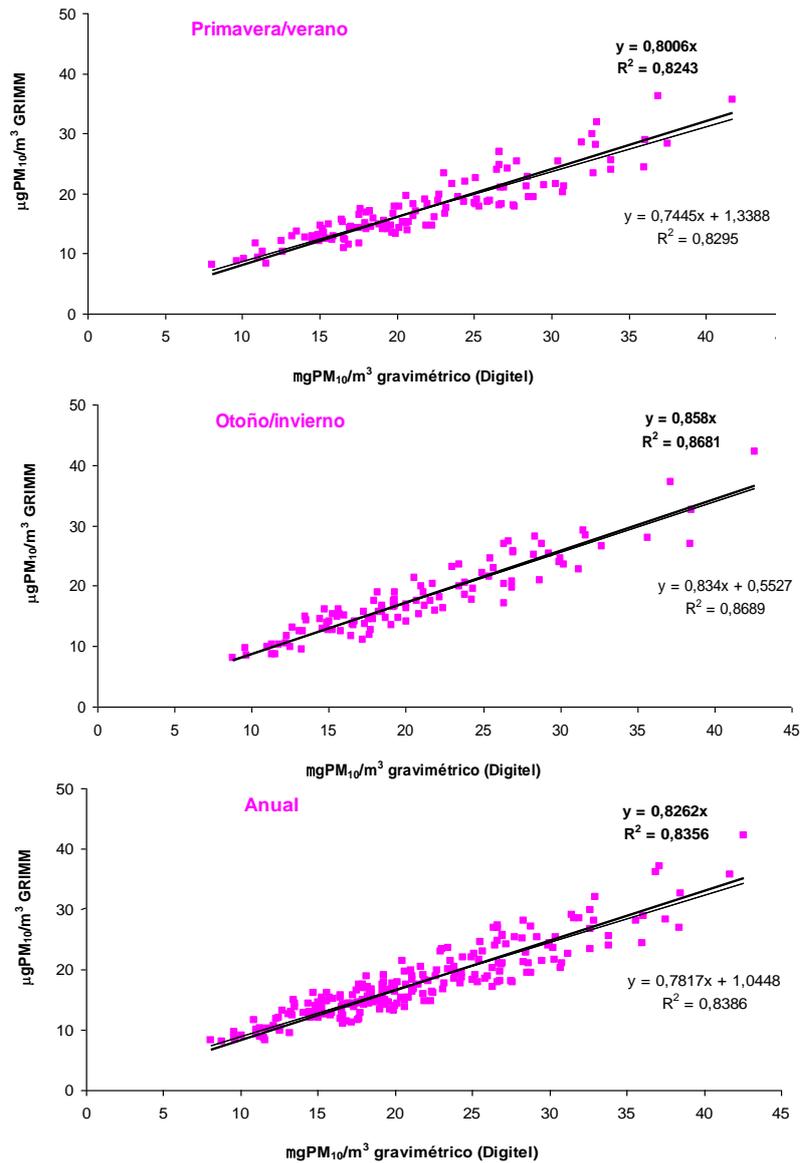


**Figura 22. Comparación de las medias diarias obtenidas por el método automático (Grimm) y por el método gravimétrico (Digitel).**

Posteriormente se comparan las concentraciones de PM<sub>10</sub> obtenidas por los dos procedimientos lo que permite obtener una regresión con  $r^2 \geq 0.8$  y una constante en valor absoluto inferior o igual a 5 y a continuación se calcula el coeficiente de correlación (figura 23). En el caso de que los factores obtenidos en los dos períodos estacionales (verano/invierno) sean iguales o muy similares se podría utilizar un único factor para todo el año. Sin embargo, si hay mucha diferencia entre ambos factores, no se podría aplicar ninguno de ellos ni la media entre ambos para todo el periodo anual.

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> Grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado atmosférico. Guía para los Estados Miembros sobre medidas de PM<sub>10</sub> e intercomparación con el método de referencia.



**Figura 23. Correlación entre el equipo automático (espectrómetro láser) y el equipo gravimétrico (Digitel) en el punto de muestreo.**

Se considera de aplicación un único factor cuando se cumpla que la diferencia entre las medias diarias, una vez corregidas, con cada uno de los dos factores estacionales obtenidos, sea <10%. En nuestro caso (tabla X) el factor ha sido de 1,25 para la primavera/verano y de 1,17 para el otoño/invierno, lo que supone una diferencia entre medias del 6,8% por lo tanto se utilizará el factor promedio que resulta ser 1,21.

**Tabla X. Factor gravimétrico.**

Período	Factor
Primavera/verano (21 de marzo a 20 de septiembre)	1,25
Otoño/invierno (21 de septiembre a 20 de marzo)	1,17
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>1,21</b>

Otra forma de valoración sería teniendo en cuenta que la “Guía para la demostración de la equivalencia de los métodos de control y aire ambiente” publicada en el 2010, para evaluar la equivalencia del equipo automático con el gravimétrico, se introdujeron los pares de datos en el macro Excel disponible en la web de la Comisión Europea ([http://ec.europa.eu/environment/air/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm)). Los resultados se presentan a continuación en la figura 24 y en la Tabla XI. De hecho, en esta guía se recomienda sustituir el término “corrección” por el término “calibración” ya que según esta aproximación se pueden establecer las relaciones con el método de referencia que pueden ser aplicadas para calibrar el equipo candidato (método automático en este caso) para cumplir el objetivo de calidad de los datos expresado como incertidumbre según se trate de medidas fijas o indicativas.

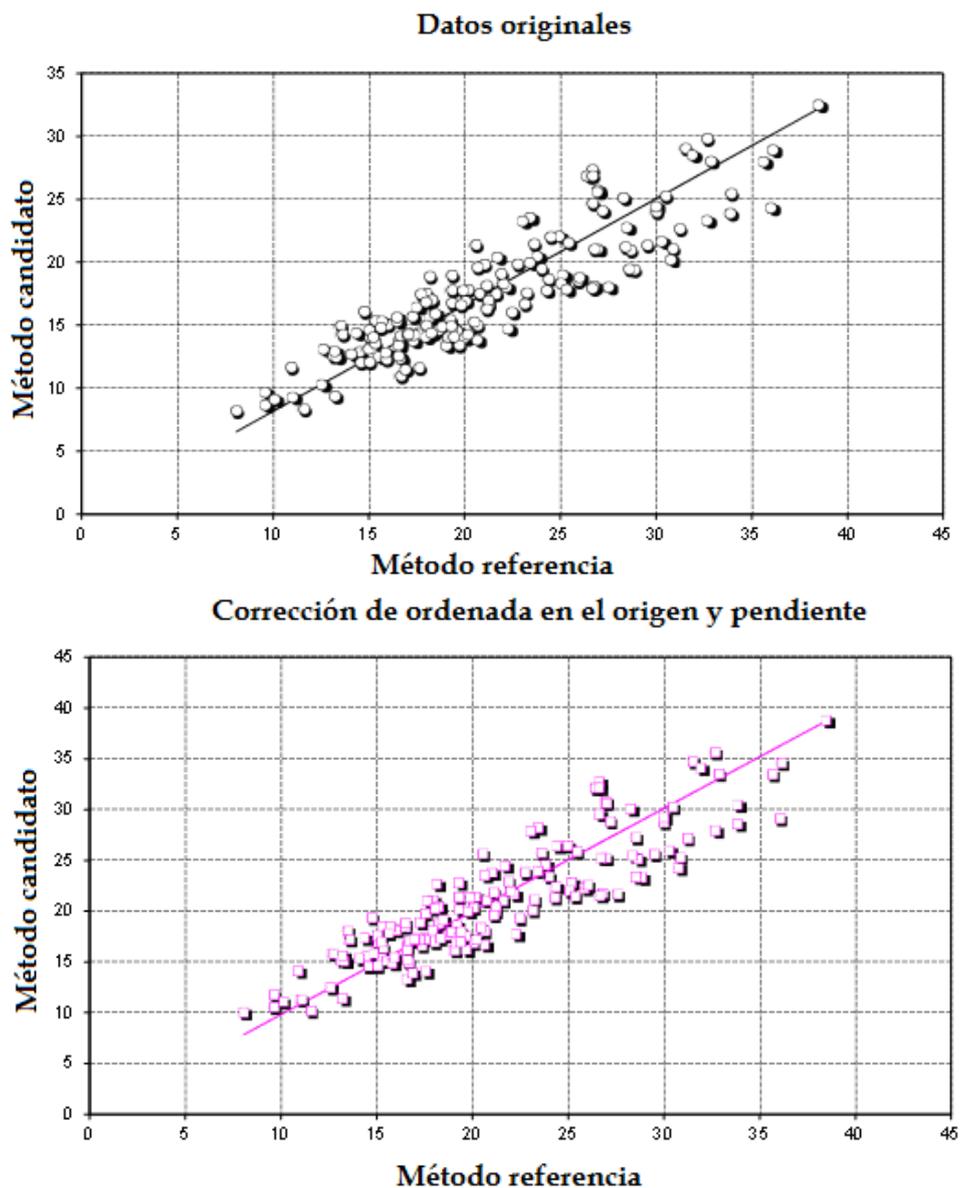


Figura 24. Demostración de la equivalencia entre el equipo automático (candidato) y el equipo gravimétrico (referencia) en el punto de muestreo, según criterio: ([http://ec.europa.eu/environment/air/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/environment/air/index_en.htm)).

Los requisitos son que como mínimo existan 40 pares de datos válidos y promediados en periodos de 24 horas. Lo ideal sería disponer de datos en más de un emplazamiento pero en este caso se aplican igual como aproximación. El test de equivalencia fue aplicado con referencia al valor límite (VL) de 50 µg/m³ y el criterio elegido para la incertidumbre entre equipos fue < 2,5 µg/m³ ya que esto es indicativo de un correcto funcionamiento. Además, la incertidumbre entre los equipos se determina dividiendo la serie de datos en dos, teniendo el corte en mayor o igual a 30 µg/m³. Una vez realizadas las correcciones de la pendiente y la ordenada en el origen, el test de equivalencia es válido, por lo que son comparables ambos equipos (tabla XI).

Tabla XI. Resultados test de equivalencia.

