

INFORME FINAL 2009



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

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

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

AUTORES:

Han intervenido:

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

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

Dra. Purificación López Mahía. Catedrática de Química Analítica.

Dra. Soledad Muniategui Lorenzo. Catedrática de Química Analítica.

Dr. Darío Prada Rodríguez. Catedrático de Química Analítica.

de la

Universidad de A Coruña,



UNIVERSIDADE DA CORUÑA



AGRADECIMIENTOS:

- La Fundación ALCOA por financiar la adquisición del muestreador de partículas DIGITEL dentro del Proyecto titulado “Levels of PM10 in the City of a Coruña” entre 2005-2006.
- Centro Meteorológico Territorial de Galicia situado en A Coruña y perteneciente al Instituto Nacional de Meteorología.
- Personal de mantenimiento del Complejo Deportivo San Diego.

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

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....	5
METODOLOGÍA	7
Muestreo	7
Tratamiento de los filtros y medida gravimétrica	9
RESULTADOS.....	10
Marco Normativo	10
Niveles de PM ₁₀ según medida gravimétrica.....	11
Niveles de PM ₁₀ , PM _{2,5} y PM ₁ según espectrómetro láser	26
CONCLUSIONES	26
ANEXOS	
I. Gráficos de control de las condiciones de humedad y temperatura de la sala de balanzas para la pesada de los filtros con materia particulada	28
II. Intercomparación del espectrómetro láser con el equipo gravimétrico	29
III. Gráficas de los niveles de partículas PM ₁₀ para días laborables y fines de semana ...	30
IV. Origen de las masas de aire	33
V. Comparativa con los resultados durante el período 2007-2009	35
Niveles de PM ₁₀ según medida gravimétrica	35
Niveles de PM ₁₀ , PM _{2,5} y PM ₁ según espectrómetro láser	39

INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

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

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, y se considera un constituyente habitual de la atmósfera terrestre. Dicho material es emitido mayoritariamente por fuentes naturales (materia mineral resuspendida, aerosol marino, actividad volcánica, incendios forestales no intencionados, emisiones biogénicas, etc.). En la actualidad 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 a incrementar los niveles de particulado atmosférico en suspensión, si bien las fuentes naturales contribuyen de forma dominante a las emisiones a escala global (IPCC, 2007)⁶.

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

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

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

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

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

⁶ IPCC, 2007. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC. <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-wg1.htm>

Uno de los parámetros incluidos en la evaluación de la calidad de aire ambiente^{4,5} son las partículas PM_{10} , 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_{10} de la norma EN 12341 para un diámetro aerodinámico de 10 μm con una eficiencia de corte del 50%.

A pesar de que los estándares de calidad de aire ambiente para partículas en suspensión han sido propuestos para la fracción inferior a 10 μm (PM_{10}), también ha sido reconocida la importancia y trascendencia, por parte de la Comisión Europea, de la fracción inferior a 2,5 μm ($PM_{2,5}$). Así en la Directiva 2008/50 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. No obstante con el fin de asegurar un grado mínimo de protección de la salud en todas las zonas, este enfoque deberá combinarse con un valor límite, que en una primera etapa debe ir precedido de un valor objetivo. Esta fracción $PM_{2,5}$ se define como las partículas que pasan a través de un cabezal de tamaño selectivo definido por el método de referencia para el muestreo y la medición de $PM_{2,5}$ de la norma EN 14907, para un diámetro aerodinámico de 2,5 μm con una eficiencia de corte del 50%.

El presente informe final resume los resultados sobre los niveles diarios de partículas PM_{10} , desde enero a diciembre de 2009 en la zona de Os Castros, según el convenio de colaboración entre el Ayuntamiento de A Coruña-UDC. La selección del punto de muestreo se realizó conjuntamente con personal del área de Medio Ambiente del Ayuntamiento de A Coruña.

Los objetivos principales han sido:

- Evaluación de los niveles de partículas en suspensión PM_{10} realizando el estudio de la evolución temporal a lo largo del período de muestreo.
- Obtener una serie temporal de niveles de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_{1} para determinar los niveles de partículas de diferentes fracciones granulométricas.
- Comparación simultánea de las medidas de PM_{10} del equipo automático GRIMM con las medidas del captador de referencia gravimétrico.
- Realizar una evaluación de la calidad de aire en el lugar de muestreo de acuerdo a la normativa vigente.
- Además se ha incluido una comparativa durante el período 2007-2009.

