

## INFORME FINAL 2014



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:**

- o 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.
- o Centro Meteorológico Territorial de Galicia de A Coruña (Agencia Estatal de Meteorología)
- o 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.....  | 30 |
| CONCLUSIONES.....   | 45 |
| ANEXOS  |    |
| I. Gráficos de control de las condiciones de humedad y temperatura de la sala de<br>balanzas para la pesada de los filtros con materia particulada PM <sub>10</sub> ..... | 47 |
| II. Intercomparación del espectrómetro láser con el equipo gravimétrico.....  | 48 |
| III. Gráficas de los niveles de partículas PM <sub>10</sub> para días laborables y fines de semana<br>(método gravimétrico).....  | 51 |
| IV. Origen de las masas de aire.....  | 54 |
| V. Comparativa de los resultados para los años 2007-2014.....   | 56 |
| Niveles de PM <sub>10</sub> según medida gravimétrica.....  | 56 |
| Niveles de PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> y PM <sub>1</sub> según espectrómetro láser.....  | 63 |



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

Uno de los parámetros incluidos en la evaluación de la calidad de aire 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 2014 en la zona de Os Castros, según el convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña y la UDC. La selección del punto de muestreo se realizó por parte de los autores del estudio conjuntamente con personal del área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de A Coruña.

Los objetivos principales han sido:

- Evaluar los niveles de partículas en suspensión 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.
- Comparar las medidas de PM<sub>10</sub> obtenidas simultáneamente 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.
- Comparar los valores encontrados este año con los de años anteriores: período 2007-2014 (8 años continuados de medidas).

## METODOLOGÍA

### MUESTREO

El punto de muestreo se sitúa en las instalaciones del Complejo Deportivo San Diego (figura 1) en donde se han recogido muestras diarias de PM<sub>10</sub> desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2014.



**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.

En el segundo trimestre no hubo medidas desde el 29 de abril hasta el 30 de junio, por lo que no se realizó el informe correspondiente al no ser representativo del trimestre los 19 días de muestreo (17% de muestras válidas). Sin embargo sí se incluyen en este informe final de carácter anual.



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  $<1 \mu m$ ). El equipo realiza medidas del número de partículas en función del diámetro por medio de la dispersión del haz de un láser. Las partículas penetran en el equipo y generan señales a diferentes longitudes de onda en función de su diámetro, que son registradas por el detector. El número de cuentas por cada fracción granulométrica es convertido a masa por medio de un algoritmo y finalmente expresado en  $\mu g/m^3$  de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_1$ . 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  $PM_{10}$ .

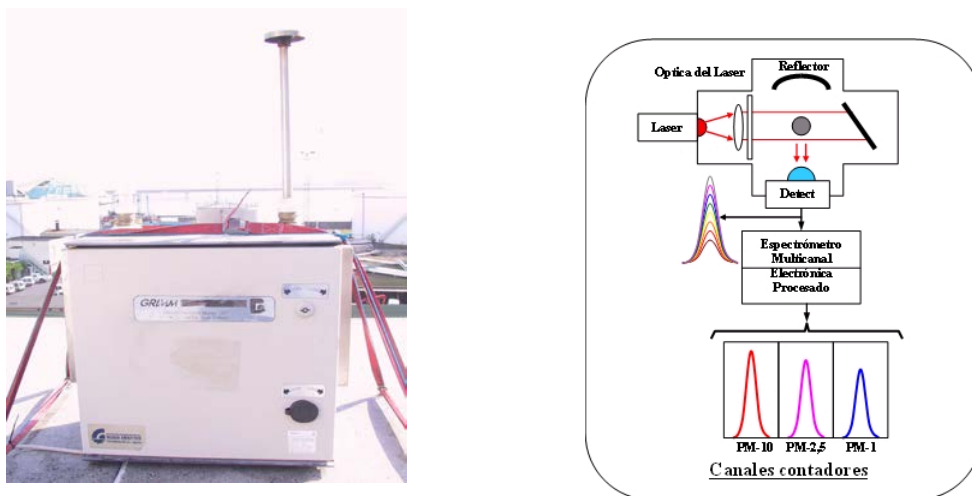


Figura 3. Fotografía y esquema de funcionamiento (cortesía de SIR S.A) del espectrómetro láser GRIMM 1107.



## 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. 47).

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

Dada la importancia de la medida de los niveles de partículas PM<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 22 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 55% del valor límite como media anual, es decir, un poco por encima del 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 se han producido 6 superaciones del valor límite diario de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Hay que tener en cuenta que este año 2014 el porcentaje de datos válidos ha sido del 72%, no alcanzando el 90% que indica la normativa como mínimo. El valor máximo de 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  se produce en el primer trimestre (mes de marzo) y el mínimo de 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en el tercer trimestre (mes de julio).

**Tabla IV. Resumen de los niveles de PM<sub>10</sub> en las muestras recogidas durante el año 2014.**

|   |     |
|---|-----|
| Nº muestras recogidas   | 263 |
| Cobertura temporal (relativa al año civil)                                    | 72% |
| VALOR MÁXIMO PROMEDIO DIARIO de PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 65  |
| VALOR MÍNIMO PROMEDIO DIARIO de PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | 3   |
| Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$        | 6   |
| VALOR MEDIO ANUAL de PM <sub>10</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )            | 22  |

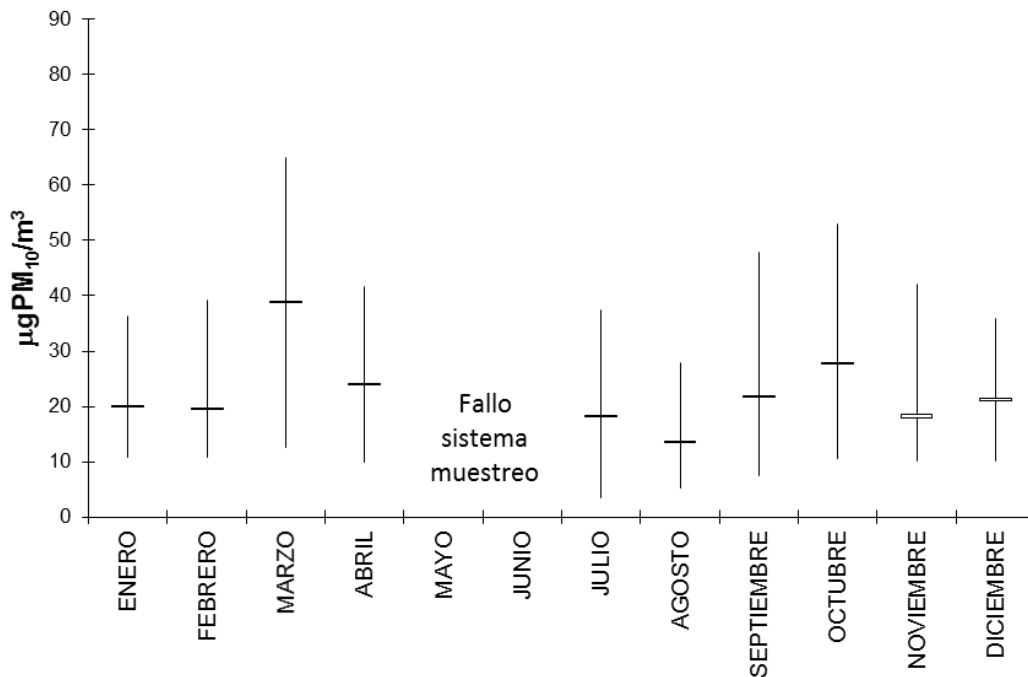
La tabla V y la figura 4 recogen los niveles medios mensuales de PM<sub>10</sub> que oscilan entre 14  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de agosto y los 39  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de marzo.

Los valores máximos diarios se producen en los meses de marzo con 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  y septiembre-octubre, con 48 y 53  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivamente, disminuyendo hasta los 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en agosto. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 3-5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de los meses de julio-agosto y los 13  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  del mes de marzo.

En la tabla también se indica la distribución por mes del número de superaciones del valor límite diario, observando que durante este año se han producido 6 superaciones, de las que 5 (83,3%) tuvieron lugar en marzo.

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

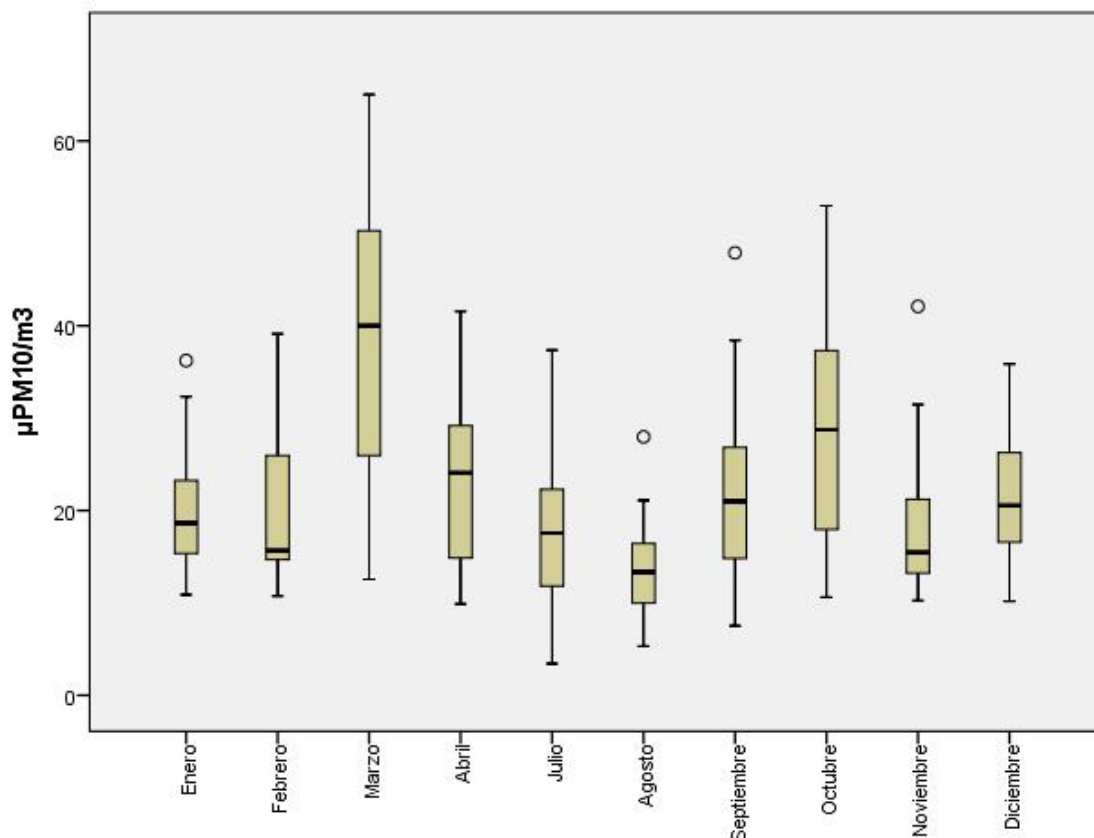
|            | Media                | Mínimo          | Máximo          | nº              |
|------------|----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
|            | (μg/m <sup>3</sup> ) |                 |                 | superaciones    |
| Enero      | 20                   | 11              | 36              | 0               |
| Febrero    | 20                   | 11              | 39              | 0               |
| Marzo      | 39                   | 13              | 65              | 5               |
| Abril      | 24                   | 10              | 42              | 0               |
| Mayo       | <i>sin dato</i>      | <i>sin dato</i> | <i>sin dato</i> | <i>sin dato</i> |
| Junio      | <i>sin dato</i>      | <i>sin dato</i> | <i>sin dato</i> | <i>sin dato</i> |
| Julio      | 18                   | 3               | 37              | 0               |
| Agosto     | 14                   | 5               | 28              | 0               |
| Septiembre | 22                   | 8               | 48              | 0               |
| Octubre    | 28                   | 11              | 53              | 1               |
| Noviembre  | 18                   | 10              | 42              | 0               |
| Diciembre  | 21                   | 10              | 36              | 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 la variación estacional en el punto de muestreo con los valores más altos en los meses de marzo-abril y septiembre-octubre.



° 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> para todos los meses del año. Un 6,1% de los días superan los 40 µg/m<sup>3</sup>, un 17,1% superan los 30 µg/m<sup>3</sup> y un 43,4% superan los 20 µg/m<sup>3</sup>.

En relación con los valores de UES y UEI de la media diaria, indicar que un 12,2% de las muestras (32 días) superan el UES de 35 µg/m<sup>3</sup> y un 28,1% (74 días) superan el UEI de 25 µg/m<sup>3</sup>. Se han superado las 35 ocasiones como máximo permitidas durante un año civil de superación del UEI (25 µg/m<sup>3</sup>) para la media diaria de PM<sub>10</sub>.

Sin embargo el valor medio anual obtenido de 22 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<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | FEBRERO<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | MARZO<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--|--|-----------------|--|--|---------------|--|--|
| Miércoles 1   | 18                                       | 0,7                                      | Sábado 1        | 26                                       | 0,7                                      | Sábado 1      | 13                                       | 0,6                                      |
| Jueves 2      | 11                                       | 0,6                                      | Domingo 2       | 12                                       | 0,6                                      | Domingo 2     | 19                                       | 0,7                                      |
| Viernes 3     | 14                                       | 0,6                                      | Lunes 3         | 16                                       | 0,7                                      | Lunes 3       | 40                                       | 0,9                                      |
| Sábado 4      | 18                                       | 0,7                                      | Martes 4        | 15                                       | 0,6                                      | Martes 4      | 24                                       | 0,7                                      |
| Domingo 5     | 11                                       | 0,6                                      | Miércoles 5     | 26                                       | 0,7                                      | Miércoles 5   | 22                                       | 0,7                                      |
| Lunes 6       | 20                                       | 0,7                                      | Jueves 6        | 15                                       | 0,6                                      | Jueves 6      | 21                                       | 0,7                                      |
| Martes 7      | 32                                       | 0,8                                      | Viernes 7       | 15                                       | 0,6                                      | Viernes 7     | 34                                       | 0,8                                      |
| Miércoles 8   | 26                                       | 0,7                                      | Sábado 8        | 31                                       | 0,8                                      | Sábado 8      | 47                                       | 1,0                                      |
| Jueves 9      | 21                                       | 0,7                                      | Domingo 9       | <i>sin dato</i>                          | -  | Domingo 9     | 31                                       | 0,8                                      |
| Viernes 10    | 32                                       | 0,8                                      | Lunes 10        | <i>sin dato</i>                          | -  | Lunes 10      | 54                                       | 1,1                                      |
| Sábado 11     | 30                                       | 0,8                                      | Martes 11       | <i>sin dato</i>                          | -  | Martes 11     | 41                                       | 0,9                                      |
| Domingo 12    | 19                                       | 0,7                                      | Miércoles 12    | <i>sin dato</i>                          | -  | Miércoles 12  | 57                                       | 1,1                                      |
| Lunes 13      | 16                                       | 0,7                                      | Jueves 13       | <i>sin dato</i>                          | -  | Jueves 13     | 57                                       | 1,1                                      |
| Martes 14     | 23                                       | 0,7                                      | Viernes 14      | <i>sin dato</i>                          | -  | Viernes 14    | 65                                       | 1,2                                      |
| Miércoles 15  | 16                                       | 0,6                                      | Sábado 15       | 13                                       | 0,6                                      | Sábado 15     | 49                                       | 1,0                                      |
| Jueves 16     | 15                                       | 0,6                                      | Domingo 16      | 11                                       | 0,6                                      | Domingo 16    | 52                                       | 1,0                                      |
| Viernes 17    | 12                                       | 0,6                                      | Lunes 17        | 11                                       | 0,6                                      | Lunes 17      | 46                                       | 1,0                                      |
| Sábado 18     | 14                                       | 0,6                                      | Martes 18       | 15                                       | 0,6                                      | Martes 18     | 28                                       | 0,8                                      |
| Domingo 19    | 18                                       | 0,7                                      | Miércoles 19    | 11                                       | 0,6                                      | Miércoles 19  | 40                                       | 0,9                                      |
| Lunes 20      | 19                                       | 0,7                                      | Jueves 20       | 15                                       | 0,6                                      | Jueves 20     | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Martes 21     | 17                                       | 0,7                                      | Viernes 21      | 15                                       | 0,6                                      | Viernes 21    | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Miércoles 22  | 36                                       | 0,9                                      | Sábado 22       | 21                                       | 0,7                                      | Sábado 22     | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Jueves 23     | <i>sin dato</i>                          | -  | Domingo 23      | 16                                       | 0,7                                      | Domingo 23    | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Viernes 24    | <i>sin dato</i>                          | -  | Lunes 24        | 17                                       | 0,7                                      | Lunes 24      | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Sábado 25     | <i>sin dato</i>                          | -  | Martes 25       | 29                                       | 0,8                                      | Martes 25     | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Domingo 26    | <i>sin dato</i>                          | -  | Miércoles 26    | 25                                       | 0,7                                      | Miércoles 26  | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Lunes 27      | <i>sin dato</i>                          | -  | Jueves 27       | 39                                       | 0,9                                      | Jueves 27     | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Martes 28     | <i>sin dato</i>                          | -  | Viernes 28      | 39                                       | 0,9                                      | Viernes 20    | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Miércoles 29  | <i>sin dato</i>                          | -  |                 |  |  | Sábado 29     | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Jueves 30     | 24                                       | 0,7                                      |                 |  |  | Domingo 30    | <i>sin dato</i>                          | -  |
| Viernes 31    | 20                                       | 0,7                                      |                 |  |  | Lunes 31      | <i>sin dato</i>                          | -  |

(\*) U: incertidumbre

(continúa)

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

| ABRIL<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U(*)<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | MAYO<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U(*)<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | JUNIO<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U(*)<br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--|------------------------------|--------------|--|------------------------------|---------------|--|------------------------------|
| Martes 1      | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Miércoles 2   | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Jueves 3      | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Viernes 4     | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Sábado 5      | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Domingo 6     | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Lunes 7       | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Martes 8      | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Miércoles 9   | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Jueves 10     | 39                                       | 0,9                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Viernes 11    | 30                                       | 0,8                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Sábado 12     | 28                                       | 0,8                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Domingo 13    | 27                                       | 0,7                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Lunes 14      | 41                                       | 0,9                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Martes 15     | 42                                       | 0,9                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Miércoles 16  | 28                                       | 0,8                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Jueves 17     | 28                                       | 0,8                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Viernes 18    | 30                                       | 0,8                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Sábado 19     | 12                                       | 0,6                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Domingo 20    | 14                                       | 0,6                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Lunes 21      | 20                                       | 0,7                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Martes 22     | 15                                       | 0,6                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Miércoles 23  | 19                                       | 0,7                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Jueves 24     | 14                                       | 0,6                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Viernes 25    | 10                                       | 0,6                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Sábado 26     | 24                                       | 0,7                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Domingo 27    | 23                                       | 0,7                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Lunes 28      | 13                                       | 0,6                          |              |  |                              |               |  |                              |
| Martes 29     | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |
| Miércoles 30  | <i>sin dato</i>                          | -                            |              |  |                              |               |  |                              |

Sin datos por fallo del  
equipo de muestreo:  
mantenimiento,  
actualización y  
calibración

(\*) U: incertidumbre

(continúa)



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

| JULIO<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | AGOSTO<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | SEPTIEMBRE<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|--|--|----------------|--|--|--------------------|--|--|
| Martes 1      | 14                                       | 0,7                                      | Viernes 1      | 13                                       | 0,6                                      | Lunes 1            | 28                                       | 0,9                                      |
| Miércoles 2   | 29                                       | 0,9                                      | Sábado 2       | 5  | 0,6                                      | Martes 2           | 48                                       | 1,2                                      |
| Jueves 3      | 28                                       | 0,9                                      | Domingo 3      | 8  | 0,6                                      | Miércoles 3        | 34                                       | 1,0                                      |
| Viernes 4     | 13                                       | 0,7                                      | Lunes 4        | 16                                       | 0,7                                      | Jueves 4           | 26                                       | 0,9                                      |
| Sábado 5      | 3  | 0,6                                      | Martes 5       | 14                                       | 0,7                                      | Viernes 5          | 20                                       | 0,8                                      |
| Domingo 6     | 11                                       | 0,6                                      | Miércoles 6    | 9  | 0,6                                      | Sábado 6           | 11                                       | 0,7                                      |
| Lunes 7       | 15                                       | 0,7                                      | Jueves 7       | 9  | 0,6                                      | Domingo 7          | 8  | 0,7                                      |
| Martes 8      | 20                                       | 0,7                                      | Viernes 8      | 9  | 0,6                                      | Lunes 8            | 16                                       | 0,7                                      |
| Miércoles 9   | 16                                       | 0,7                                      | Sábado 9       | 10                                       | 0,6                                      | Martes 9           | 21                                       | 0,8                                      |
| Jueves 10     | 17                                       | 0,7                                      | Domingo 10     | 7  | 0,6                                      | Miércoles 10       | 23                                       | 0,8                                      |
| Viernes 11    | 13                                       | 0,7                                      | Lunes 11       | 16                                       | 0,7                                      | Jueves 11          | 24                                       | 0,8                                      |
| Sábado 12     | 7  | 0,6                                      | Martes 12      | 11                                       | 0,6                                      | Viernes 12         | 22                                       | 0,8                                      |
| Domingo 13    | 8  | 0,6                                      | Miércoles 13   | 20                                       | 0,7                                      | Sábado 13          | 24                                       | 0,8                                      |
| Lunes 14      | 12                                       | 0,6                                      | Jueves 14      | 16                                       | 0,7                                      | Domingo 14         | 15                                       | 0,7                                      |
| Martes 15     | 22                                       | 0,8                                      | Viernes 15     | 12                                       | 0,6                                      | Lunes 15           | 14                                       | 0,7                                      |
| Miércoles 16  | <i>sin dato</i>                          | -  | Sábado 16      | 14                                       | 0,7                                      | Martes 16          | 10                                       | 0,7                                      |
| Jueves 17     | 20                                       | 0,7                                      | Domingo 17     | 13                                       | 0,7                                      | Miércoles 17       | 10                                       | 0,7                                      |
| Viernes 18    | 11                                       | 0,6                                      | Lunes 18       | 20                                       | 0,7                                      | Jueves 18          | 8  | 0,7                                      |
| Sábado 19     | 8  | 0,6                                      | Martes 19      | 17                                       | 0,7                                      | Viernes 19         | 10                                       | 0,7                                      |
| Domingo 20    | 10                                       | 0,6                                      | Miércoles 20   | 16                                       | 0,7                                      | Sábado 20          | 15                                       | 0,8                                      |
| Lunes 21      | 20                                       | 0,7                                      | Jueves 21      | 16                                       | 0,7                                      | Domingo 21         | 18                                       | 0,8                                      |
| Martes 22     | 21                                       | 0,7                                      | Viernes 22     | 14                                       | 0,7                                      | Lunes 22           | 17                                       | 1,0                                      |
| Miércoles 23  | 22                                       | 0,8                                      | Sábado 23      | 9  | 0,6                                      | Martes 23          | 32                                       | 1,1                                      |
| Jueves 24     | 37                                       | 1,0                                      | Domingo 24     | 10                                       | 0,6                                      | Miércoles 24       | 37                                       | 1,1                                      |
| Viernes 25    | 37                                       | 1,0                                      | Lunes 25       | 11                                       | 0,6                                      | Jueves 25          | 38                                       | 0,9                                      |
| Sábado 26     | 25                                       | 0,8                                      | Martes 26      | 10                                       | 0,6                                      | Viernes 26         | 27                                       | 0,9                                      |
| Domingo 27    | 21                                       | 0,7                                      | Miércoles 27   | 12                                       | 0,6                                      | Sábado 27          | 29                                       | 0,8                                      |
| Lunes 28      | 27                                       | 0,8                                      | Jueves 28      | 15                                       | 0,7                                      | Domingo 28         | 24                                       | 0,8                                      |
| Martes 29     | 18                                       | 0,7                                      | Viernes 29     | 28                                       | 0,9                                      | Lunes 29           | 17                                       | 0,8                                      |
| Miércoles 30  | 17                                       | 0,7                                      | Sábado 30      | 21                                       | 0,7                                      | Martes 30          | 21                                       | 0,7                                      |
| Jueves 31     | 24                                       | 0,8                                      | Domingo 31     | 21                                       | 0,7                                      |                    |  |  |

(\*) U: incertidumbre

(continúa)

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

| OCTUBRE<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | NOVIEMBRE<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | DICIEMBRE<br>2014 | PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | U <sup>(*)</sup><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|-----------------|--|--|-------------------|--|--|-------------------|--|--|
| Miércoles 1     | 30                                       | 0,9                                      | Sábado 1          | 15                                       | 0,7                                      | Lunes 1           | 26                                       | 0,9                                      |
| Jueves 2        | 29                                       | 0,9                                      | Domingo 2         | 16                                       | 0,8                                      | Martes 2          | 18                                       | 0,8                                      |
| Viernes 3       | 32                                       | 1,0                                      | Lunes 3           | 13                                       | 0,7                                      | Miércoles 3       | 21                                       | 0,8                                      |
| Sábado 4        | 15                                       | 0,7                                      | Martes 4          | 20                                       | 0,8                                      | Jueves 4          | 21                                       | 0,8                                      |
| Domingo 5       | 18                                       | 0,8                                      | Miércoles 5       | 20                                       | 0,8                                      | Viernes 5         | 22                                       | 0,8                                      |
| Lunes 6         | 14                                       | 0,7                                      | Jueves 6          | 10                                       | 0,7                                      | Sábado 6          | 20                                       | 0,8                                      |
| Martes 7        | 18                                       | 0,8                                      | Viernes 7         | 25                                       | 0,9                                      | Domingo 7         | 16                                       | 0,8                                      |
| Miércoles 8     | 18                                       | 0,8                                      | Sábado 8          | 11                                       | 0,7                                      | Lunes 8           | 17                                       | 0,8                                      |
| Jueves 9        | 25                                       | 0,9                                      | Domingo 9         | 12                                       | 0,7                                      | Martes 9          | 30                                       | 1,0                                      |
| Viernes 10      | 24                                       | 0,8                                      | Lunes 10          | 13                                       | 0,7                                      | Miércoles 10      | 17                                       | 0,8                                      |
| Sábado 11       | 21                                       | 0,8                                      | Martes 11         | 12                                       | 0,7                                      | Jueves 11         | 36                                       | 1,1                                      |
| Domingo 12      | 19                                       | 0,8                                      | Miércoles 12      | 15                                       | 0,7                                      | Viernes 12        | 10                                       | 0,7                                      |
| Lunes 13        | 11                                       | 0,7                                      | Jueves 13         | 14                                       | 0,7                                      | Sábado 13         | 14                                       | 0,7                                      |
| Martes 14       | 16                                       | 0,7                                      | Viernes 14        | 12                                       | 0,7                                      | Domingo 14        | 27                                       | 0,9                                      |
| Miércoles 15    | 11                                       | 0,7                                      | Sábado 15         | 20                                       | 0,8                                      | Lunes 15          | 20                                       | 0,8                                      |
| Jueves 16       | <i>sin dato</i>                          | -  | Domingo 16        | 16                                       | 0,8                                      | Martes 16         | 15                                       | 0,7                                      |
| Viernes 17      | <i>sin dato</i>                          | -  | Lunes 17          | 20                                       | 0,8                                      | Miércoles 17      | 15                                       | 0,8                                      |
| Sábado 18       | <i>sin dato</i>                          | -  | Martes 18         | 14                                       | 0,7                                      | Jueves 18         | 16                                       | 0,8                                      |
| Domingo 19      | <i>sin dato</i>                          | -  | Miércoles 19      | 26                                       | 0,9                                      | Viernes 19        | 17                                       | 0,8                                      |
| Lunes 20        | <i>sin dato</i>                          | -  | Jueves 20         | 21                                       | 0,8                                      | Sábado 20         | 20                                       | 0,8                                      |
| Martes 21       | <i>sin dato</i>                          | -  | Viernes 21        | 31                                       | 1,0                                      | Domingo 21        | 25                                       | 0,9                                      |
| Miércoles 22    | 32                                       | 1,0                                      | Sábado 22         | 13                                       | 0,7                                      | Lunes 22          | 22                                       | 0,8                                      |
| Jueves 23       | 41                                       | 1,1                                      | Domingo 23        | 13                                       | 0,7                                      | Martes 23         | 23                                       | 0,9                                      |
| Viernes 24      | 53                                       | 1,4                                      | Lunes 24          | 15                                       | 0,7                                      | Miércoles 24      | 30                                       | 1,0                                      |
| Sábado 25       | 48                                       | 1,3                                      | Martes 25         | 31                                       | 1,0                                      | Jueves 25         | 31                                       | 1,0                                      |
| Domingo 26      | 39                                       | 1,1                                      | Miércoles 26      | 28                                       | 0,9                                      | Viernes 26        | 17                                       | 0,8                                      |
| Lunes 27        | 40                                       | 1,1                                      | Jueves 27         | 13                                       | 0,7                                      | Sábado 27         | 28                                       | 0,9                                      |
| Martes 28       | 38                                       | 1,1                                      | Viernes 28        | 16                                       | 0,7                                      | Domingo 28        | 16                                       | 0,8                                      |
| Miércoles 29    | 37                                       | 1,0                                      | Sábado 29         | 25                                       | 0,9                                      | Lunes 29          | 22                                       | 0,9                                      |
| Jueves 30       | 37                                       | 1,1                                      | Domingo 30        | 42                                       | 1,1                                      | Martes 30         | 27                                       | 0,9                                      |
| Viernes 31      | 29                                       | 0,9                                      |                   |  |  | Miércoles 31      | 31                                       | 1,0                                      |