PM <sub>10</sub>		Test de equivalencia	Número de pares de datos:		225
<b>DATOS SIN CORREGIR</b>			<b>CORRECCIÓN DE LA ORDENADA EN EL ORIGEN</b>		
<i>REGRESIÓN</i>			<i>REGRESIÓN</i>		
<i>Pendiente b</i>	0,84	significativa	<i>Pendiente b</i>	0,84	significativa
<i>Incertidumbre b</i>	0,02		<i>Incertidumbre b</i>	0,02	
<i>Ordenada en el origen a</i>	-0,25	no significativa	<i>Ordenada en el origen a</i>	0,00	no significativa
<i>Incertidumbre de a</i>	0,51		<i>Incertidumbre de a</i>	0,51	
<b>RESULTADOS TEST DE EQUIVALENCIA</b>			<b>RESULTADOS TEST DE EQUIVALENCIA</b>		
Término aleatorio	0,00	ug/m3	Término aleatorio	0,00	ug/m3
Error al VL	-8,07	ug/m3	Error al VL	-7,83	ug/m3
Incertidumbre combinada	8,07	ug/m3	Incertidumbre combinada	7,83	ug/m3
Incertidumbre relativa al VL	16,15	falla	Incertidumbre relativa al VL	15,66	falla
Incertidumbre entre equipos	2,50	ug/m3	Incertidumbre entre equipos	2,50	ug/m3
<b>CORRECCIÓN DE LA PENDIENTE</b>			<b>CORRECCIÓN DE LA ORDENADA Y LA PENDIENTE</b>		
<i>REGRESIÓN</i>			<i>REGRESIÓN</i>		
<i>Pendiente b</i>	1,02	no significativa	<i>Pendiente b</i>	1,02	no significativa
<i>Incertidumbre b</i>	0,03		<i>Incertidumbre b</i>	0,03	
<i>Ordenada en el origen a</i>	-0,62	no significativa	<i>Ordenada en el origen a</i>	-0,33	no significativa
<i>Incertidumbre de a</i>	0,60		<i>Incertidumbre de a</i>	0,60	
<b>RESULTADOS TEST DE EQUIVALENCIA</b>			<b>RESULTADOS TEST DE EQUIVALENCIA</b>		
Término aleatorio	1,77	ug/m3	Término aleatorio	1,84	ug/m3
Error al VL	0,15	ug/m3	Error al VL	0,44	ug/m3
Incertidumbre combinada	1,78	ug/m3	Incertidumbre combinada	1,89	ug/m3
Incertidumbre relativa al VL	3,55	OK	Incertidumbre relativa al VL	3,79	OK

La ecuación de calibración que se debería aplicar en este caso al monitor GRIMM es:

$$[PM_{10} \text{ gravimétrico}] = -0,33 + 1,02x[PM_{10} \text{ automático (GRIMM)}]$$

## ANEXO III.- GRÁFICAS DE LOS NIVELES DE PARTÍCULAS PM<sub>10</sub> PARA LOS DÍAS LABORABLES Y FINES DE SEMANA (método gravimétrico)

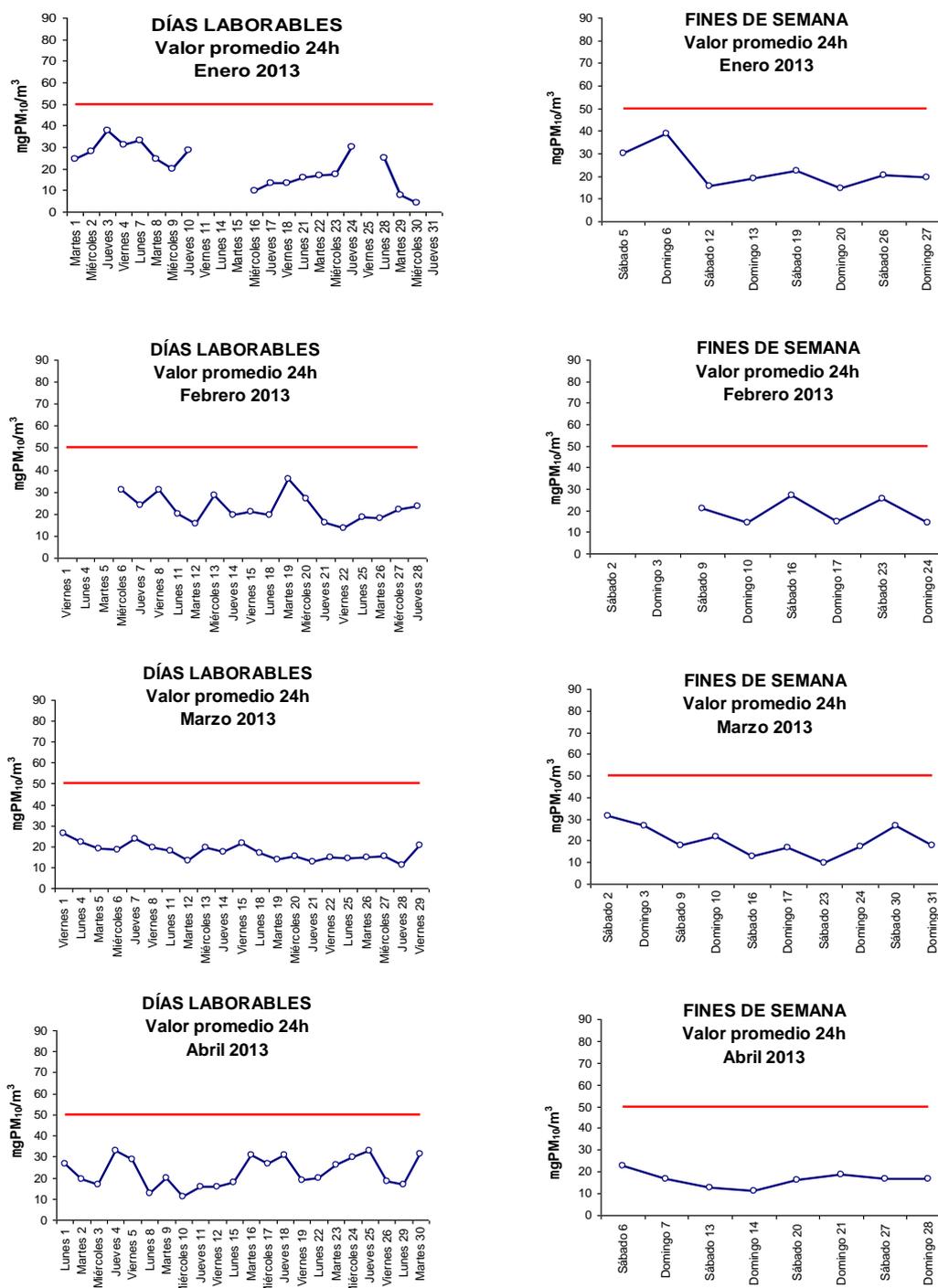


Figura 25. Variación de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2013. (continúa)

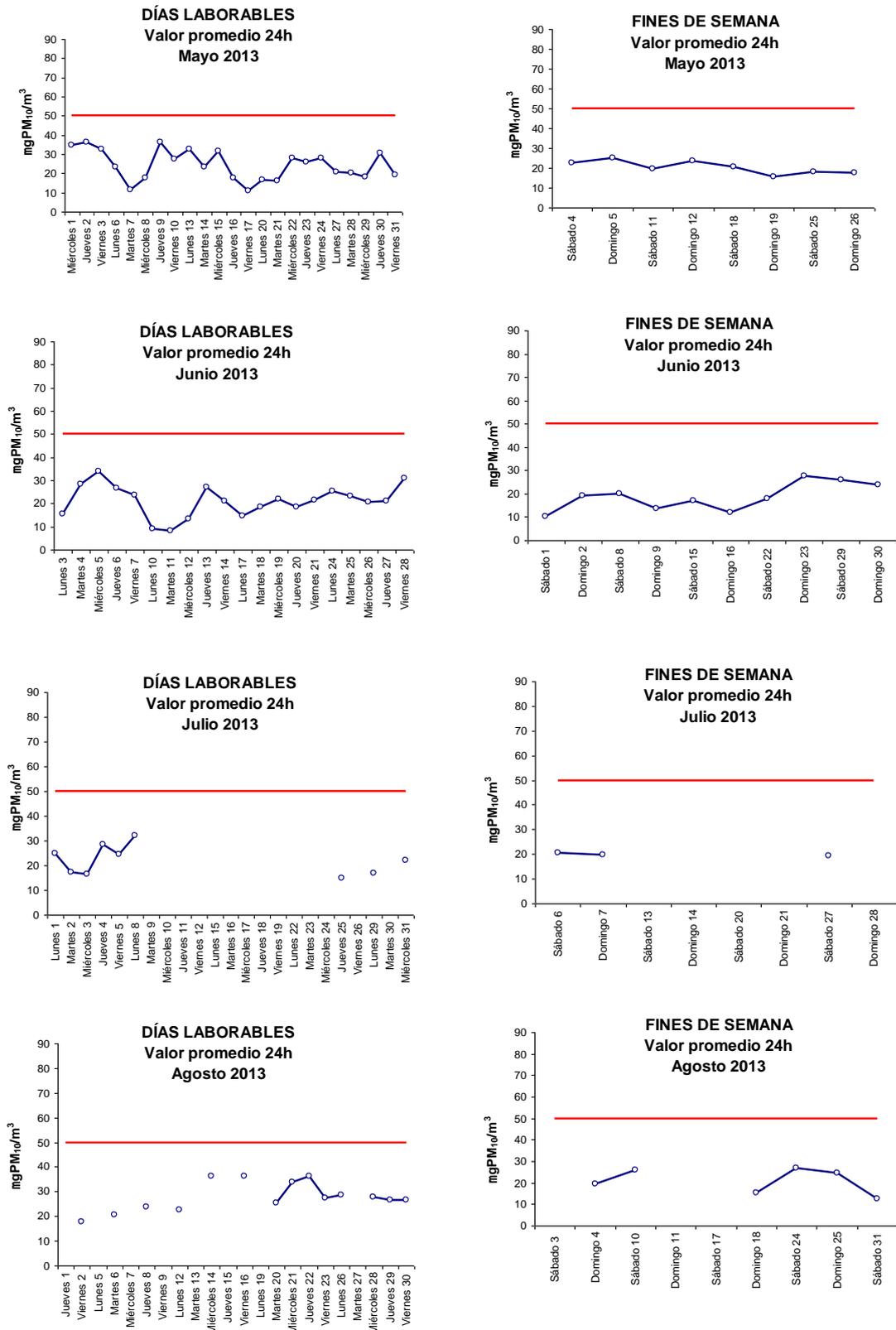


Figura 25. Variación de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2013. (continúa)