METODOLOGÍA

MUESTREO

El punto de muestreo se sitúa en las instalaciones del Complejo Deportivo San Diego (figura 1) en donde se han recogido muestras diarias desde el 1 de enero hasta el 31 de diciembre de 2009.



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

Para la recogida de las muestras se empleó un muestreador automático de alto volumen DIGTEL DHA-80⁷ que cumple los requisitos de la Norma UNE-EN 12341⁸ (figura 2) para el muestreo de PM₁₀. El caudal de aspiración durante el muestreo ha sido de 30 m³/h. El funcionamiento del equipo es el siguiente: el aire penetra por el cabezal de corte (PM₁₀) por efecto de la aspiración de una bomba, y atraviesa el filtro para ser finalmente expulsado por el extremo opuesto del equipo. Las partículas de diámetro seleccionado son retenidas 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.

⁷ Muestreador adquirido gracias a un Proyecto financiado por la Fundación ALCOA titulado “Levels of PM₁₀ in the City of a Coruña” entre 2005-2006.

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



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

En el punto de muestreo se dispone además de un espectrómetro láser GRIMM 1107 (figura 3). El monitor láser GRIMM 1107 permite medir en modo continuo los niveles de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 (partículas de diámetro $<1 \mu m$). Este equipo realiza medidas del número de partículas en función del diámetro por medio de la dispersión del haz de un láser. Las partículas penetran en el equipo y generan señales a diferentes longitudes de onda en función de su diámetro, que son registradas por el detector. El número de cuentas por cada fracción granulométrica es después convertido a masa por medio de un algoritmo y finalmente expresado en $\mu g/m^3$ de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 . Así, al conocer la distribución de las tres fracciones granulométricas del material particulado en suspensión en el aire se puede establecer la contribución de cada una al total de PM_{10} .

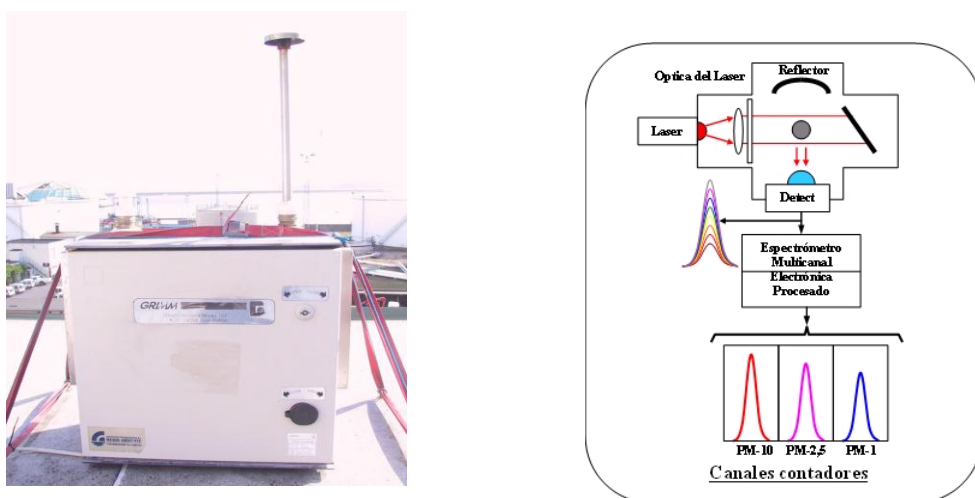


Figura 3. Fotografía y esquema de funcionamiento (cortesía de SIR S.A) del espectrómetro láser GRIMM 1107.

TRATAMIENTO DE LOS FILTROS Y MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Para el muestreo se han empleado filtros de fibra de cuarzo QF20 Schleicher & Schuell y 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 $20\pm1^{\circ}C$ de temperatura y $50\pm5\%$ humedad relativa¹⁰. 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. 28).

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 restrictiva⁹. 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 la de 1 g. Además, en el cuarto de balanzas se mantienen filtros blancos de referencia iguales a los que se usan en el muestreo y su peso se registra en cada sesión de pesada. Si las masas de los filtros blancos de referencia han cambiado menos de 500 μg desde la última sesión de pesada, su masa media se registra y se procede a la pesada de los filtros con la muestra. En caso contrario, no se pesan filtros con las muestras, hasta que la diferencia de pesada de los filtros blancos de referencia sea menor de los 500 μg .