(\*) U: incertidumbre

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

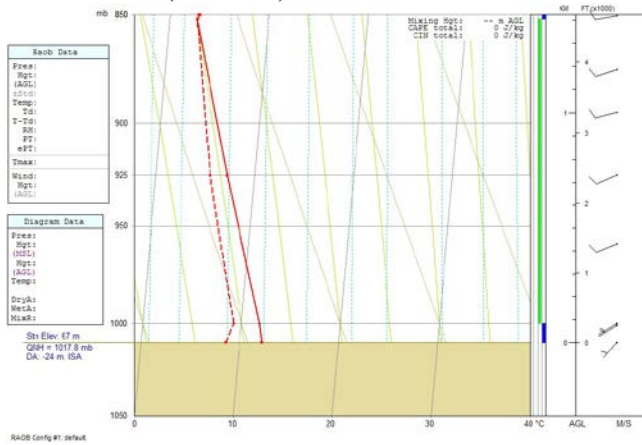
La capa límite atmosférica o capa de mezcla representa el estrato de aire sujeto a la influencia de la superficie terrestre. La determinación de la altura de capa de mezcla nos permite conocer la profundidad vertical de la atmósfera donde se produce el mezclado y dispersión de los contaminantes, de ahí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

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

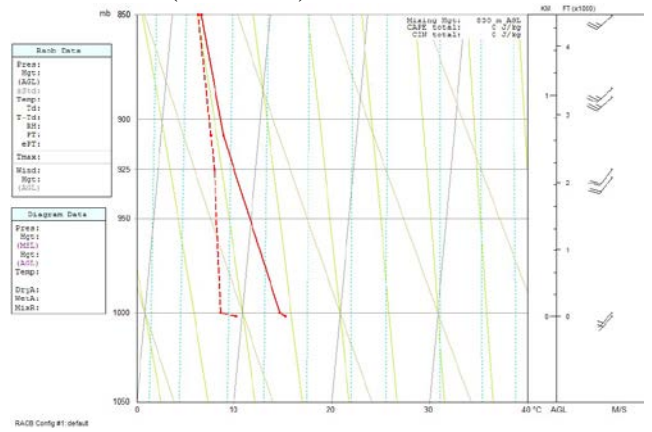
Lo interesante sería conocer la variación horaria de la misma a lo largo del día, lo cual no se realiza en este estudio. No obstante y con las limitaciones que presenta se han calculado las alturas de la capa de mezcla mediante el programa RAOB 5.7 (*RAwinsonde OBservation, Environmental Research Services,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

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

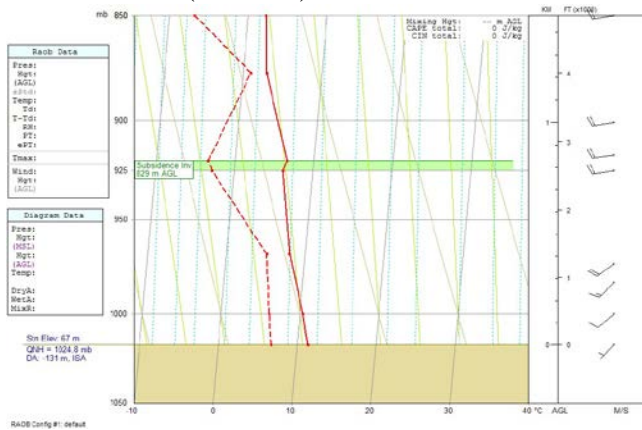
15 de enero (0h UTC)



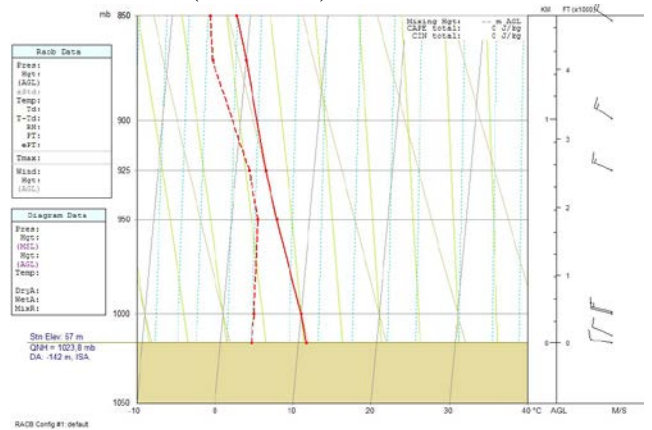
15 de enero (12h UTC)



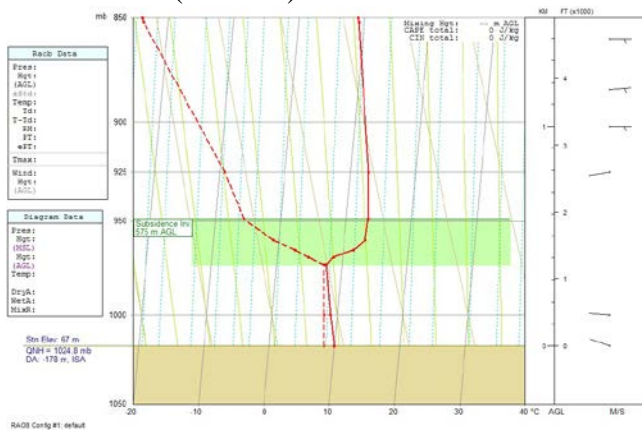
28 de febrero (0h UTC)



28 de febrero (12h UTC)



14 de marzo (0h UTC)



14 de marzo (12h UTC)

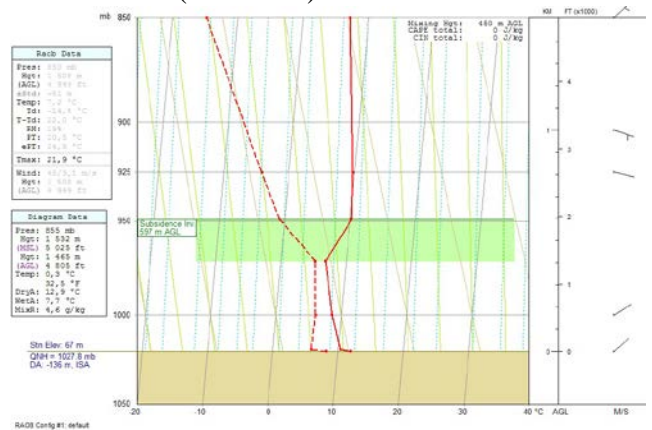
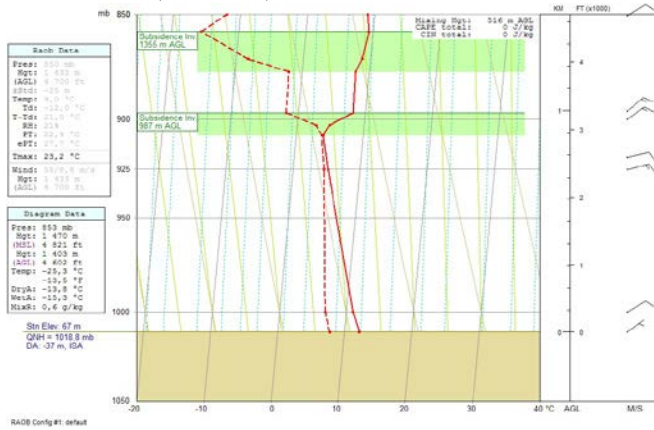
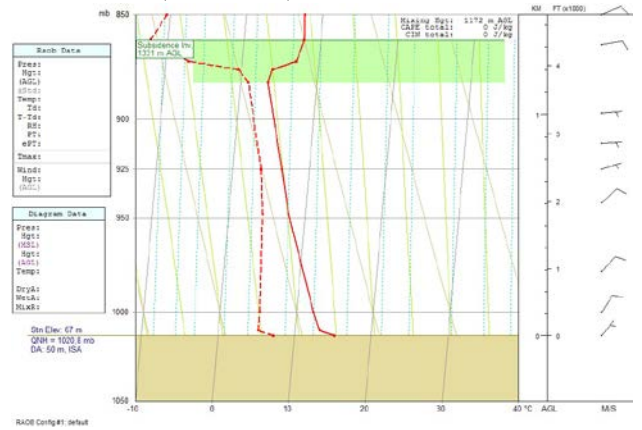


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

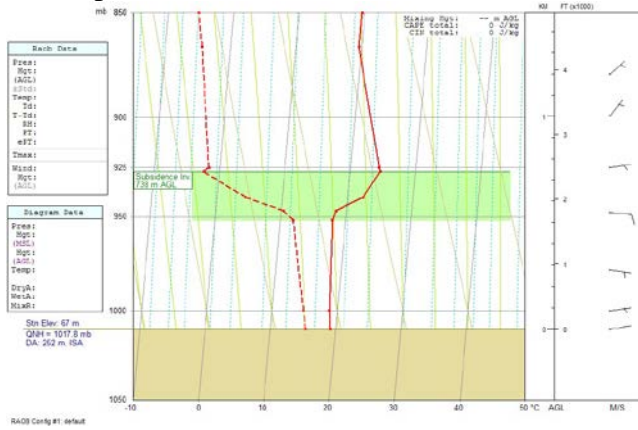
12 de abril (0h UTC)



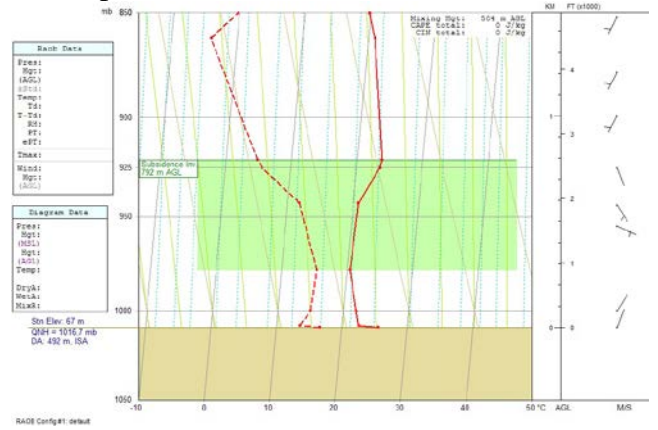
12 de abril (12h UTC)



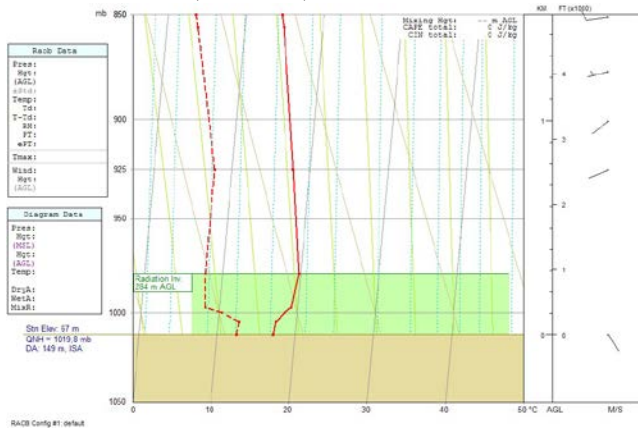
1 de septiembre (0h UTC)



1 de septiembre (12h UTC)



25 de octubre (0h UTC)



25 de octubre (12h UTC)

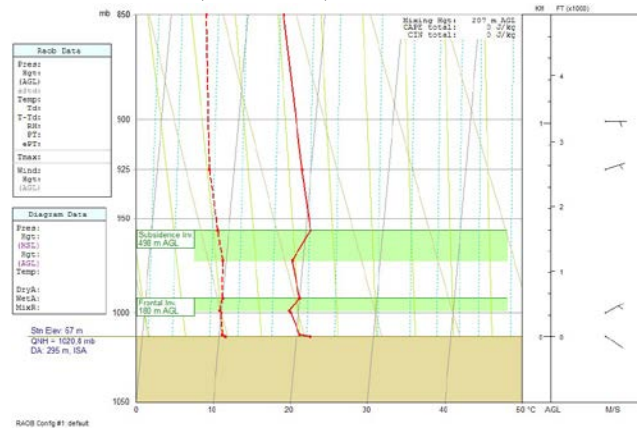
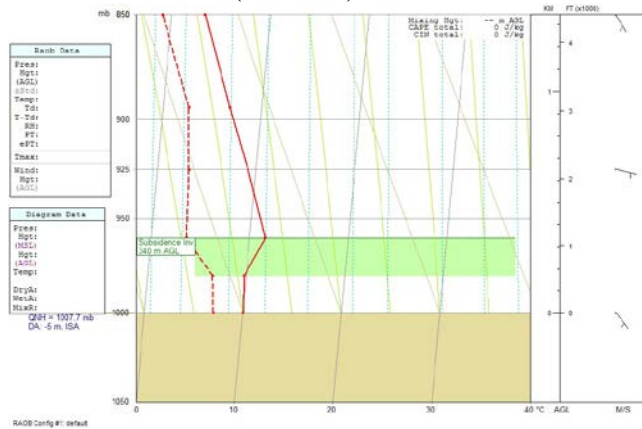
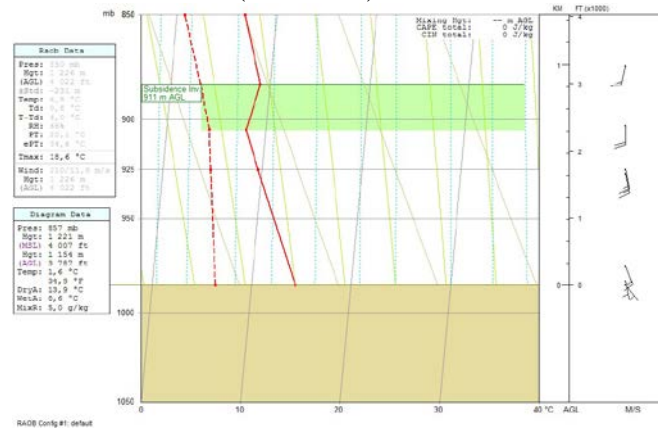


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB. (continúa)

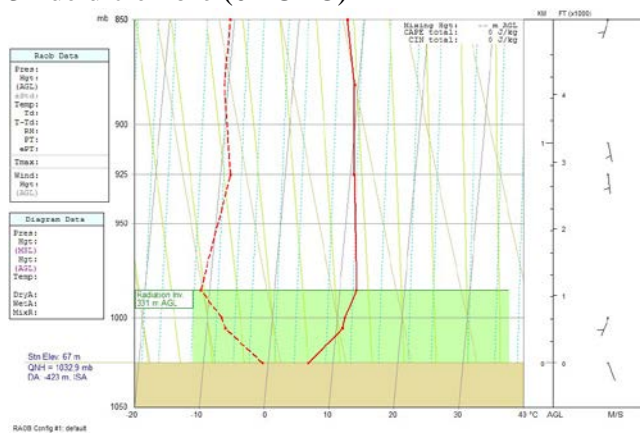
27 de noviembre (0h UTC)



27 de noviembre (12h UTC)



31 de diciembre (0h UTC)



31 de diciembre (12h UTC)

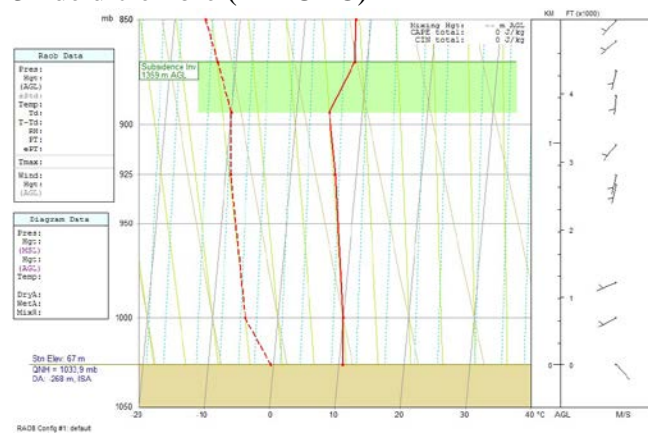


Figura 6. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB.

A continuación, en la figura 7 se expresan los resultados en forma de gráfica donde se pueden ver la evolución de los niveles diarios de  $PM_{10}$ , para cada mes. 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,  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Los niveles de partículas son ligeramente inferiores a los alcanzados en el año pasado. En los meses de enero, febrero, abril, julio, agosto, septiembre, noviembre y diciembre los valores están por debajo del UEI. Siempre los niveles un poco más elevados se producen en períodos continuados de 4-5 días.

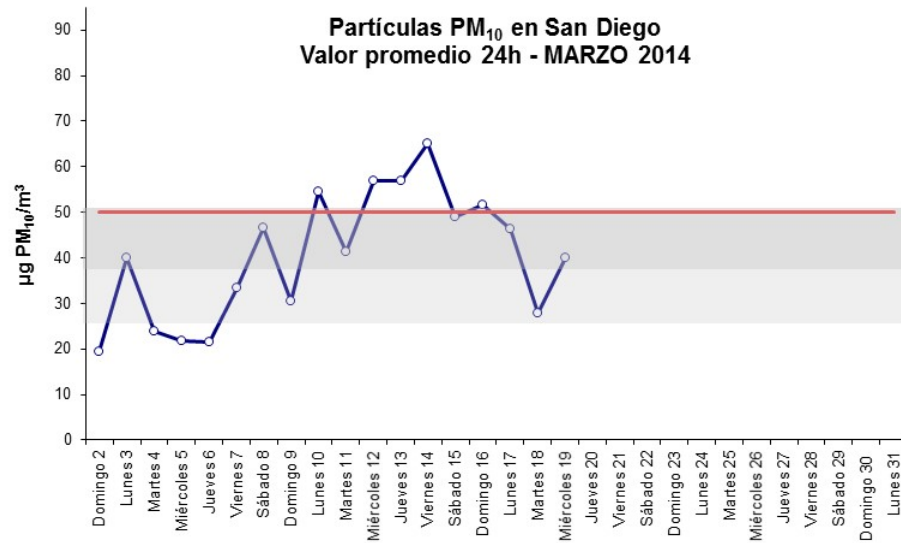
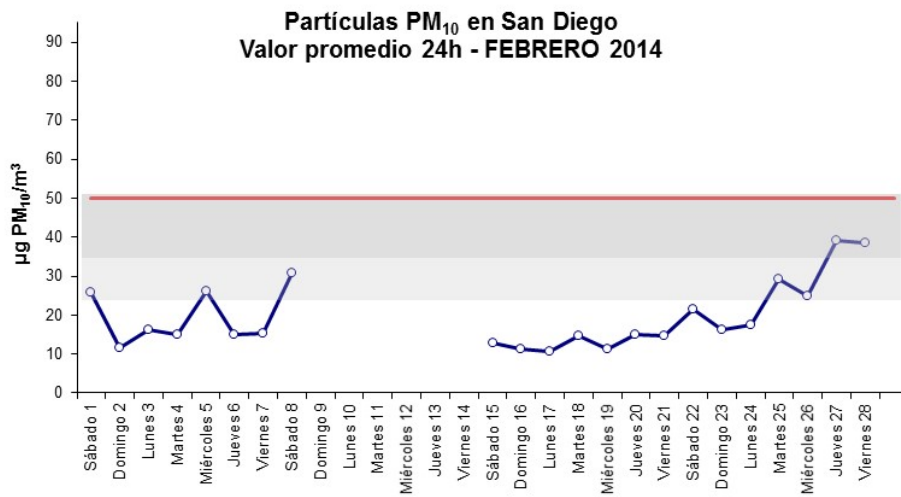
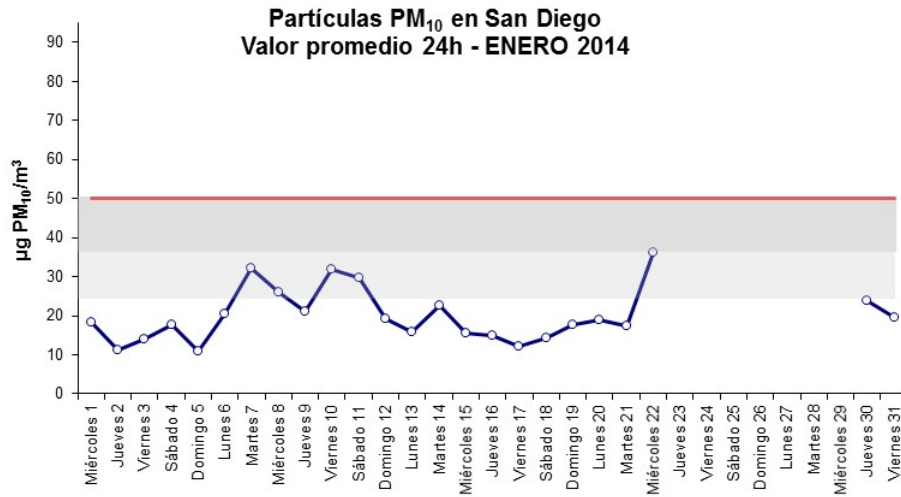


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>. (continúa)

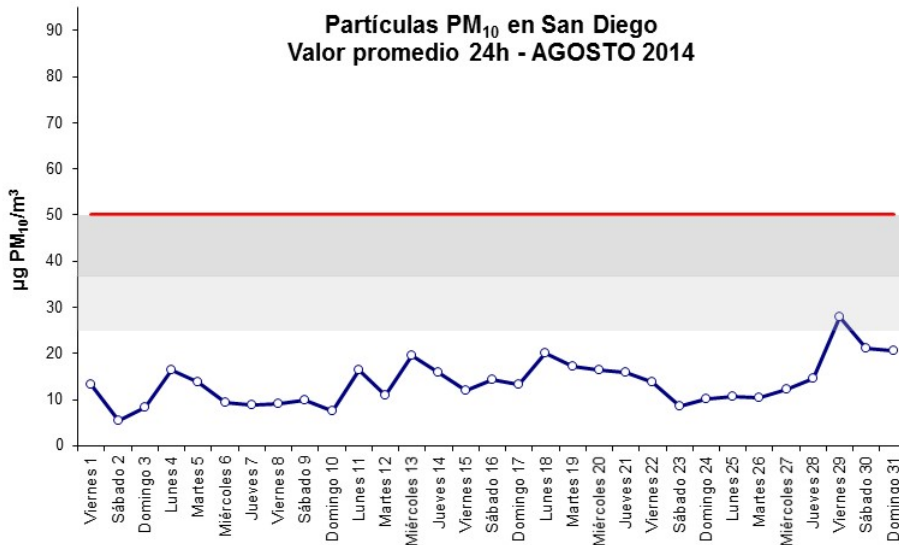
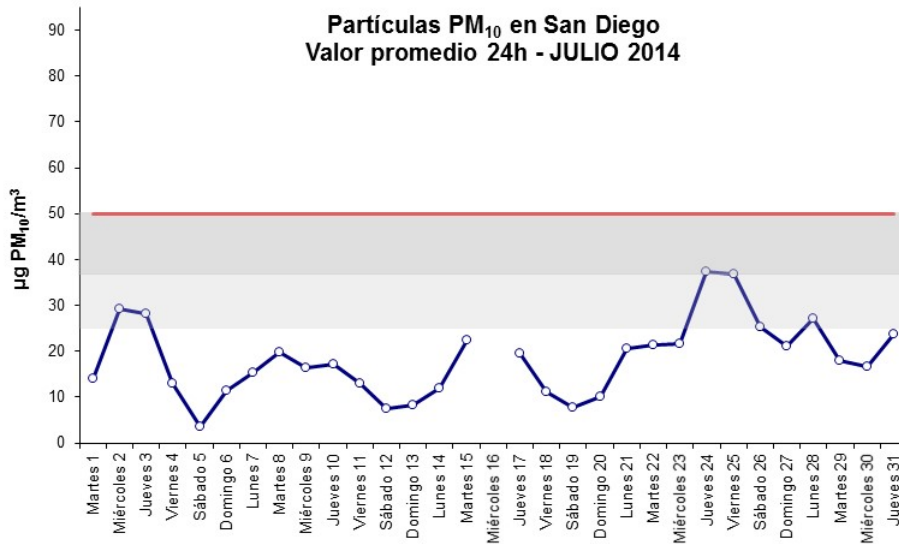
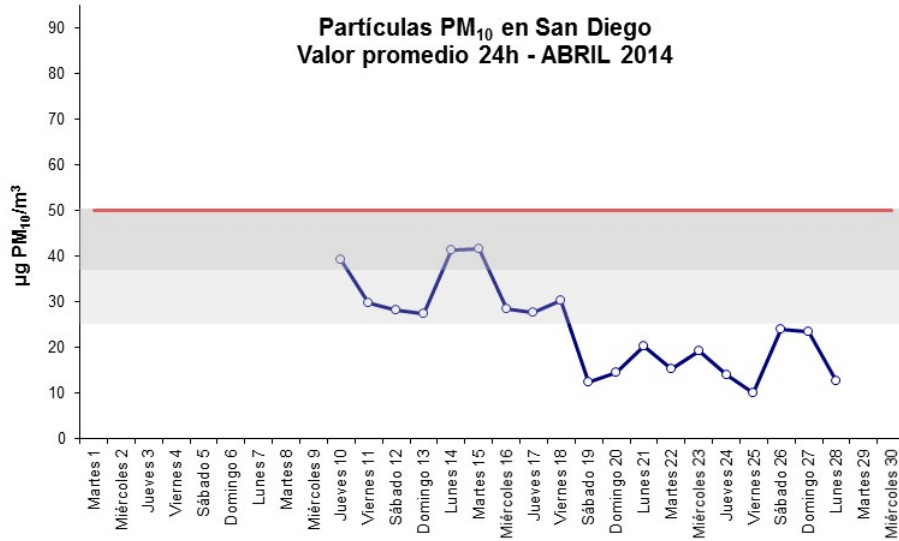