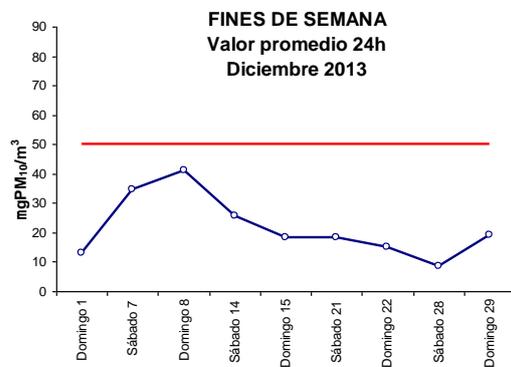
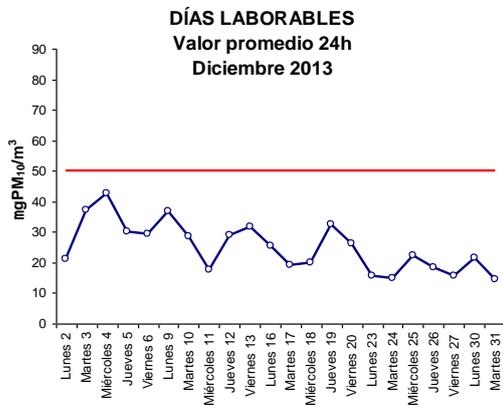
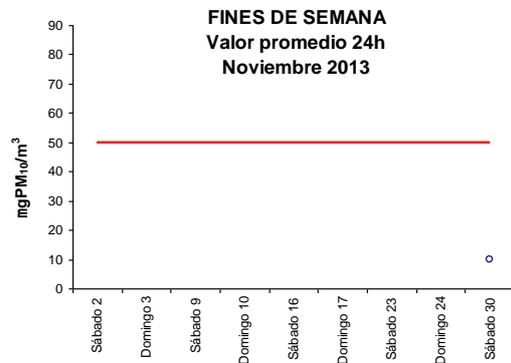
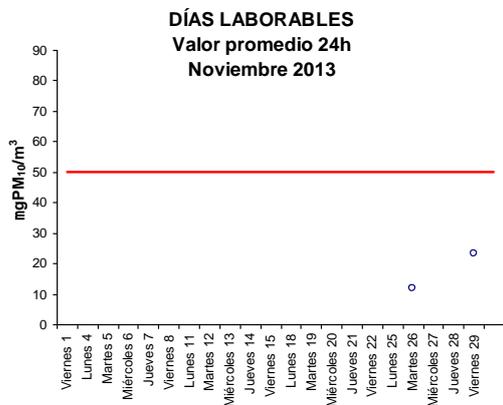
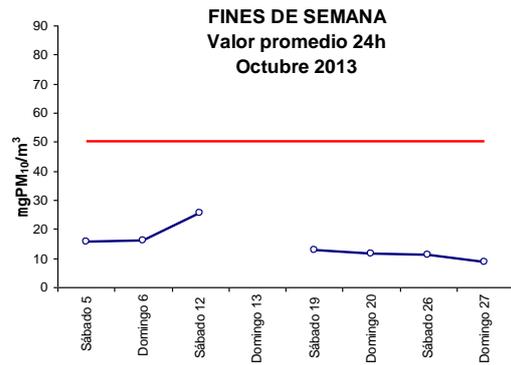
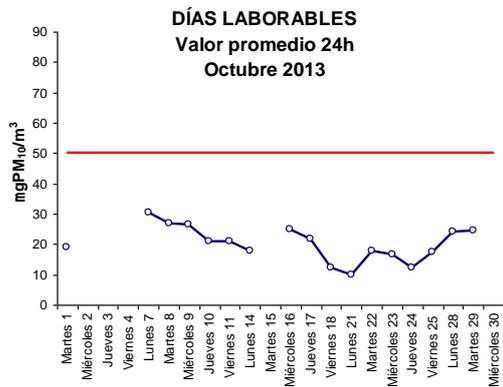
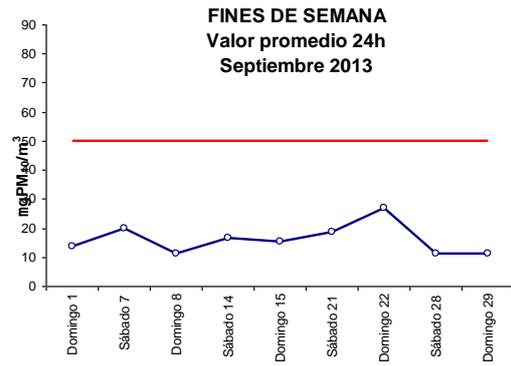
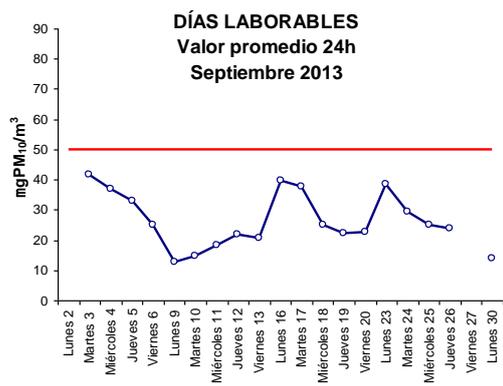
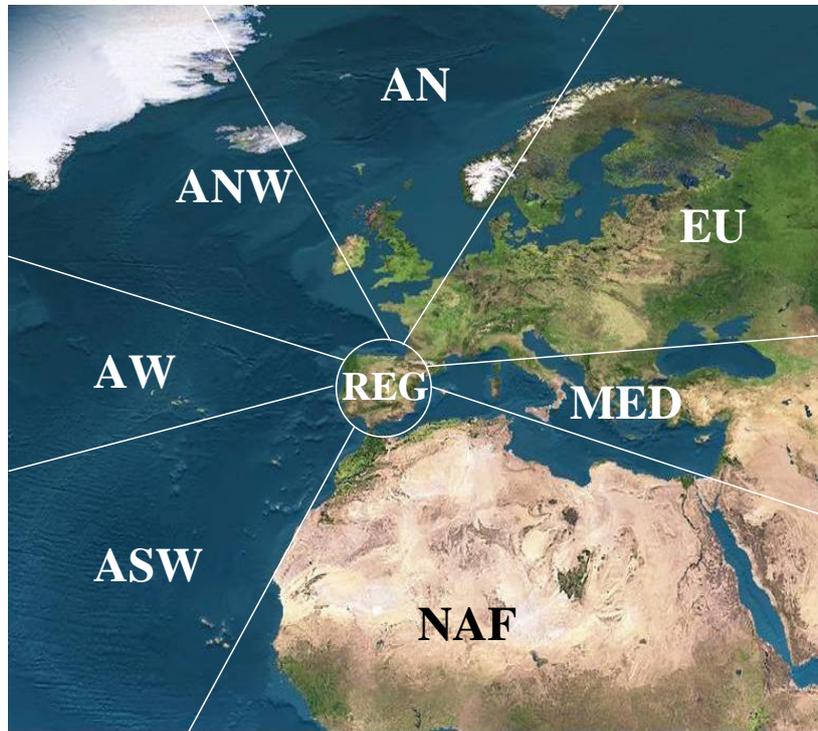


Figura 25. Variación de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2013.

## 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)<sup>13,14</sup>, distinguiendo ocho sectores (figura 26).



**Figura 26. 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).**

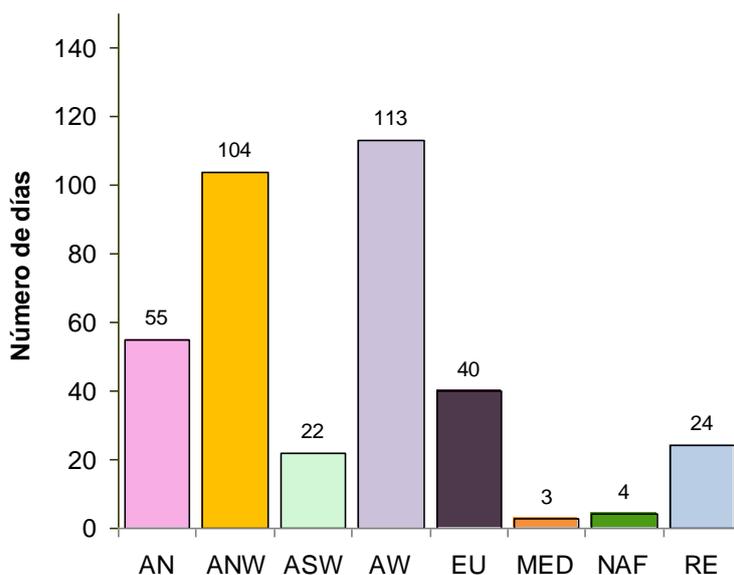
En la figura 27 (A) se indica el número de días con influencia de masas de aire de diferente origen, observando que aproximadamente el 80,6% de los días existió un claro predominio del transporte de masas de aire procedentes de diversos sectores del Atlántico, seguido de un 11% de componente europeo, un 6,5 de componente regional, un 1,1% de componente africano y finalmente 0,8% de influencia mediterránea.

En la figura 27 (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.

<sup>13</sup> 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.