Los filtros que se usan en el muestreo se pesan dos veces con un intervalo de al menos 12 h, para confirmar que el peso del filtro es estable. Posteriormente se toma la media de las dos medidas como peso del filtro en blanco. Después del muestreo los filtros, con materia particulada PM_{10} , se mantienen en la sala de balanzas durante un mínimo de 48 h antes de la primera pesada y después de 24 a 72 h se realiza una segunda pesada. La masa del filtro PM_{10} se toma como la media de las dos medidas.

A continuación se crea una base de datos con los valores de PM_{10} referidos al volumen de muestreo ($\mu g PM_{10}/m^3$). Siguiendo las recomendaciones del Grupo de Trabajo sobre Optimización de Redes, Campañas Experimentales e Interpretación de Datos del V Seminario de la Calidad del Aire en España, 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).

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

RESULTADOS

MARCO NORMATIVO

Con la aparición de la Directiva 2008/50⁵ relativa a la calidad de aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa se establecen los siguientes valores límite que se indican en la tabla I.

Tabla I. Valores límite (PM₁₀) para la protección de la salud humana⁵.

Período de promedio	Valor límite*	Margen de tolerancia**	Fecha en la que debe alcanzarse
1 día	50 µg/m ³ , de PM ₁₀ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año	50%	Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005
Año civil	40 µg/m ³	20%	Ya en vigor desde el 1 de enero de 2005

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

** *Margen de tolerancia*: porcentaje del valor límite en que puede superarse ese valor en las condiciones establecidas en la presente Directiva.

Existen casos en que el cumplimiento de los valores límite puede ser descontado por la CE cuando los valores límite son sobrepasados por las aportaciones de fuentes naturales como *“las emisiones de agentes contaminantes no causadas directa ni indirectamente por actividades humanas, lo que incluye los fenómenos naturales tales como erupciones volcánicas, actividades sísmicas, actividades geotérmicas, o incendios de zonas silvestres, fuertes vientos, aerosoles marinos o resuspensión atmosférica o transporte de partículas naturales procedentes de regiones áridas”*.

Además en el Anexo VII de la Directiva 2008/50 se incluyen los umbrales superior e inferior de evaluación (tabla II), 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.

Como novedad en esta Directiva y dada la importancia de la medida de los niveles de partículas PM_{2,5}, tal y como se ha comentado en la introducción de este informe, se establecen unos valores para estas partículas finas, tal y como se recoge en la tabla III.

Tabla II. Umbrales de evaluación superior e inferior para PM₁₀.

	Media diaria	Media anual
Umbral superior de evaluación*	70% del valor límite (35 µg/m³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	70% del valor límite (28 µg/m³)
Umbral inferior de evaluación **	50% del valor límite (25 µg/m³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	50% del valor límite (20 µg/m³)

* *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. Si se superan los umbrales la medición fija será obligatoria.

** *Umbral inferior de evaluación*: nivel por debajo del cual bastan las técnicas de modelización o de estimación objetivas para evaluar la calidad del aire ambiente.

Tabla III. Valores objetivo y límite; umbrales superior e inferior de evaluación para PM_{2,5}.

	Media anual
Valor objetivo*	25 µg/m³ que debe alcanzarse el 1 de enero de 2010
Valor límite (FASE I)	25 µg/m³ (con un margen de tolerancia del 20% en el momento de entrada en vigor de la Directiva y que se reducirá cada 12 meses hasta alcanzar el 0% el 1 de enero de 2015)
Valor límite (FASE II)	20 µg/m³ que debe alcanzarse el 1 de enero de 2020
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (17 µg/m³)
Umbral inferior de evaluación	50% del valor límite (12 µg/m³)

**Valor objetivo*: valor fijado con el fin de evitar, prevenir o reducir los efectos nocivos para la salud humana y el medio ambiente en su conjunto, que debe alcanzarse, en la medida de lo posible en un período determinado.

NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

En la tabla IV se indica la concentración media anual de PM₁₀ obtenida en el punto de muestreo objeto de estudio es de 27 µg/m³. Valor que cumple con los requerimientos de la normativa⁵ al estar por debajo del valor límite promedio anual de 40 µg/m³. Se han producido 12 superaciones del valor límite diario de 50 µg/m³, valor alejado de las 35 permitidas como máximo que se indican en la normativa.