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>. (continúa)



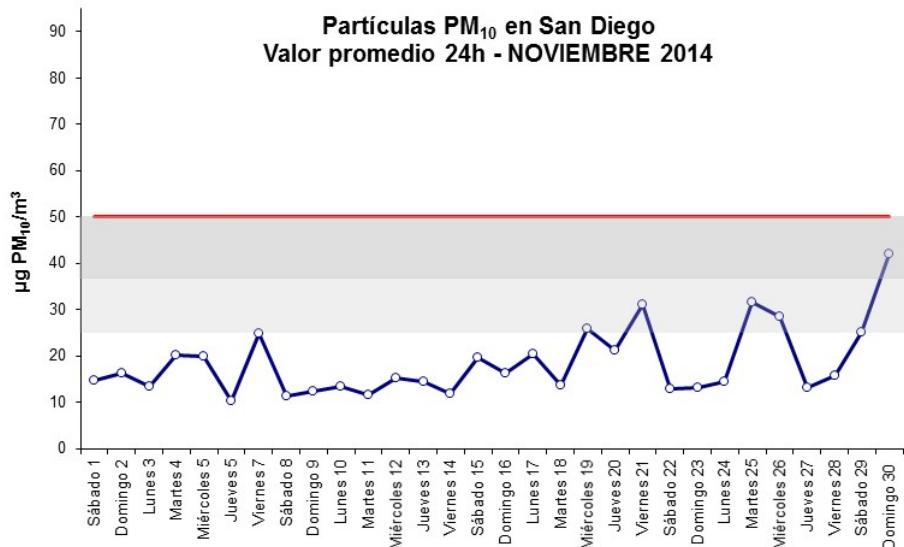
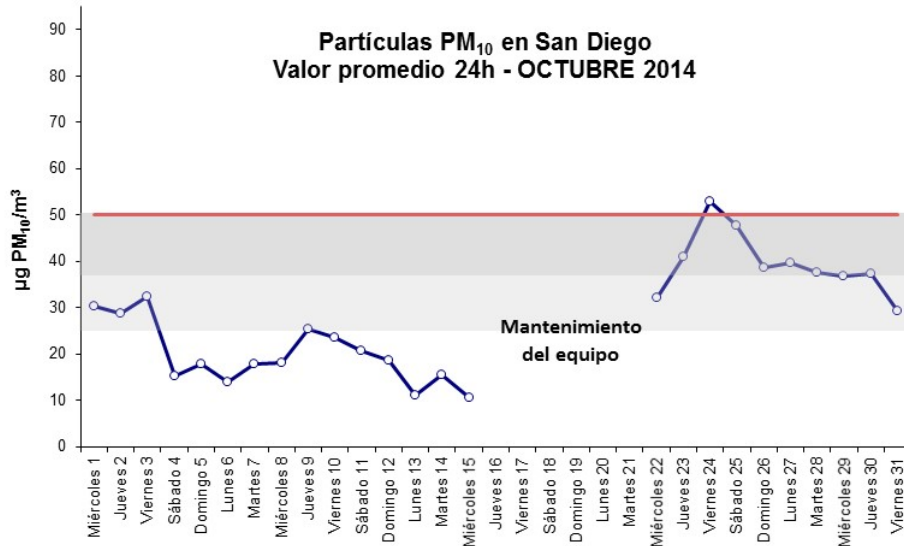
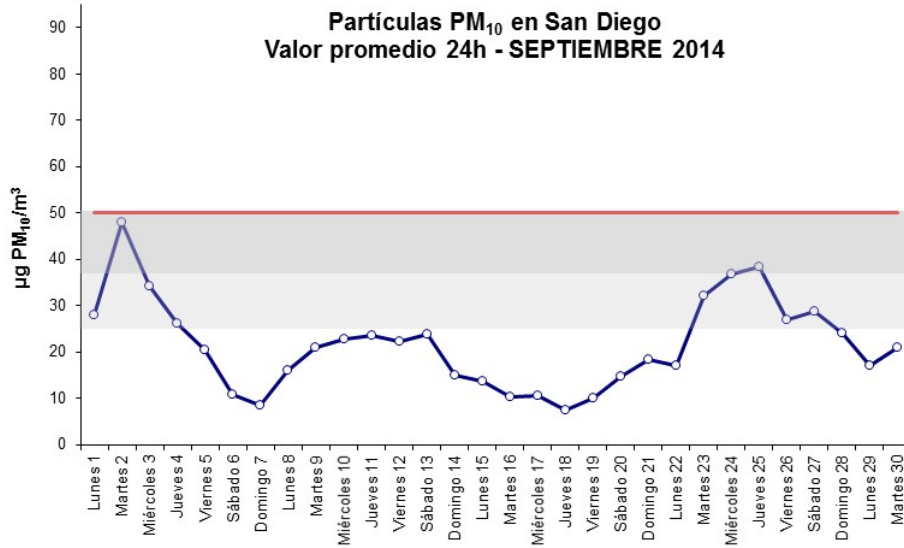


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>. (continúa)

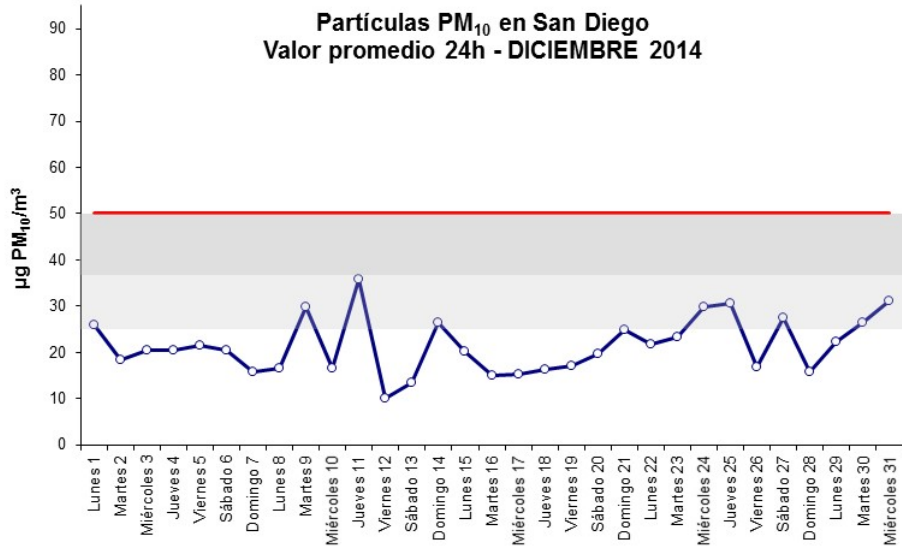


Figura 7. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM<sub>10</sub>.

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

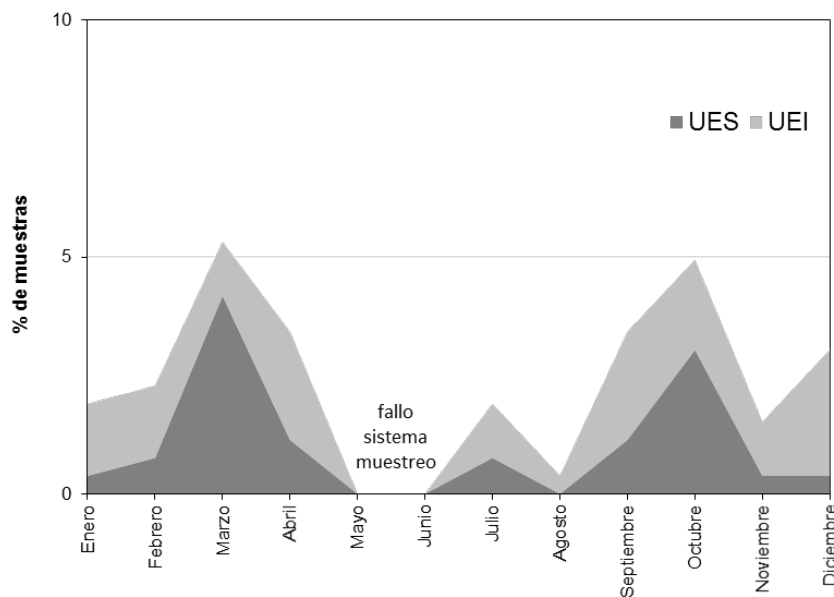


Figura 8. Evolución mensual del porcentaje de muestras que superan los UEI y UES.

Para evaluar la influencia de la precipitación en los niveles de materia particulada PM<sub>10</sub> se ha representado el sumatorio de la precipitación acumulada en un mes frente a la media mensual de los niveles de PM<sub>10</sub> (figura 9).

Los datos de precipitación han sido obtenidos en la estación de inmisión "Pablo Iglesias" situada en el Castrillón perteneciente al Ayuntamiento de A Coruña. Así, se

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

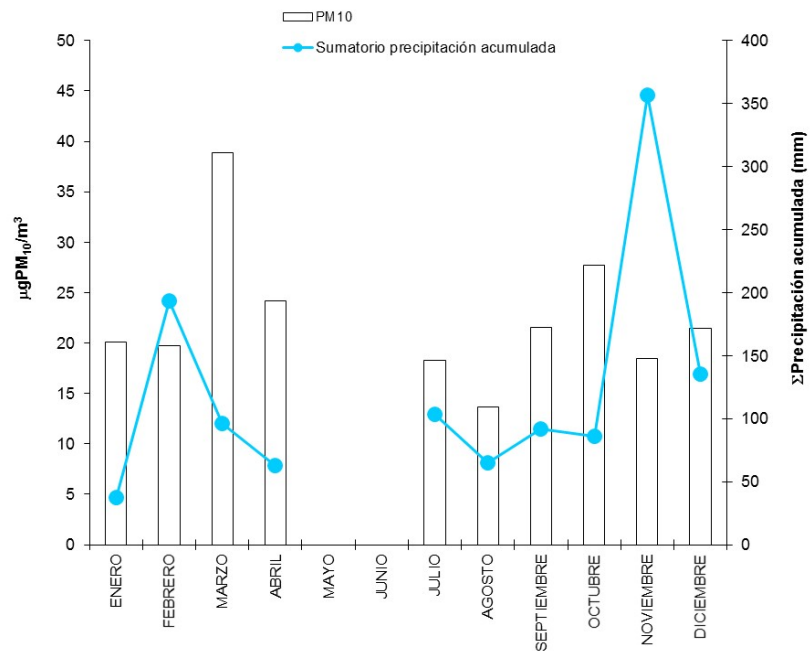


Figura 9. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y de sumatorio de precipitación acumulada.

Para una discusión más detallada, en la figura 10 se presenta el valor diario de la precipitación acumulada y del valor de PM<sub>10</sub>. Se observa que en 1º, 2º y 4º trimestre del año ha sido la época más lluviosa coincidiendo con niveles de partículas más bajos.

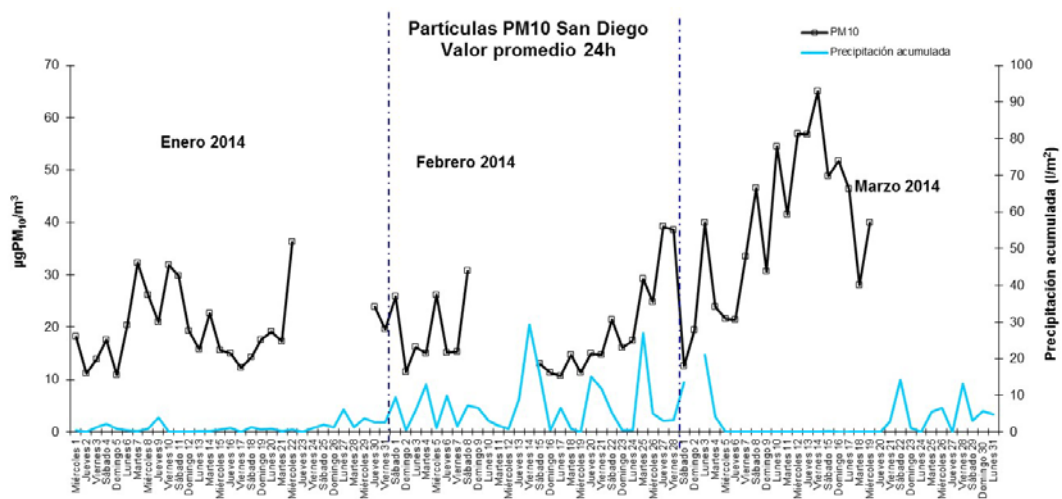


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedio diarios de partículas PM<sub>10</sub>.  
(continúa)

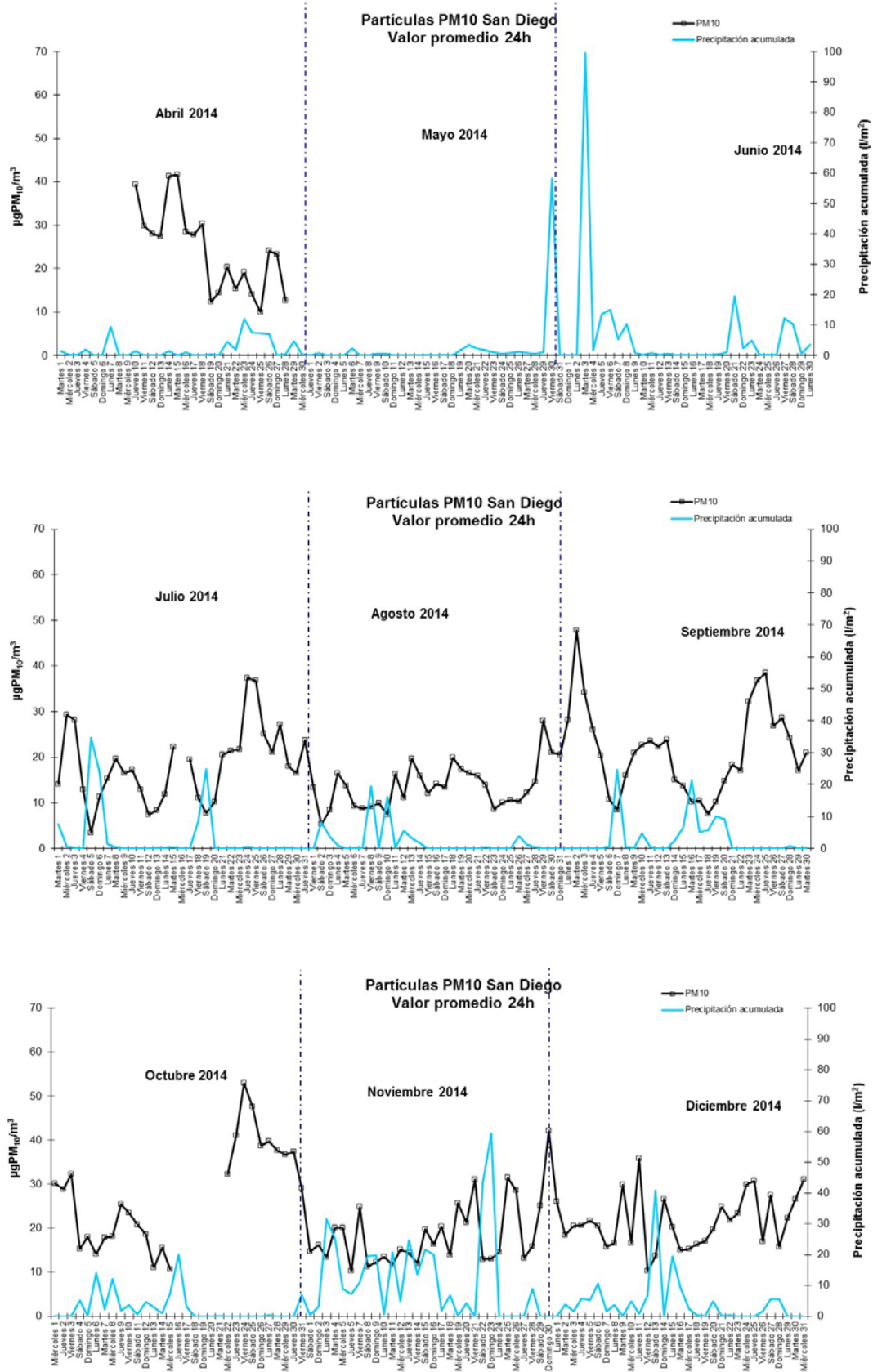
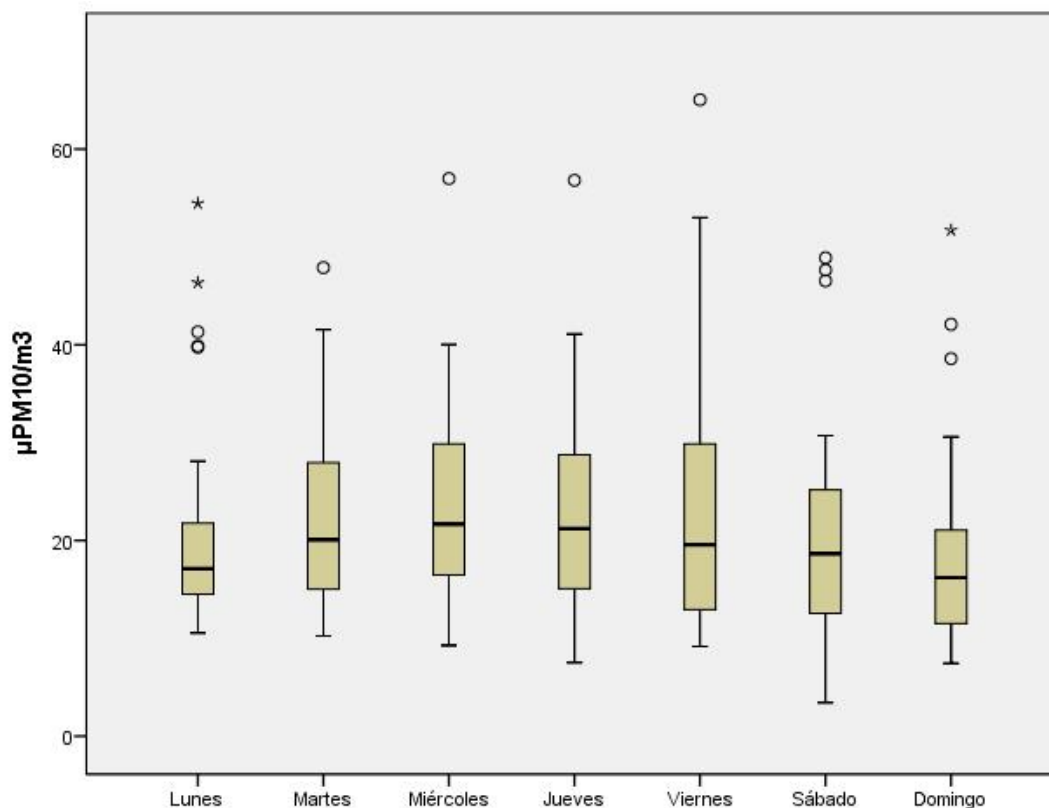


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedio diarios de partículas PM<sub>10</sub>.

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 en detalle de la variación diaria a lo largo de la semana, en la tabla VII se indica la comparación entre los niveles promedios diarios de partículas  $PM_{10}$  obtenidos los días laborales (lunes a viernes) y los fines de semana (sábado y domingo) durante el año 2014.

Los valores más altos y el número de superaciones del valor límite promedio diario tienen lugar en días laborales, y al igual que el año pasado existe un incremento de  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en relación con los valores obtenidos los fines de semana ( $23$  y  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , respectivamente).

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

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

|   |   | Laborales   | Fin de semana |
|---|---|-------------|---------------|
| Nº de muestras  |   | 186         | 77            |
| 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> )       |   | 65          | 52            |
| Valor mínimo de PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )       |   | 8           | 3             |
| Nº de superaciones del valor límite diario                  |   | 5           | 1             |
| <b>Porcentaje*</b>  |   |             |               |
| <b>N<br/>I<br/>V<br/>E<br/>L<br/>E<br/>S</b>                | > 20 µg/m <sup>3</sup>                              | 46,8 (33,1) | 35,1 (10,3)   |
|   | > 25 µg/m <sup>3</sup> <b>(UEI)</b>                 | 32,8 (23,2) | 18,2 (5,3)    |
|   | > 30 µg/m <sup>3</sup>                              | 19,9 (14,1) | 10,4 (3,0)    |
|   | > 35 µg/m <sup>3</sup> <b>(UES)</b>                 | 14,0 (9,9)  | 7,8 (2,3)     |
|   | > 40 µg/m <sup>3</sup>                              | 5,9 (4,2)   | 6,5 (1,9)     |
|   | > 50 µg/m <sup>3</sup> <b>(valor límite diario)</b> | 2,7 (1,9)   | 1,3 (0,4)     |

\*Porcentaje referido al número de muestras de cada período (laboral-fin de semana) y entre paréntesis referido al total anual 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>.

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 1,15 para PM<sub>10</sub> o la ecuación de calibración: [PM<sub>10</sub> gravimétrico] = -3,776 + 1,273 x [PM<sub>10</sub> automático (GRIMM)].* (ver Anexo II, pág. 50).

**Tabla VIII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas (promedio mensual) para el año 2014.**

|                    | PM <sub>10</sub>     | PM <sub>2,5</sub> | PM <sub>1</sub> |
|--------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
|                    | (µg/m <sup>3</sup> ) |                   |                 |
| Enero              | 18                   | 15                | 10              |
| Febrero            | 17                   | 14                | 9               |
| Marzo              | 28                   | 23                | 17              |
| Abril              | 19                   | 16                | 11              |
| Mayo               | 16                   | 13                | 8               |
| Junio              | 22                   | 19                | 14              |
| Julio              | 18                   | 15                | 11              |
| Agosto             | 14                   | 11                | 7               |
| Septiembre         | 21                   | 18                | 13              |
| Octubre            | 24                   | 19                | 13              |
| Noviembre          | 18                   | 14                | 10              |
| Diciembre          | 21                   | 18                | 13              |
| <b>Media Anual</b> | <b>20</b>            | <b>16</b>         | <b>11</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 1,15 calculado para PM<sub>10</sub>, el valor promedio anual de PM<sub>2,5</sub> en el punto de muestreo sería de 18,4 µg/m<sup>3</sup>, similar al obtenido el año anterior de 18,1 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, observando un incremento de la fracción gruesa en los meses de marzo, junio y octubre.

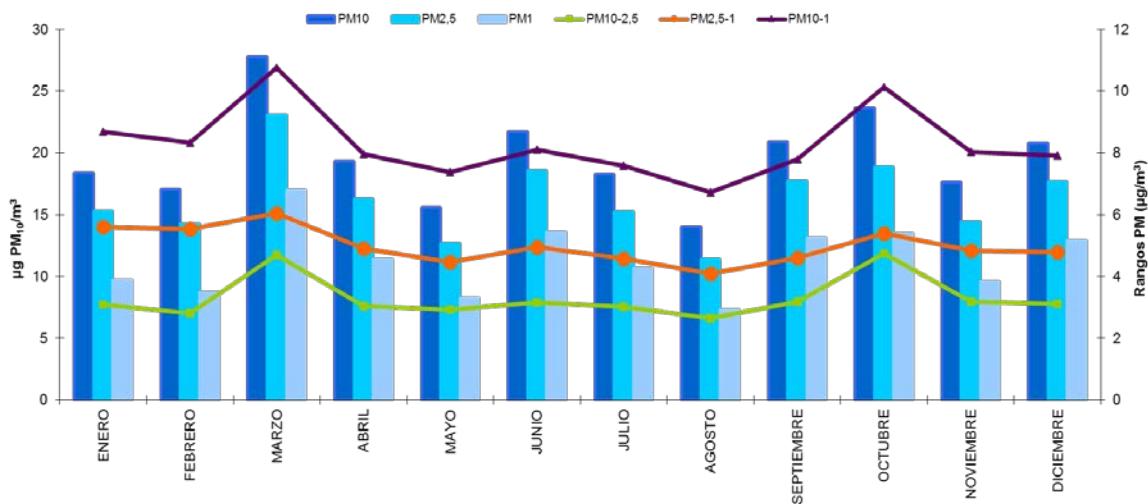


Figura 12. Evolución mensual de los niveles de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub> durante el año 2014.

La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Durante el período de muestreo el 83% de la fracción de PM<sub>10</sub> está constituida por PM<sub>2,5</sub> y un 67% 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 los últimos tres años.

Tabla IX. Valores de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas en el año 2014.

|              | 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                                | 0,62                               | 0,52                              |
| Febrero      | 0,85                                | 0,61                               | 0,52                              |
| Marzo        | 0,82                                | 0,70                               | 0,58                              |
| Abril        | 0,85                                | 0,67                               | 0,57                              |
| Mayo         | 0,82                                | 0,64                               | 0,53                              |
| Junio        | 0,84                                | 0,70                               | 0,59                              |
| Julio        | 0,84                                | 0,68                               | 0,57                              |
| Agosto       | 0,82                                | 0,64                               | 0,52                              |
| Septiembre   | 0,85                                | 0,72                               | 0,61                              |
| Octubre      | 0,81                                | 0,70                               | 0,56                              |
| Noviembre    | 0,80                                | 0,66                               | 0,54                              |
| Diciembre    | 0,85                                | 0,71                               | 0,60                              |
| <b>Anual</b> | <b>0,83</b>                         | <b>0,67</b>                        | <b>0,56</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 2-6% 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<sub>10</sub>. Aquí las variaciones son mayores a lo largo del año, aproximadamente un 10,2% para el rango PM<sub>10-2,5</sub>; 10,3% para el rango PM<sub>10-1</sub> y 13,9% para el rango más fino PM<sub>2,5-1</sub>.