<sup>14</sup> 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)



(B)

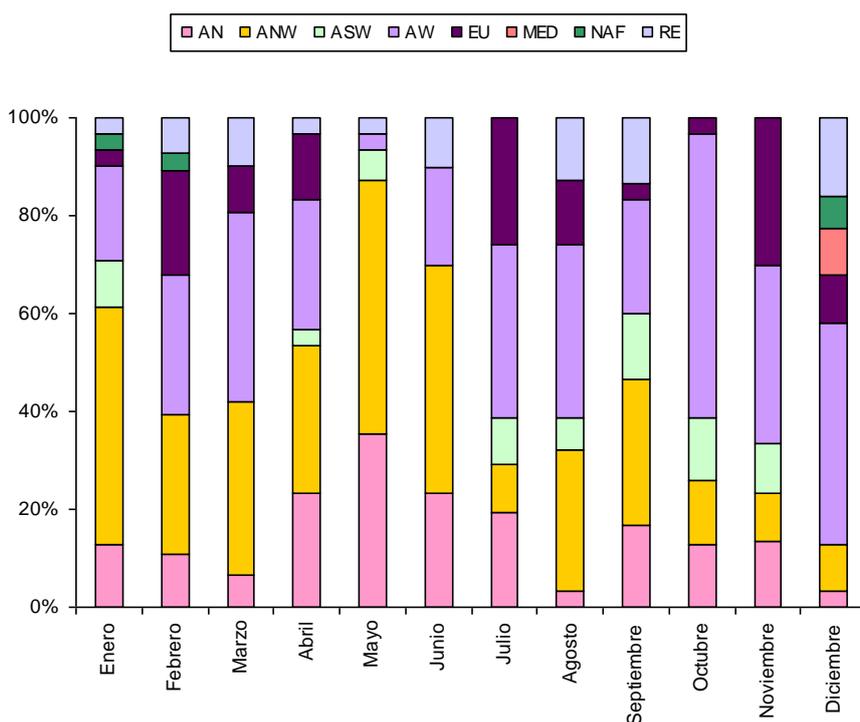


Figura 27. Origen de las masas de aire en A Coruña en 2013, obtenido a partir del cálculo de retrotrayectorias de las masas de aire: (A) Número de días (B) Frecuencia a lo largo del año

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 2007-2013**

**NIVELES DE PM<sub>10</sub> SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA**

**Tabla XII. Resumen global de las muestras recogidas durante el período 2007-2013.**

	2007*	2008**	2009	2010	2011	2012	2013***
Nº muestras recogidas	288	330	360	358	354	340	289
% de muestras relativas a año civil	79	90,4	99	98	97	93	79
VALOR MÁXIMO DIARIO de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	71	85	77	74	94	70	43
VALOR MÍNIMO DIARIO de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	12	10	10	7	11	9	4
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 µg/m <sup>3</sup>	28	27	12	10	15	18	0
% SUPERACIONES con respecto al número total de muestras	9,7	8,2	3,3	2,8	4,2	5,3	-
<b>VALOR MEDIO ANUAL de PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>32</b>	<b>29</b>	<b>27</b>	<b>28</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>21</b>

\* 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

**Tabla XIII. Valores promedio diarios máximo mensual durante el período 2007-2013.**

	Máximo mensual (µg/m <sup>3</sup> )						
	2007*	2008**	2012	2010	2011	2012	2013***
Enero	-	81	57	49	46	57	39
Febrero	-	85	58	35	60	58	36
Marzo	71	54	70	43	72	70	32
Abril	71	48	62	54	83	62	33
Mayo	43	60	46	64	43	46	36
Junio	61	56	66	74	48	66	34
Julio	41	37	39	52	38	39	32
Agosto	52	41	38	37	47	38	36
Septiembre	71	45	40	53	51	40	42
Octubre	57	63	35	61	94	35	30
Noviembre	44	39	46	47	39	46	23
Diciembre	60	60	44	42	46	44	43

\* 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.

**Tabla XIV. Valores promedio diarios mínimos mensual durante el período 2007-2013.**

	Mínimo mensual ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )						
	2007*	2008**	2009	2010	2011	2012	2013***
Enero	-	-	10	14	14	11	4
Febrero	-	-	10	11	17	14	14
Marzo	14	35	17	13	19	15	10
Abril	14	44	12	18	20	14	11
Mayo	14	27	17	16	18	9	11
Junio	13	28	12	17	13	11	8
Julio	12	24	12	18	13	19	15
Agosto	12	29	14	14	11	9	13
Septiembre	15	30	18	17	15	15	11
Octubre	24	40	11	7	13	14	9
Noviembre	17	30	15	10	16	17	10
Diciembre	16	38	13	7	13	11	9

\* 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.

**Tabla XV. Valores medios mensuales por mes durante el período 2007-2013.**

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

\* 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.

**Tabla XVI. Número de superaciones por mes durante el período 2007-2013.**

	Número de superaciones						
	2007*	2008**	1	2010	2011	2012	2013***
Enero	-	9	2	0	0	1	0
Febrero	-	7	13	0	1	2	0
Marzo	2	1	1	0	6	13	0
Abril	13	0	0	1	4	1	0
Mayo	0	1	1	3	0	0	0
Junio	2	2	0	2	0	1	0
Julio	0	0	0	1	0	0	0
Agosto	1	0	0	0	0	0	0
Septiembre	3	0	0	2	1	0	0
Octubre	2	0	0	1	3	0	0
Noviembre	0	4	0	0	0	0	0
Diciembre	5	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.

En la figura 28 se indica la comparativa del total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional entre 2007- 2013 refleja los valores más altos en el otoño/invierno, siendo menores en el resto de la primavera y verano, con la excepción del año 2010 en el que los valores más altos se produjeron desde marzo hasta julio y de septiembre a octubre.

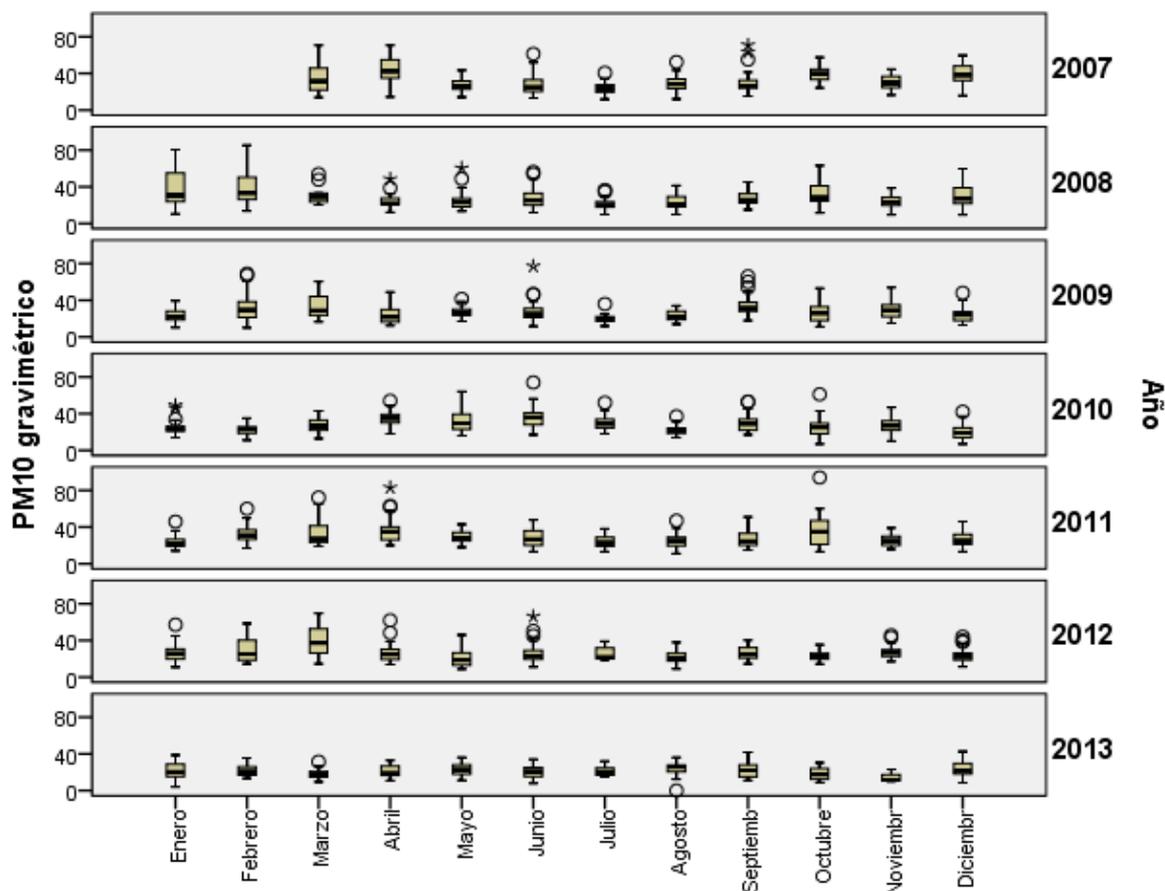


Figura 28. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo desde el año 2007 a 2013.

También se puede observar la variabilidad dentro de cada estación y para cada año; debida en parte a las diferentes precipitaciones ocurridas en los cinco años de muestreo tal y como se representa en la figura 29.