Tabla IV. Resumen de los niveles de PM₁₀ en las muestras recogidas durante el año 2009.

Nº muestras recogidas	360
% de muestras relativas a año civil	99
VALOR MÁXIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m³)	77
VALOR MÍNIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m³)	10
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 µg/m³	12
VALOR MEDIO ANUAL de PM ₁₀ (µg/m³)	27

La tabla V y la figura 4 recogen los niveles medios mensuales de PM₁₀ que oscilan entre los 20 µg/m³ del mes de julio y los 34 µg/m³ de los meses de marzo y septiembre. Los valores máximos diarios se producen en los meses junio con 77 µg/m³ (coincidiendo con la noche de San Juan); en febrero con 69 µg/m³ y de 66 µg/m³ en septiembre, disminuyendo hasta los 36 µg/m³ para el mes de julio. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los 10 µg/m³ de los meses de enero y febrero y los 18 µg/m³ del mes de septiembre. En dicha tabla se indica además la distribución por mes del número de superaciones del valor límite diario, observando que entre los meses de enero y febrero y septiembre se producen un total de 9 que representan el 75 % del total de superaciones ocurridas durante 2009; en los meses de junio, octubre y noviembre se producen las 3 restantes que representan el 25% del total.

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

	Máximo	Mínimo (µg/m ³)	Media	Nº superaciones
Enero	39	10	24	0
Febrero	69	10	32	3
Marzo	61	17	34	3
Abril	49	12	24	0
Mayo	41	17	27	0
Junio	77	12	28	1
Julio	36	12	20	0
Agosto	34	14	23	0
Septiembre	66	18	34	3
Octubre	53	11	26	1
Noviembre	54	15	29	1
Diciembre	48	13	24	0

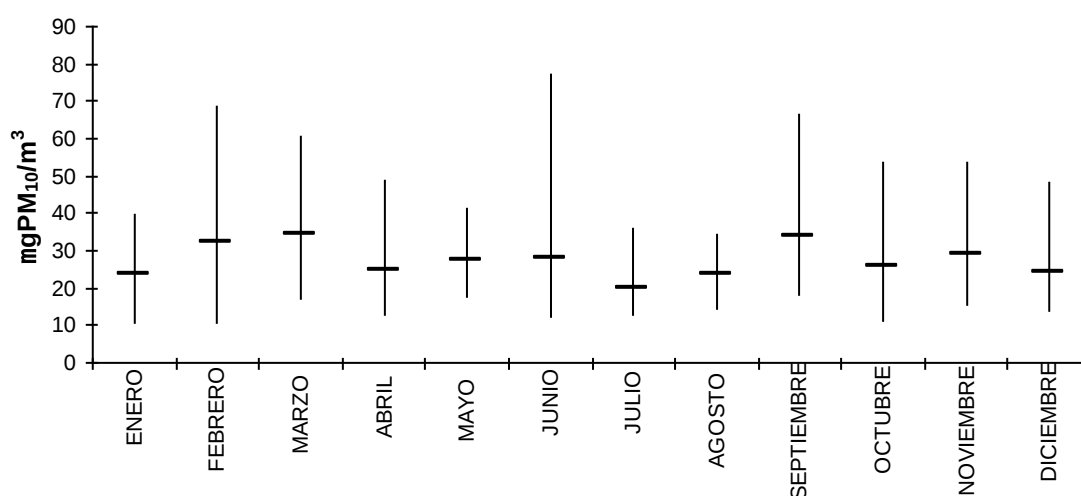
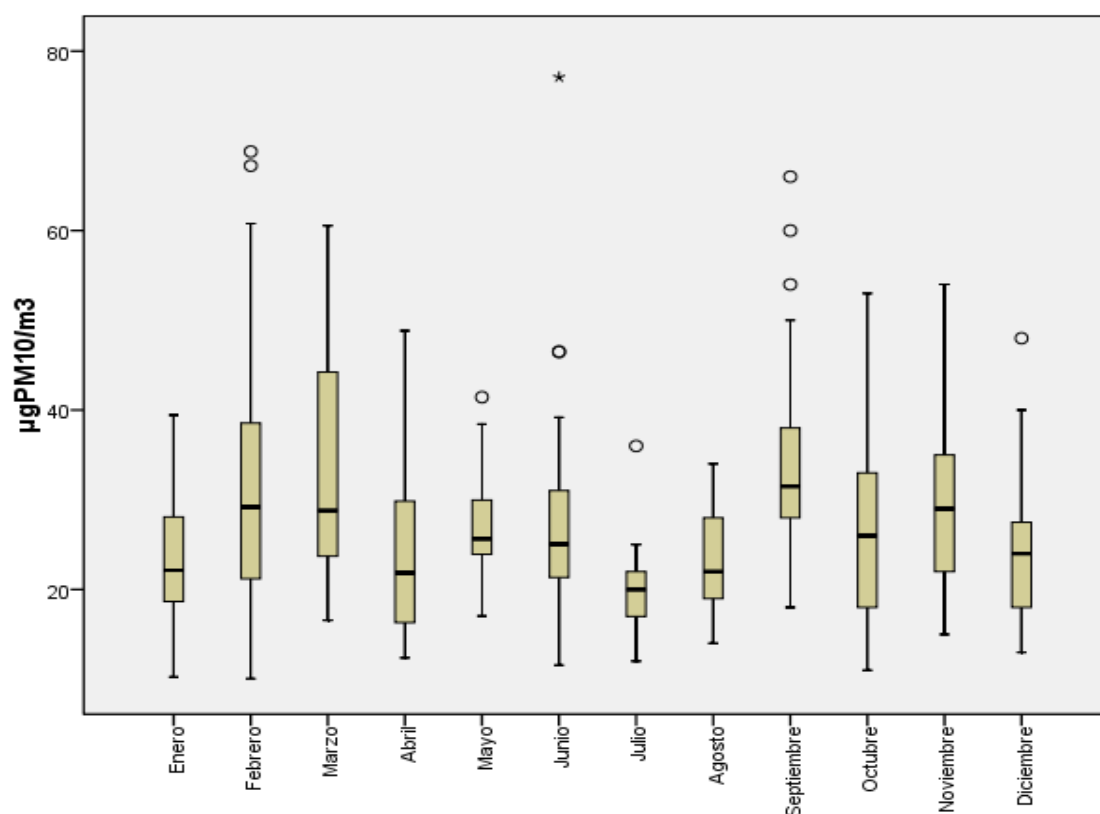