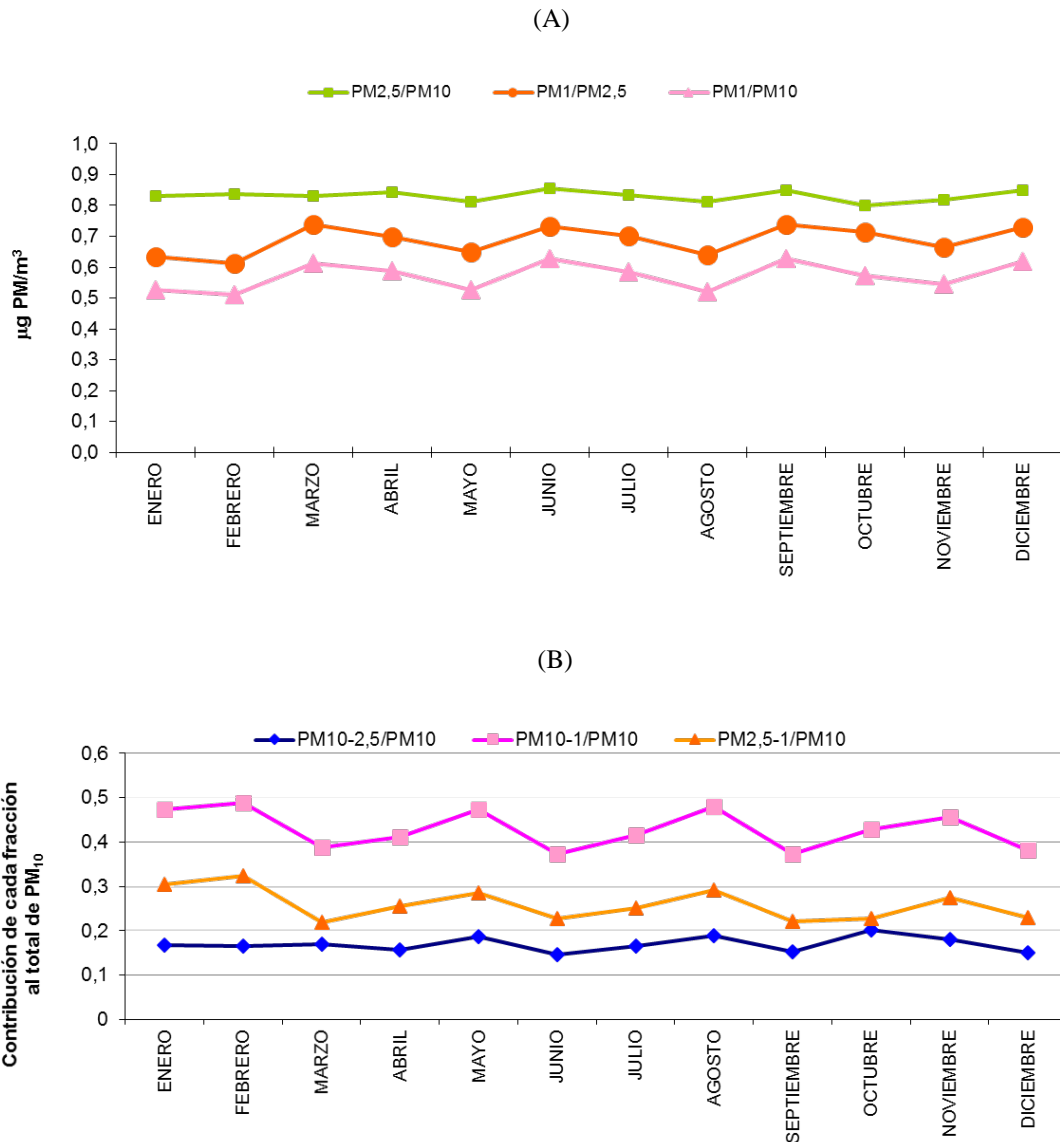
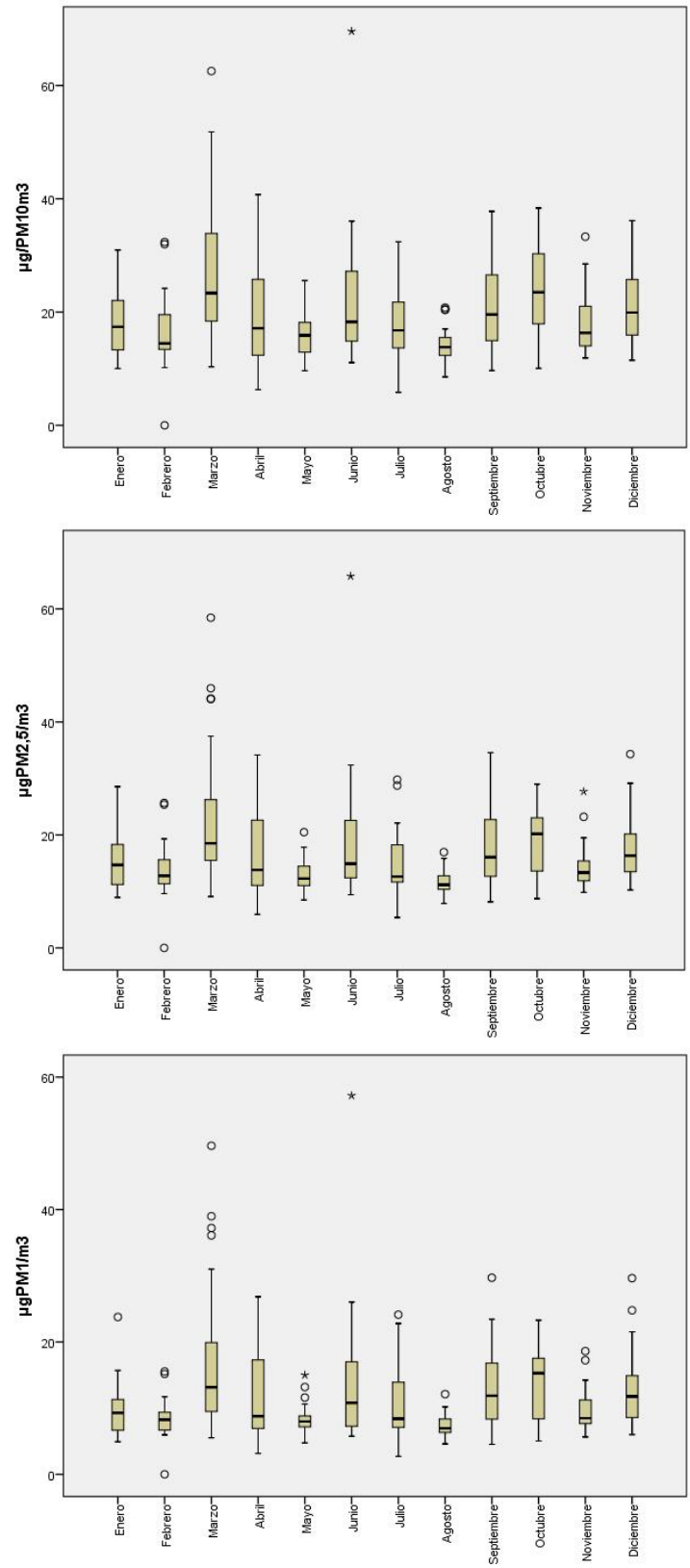


Figura 13. Evolución mensual de (A) las ratios de las tres fracciones granulométricas y (B) de los rangos de materia particulada durante el año 2014.

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).

En la figura 15 se observan las mayores variaciones en los meses de marzo, abril, junio y septiembre 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 2014.**

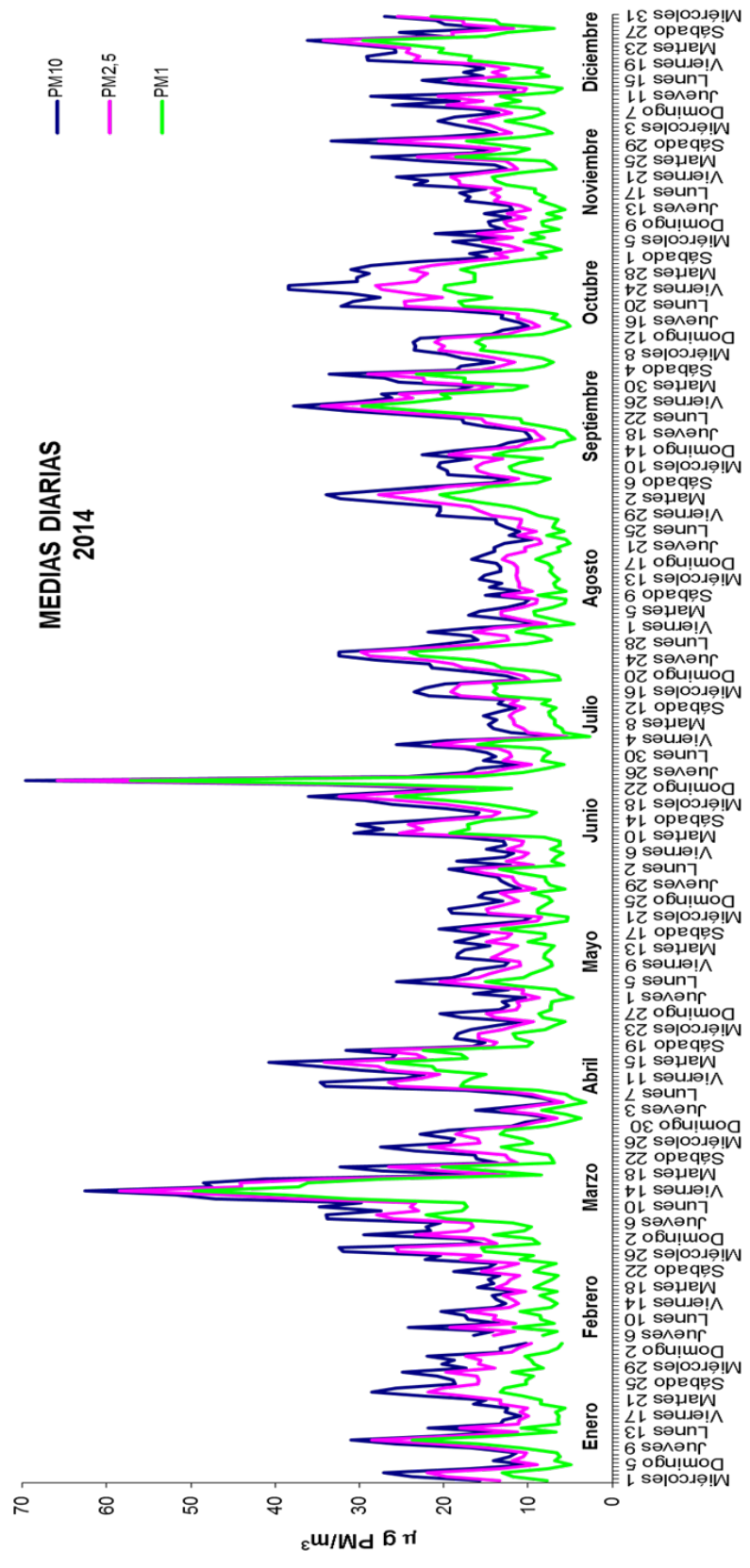
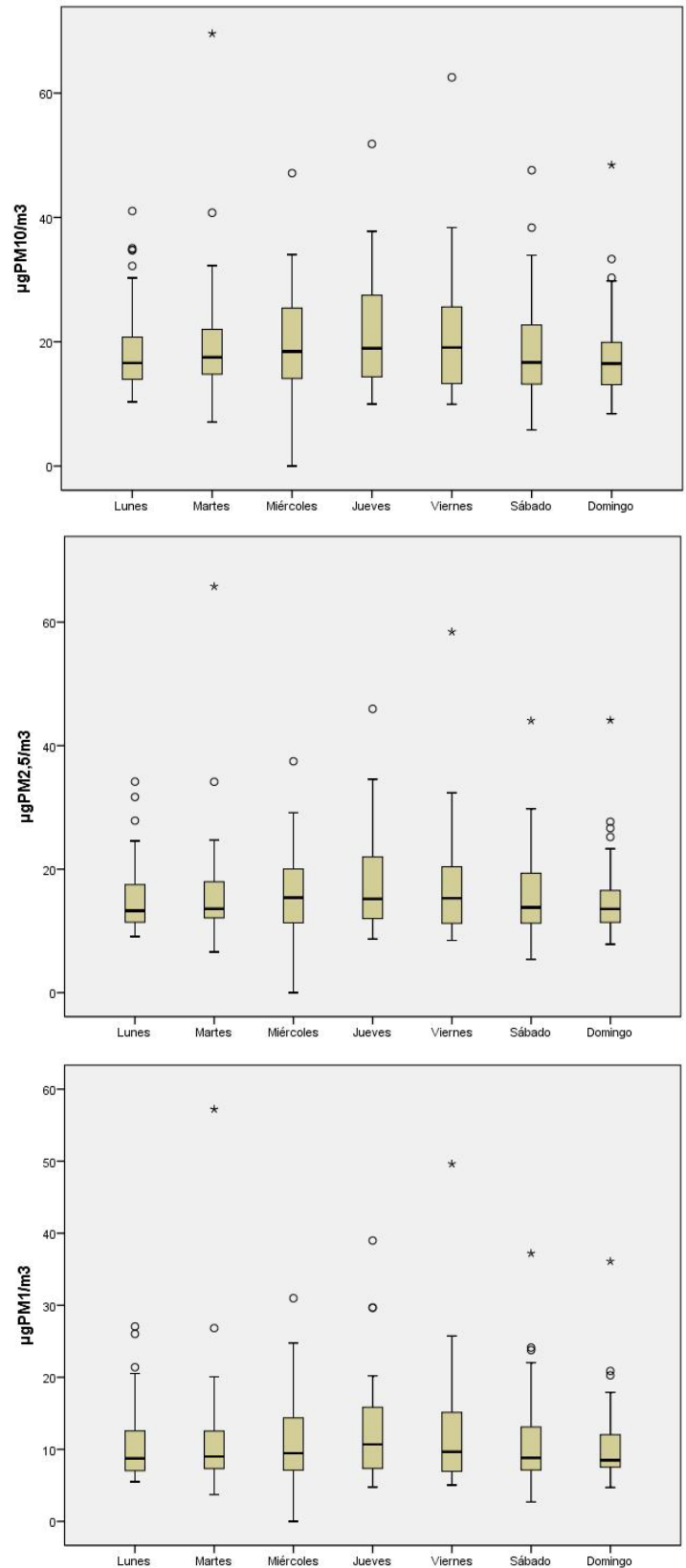


Figura 15. Evolución de la media diaria de las fracciones granulométricas durante el año 2014.

Como se observa en la gráfica un aumento en los niveles de  $PM_{10}$  va siempre acompañado de un aumento en los niveles de las fracciones finas  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$ , sin embargo el aumento no siempre es proporcional para todas las fracciones, a veces aumenta la fracción  $PM_{10-2,5}$  sin que lo hagan las fracciones menores de  $PM_{2,5}$ . Esto sugiere que al aumento de los niveles de partículas de las tres fracciones granulométricas contribuyen fuentes de diferente naturaleza.

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

Las representaciones de Box-Whisker de la figura 16 indican la variabilidad existente para las tres fracciones según el día de la semana. Se observa el incremento en los días centrales de la semana en relación con los fines de semana, siendo un poco más acusada para la fracción  $PM_{10}$ , seguida de la  $PM_1$  y finalmente la  $PM_{2,5}$ .



° 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 2014.**

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  $PM_1$ .

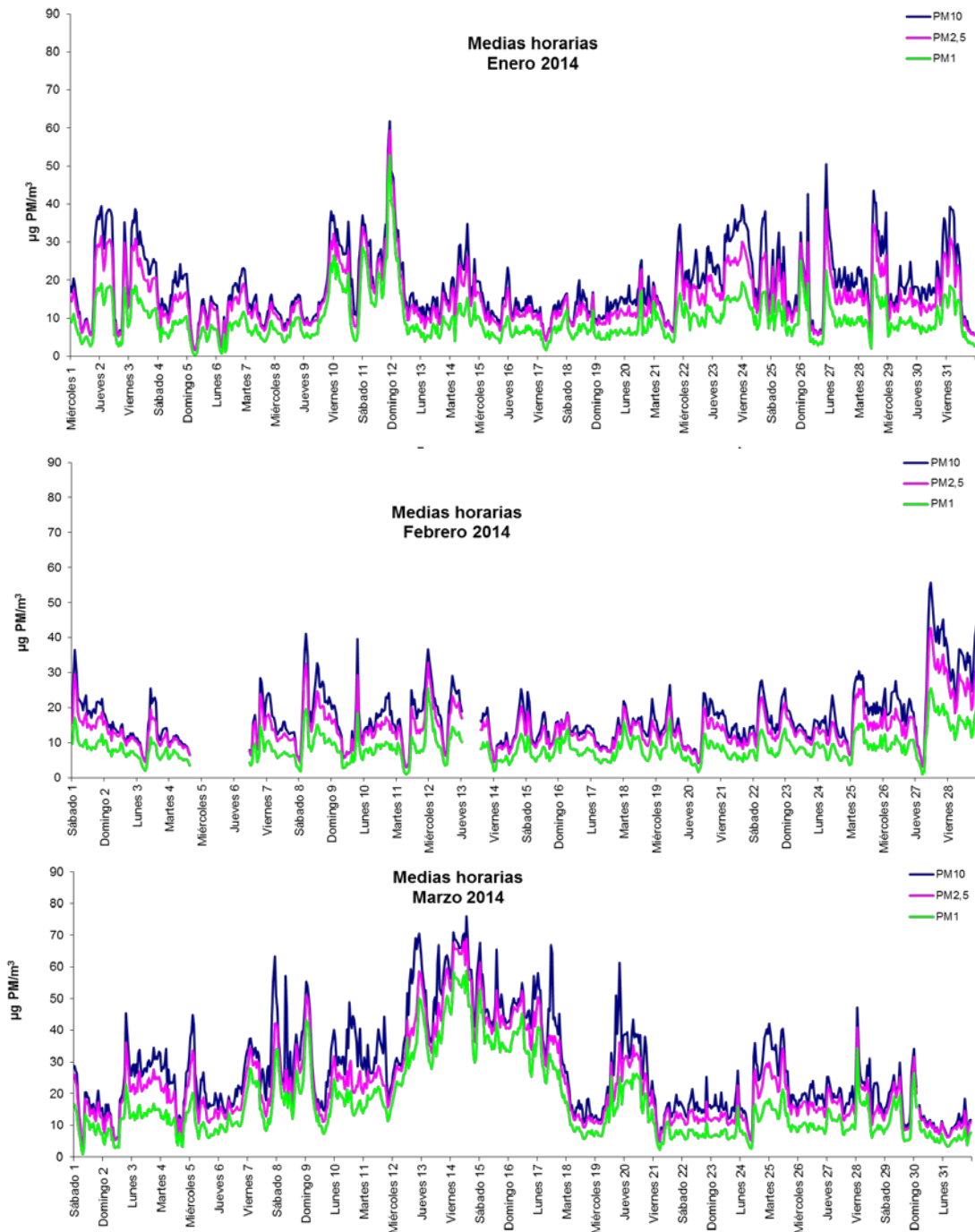


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$  año 2014. (continúa)

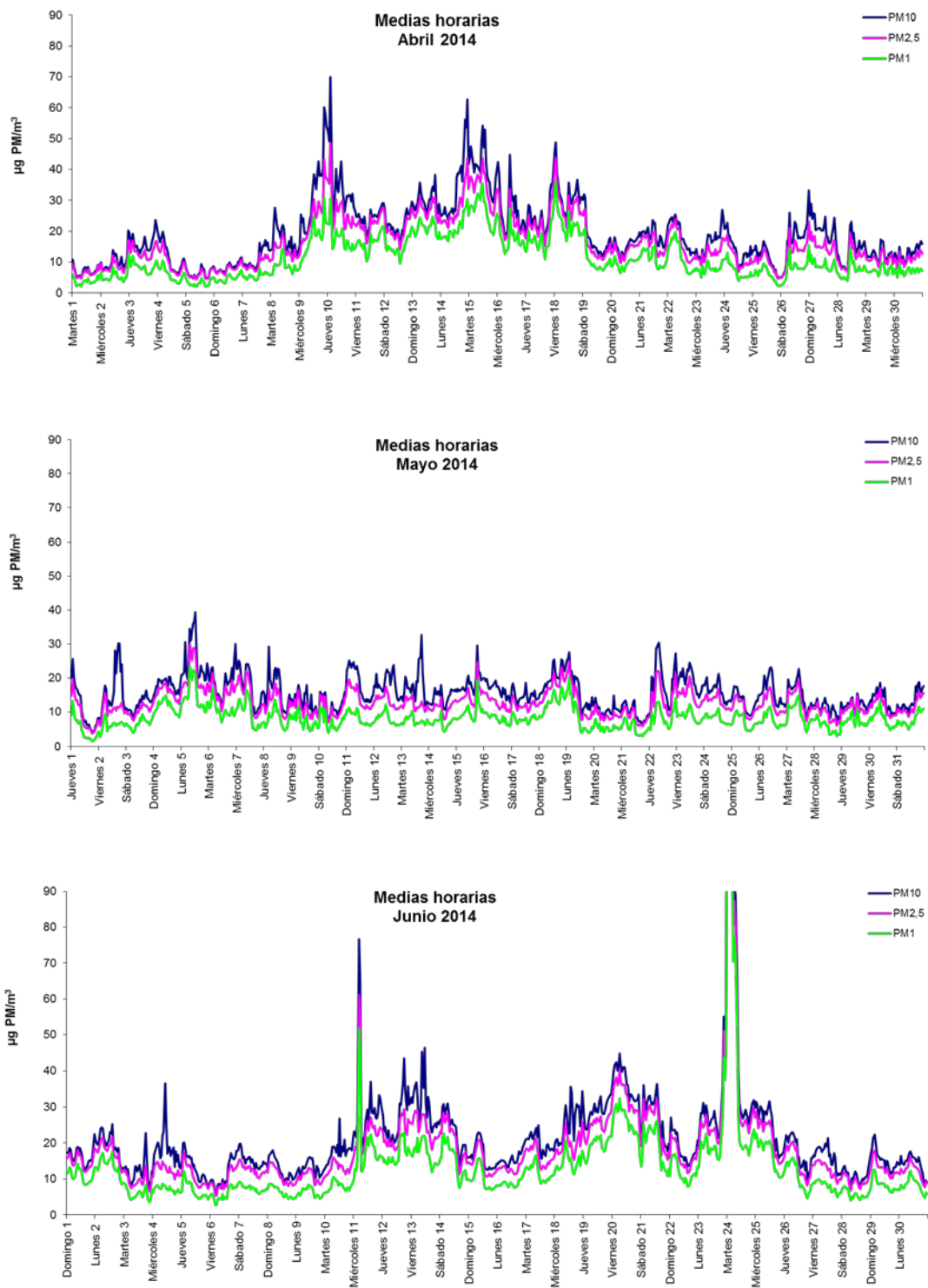


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_1$  año 2014. (continúa)

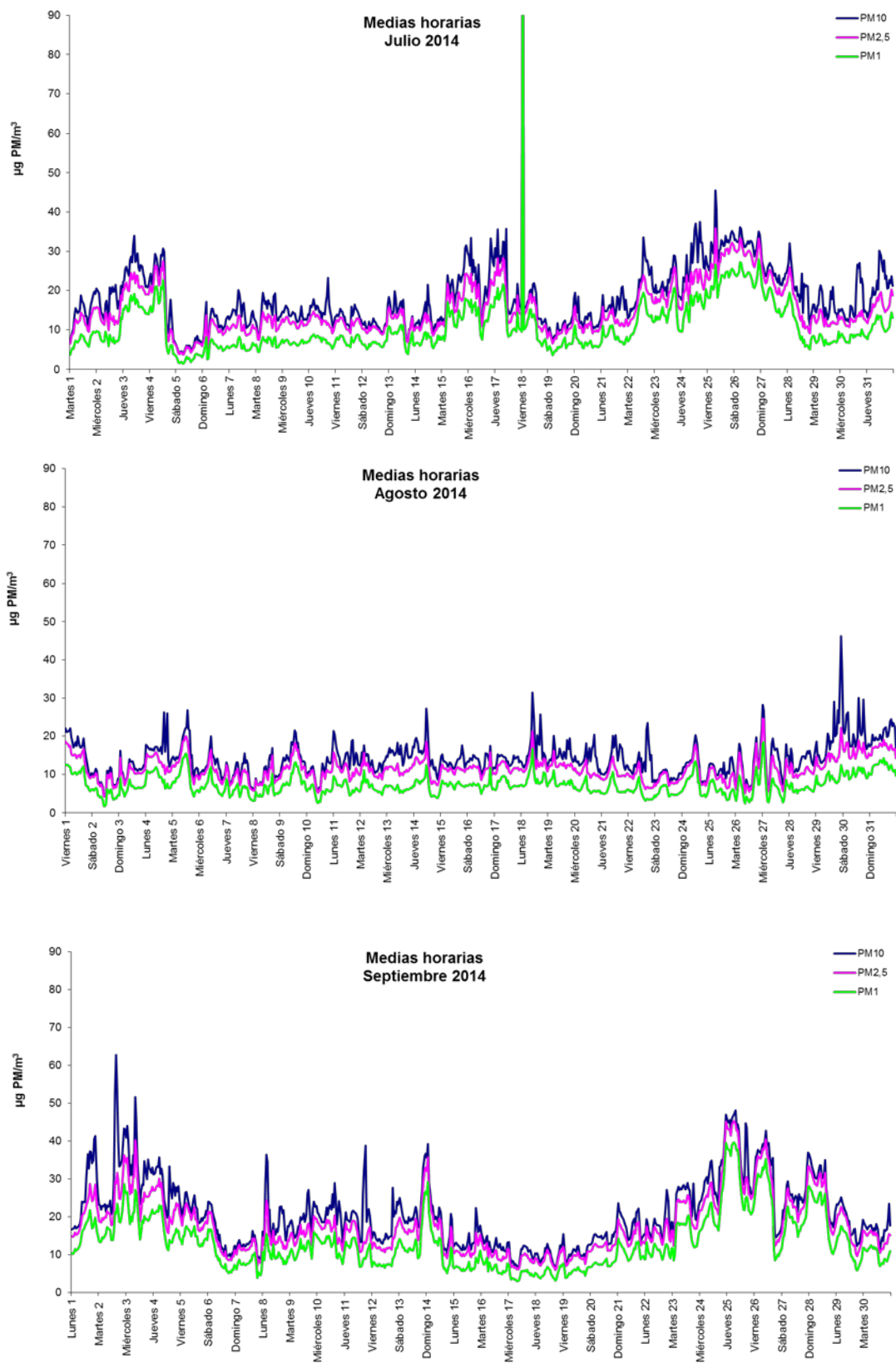


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> y PM<sub>1</sub> año 2014. (continúa)