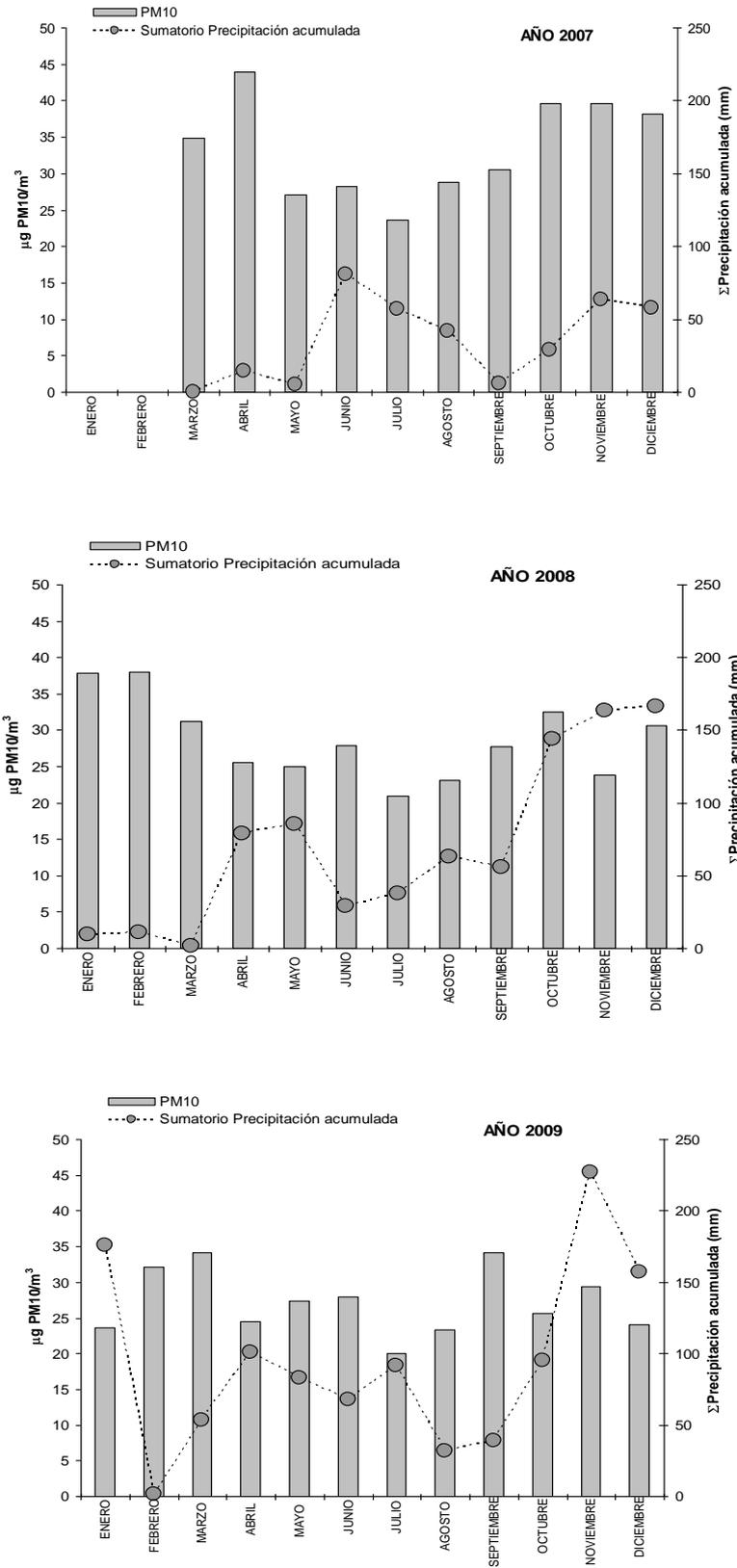


Figura 29. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2013. (continúa)

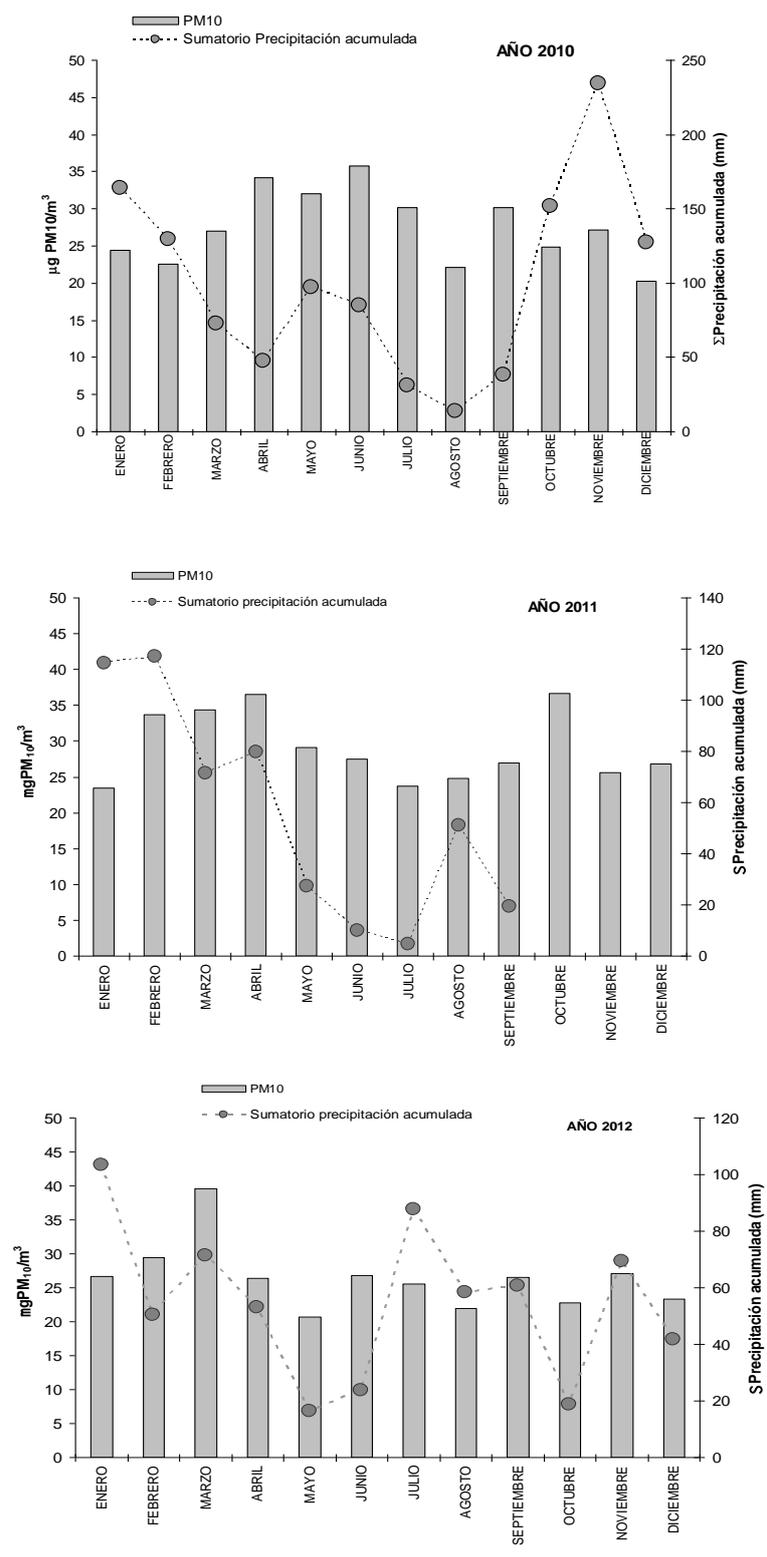


Figura 29. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2013 (para el tercer trimestre del año 2011 no se disponen de datos de precipitación). (continúa)

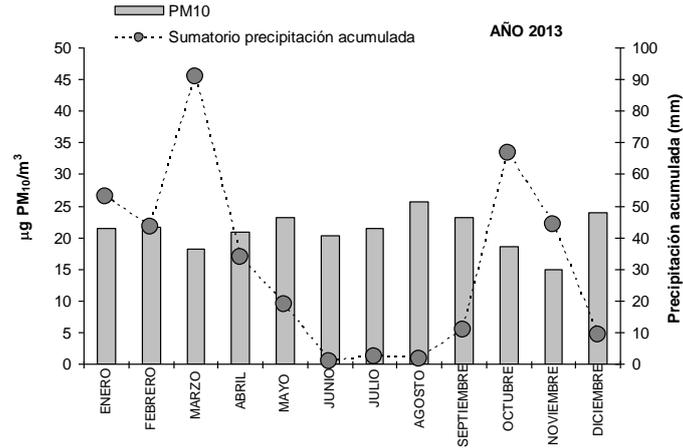


Figura 29. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2013.

En la figura 30 se indica la distribución de los niveles de PM<sub>10</sub> 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.

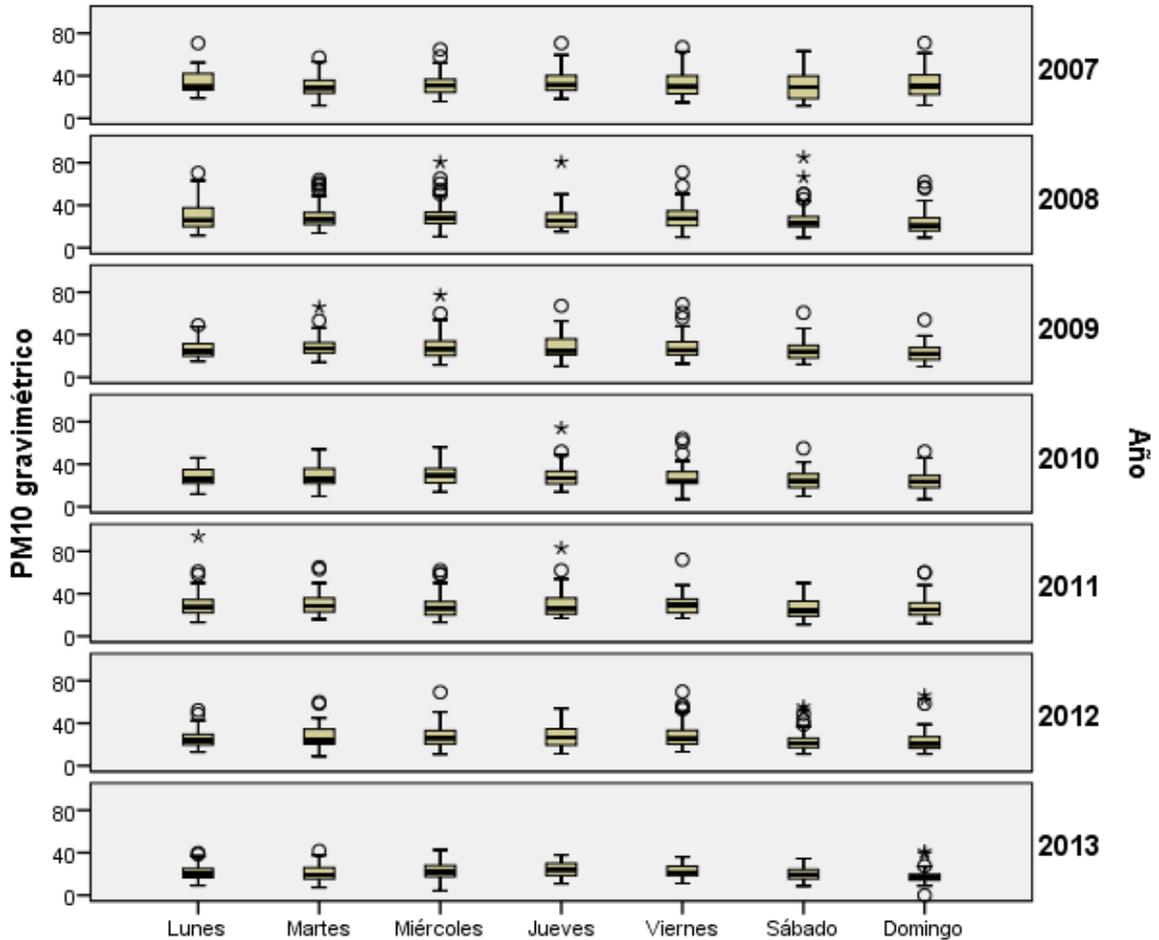


Figura 30. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana desde el año 2007 a 2013.