Figura 4. Variación mensual del valor medio y del rango de concentración de PM₁₀.

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

En la figura 5 se muestran los gráficos para el total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional de la concentración de PM_{10} en el punto de muestreo refleja los valores más altos en el invierno (septiembre a marzo) y menores en primavera y verano (de abril a agosto), con diferente variabilidad para cada mes.



° 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.

Los contaminantes emitidos a las capas de aire que experimentan una inversión (capas invertidas) no se dispersan al ser transportadas por el viento. Por lo general, las altas concentraciones de contaminantes en el aire están relacionadas con las inversiones ya que éstas inhiben la dispersión de contaminantes.

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

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

Lo interesante sería conocer la variación horaria de la misma a lo largo del día, lo cual no se ha podido realizar en este estudio. No obstante 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 el Centro Meteorológico Territorial en Galicia de 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 representa la proporción relativa de las alturas de capa de mezcla para cada mes de muestreo. Los niveles altos de los meses de febrero, marzo, junio, septiembre, octubre, noviembre coinciden con la presencia de inversiones térmicas a baja altura (impide una dispersión de los contaminantes) unido a la escasa precipitación durante ese período.

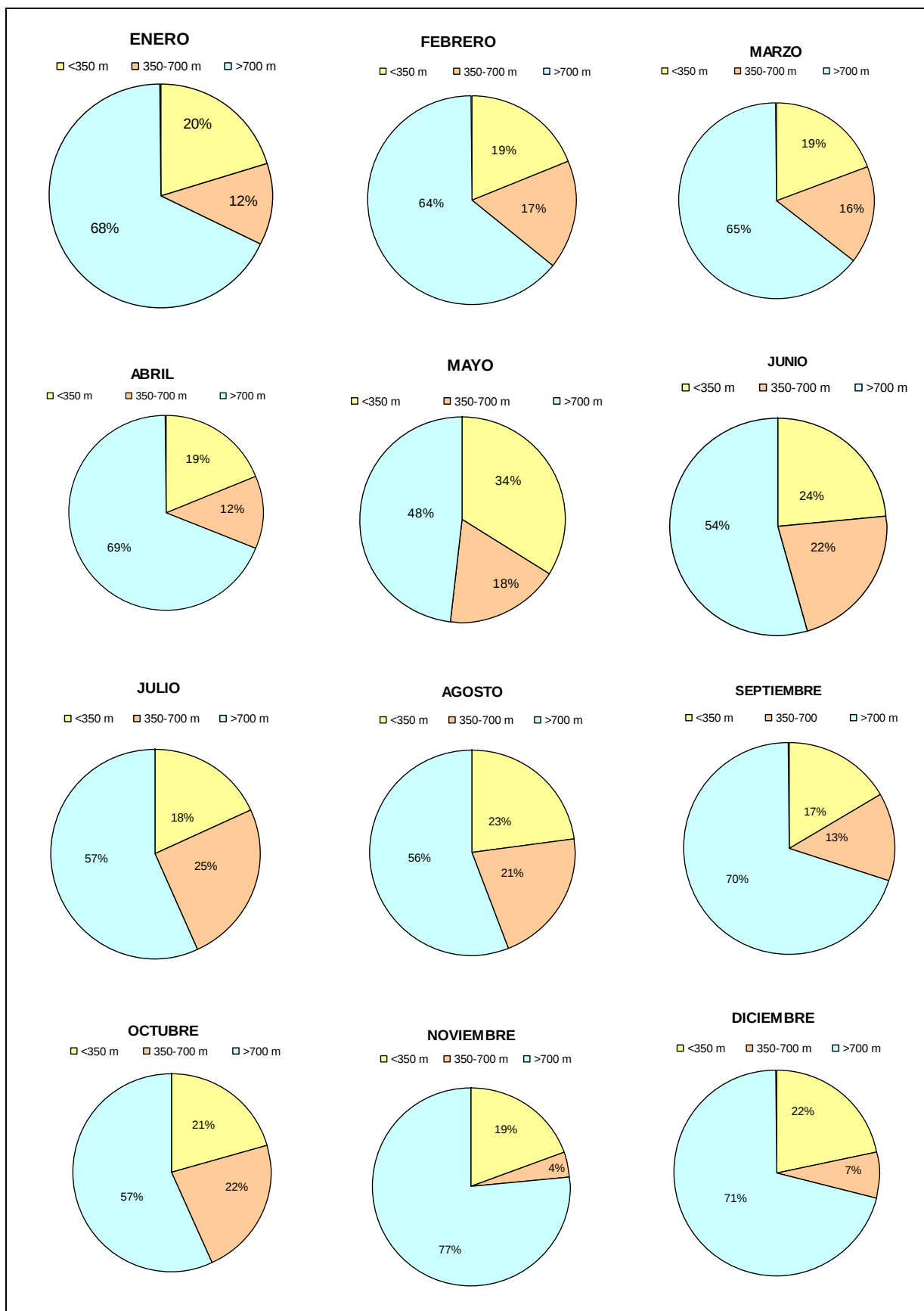


Figura 6. Proporción relativa de las alturas de capa de mezcla (metros sobre el nivel de suelo) para cada mes de muestreo obtenidas a partir de radiosondeos decodificados por el programa RAOB 5.7.

A continuación en la tabla VI se muestran los valores promedio de 24 horas de PM₁₀ para todos los días de muestreo. El 3,3 % del total de muestras supera el valor límite diario de 50 µg/m³, un 10% del total de muestras superan los 40 µg/m³, un 28,1% superan los 30 µg/m³ y un 73% superan los 20 µg/m³.

En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 16,9% de las muestras (61 muestras) superan el umbral de evaluación superior de 35 µg/m³ y un 46,7% (168 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de 25 µg/m³. En ambos casos se superan las 35 ocasiones como máximo permitidas durante un año civil de superación de dichos umbrales (tabla II, página 11).

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀.