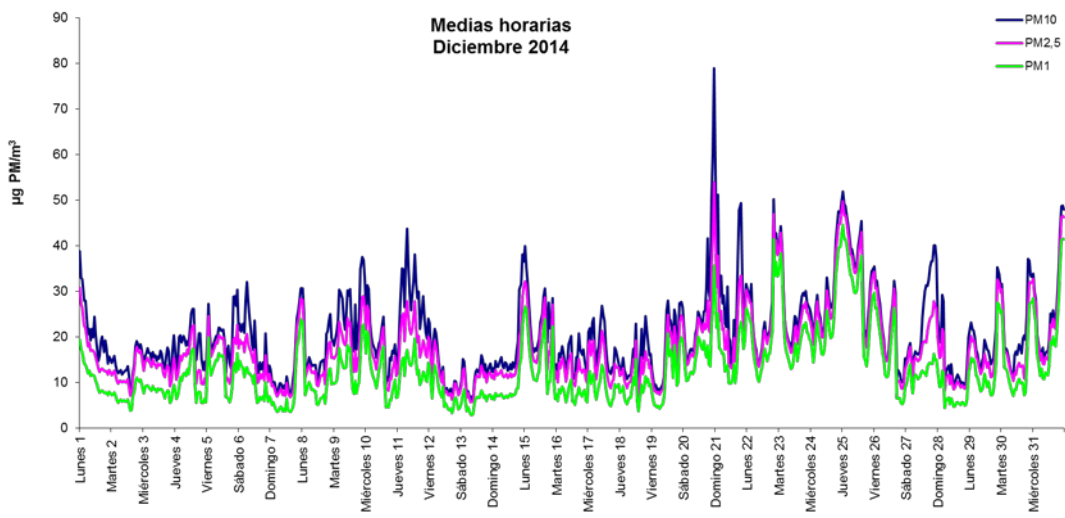
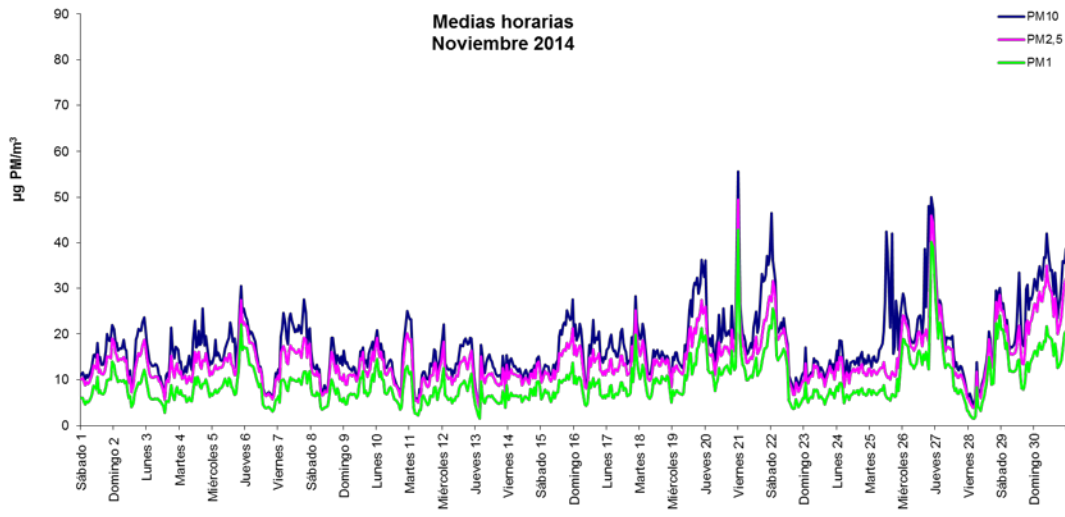
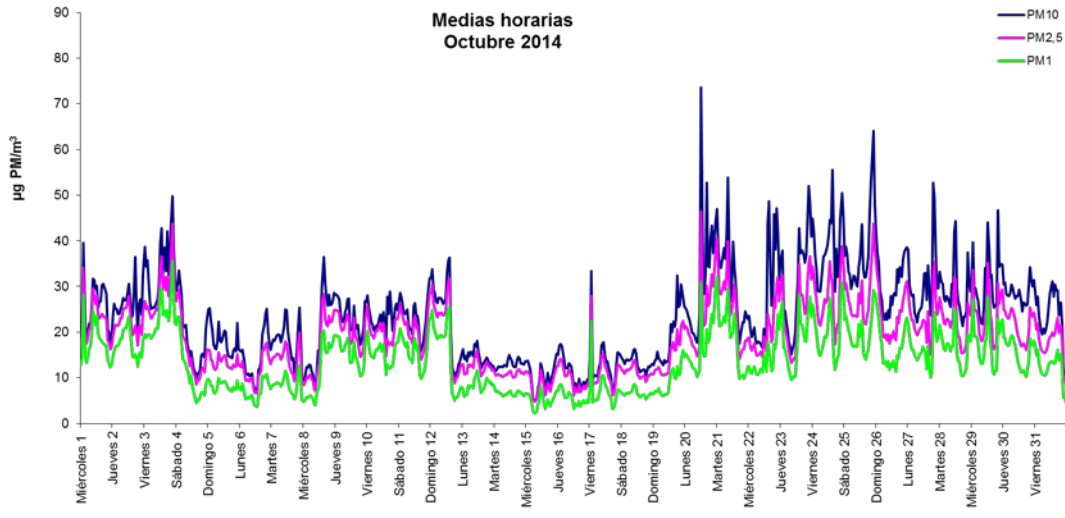
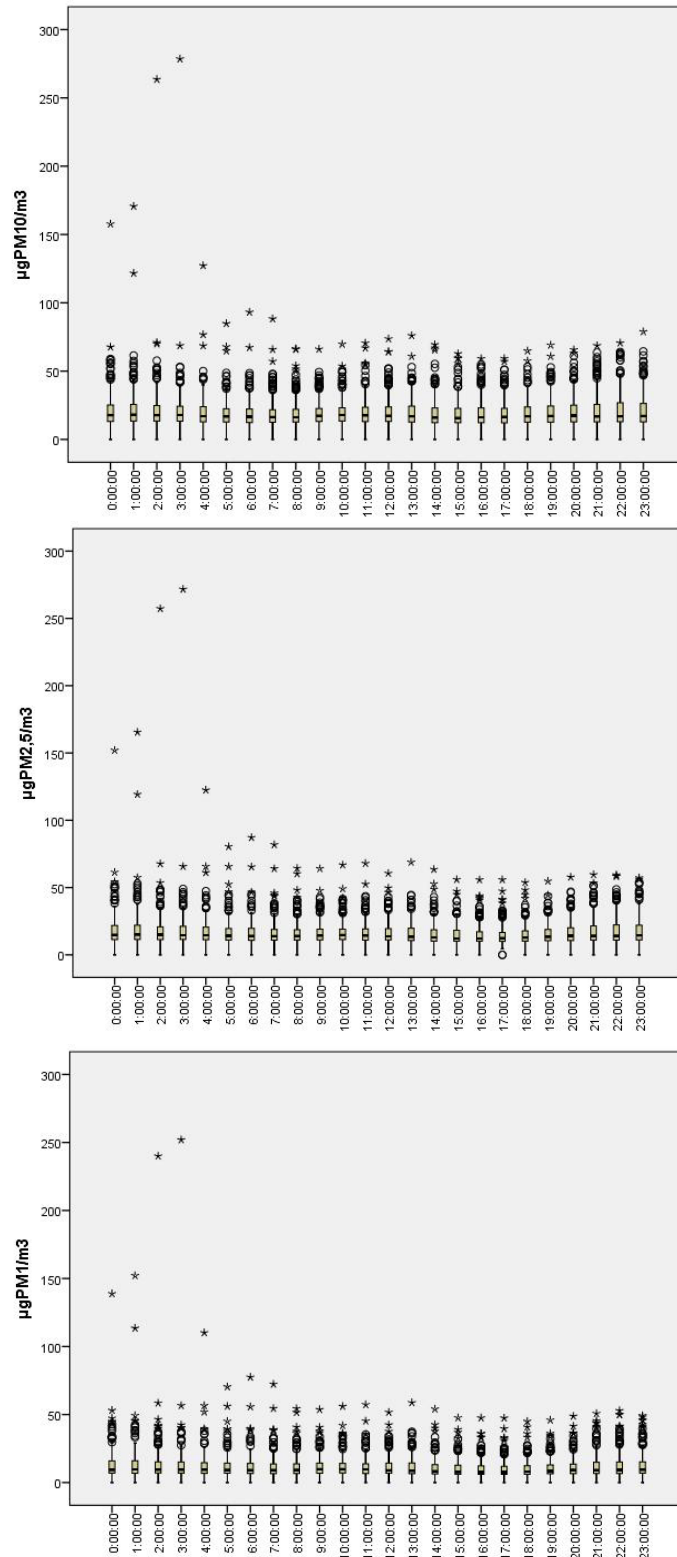


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  y  $PM_1$  año 2014.

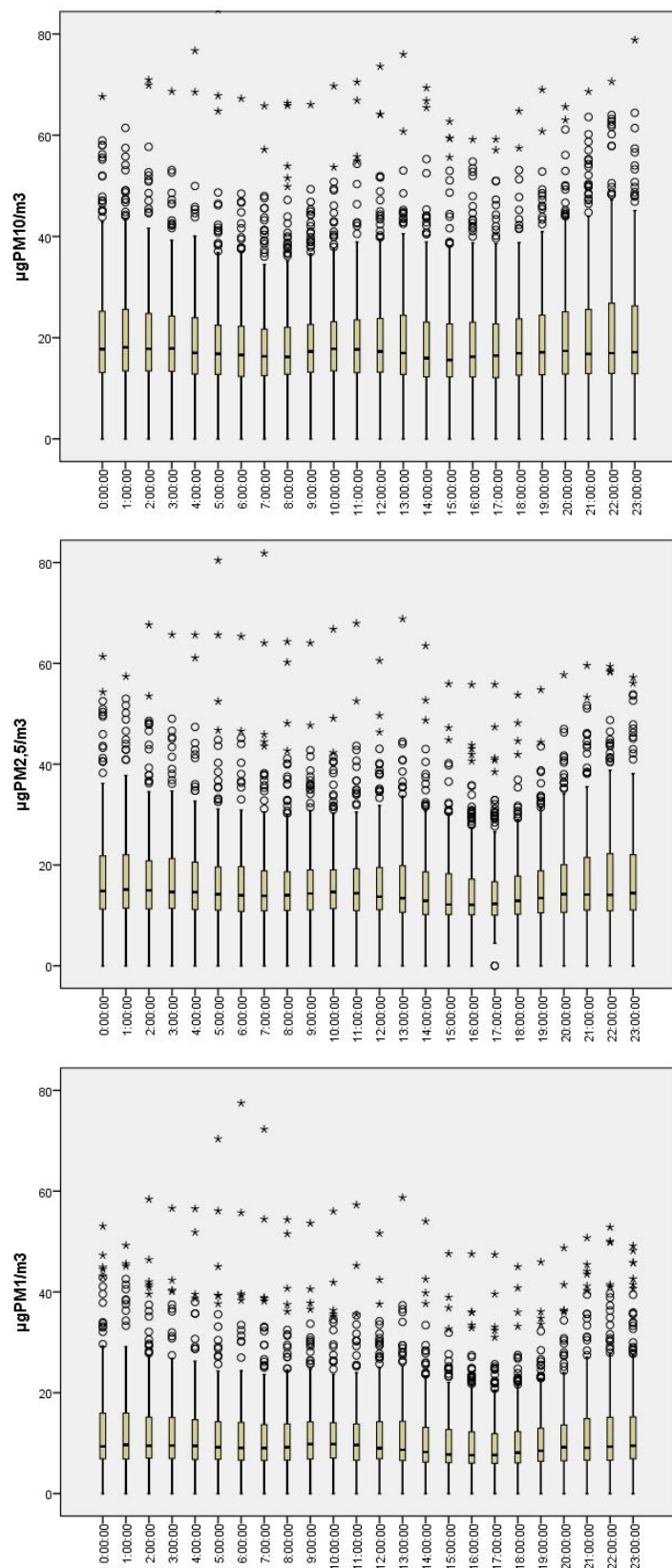
A continuación se representan las gráficas de evolución de la media horaria a lo largo de los días (figuras 18a y 18b) para evaluar la existencia de un patrón horario.



° 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 2014.**



° 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 2014 (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 20h hasta las 2h 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  $PM_{2,5-1}$  permanece sin muchos cambios en el día.

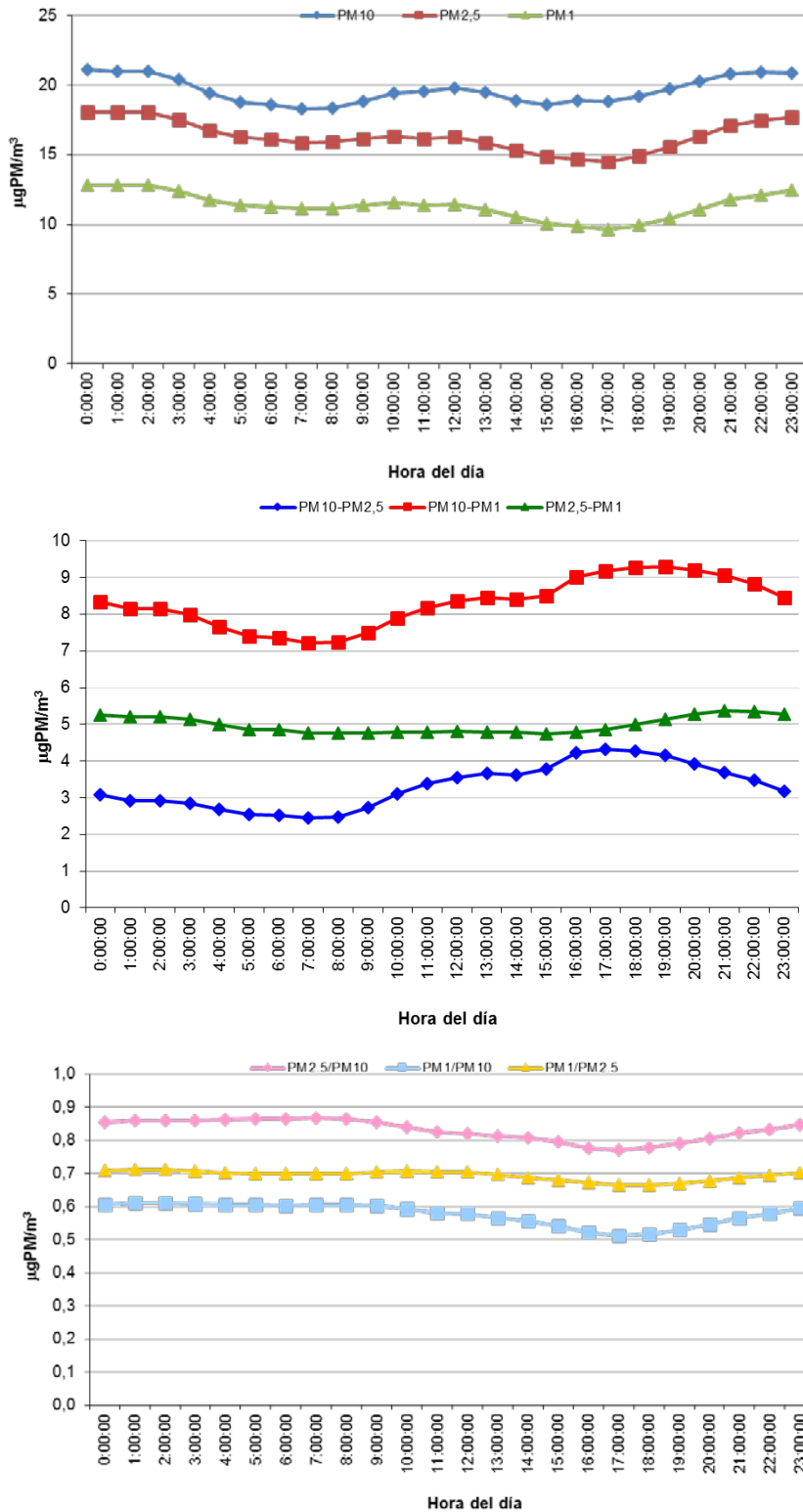


Figura 19. Evolución de los niveles medios horarios a lo largo del día de las tres fracciones granulométricas y sus relaciones en el año 2014.

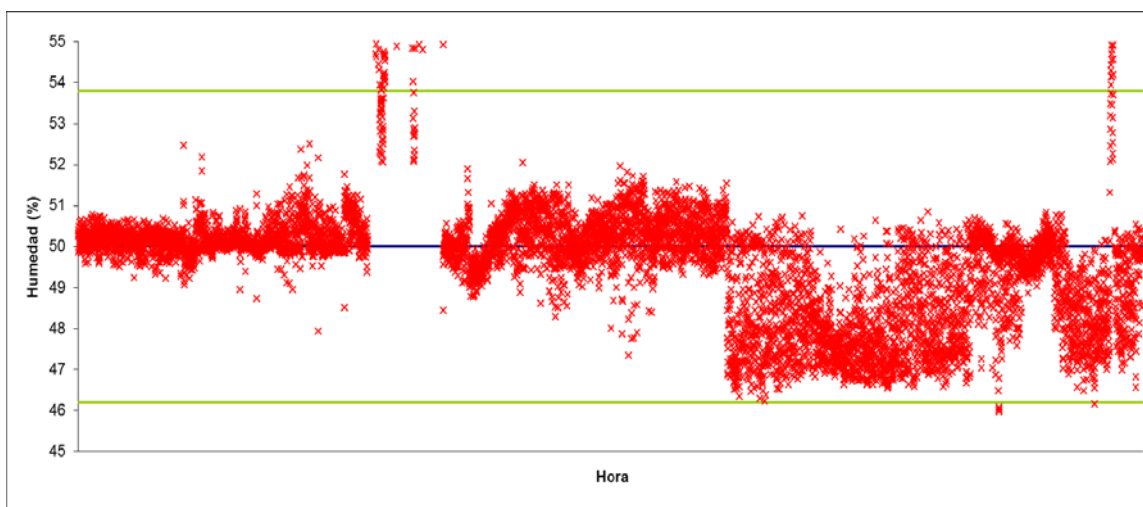
## CONCLUSIONES

- Se han determinado los niveles diarios de PM<sub>10</sub> en la zona de Os Castros durante el año 2014. Se han recogido un total de 263 muestras que representan una cobertura anual del 72%.
- El valor promedio anual de PM<sub>10</sub> ha sido de 22 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> ha sido superado en 6 ocasiones. Hay que tener en cuenta que prácticamente se estuvo 3 meses sin muestrear y, con la excepción del año pasado que no hubo superaciones, es el valor más bajo obtenido desde el 2007, año de inicio del estudio.
- Los valores máximos diarios oscilan entre los 28 µg/m<sup>3</sup> del mes de agosto y los 65 µg/m<sup>3</sup> del mes de marzo. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 3-5 µg/m<sup>3</sup> de los meses de julio-agosto y los 13 µg/m<sup>3</sup> del mes de marzo.
- La tendencia estacional de la concentración de PM<sub>10</sub> en el punto de muestreo refleja la variación estacional en el punto de muestreo con los valores más altos en los meses de marzo-abril y septiembre-octubre; meses con menor precipitación (en los meses de mayo y junio no hay datos por fallo en el equipo gravimétrico).
- El 6,1% del total de muestras superan los 40 µg/m<sup>3</sup>, un 17,1% superan los 30 µg/m<sup>3</sup> y un 43,4% superan los 20 µg/m<sup>3</sup>.
- En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 12,2% de las muestras (32 muestras) superan el umbral de evaluación superior de 35 µg/m<sup>3</sup> y un 28,1% (74 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de 25 µg/m<sup>3</sup>.
- Los promedios mensuales oscilan entre los 14 µg/m<sup>3</sup> del mes de agosto y los 39 µg/m<sup>3</sup> del mes de marzo.
- Existe variabilidad semanal en los niveles de PM<sub>10</sub> observándose una ligera disminución los fines de semana (un 4%). Un 32,8% de las muestras durante los días laborales y un 18,2% para los fines de semana superan el UEI. Sin embargo el UES es superado en un 14,0% los días laborales y en un 7,8% los fines de semana.

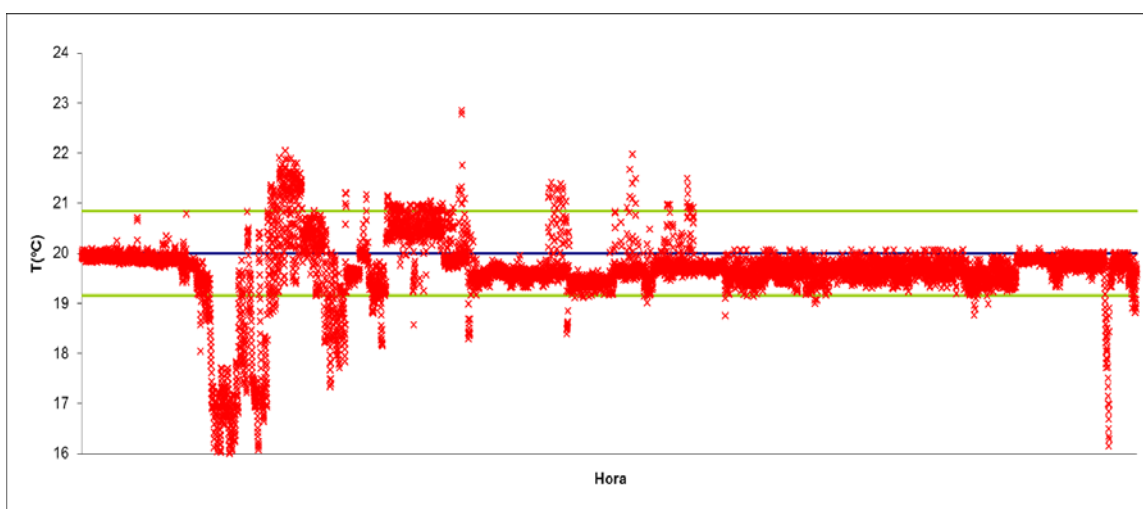
- La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Durante el período de muestreo el 83% de la fracción de  $PM_{10}$  está constituida por  $PM_{2,5}$  y un 67% de ésta por  $PM_1$ . Todas las relaciones entre las fracciones granulométricas  $PM_1/PM_{2,5}$  y  $PM_1/PM_{10}$  son similares a las obtenidas en el año 2013.
- No existe un patrón horario común a lo largo de todos los días de muestreo, para las diferentes fracciones granulométricas. Ello indica que existen diferentes fuentes posibles de emisión de materia particulada a la atmósfera con influencia en el punto de muestreo y/o que las fuentes que las emiten no lo hacen de una manera continua. Se observa que aumentos en los niveles de  $PM_{10}$  no siempre van acompañados de un aumento de las fracciones  $PM_{2,5}$  y  $PM_1$ .
- Para poder estimar qué fuentes producen un aumento de los niveles de partículas es necesario un estudio más exhaustivo y disponer de más información como datos meteorológicos y de contaminantes gaseosos en el punto de muestreo y también en zonas de fondo urbano y suburbano para poder determinar ciertos episodios de contaminación a larga distancia, etc.

**ANEXO I.- GRÁFICOS DE CONTROL DE LAS CONDICIONES DE HUMEDAD Y TEMPERATURA DE LA SALA DE BALANZAS PARA LA PESADA DE LOS FILTROS CON MATERIA PARTICULADA PM<sub>10</sub>**

Seguendo 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.



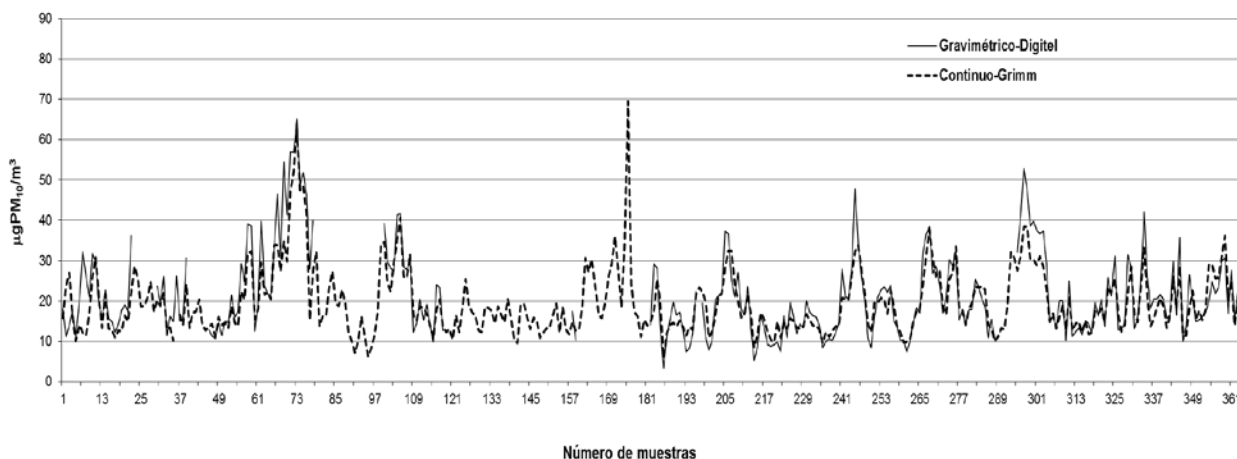
**Figura 20. Carta de control del % de humedad relativa en la sala de balanzas.**



**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. Para ello se muestreó de manera simultánea con el Digitel y el GRIMM (método automático)



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

Teniendo en cuenta la “Guía para la demostración de la equivalencia de los métodos de monitorización del aire ambiente” publicada en el 2010 y la Norma UNE-CEN/TS 16450 EX “Sistemas automáticos de medida de la concentración de materia particulada (PM<sub>10</sub>; PM<sub>2,5</sub>)” publicada en marzo de 2014, se evaluará la equivalencia del sistema automático de medida para la medición de la concentración de materia particulada (método candidato, MC) con el método gravimétrico (método de referencia, MR). Se intercomparan dichos sistemas para establecer factores o ecuaciones que permitan calibrar los resultados de los sistemas automáticos de medida y que proporcionen, de este modo, datos que cumplan con los objetivos de calidad establecidos en las Directivas relativas a la calidad del aire. El término “corrección” se ha utilizado históricamente, pero es reemplazado en este contexto por el término “calibración” para la demostración de la equivalencia de los métodos candidatos para el monitoreo de la materia particulada.

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

<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.



ello. No obstante, cuando se aplica el método de referencia pueden aparecer errores debido a la manipulación de los filtros. Por lo tanto, además, está permitido quitar hasta el 2,5% de los pares de datos considerados atípicos siempre y cuando existan al menos 40 pares de datos válidos para la comparación. Además, del total de datos completos, al menos el 20% de los resultados obtenidos usando el método de referencia debería ser mayor que el umbral de evaluación superior del límite anual ( $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Por último, lo ideal sería disponer de datos en más de un emplazamiento pero en este caso se aplican igual como aproximación. Este año solamente un 12,2% de los resultados superan el UES.

A pesar de que en este año solo un 12,2% de los resultados superan el umbral de la evaluación superior (UES), se introducen los pares de datos en el macro Excel disponible en la web de la Comisión Europea <http://ec.europa.eu/environment/air/quality/legislation/assessment.htm>, que se puede descargar desde el link "Test the equivalence" en la sección "Equivalence". Los resultados se presentan a continuación en la figura 23 y en la Tabla X.

El test de equivalencia fue aplicado con referencia al valor límite (VL) de  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , a una incertidumbre establecida del método de referencia de  $0,67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  y al nivel de confianza del 97,5%.

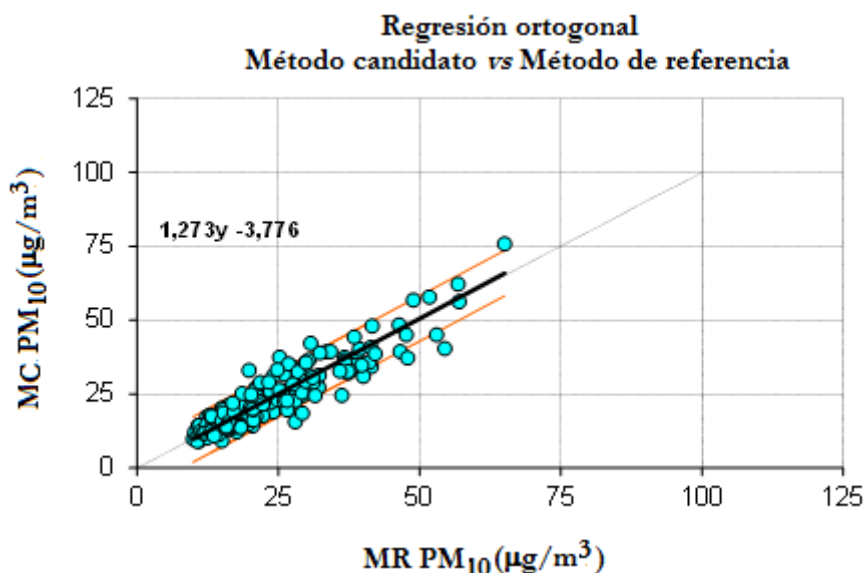


Figura 23. Demostración de la equivalencia entre el equipo automático (candidato) y el equipo gravimétrico (referencia) en el punto de muestreo.