## NIVELES DE PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> Y PM<sub>1</sub> 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 2010-2013.

**Tabla XVII. Factor gravimétrico.**

Período	2007*	2008**	2010***	2011****	2012**	2013**
Primavera/verano	1,22	1,28	1,47	1,44	1,37	1,25
Otoño/invierno	1,31	1,22	1,43	1,46	1,38	1,17
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>1,27</b>	<b>1,25</b>	<b>1,45</b>	<b>1,45</b>	<b>1,38</b>	<b>1,21</b>

\* 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 y 2013

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 XVIII. Resumen de los valores (promedio mensual) correspondientes a la fracción granulométrica PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) durante los años 2007, 2008, 2010, 2012 y 2013.**

	PM <sub>10</sub>					
	2007*	2008**	2010***	2011****	2012	2013
Enero	-	30	-	-	20	17
Febrero	-	33	16	17	22	19
Marzo	-	22	19	19	28	15
Abril	-	20	22	25	15	17
Mayo	24	19	20	20	15	16
Junio	23	21	24	18	16	17
Julio	18	18	16	17	15	23
Agosto	22	19	13	17	-	17
Septiembre	24	21	18	17	18	19
Octubre	29	22	16	25	17	14
Noviembre	25	-	-	16	18	12
Diciembre	27	-	-	12	17	23
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>24</b>	<b>22</b>	<b>16</b>	<b>18</b>	<b>18</b>	<b>17</b>

\* 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 PM<sub>2,5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.**

	PM <sub>2,5</sub>					
	2007*	2008**	2010***	2011***	2012	2013
Enero	-	22	-	-	17	14
Febrero	-	22	13	14	18	16
Marzo	-	16	15	15	22	13
Abril	-	15	18	17	13	14
Mayo	16	15	15	15	13	13
Junio	18	16	14	13	14	14
Julio	13	13	13	12	12	20
Agosto	16	14	11	13	-	14
Septiembre	18	16	15	13	15	15
Octubre	23	17	14	20	15	12
Noviembre	19	-	-	14	15	11
Diciembre	21	-	-	11	15	20
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>18</b>	<b>17</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>15</b>	<b>15</b>

\* 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. Resumen de los valores (promedio mensual) correspondientes a la fracción granulométrica PM<sub>1</sub> (µg/m<sup>3</sup>) durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.**

	PM <sub>1</sub>					
	2007*	2008**	2010***	2011***	2012	2013
Enero	-	15	-	-	12	9
Febrero	-	16	9	11	14	11
Marzo	-	10	10	12	16	9
Abril	-	10	13	12	8	9
Mayo	10	11	10	10	8	9
Junio	12	11	13	8	10	10
Julio	9	8	8	8	8	14
Agosto	10	10	7	9	-	10
Septiembre	12	11	10	9	10	10
Octubre	17	11	10	15	11	5
Noviembre	14	-	-	10	10	7
Diciembre	18	-	-	8	10	14
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>10</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>10</b>

\* 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  $PM_{2,5}/PM_{10}$  entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.**

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

\* 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  $PM_1/PM_{2,5}$  entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.**

	$PM_1/PM_{2,5}$					
	2007*	2008**	2010***	2011***	2012	2013
Enero	-	0,69	-	-	0,73	0,66
Febrero	-	0,74	0,65	0,75	0,75	0,69
Marzo	-	0,61	0,66	0,70	0,75	0,66
Abril	-	0,65	0,70	0,72	0,65	0,64
Mayo	0,61	0,69	0,66	0,67	0,67	0,64
Junio	0,65	0,67	0,68	0,64	0,69	0,67
Julio	0,63	0,63	0,65	0,65	0,65	0,74
Agosto	0,63	0,66	0,63	0,66	-	0,67
Septiembre	0,67	0,70	0,67	0,66	0,68	0,68
Octubre	0,74	0,66	0,66	0,76	0,71	0,67
Noviembre	0,71	-	-	0,71	0,68	0,64
Diciembre	0,82	-	-	0,69	0,69	0,74
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>0,69</b>	<b>0,67</b>	<b>0,66</b>	<b>0,69</b>	<b>0,70</b>	<b>0,68</b>

\* 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 XXIII. Valores de las ratios  $PM_1/PM_{10}$  entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.**

	$PM_1/PM_{10}$					
	2007*	2008**	2010***	2011***	2012	2013
Enero	-	0,51	-	-	0,61	0,55
Febrero	-	0,50	0,52	0,63	0,64	0,58
Marzo	-	0,45	0,52	0,56	0,59	0,57
Abril	-	0,49	0,56	0,49	0,55	0,52
Mayo	0,42	0,56	0,50	0,51	0,56	0,52
Junio	0,49	0,51	0,53	0,48	0,59	0,58
Julio	0,48	0,45	0,55	0,48	0,53	0,62
Agosto	0,46	0,51	0,53	0,50	-	0,57
Septiembre	0,50	0,54	0,55	0,52	0,60	0,56
Octubre	0,59	0,50	0,57	0,59	0,64	0,60
Noviembre	0,56	-	-	0,60	0,56	0,58
Diciembre	0,65	-	-	0,64	0,60	0,63
<b>MEDIA ANUAL</b>	<b>0,52</b>	<b>0,50</b>	<b>0,54</b>	<b>0,55</b>	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>

\* 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.

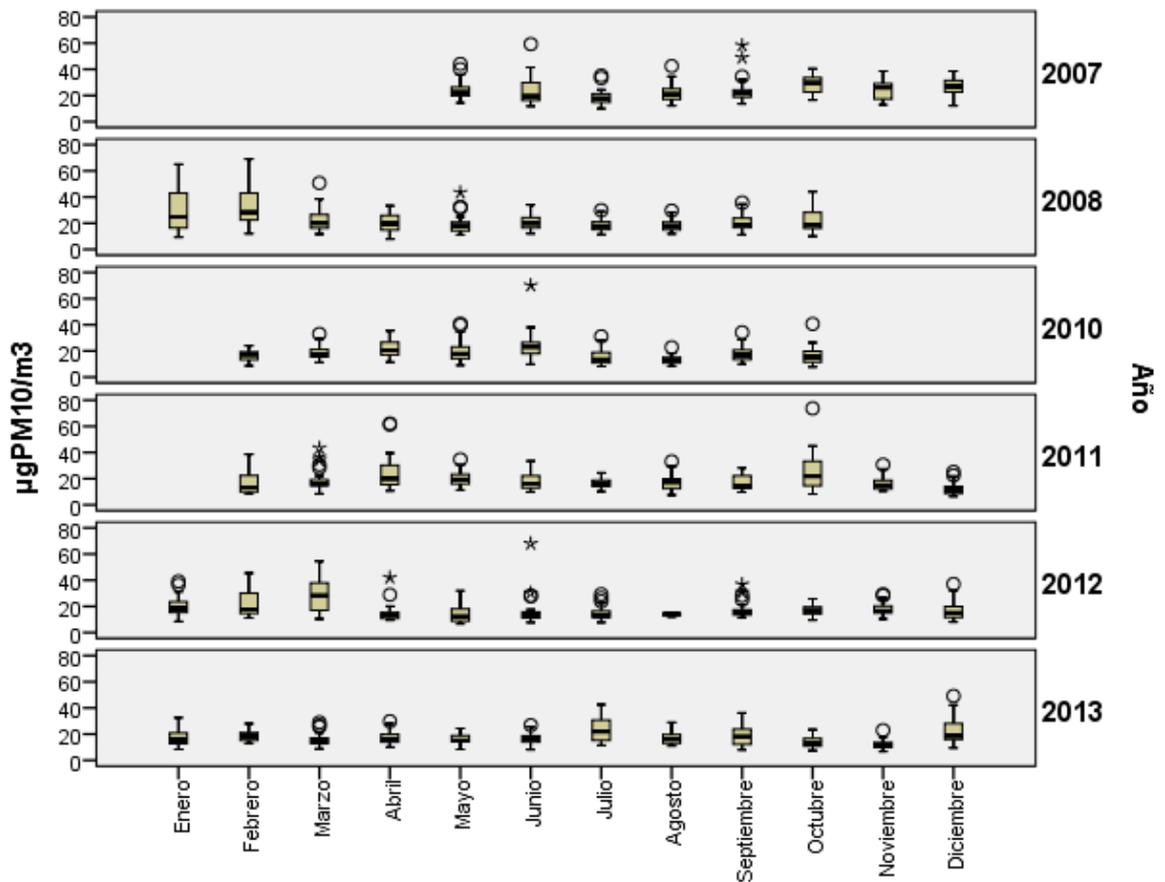


Figura 31. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM<sub>10</sub> (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.