Tabla X. Resultados test de equivalencia.

| DATOS BRUTOS                            |                        |                      | RESULTADOS DESPUÉS DE LA CALIBRACIÓN    |                      |              |
|---|------------------------|----------------------|---|----------------------|--------------|
| Regresión                               | <b>1,273y + -3,776</b> |                      | N (primavera)                           | 38                   | n            |
| Regresión (i=0)                         | <b>1,116y</b>          |                      | N (verano)                              | 46                   | n            |
| N                                       | 234                    | n                    | N (otoño)                               | 79                   | n            |
|   |                        |                      | N (invierno)                            | 71                   | n            |
| Atípicos                                | 9                      | n                    | Atípicos                                | 13                   | %            |
| Atípicos                                | 4%                     | %                    | Atípicos                                | 6%                   | %            |
| Media MC                                | 20,9                   | µg/m³                | Media MC                                | 22,9                 | µg/m³        |
| Media MR                                | 22,9                   | µg/m³                | Media MR                                | 22,9                 | µg/m³        |
| Número de MR > 0.5LV                    | 76                     | n                    | Número de MR > 0.5LV                    | 73                   | n            |
| Número de MR > LV                       | 6                      | n                    | Número de MR > LV                       | 5                    | n            |
| RESULTADOS REGRASIÓN (DATOS BRUTOS)     |                        |                      | RESULTADOS REGRASIÓN (CALIBRADO)        |                      |              |
| Pendiente b                             | <b>0,786</b>           | <b>significativa</b> | Pendiente b                             | <b>1,020</b>         |              |
| Incertidumbre de b                      | 0,020                  |                      | Incertidumbre de b                      | 0,026                |              |
| Ordenada en el origen a                 | <b>2,967</b>           | <b>significativa</b> | Ordenada en el origen a                 | <b>-0,450</b>        |              |
| Incertidumbre de a                      | 0,504                  |                      | Incertidumbre de a                      | 0,641                |              |
| r <sup>2</sup>                          | 0,854                  |                      | r <sup>2</sup>                          | 0,854                |              |
| Pendiente forzada pasar por origen      | <b>0,896</b>           | <b>significativa</b> |   |                      |              |
| Incertidumbre de b (forzada)            | 0,0093                 |                      |   |                      |              |
| TEST DE EQUIVALENCIA (DATOS BRUTOS)     |                        |                      | TEST DE EQUIVALENCIA (CALIBRADO)        |                      |              |
| Incertidumbre de calibración            | 1,12                   | µg/m³                | <b>Calibración</b>                      | <b>1,273y -3,776</b> |              |
| Incertidumbre calibración(forzada)      | 0,47                   | µg/m³                | <b>u(calibración)</b>                   | <b>1,12</b>          | <b>µg/m³</b> |
| Término aleatorio                       | 3,14                   | µg/m³                | Término aleatorio                       | 4,22                 | µg/m³        |
| Incertidumbre adicional (opcional)      | 0,00                   | µg/m³                | Incertidumbre adicional (opcional)      | 0,00                 | µg/m³        |
| Sesgo al valor límite                   | -7,74                  | µg/m³                | Sesgo al valor límite                   | 0,53                 | µg/m³        |
| Incertidumbre combinada                 | 8,35                   | µg/m³                | Incertidumbre combinada                 | 4,25                 | µg/m³        |
| <b>Incertidumbre relativa expandida</b> | <b>33,4%</b>           | <b>falla</b>         | <b>Incertidumbre relativa expandida</b> | <b>17,0%</b>         | <b>pasa</b>  |
| Incertidumbre del MR                    | 0,67                   | µg/m³                | Incertidumbre del MR                    | 0,67                 | µg/m³        |
| Valor límite                            | 50                     | µg/m³                | Valor límite                            | 50                   | µg/m³        |

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

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

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

$$[PM_{10\ gravimétrico}] = -3,776 + 1,273 \times [PM_{10\ automático\ (GRIMM)}]$$

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

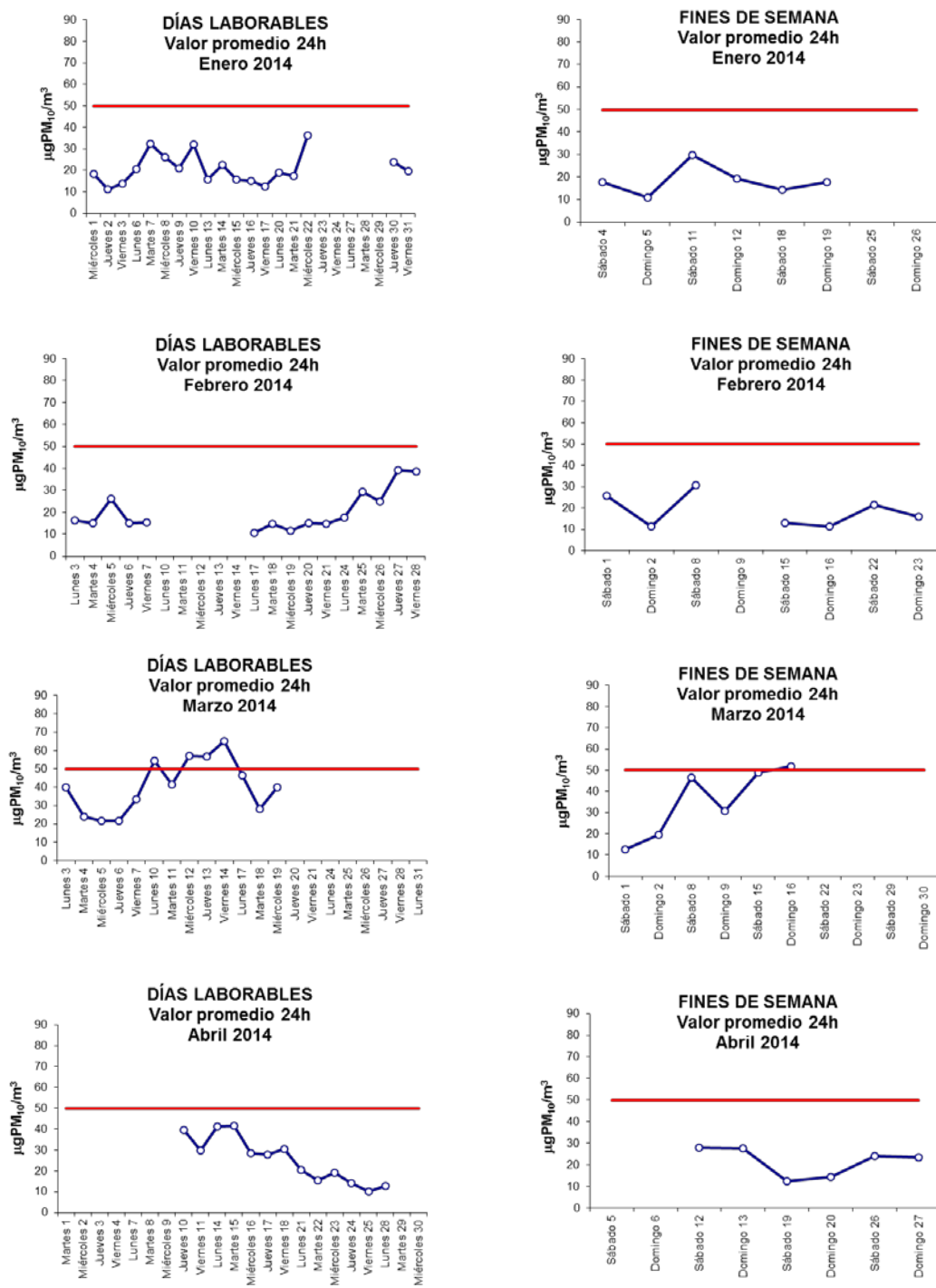


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2014. (continúa)

Sin datos por fallo en el sistema de muestreo mes de mayo y junio

Sin datos por fallo en el sistema de muestreo mes de mayo y junio

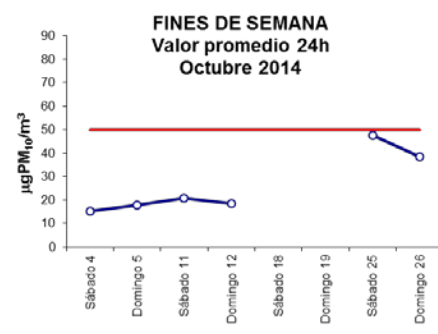
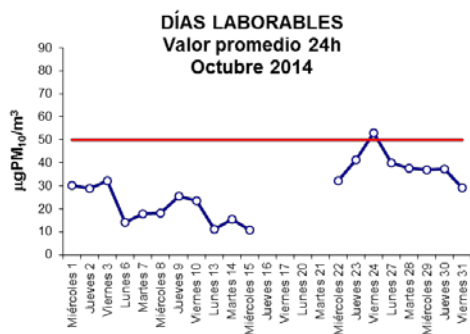
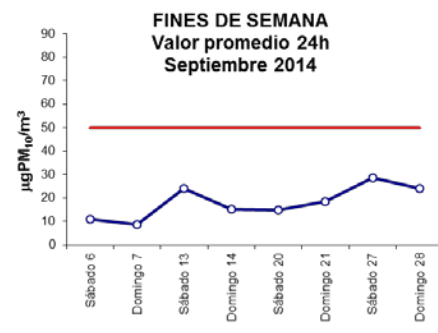
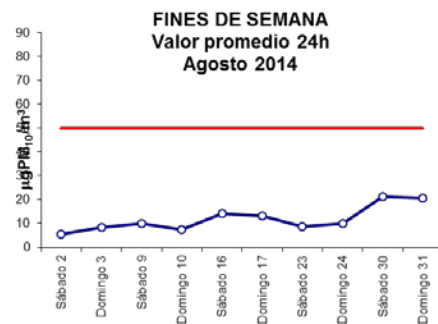
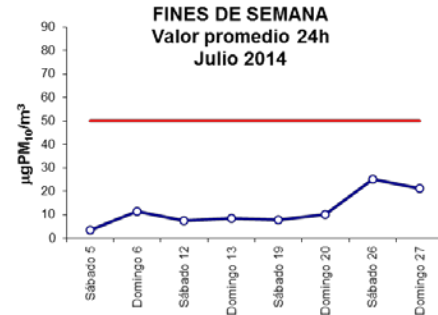
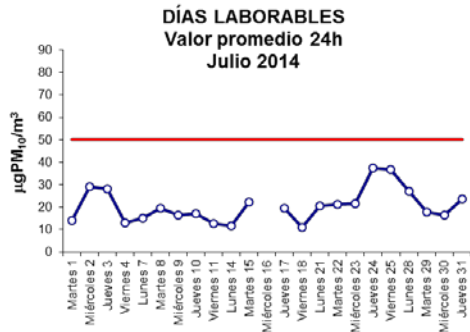


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2014. (continúa)

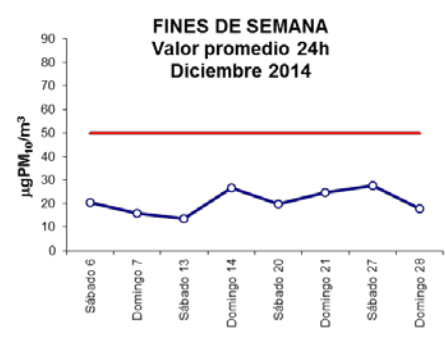
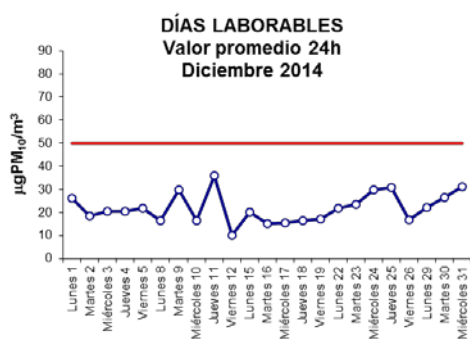
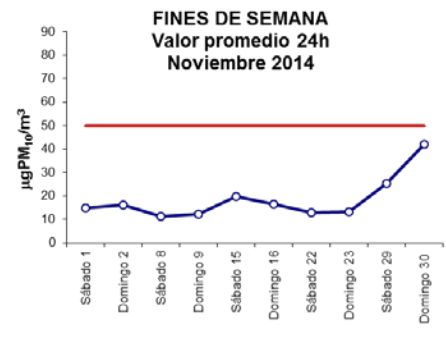
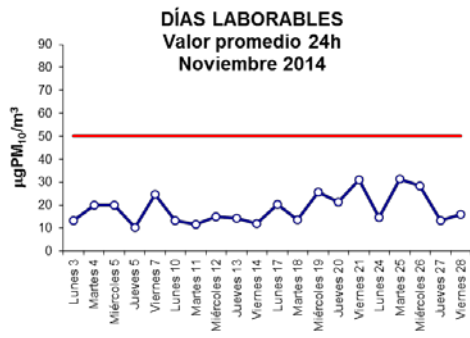
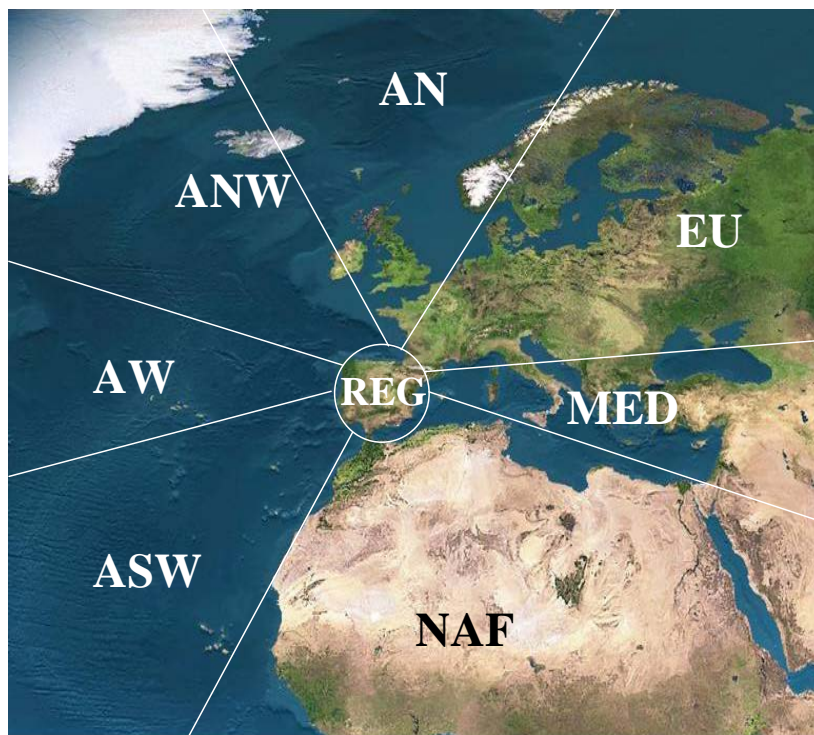


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM<sub>10</sub> en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2014.

## 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>12,13</sup>, distinguiendo ocho sectores (figura 25).



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

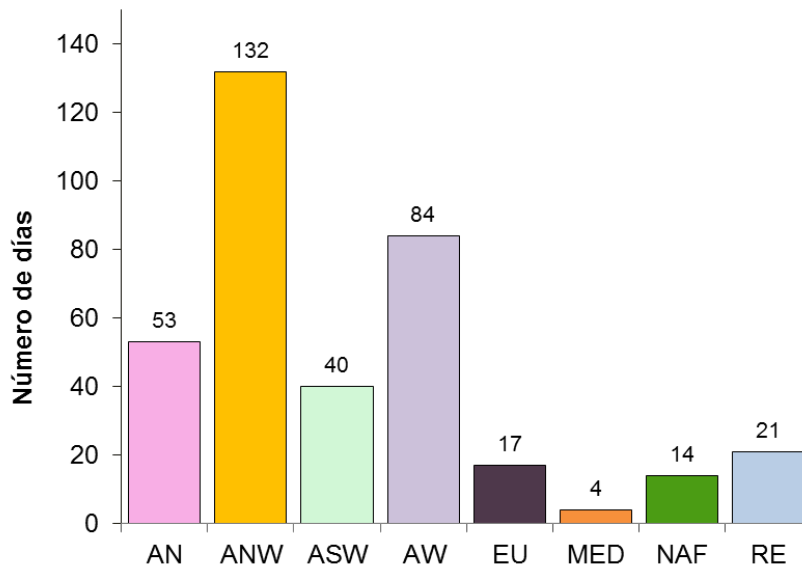
En la figura 26 (A) se indica el número de días con influencia de masas de aire de diferente origen, observando que aproximadamente el 84,7% de los días existió un claro predominio del transporte de masas de aire procedentes de diversos sectores del Atlántico, seguido de un 4,7% de componente europeo, un 5,8 de componente regional, un 3,8% de componente africano y finalmente 1,1% de influencia mediterránea.

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

<sup>12</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>13</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)

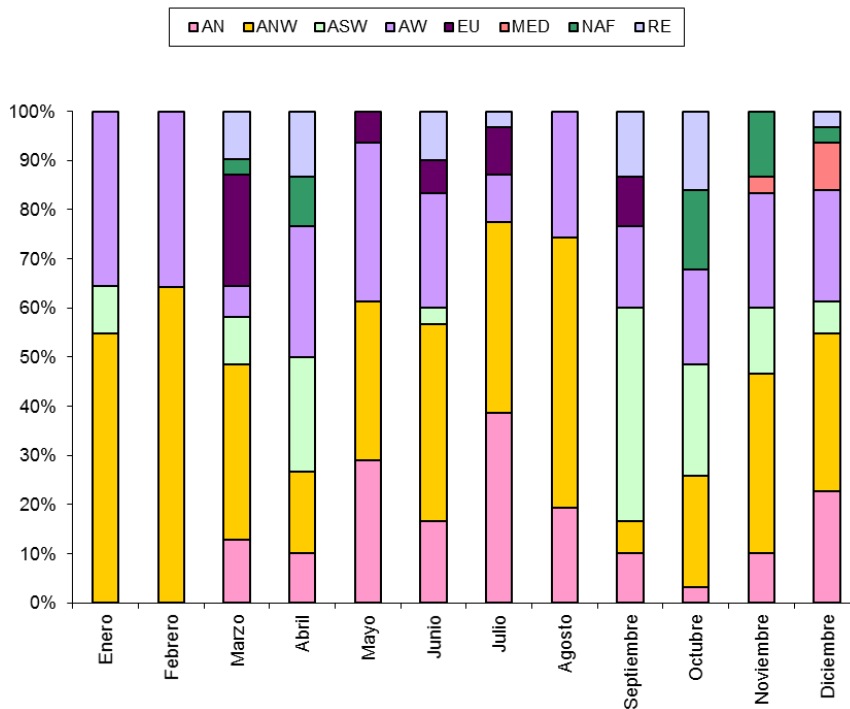


Figura 26. Origen de las masas de aire en A Coruña en 2014, obtenido a partir del cálculo de retrotrayectorias de las masas de aire: (A) Número de días (B) Frecuencia a lo largo del año

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 2007-2014**

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

**Tabla XI. Resumen global de las muestras recogidas durante el período 2007-2014.**

|  | 2007*     | 2008#     | 2009      | 2010      | 2011      | 2012      | 2013+     | 2014 <sup>Φ</sup> |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Nº muestras recogidas  | 288       | 330       | 360       | 358       | 354       | 340       | 289       | 263               |
| % de muestras relativas a año civil                                | 79        | 90,4      | 99        | 98        | 97        | 93        | 79        | 72                |
| VALOR MÁXIMO DIARIO de PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> )    | 71        | 85        | 77        | 74        | 94        | 70        | 43        | 65                |
| VALOR MÍNIMO DIARIO de PM <sub>10</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> )    | 12        | 10        | 10        | 7         | 11        | 9         | 4         | 3                 |
| Nº SUPERACIONES del valor límite<br>diario de 50 µg/m <sup>3</sup> | 28        | 27        | 12        | 10        | 15        | 18        | 0         | 6                 |
| % SUPERACIONES con respecto al<br>número total de muestras         | 9,7       | 8,2       | 3,3       | 2,8       | 4,2       | 5,3       | -         | 2,3               |
| <b>VALOR MEDIO ANUAL de PM<sub>10</sub><br/>(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> | <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

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

**Tabla XII. Valores máximo diario mensual durante el período 2007-2014.**

|            | Máximo mensual (µg/m <sup>3</sup> ) |       |      |      |      |      |       |                   |
|------------|-------------------------------------|-------|------|------|------|------|-------|-------------------|
|            | 2007*                               | 2008# | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013+ | 2014 <sup>Φ</sup> |
| Enero      | -                                   | 81    | 57   | 49   | 46   | 57   | 39    | 36                |
| Febrero    | -                                   | 85    | 58   | 35   | 60   | 58   | 36    | 39                |
| Marzo      | 71                                  | 54    | 70   | 43   | 72   | 70   | 32    | 65                |
| Abril      | 71                                  | 48    | 62   | 54   | 83   | 62   | 33    | 42                |
| Mayo       | 43                                  | 60    | 46   | 64   | 43   | 46   | 36    | <i>sin dato</i>   |
| Junio      | 61                                  | 56    | 66   | 74   | 48   | 66   | 34    | <i>sin dato</i>   |
| Julio      | 41                                  | 37    | 39   | 52   | 38   | 39   | 32    | 37                |
| Agosto     | 52                                  | 41    | 38   | 37   | 47   | 38   | 36    | 28                |
| Septiembre | 71                                  | 45    | 40   | 53   | 51   | 40   | 42    | 48                |
| Octubre    | 57                                  | 63    | 35   | 61   | 94   | 35   | 30    | 53                |
| Noviembre  | 44                                  | 39    | 46   | 47   | 39   | 46   | 23    | 42                |
| Diciembre  | 60                                  | 60    | 44   | 42   | 46   | 44   | 43    | 36                |

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

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

+ en el año 2013 se muestrearon solamente 12 días en julio, 20 días en agosto y 3 días en noviembre.

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



**Tabla XIII. Valores mínimo diario mensual durante el período 2007-2014.**

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

\* 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.

<sup>Φ</sup> en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio

**Tabla XIV. Valores medios mensuales durante el período 2007-2014.**

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

\* 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.

<sup>Φ</sup> en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio.

**Tabla XV. Número de superaciones por mes durante el período 2007-2014.**

|            | Número de superaciones |       |      |      |      |      |       |                 |
|------------|------------------------|-------|------|------|------|------|-------|-----------------|
|            | 2007*                  | 2008# | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013+ | 2014            |
| Enero      | -                      | 9     | 0    | 0    | 0    | 1    | 0     | 0               |
| Febrero    | -                      | 7     | 3    | 0    | 1    | 2    | 0     | 0               |
| Marzo      | 2                      | 1     | 3    | 0    | 6    | 13   | 0     | 5               |
| Abril      | 13                     | 0     | 0    | 1    | 4    | 1    | 0     | 0               |
| Mayo       | 0                      | 1     | 0    | 3    | 0    | 0    | 0     | <i>sin dato</i> |
| Junio      | 2                      | 2     | 1    | 2    | 0    | 1    | 0     | <i>sin dato</i> |
| Julio      | 0                      | 0     | 0    | 1    | 0    | 0    | 0     | 0               |
| Agosto     | 1                      | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0               |
| Septiembre | 3                      | 0     | 3    | 2    | 1    | 0    | 0     | 0               |
| Octubre    | 2                      | 0     | 1    | 1    | 3    | 0    | 0     | 1               |
| Noviembre  | 0                      | 4     | 1    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0               |
| Diciembre  | 5                      | 0     | 0    | 0    | 0    | 0    | 0     | 0               |

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

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

+ en el año 2013 se muestrearon solamente 12 días en julio, 20 días en agosto y 3 días en noviembre.

<sup>Φ</sup> en el año 2014 no hubo muestreo durante los meses de mayo y junio.

En la figura 27 se indica la comparativa del total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional entre 2007- 2014 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.

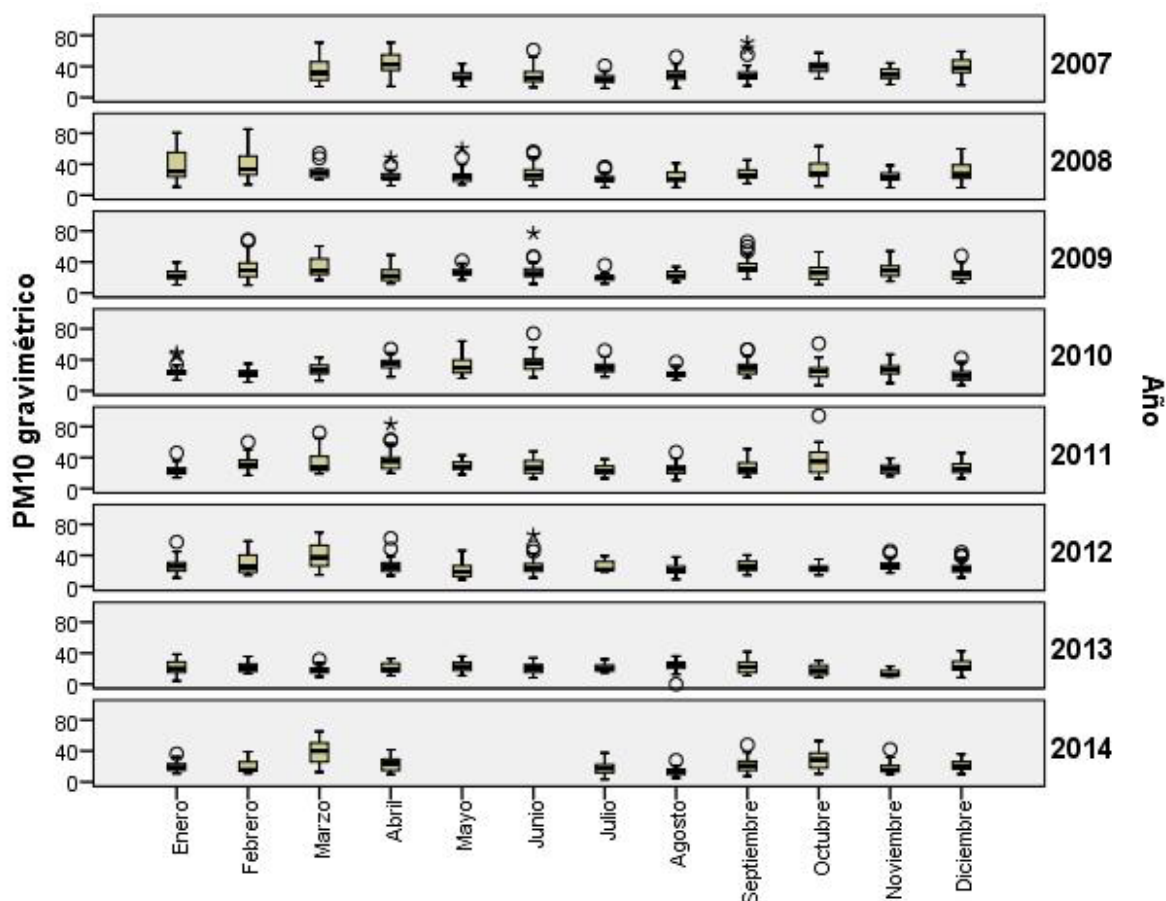


Figura 27. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo desde el año 2007 a 2014.

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 28.

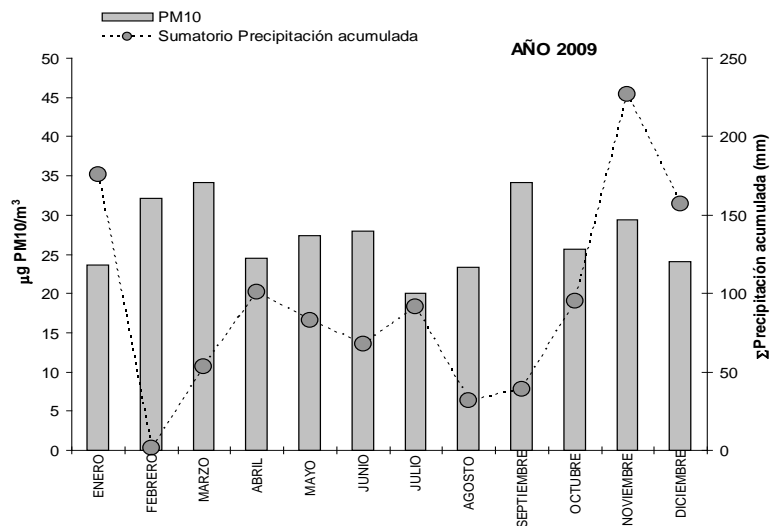
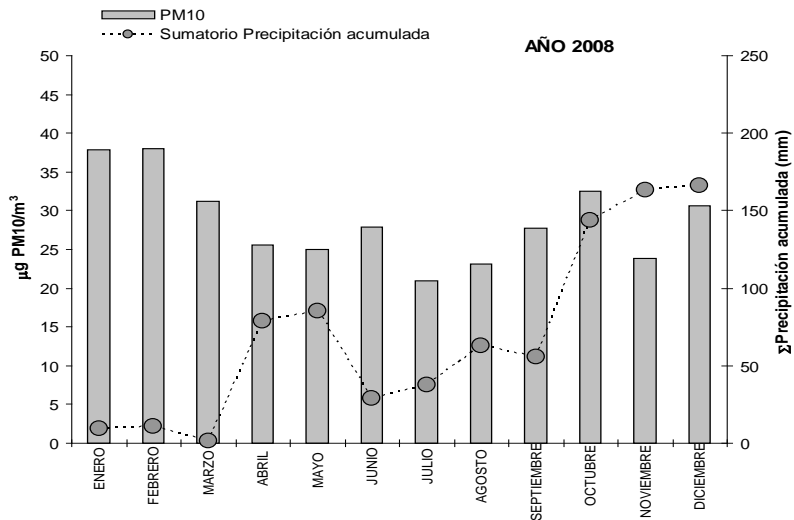
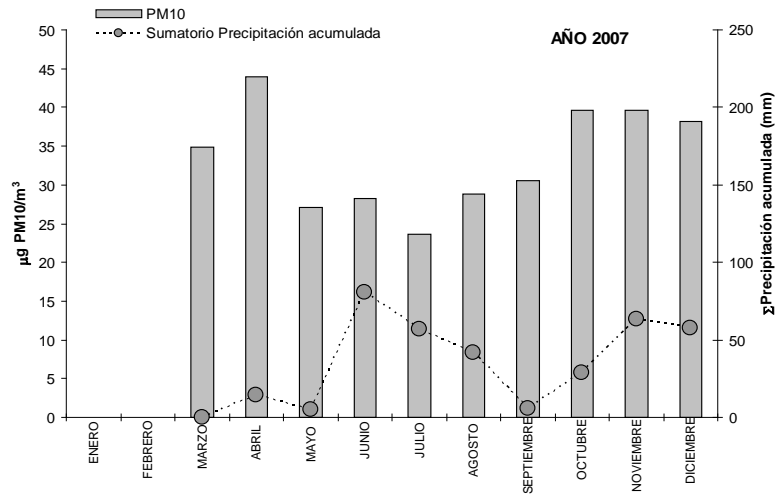
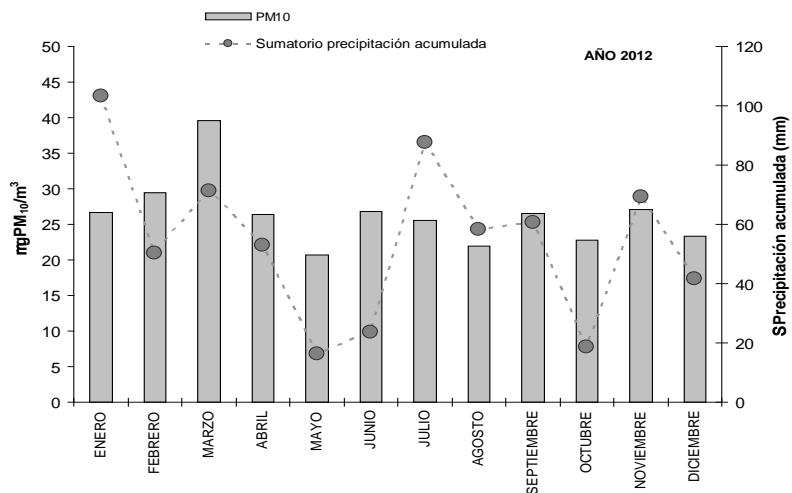
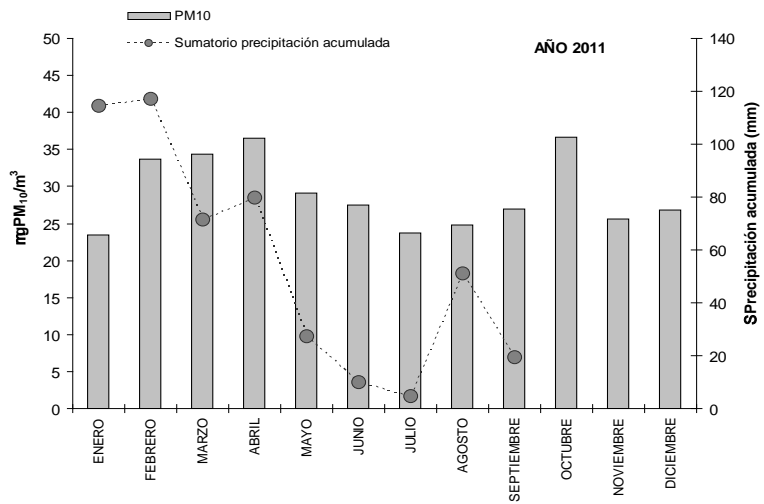
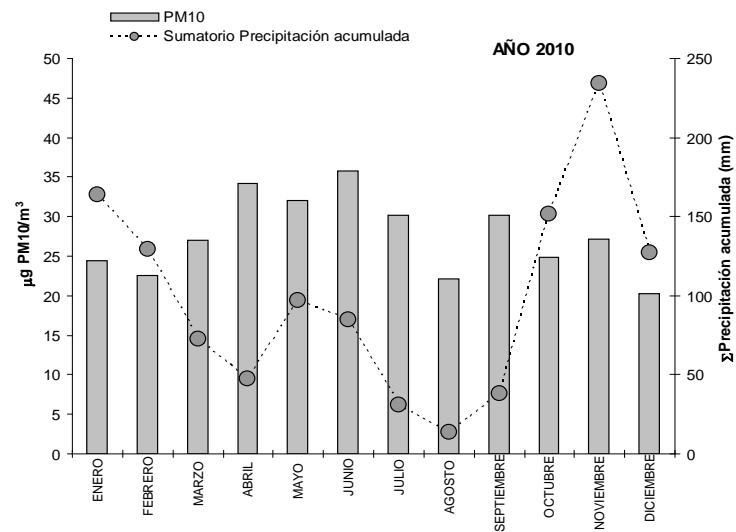
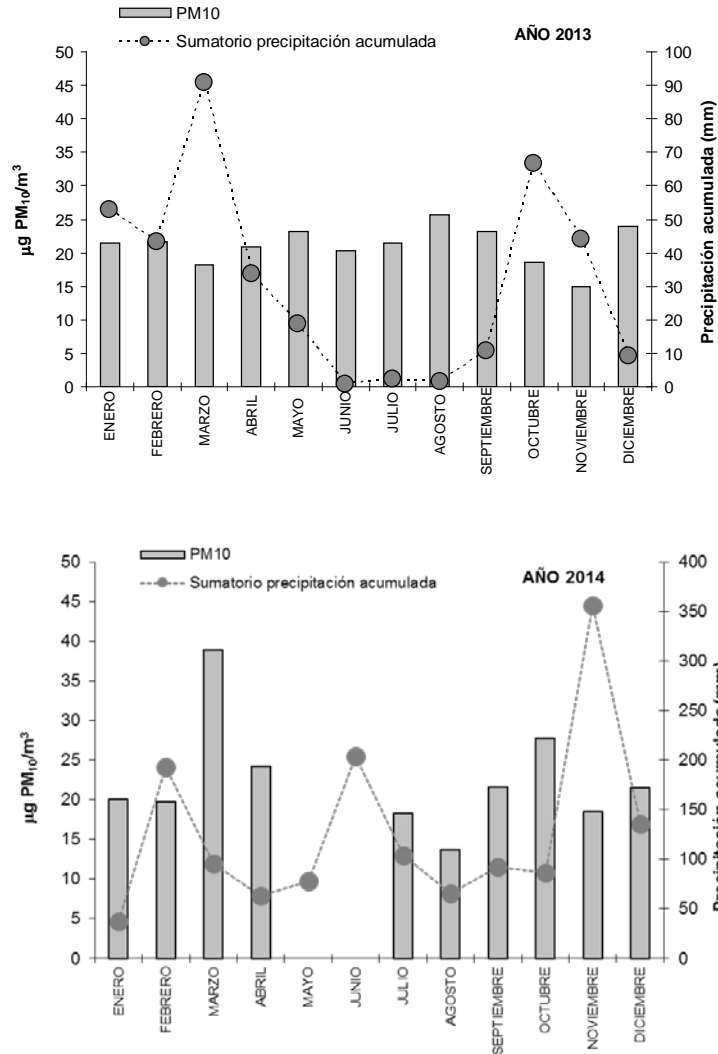


Figura 28. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2014. (continúa)



**Figura 28. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2014 (para el tercer trimestre del año 2011 no se disponen de datos de precipitación). (continúa)**



**Figura 28. Niveles promedio mensuales de PM<sub>10</sub> y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2014.**

En la figura 29 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.

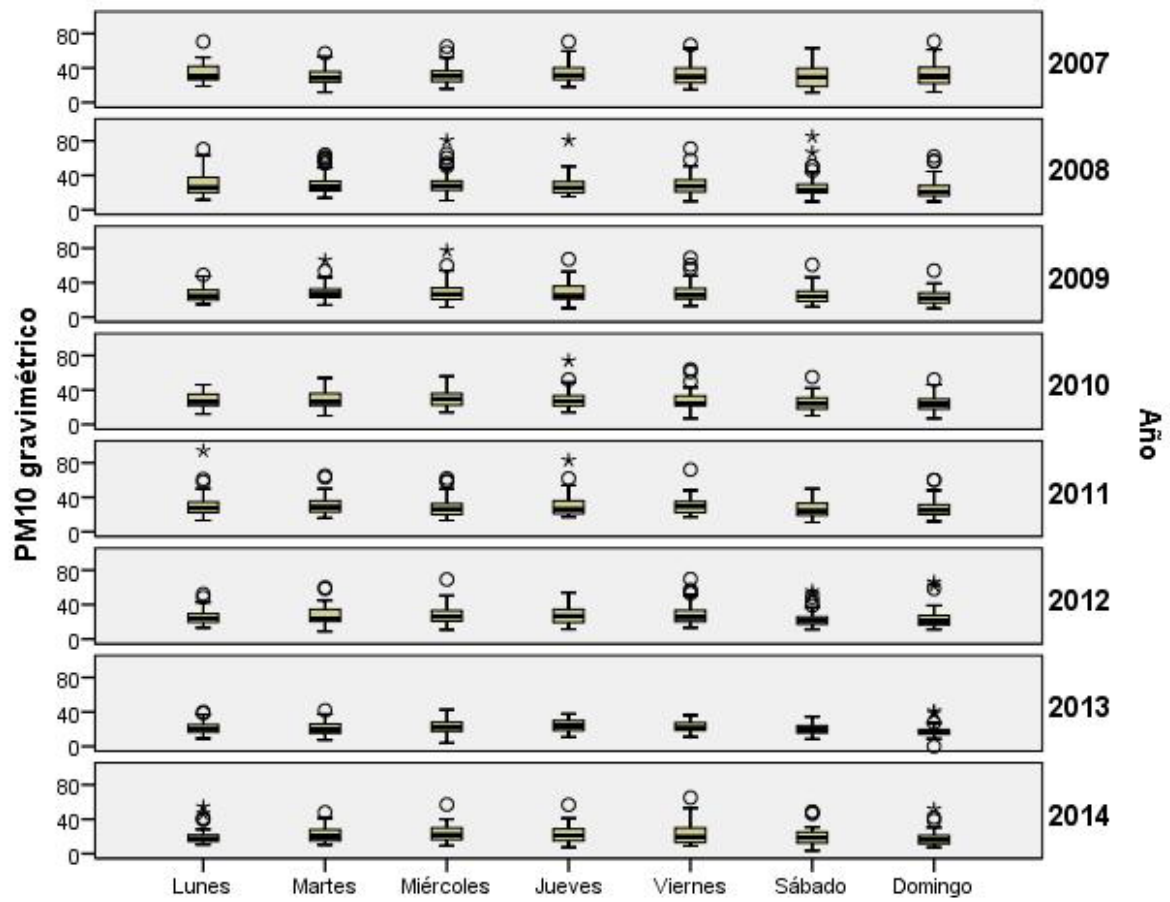


Figura 29. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana desde el año 2007 a 2014.

## 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 2010-2014.

**Tabla XVI. Factor gravimétrico.**

| Período            | 2007*       | 2008#       | 2010+       | 2011§       | 2012#       | 2013#       | 2014#       |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Primavera/verano   | 1,22        | 1,28        | 1,47        | 1,44        | 1,37        | 1,25        | 1,13        |
| Otoño/invierno     | 1,31        | 1,22        | 1,43        | 1,46        | 1,38        | 1,17        | 1,16        |
| <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> | <b>1,15</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, 2013 y 2014

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

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

+ Año 2010

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

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

§ Año 2011

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

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

**Tabla XVII. Resumen de los valores (promedio mensual) correspondientes a la fracción granulométrica PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) durante los años 2007, 2008, 2010, 2012, 2013 y 2014.**

|                    | PM <sub>10</sub> |           |           |           |           |           |           |
|--------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 2007*            | 2008#     | 2010+     | 2011§     | 2012#     | 2013#     | 2014#     |
| Enero              | -                | 30        | -         | -         | 20        | 17        | 18        |
| Febrero            | -                | 33        | 16        | 17        | 22        | 19        | 17        |
| Marzo              | -                | 22        | 19        | 19        | 28        | 15        | 28        |
| Abril              | -                | 20        | 22        | 25        | 15        | 17        | 19        |
| Mayo               | 24               | 19        | 20        | 20        | 15        | 16        | 16        |
| Junio              | 23               | 21        | 24        | 18        | 16        | 17        | 22        |
| Julio              | 18               | 18        | 16        | 17        | 15        | 23        | 18        |
| Agosto             | 22               | 19        | 13        | 17        | -         | 17        | 14        |
| Septiembre         | 24               | 21        | 18        | 17        | 18        | 19        | 21        |
| Octubre            | 29               | 22        | 16        | 25        | 17        | 14        | 24        |
| Noviembre          | 25               | -         | -         | 16        | 18        | 12        | 18        |
| Diciembre          | 27               | -         | -         | 12        | 17        | 23        | 21        |
| <b>MEDIA ANUAL</b> | <b>24</b>        | <b>22</b> | <b>16</b> | <b>18</b> | <b>18</b> | <b>17</b> | <b>20</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 XVIII. 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, 2013 y 2014.**

|                    | PM <sub>2,5</sub> |           |           |           |           |           |           |
|--------------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 2007*             | 2008#     | 2010+     | 2011§     | 2012#     | 2013#     | 2014#     |
| Enero              | -                 | 22        | -         | -         | 17        | 14        | 15        |
| Febrero            | -                 | 22        | 13        | 14        | 18        | 16        | 14        |
| Marzo              | -                 | 16        | 15        | 15        | 22        | 13        | 23        |
| Abril              | -                 | 15        | 18        | 17        | 13        | 14        | 16        |
| Mayo               | 16                | 15        | 15        | 15        | 13        | 13        | 13        |
| Junio              | 18                | 16        | 14        | 13        | 14        | 14        | 19        |
| Julio              | 13                | 13        | 13        | 12        | 12        | 20        | 15        |
| Agosto             | 16                | 14        | 11        | 13        | -         | 14        | 11        |
| Septiembre         | 18                | 16        | 15        | 13        | 15        | 15        | 18        |
| Octubre            | 23                | 17        | 14        | 20        | 15        | 12        | 19        |
| Noviembre          | 19                | -         | -         | 14        | 15        | 11        | 14        |
| Diciembre          | 21                | -         | -         | 11        | 15        | 20        | 18        |
| <b>MEDIA ANUAL</b> | <b>18</b>         | <b>17</b> | <b>14</b> | <b>14</b> | <b>15</b> | <b>15</b> | <b>16</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>1</sub> (µg/m<sup>3</sup>) durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.**

|                    | PM <sub>1</sub> |           |           |           |           |           |           |
|--------------------|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                    | 2007*           | 2008#     | 2010+     | 2011§     | 2012#     | 2013#     | 2014#     |
| Enero              | -               | 15        | -         | -         | 12        | 9         | 10        |
| Febrero            | -               | 16        | 9         | 11        | 14        | 11        | 9         |
| Marzo              | -               | 10        | 10        | 12        | 16        | 9         | 17        |
| Abril              | -               | 10        | 13        | 12        | 8         | 9         | 11        |
| Mayo               | 10              | 11        | 10        | 10        | 8         | 9         | 8         |
| Junio              | 12              | 11        | 13        | 8         | 10        | 10        | 14        |
| Julio              | 9               | 8         | 8         | 8         | 8         | 14        | 11        |
| Agosto             | 10              | 10        | 7         | 9         | -         | 10        | 7         |
| Septiembre         | 12              | 11        | 10        | 9         | 10        | 10        | 13        |
| Octubre            | 17              | 11        | 10        | 15        | 11        | 5         | 13        |
| Noviembre          | 14              | -         | -         | 10        | 10        | 7         | 10        |
| Diciembre          | 18              | -         | -         | 8         | 10        | 14        | 13        |
| <b>MEDIA ANUAL</b> | <b>13</b>       | <b>11</b> | <b>10</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>10</b> | <b>11</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. Valores de las ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.**

|                    | $PM_{2,5}/PM_{10}$ |             |             |             |             |             |             |
|--------------------|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | 2007*              | 2008#       | 2010+       | 2011§       | 2012#       | 2013#       | 2014#       |
| Enero              | -                  | 0,74        | -           | -           | 0,83        | 0,84        | 0,83        |
| Febrero            | -                  | 0,68        | 0,80        | 0,85        | 0,85        | 0,84        | 0,84        |
| Marzo              | -                  | 0,73        | 0,78        | 0,79        | 0,78        | 0,86        | 0,83        |
| Abril              | -                  | 0,75        | 0,80        | 0,68        | 0,85        | 0,81        | 0,84        |
| Mayo               | 0,69               | 0,81        | 0,77        | 0,76        | 0,85        | 0,82        | 0,81        |
| Junio              | 0,74               | 0,76        | 0,78        | 0,75        | 0,85        | 0,86        | 0,85        |
| Julio              | 0,75               | 0,71        | 0,85        | 0,74        | 0,81        | 0,84        | 0,84        |
| Agosto             | 0,73               | 0,77        | 0,83        | 0,75        | -           | 0,84        | 0,81        |
| Septiembre         | 0,74               | 0,77        | 0,82        | 0,77        | 0,87        | 0,82        | 0,85        |
| Octubre            | 0,79               | 0,76        | 0,86        | 0,78        | 0,90        | 0,89        | 0,80        |
| Noviembre          | 0,78               | -           | -           | 0,85        | 0,83        | 0,90        | 0,82        |
| Diciembre          | 0,79               | -           | -           | 0,93        | 0,86        | 0,85        | 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> | <b>0,83</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  $PM_1/PM_{2,5}$  entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.**

|                    | $PM_1/PM_{2,5}$ |             |             |             |             |             |             |
|--------------------|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | 2007*           | 2008#       | 2010+       | 2011§       | 2012#       | 2013#       | 2014#       |
| Enero              | -               | 0,69        | -           | -           | 0,73        | 0,66        | 0,63        |
| Febrero            | -               | 0,74        | 0,65        | 0,75        | 0,75        | 0,69        | 0,61        |
| Marzo              | -               | 0,61        | 0,66        | 0,70        | 0,75        | 0,66        | 0,74        |
| Abril              | -               | 0,65        | 0,70        | 0,72        | 0,65        | 0,64        | 0,70        |
| Mayo               | 0,61            | 0,69        | 0,66        | 0,67        | 0,67        | 0,64        | 0,65        |
| Junio              | 0,65            | 0,67        | 0,68        | 0,64        | 0,69        | 0,67        | 0,73        |
| Julio              | 0,63            | 0,63        | 0,65        | 0,65        | 0,65        | 0,74        | 0,70        |
| Agosto             | 0,63            | 0,66        | 0,63        | 0,66        | -           | 0,67        | 0,64        |
| Septiembre         | 0,67            | 0,70        | 0,67        | 0,66        | 0,68        | 0,68        | 0,74        |
| Octubre            | 0,74            | 0,66        | 0,66        | 0,76        | 0,71        | 0,67        | 0,71        |
| Noviembre          | 0,71            | -           | -           | 0,71        | 0,68        | 0,64        | 0,67        |
| Diciembre          | 0,82            | -           | -           | 0,69        | 0,69        | 0,74        | 0,73        |
| <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> | <b>0,69</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  $PM_1/PM_{10}$  entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.**

|                    | $PM_1/PM_{10}$ |             |             |             |             |             |             |
|--------------------|----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
|                    | 2007*          | 2008#       | 2010+       | 2011§       | 2012#       | 2013#       | 2014#       |
| Enero              | -              | 0,51        | -           | -           | 0,61        | 0,55        | 0,53        |
| Febrero            | -              | 0,50        | 0,52        | 0,63        | 0,64        | 0,58        | 0,51        |
| Marzo              | -              | 0,45        | 0,52        | 0,56        | 0,59        | 0,57        | 0,61        |
| Abril              | -              | 0,49        | 0,56        | 0,49        | 0,55        | 0,52        | 0,59        |
| Mayo               | 0,42           | 0,56        | 0,50        | 0,51        | 0,56        | 0,52        | 0,53        |
| Junio              | 0,49           | 0,51        | 0,53        | 0,48        | 0,59        | 0,58        | 0,63        |
| Julio              | 0,48           | 0,45        | 0,55        | 0,48        | 0,53        | 0,62        | 0,58        |
| Agosto             | 0,46           | 0,51        | 0,53        | 0,50        | -           | 0,57        | 0,52        |
| Septiembre         | 0,50           | 0,54        | 0,55        | 0,52        | 0,60        | 0,56        | 0,63        |
| Octubre            | 0,59           | 0,50        | 0,57        | 0,59        | 0,64        | 0,60        | 0,57        |
| Noviembre          | 0,56           | -           | -           | 0,60        | 0,56        | 0,58        | 0,54        |
| Diciembre          | 0,65           | -           | -           | 0,64        | 0,60        | 0,63        | 0,62        |
| <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> | <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.

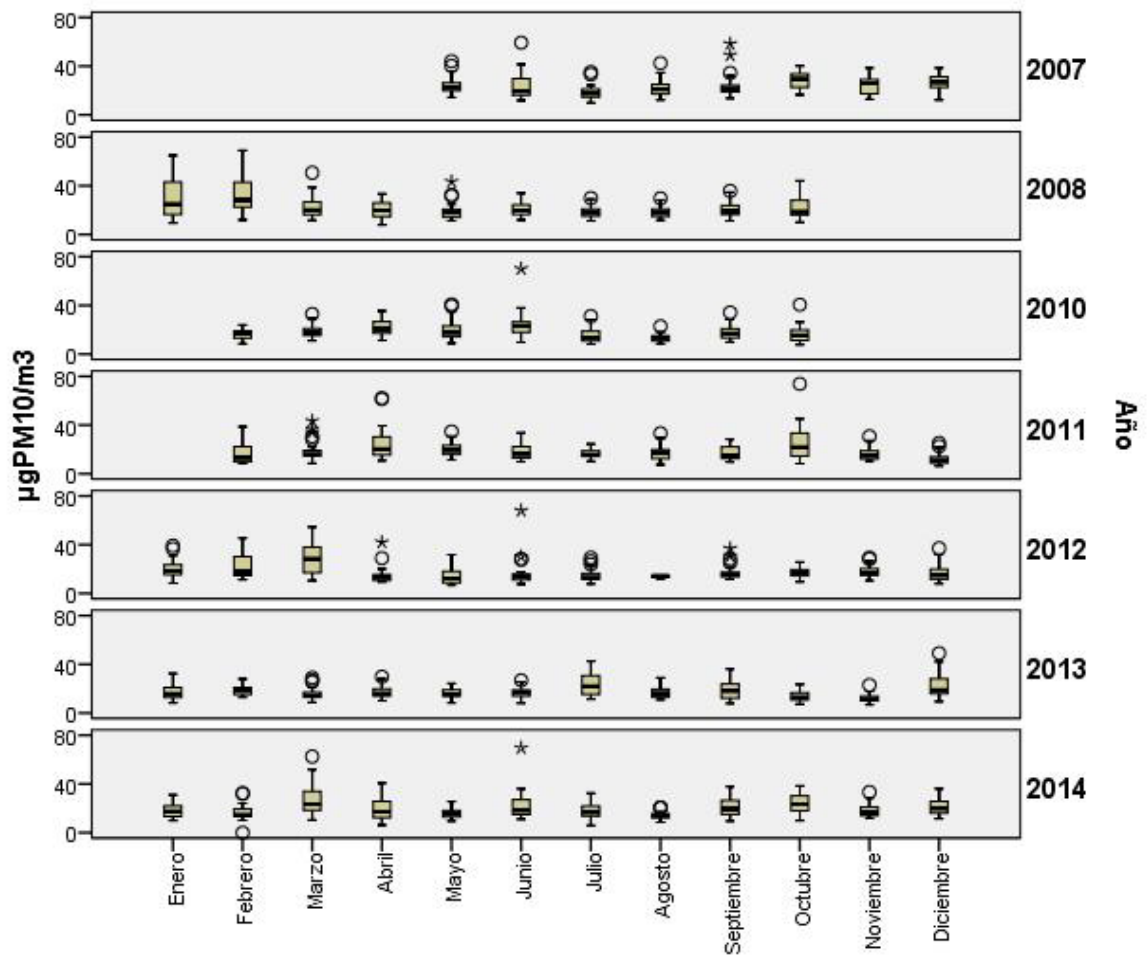


Figura 30. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM<sub>10</sub> (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.