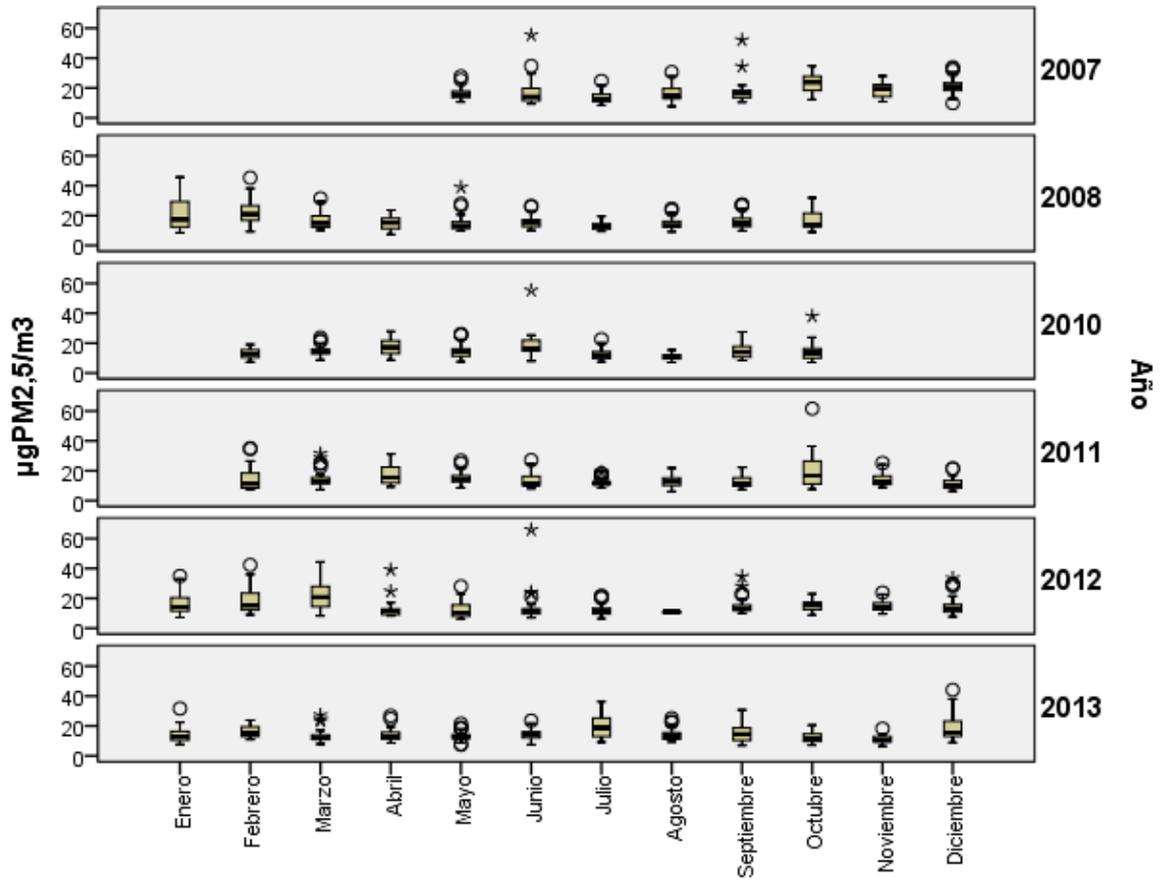


Figura 32. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM<sub>2.5</sub> (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.

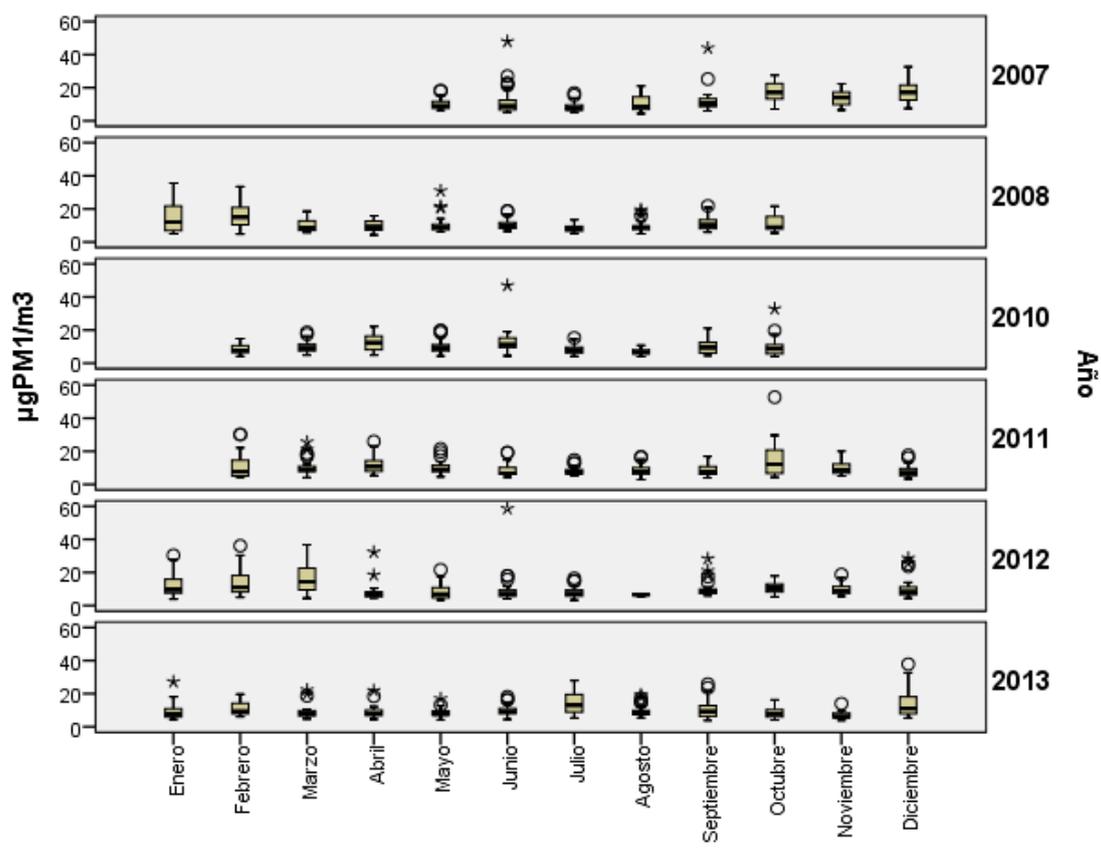


Figura 33. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de  $PM_1$  (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.



Figura 34. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM<sub>10</sub> para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.



Figura 35. 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, 2010, 2011, 2012 y 2013.

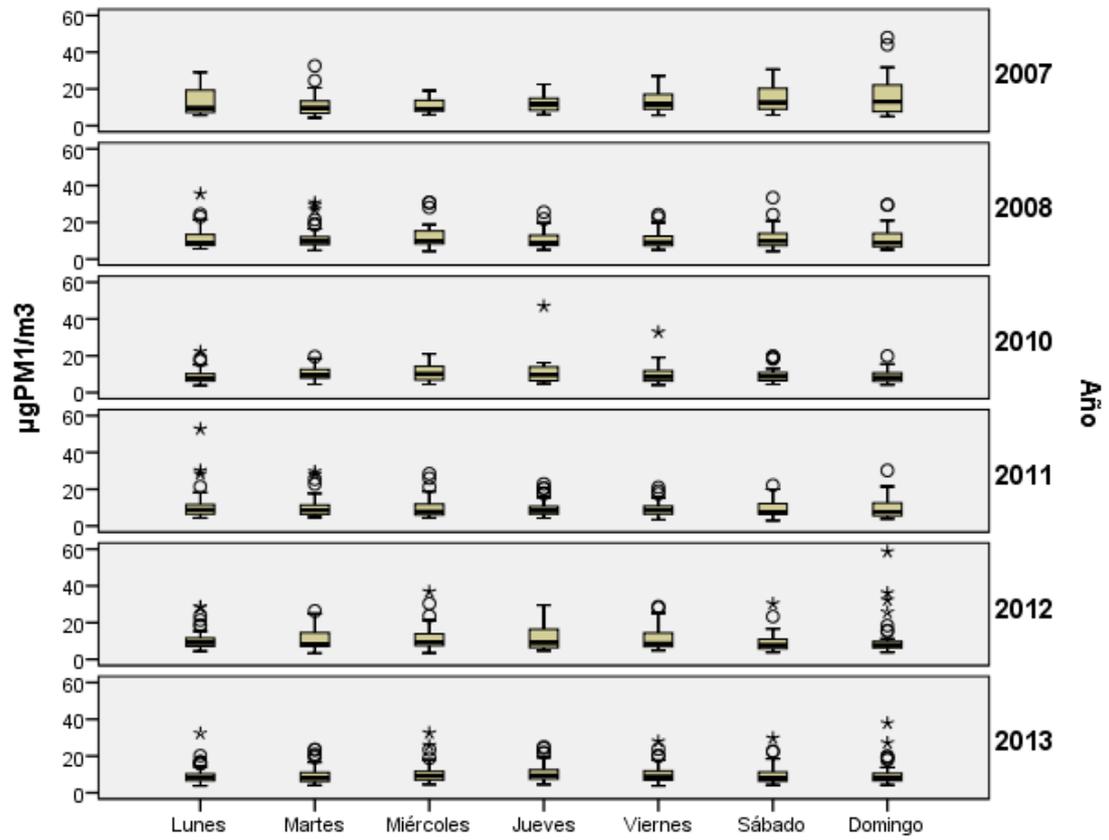


Figura 36. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de  $PM_1$  para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013.