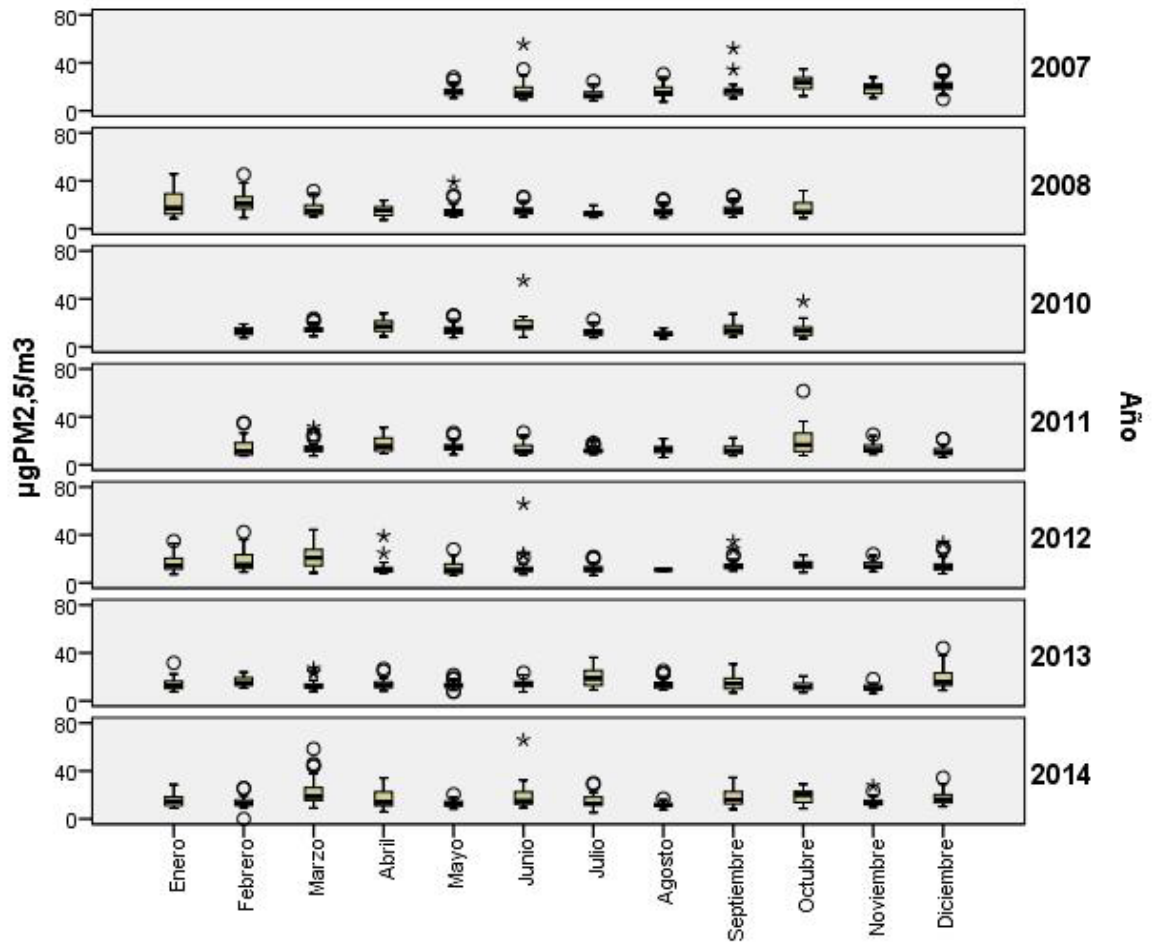


Figura 31. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM<sub>2,5</sub> (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.

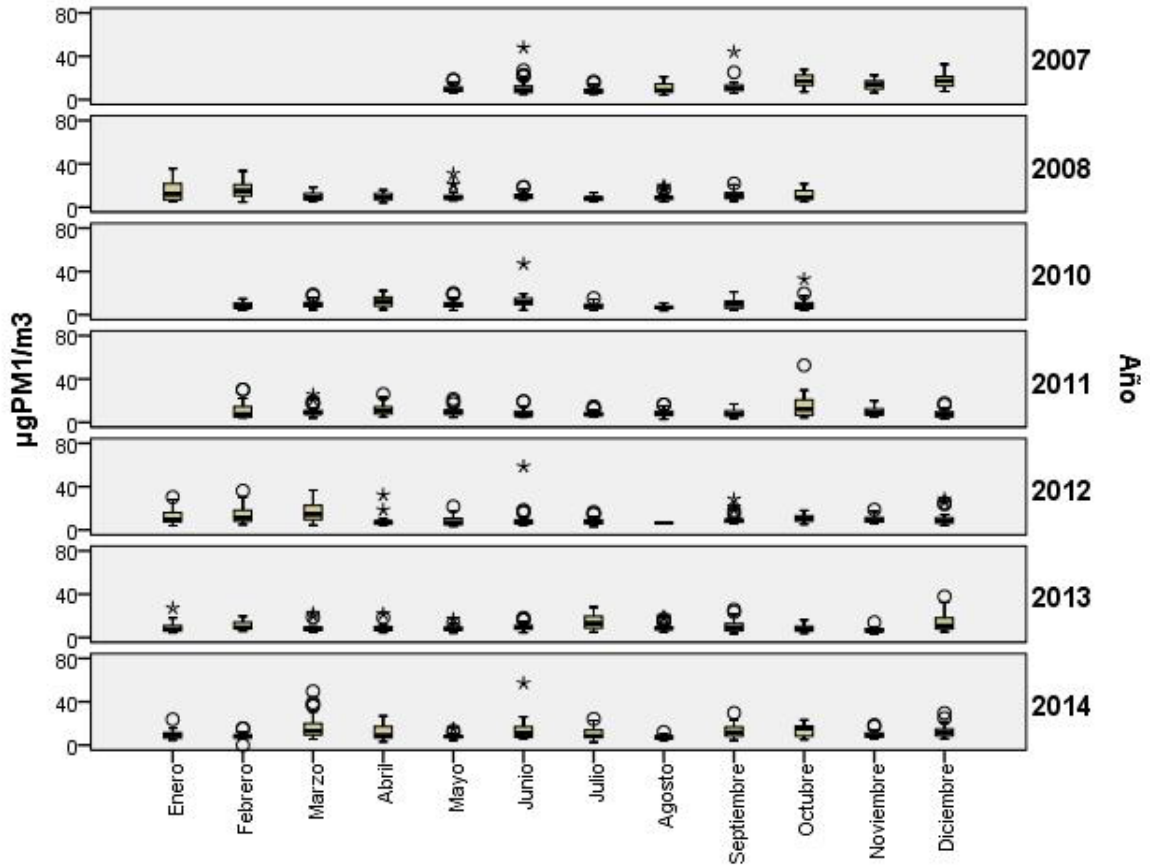


Figura 32. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de PM<sub>1</sub> (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.

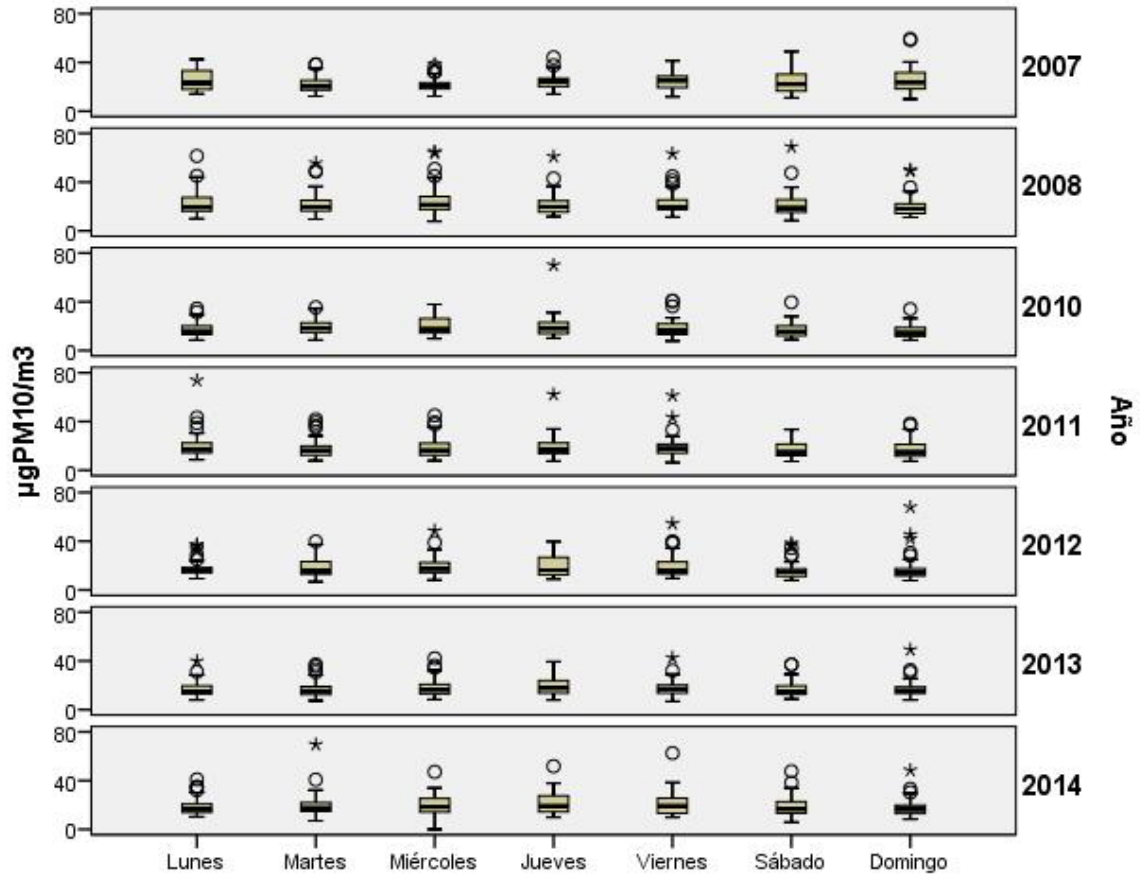


Figura 33. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de  $PM_{10}$  para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.

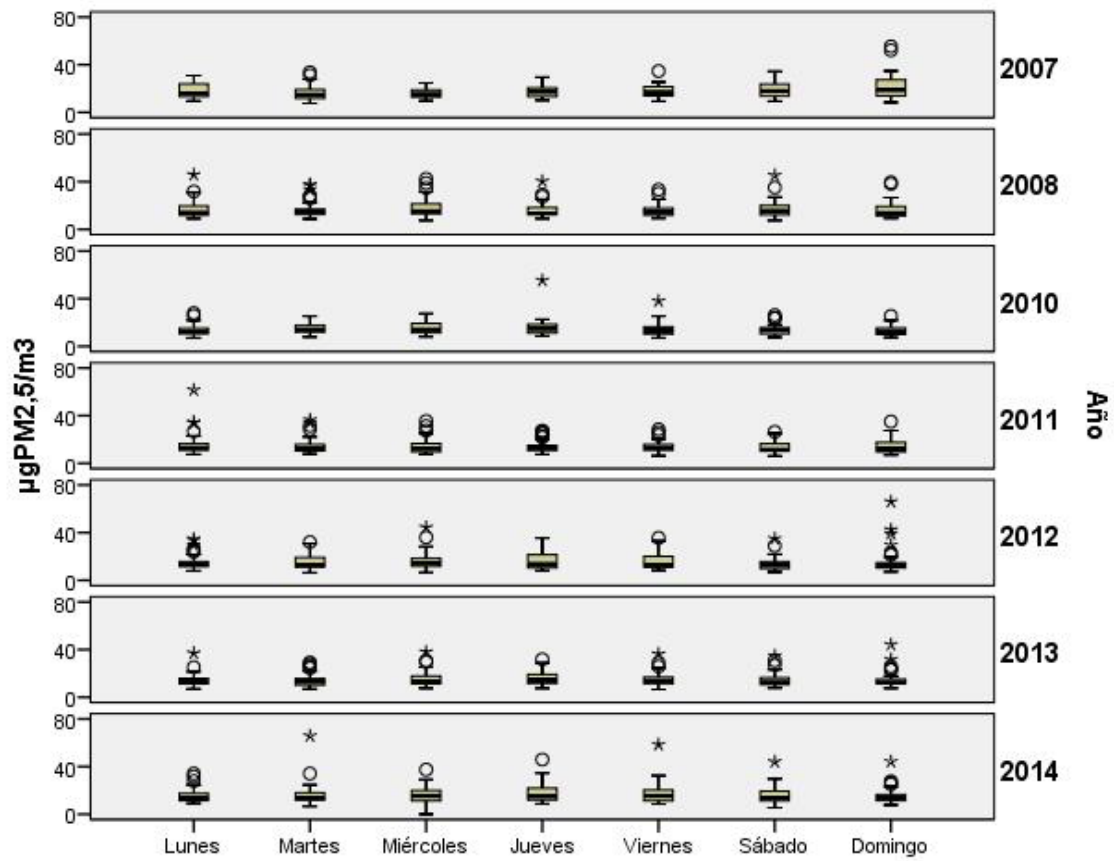


Figura 34. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM<sub>2,5</sub> para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.

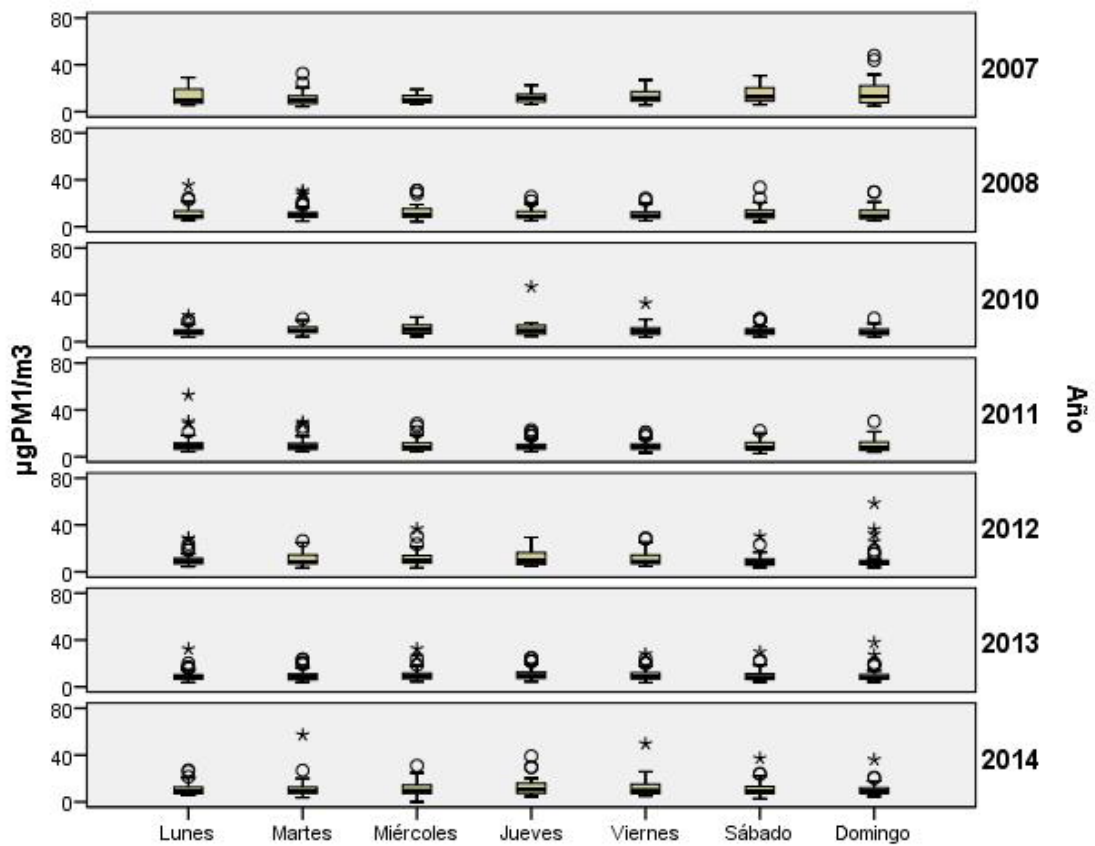
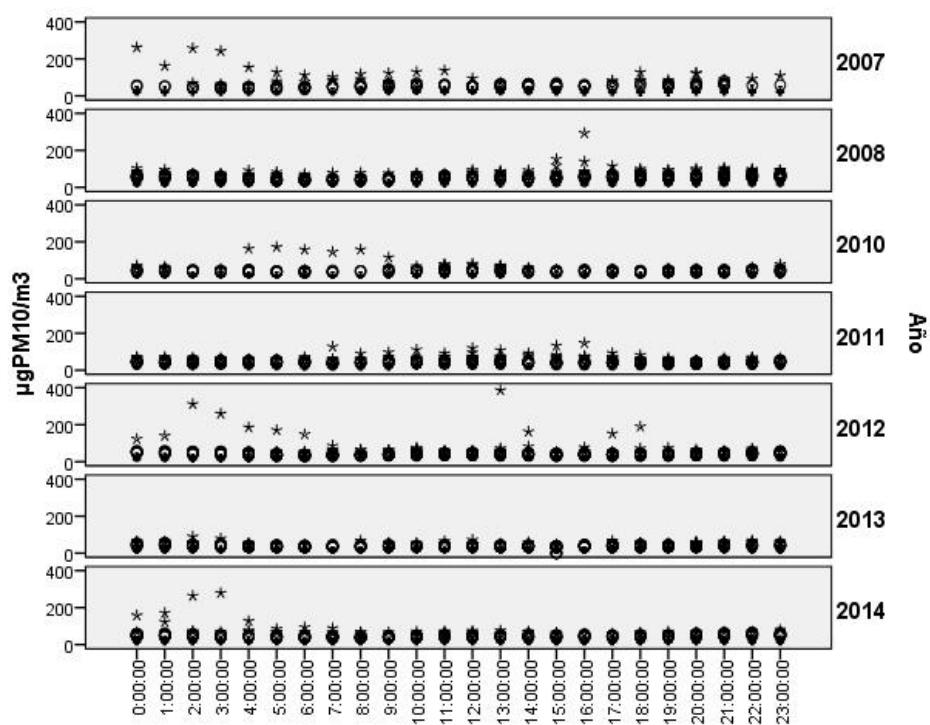


Figura 35. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de  $\text{PM}_{10}$  para los diferentes días de la semana durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014.



(A)



(B)

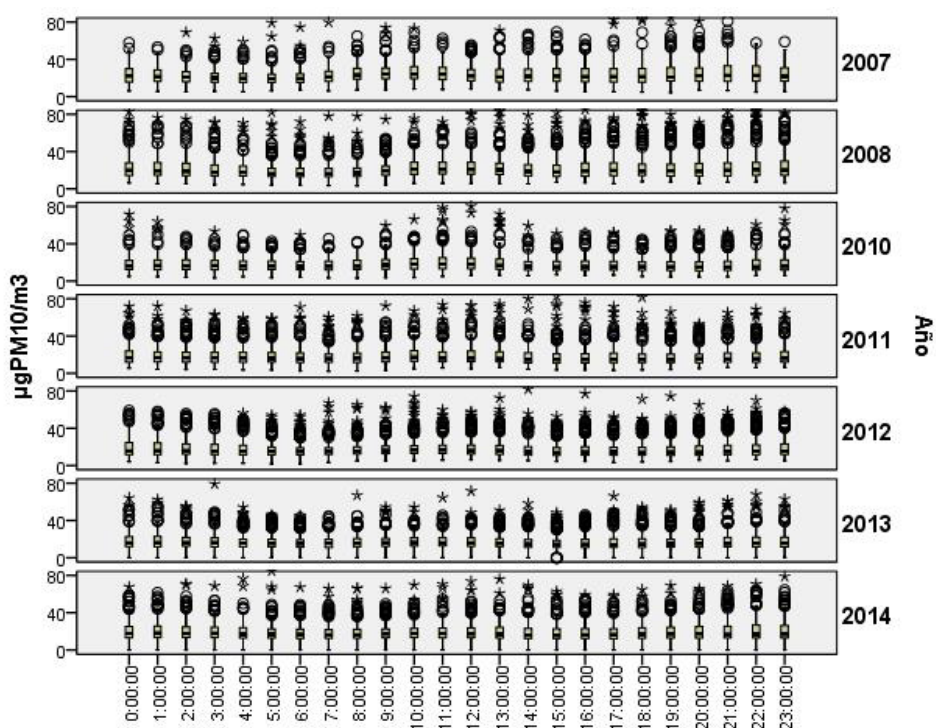
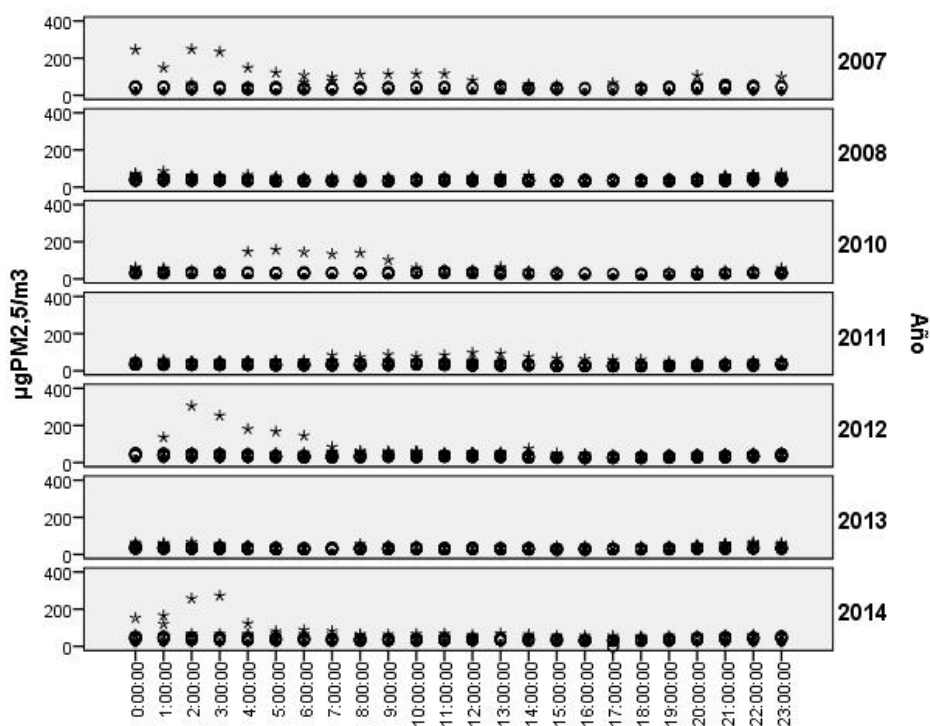


Figura 36. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de  $\text{PM}_{10}$  durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

(A)



(B)

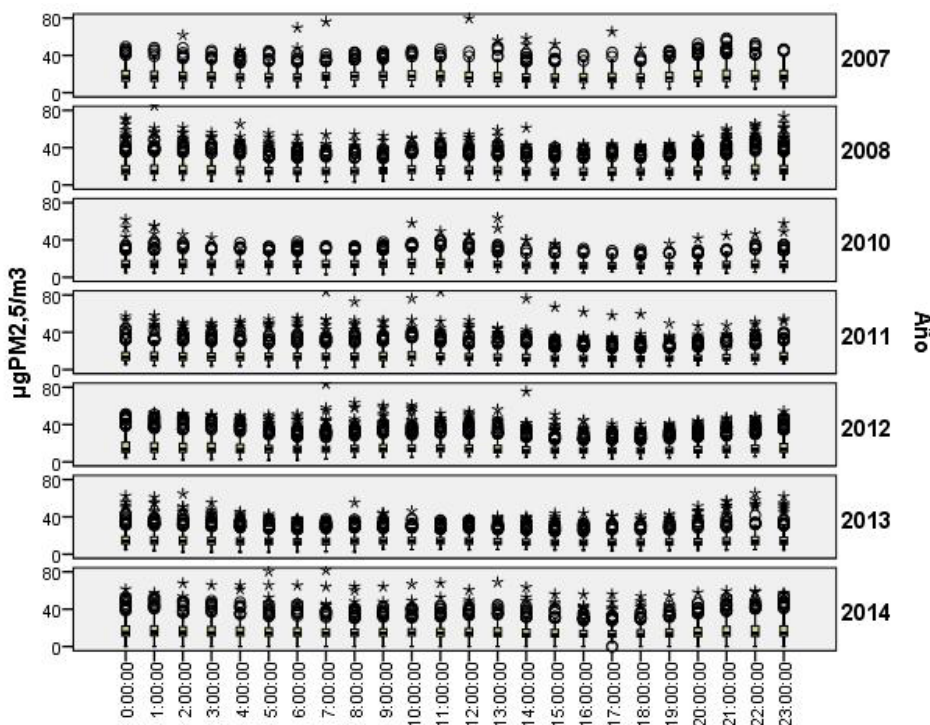
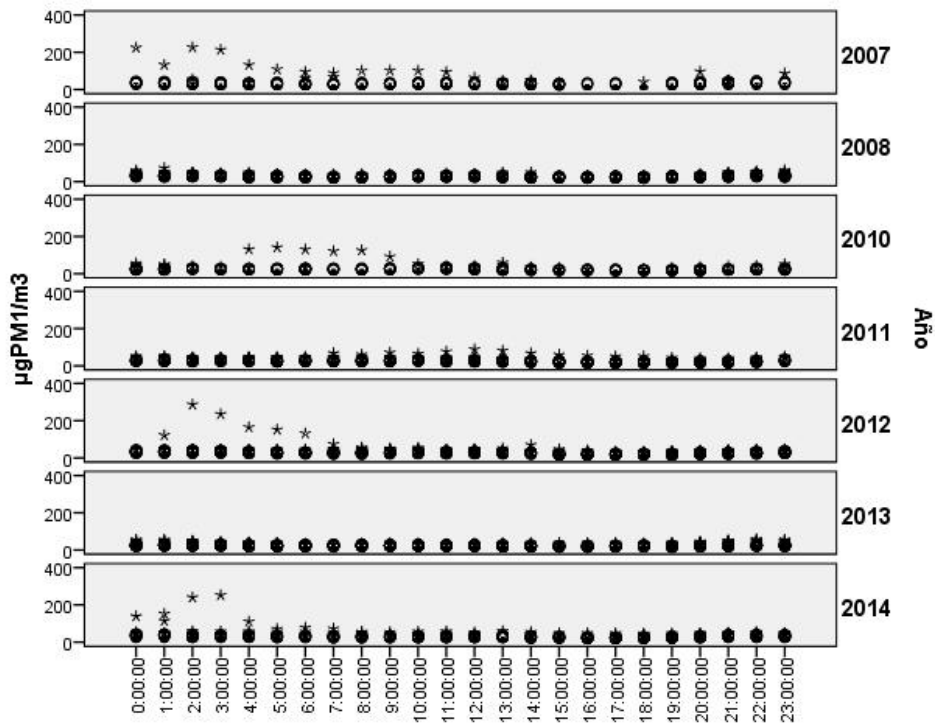


Figura 37. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de  $\text{PM}_{2.5}$  durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

(A)



(B)

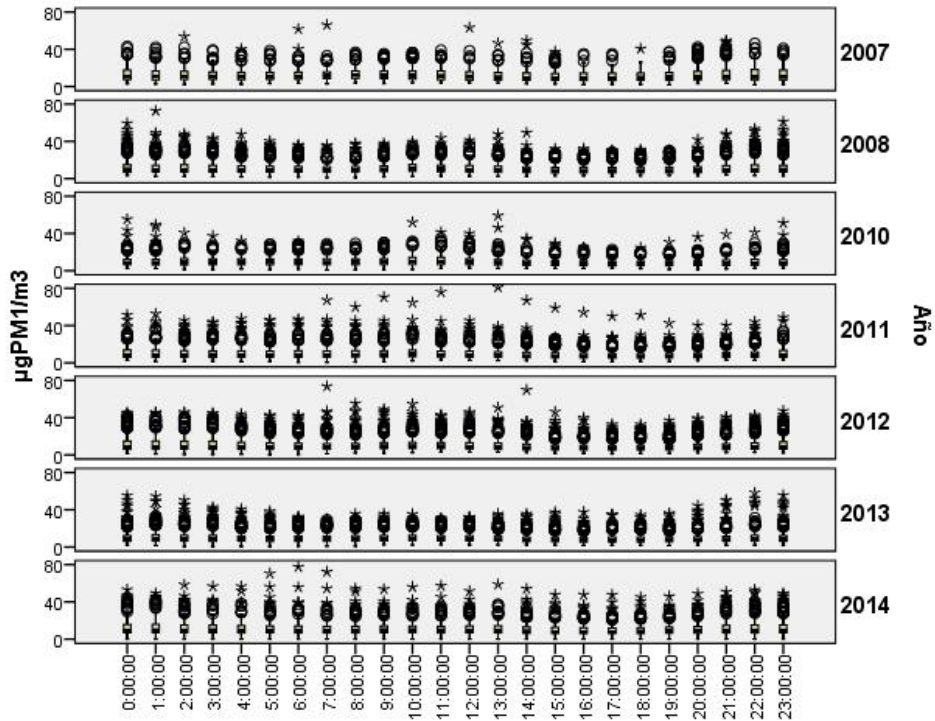


Figura 38. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM<sub>1</sub> durante los años 2007, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013 y 2014. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.