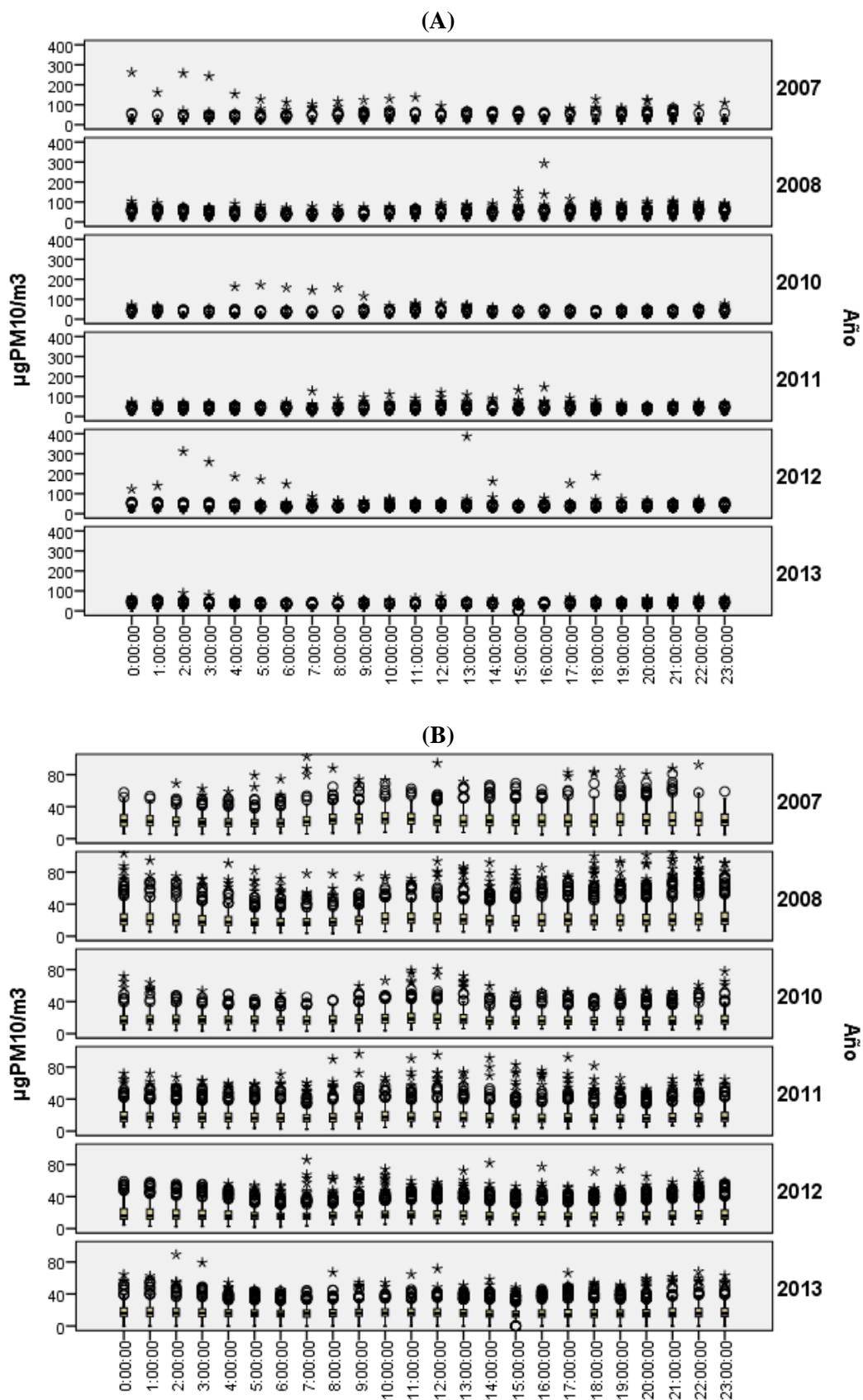


Figura 37. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de  $PM_{10}$  durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

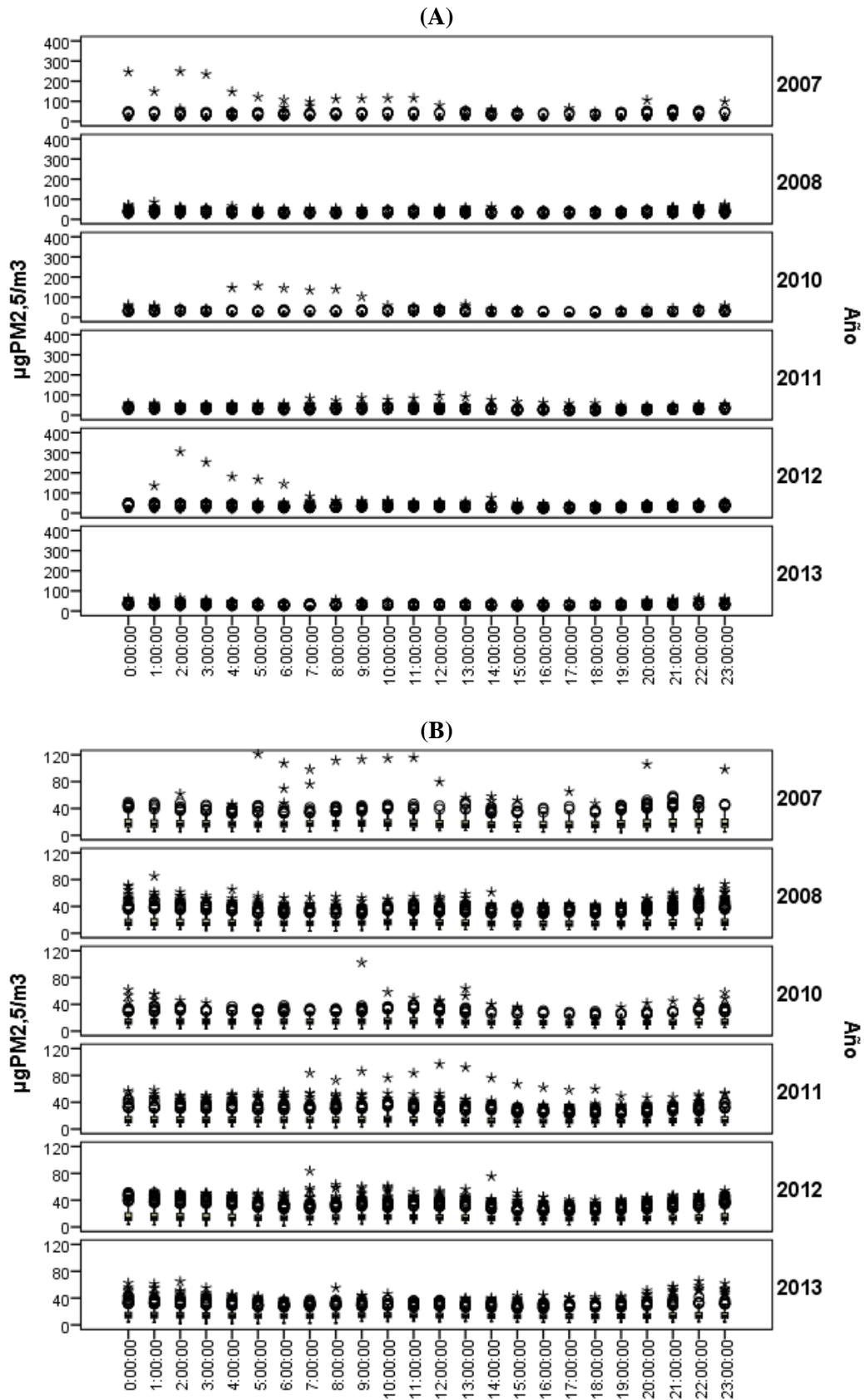


Figura 38. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM<sub>2.5</sub> durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

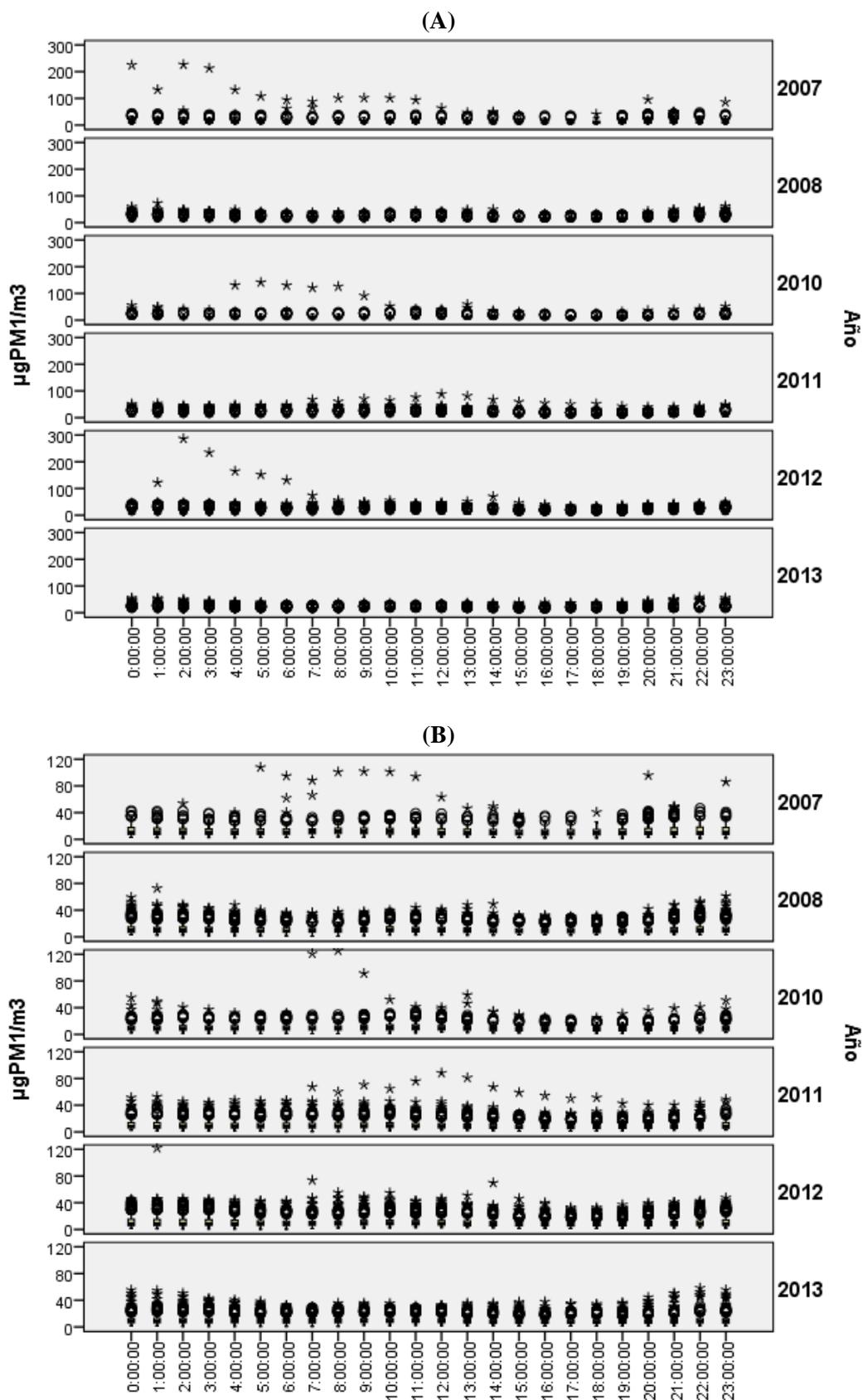


Figura 39. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM<sub>1</sub> durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012 y 2013. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.