ENERO 2009	PM ₁₀ (µg/m ³)	FEBRERO 2009	PM ₁₀ (µg/m ³)	MARZO 2009	PM ₁₀ (µg/m ³)
Jueves 1	16	Domingo 1	10	Domingo 1	28
Viernes 2	22	Lunes 2	25	Lunes 2	27
Sábado 3	20	Martes 3	23	Martes 3	27
Domingo 4	19	Miércoles 4	21	Miércoles 4	29
Lunes 5	39	Jueves 5	21	Jueves 5	37
Martes 6	21	Viernes 6	29	Viernes 6	17
Miércoles 7	18	Sábado 7	18	Sábado 7	17
Jueves 8	21	Domingo 8	11	Domingo 8	22
Viernes 9	31	Lunes 9	21	Lunes 9	42
Sábado 10	34	Martes 10	33	Martes 10	40
Domingo 11	22	Miércoles 11	31	Miércoles 11	50
Lunes 12	24	Jueves 12	30	Jueves 12	50
Martes 13	34	Viernes 13	38	Viernes 13	56
Miércoles 14	22	Sábado 14	25	Sábado 14	44
Jueves 15	22	Domingo 15	29	Domingo 15	28
Viernes 16	28	Lunes 16	39	Lunes 16	48
Sábado 17	12	Martes 17	40	Martes 17	53
Domingo 18	21	Miércoles 18	35	Miércoles 18	44
Lunes 19	28	Jueves 19	<i>sin dato</i>	Jueves 19	39
Martes 20	23	Viernes 20	32	Viernes 20	61
Miércoles 21	24	Sábado 21	46	Sábado 21	35
Jueves 22	<i>sin dato</i>	Domingo 22	27	Domingo 22	28
Viernes 23	19	Lunes 23	21	Lunes 23	45
Sábado 24	39	Martes 24	21	Martes 24	32
Domingo 25	24	Miércoles 25	44	Miércoles 25	29
Lunes 26	39	Jueves 26	67	Jueves 26	25
Martes 27	18	Viernes 27	69	Viernes 27	21
Miércoles 28	27	Sábado 28	61	Sábado 28	20
Jueves 29	10			Domingo 29	22
Viernes 30	13			Lunes 30	21
Sábado 31	16			Martes 31	23

(continúa)

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

ABRIL 2009	PM₁₀ (µg/m³)	MAYO 2009	PM₁₀ (µg/m³)	JUNIO 2009	PM₁₀ (µg/m³)
Miércoles 1	38	Viernes 1	24	Lunes 1	33
Jueves 2	49	Sábado 2	37	Martes 2	39
Viernes 3	44	Domingo 3	25	Miércoles 3	33
Sábado 4	24	Lunes 4	24	Jueves 4	21
Domingo 5	26	Martes 5	32	Viernes 5	22
Lunes 6	18	Miércoles 6	41	Sábado 6	27
Martes 7	24	Jueves 7	24	Domingo 7	22
Miércoles 8	22	Viernes 8	22	Lunes 8	24
Jueves 9	13	Sábado 9	36	Martes 9	17
Viernes 10	16	Domingo 10	28	Miércoles 10	12
Sábado 11	19	Lunes 11	20	Jueves 11	25
Domingo 12	23	Martes 12	17	Viernes 12	34
Lunes 13	23	Miércoles 13	20	Sábado 13	25
Martes 14	17	Jueves 14	24	Domingo 14	21
Miércoles 15	14	Viernes 15	25	Lunes 15	30
Jueves 16	13	Sábado 16	23	Martes 16	30
Viernes 17	20	Domingo 17	20	Miércoles 17	31
Sábado 18	16	Lunes 18	25	Jueves 18	31
Domingo 19	17	Martes 19	30	Viernes 19	23
Lunes 20	30	Miércoles 20	29	Sábado 20	25
Martes 21	39	Jueves 21	25	Domingo 21	23
Miércoles 22	43	Viernes 22	28	Lunes 22	47
Jueves 23	46	Sábado 23	26	Martes 23	46
Viernes 24	19	Domingo 24	27	Miércoles 24	77
Sábado 25	12	Lunes 25	22	Jueves 25	17
Domingo 26	14	Martes 26	28	Viernes 26	21
Lunes 27	22	Miércoles 27	37	Sábado 27	17
Martes 28	34	Jueves 28	34	Domingo 28	19
Miércoles 29	15	Viernes 29	38	Lunes 29	18
Jueves 30	23	Sábado 30	30	Martes 30	28
		Domingo 31	27		

(continúa)

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

JULIO 2009	PM₁₀ (µg/m³)	AGOSTO 2009	PM₁₀ (µg/m³)	SEPTIEMBRE 2009	PM₁₀ (µg/m³)
Miércoles 1	20	Sábado 1	15	Martes 1	24
Jueves 2	24	Domingo 2	18	Miércoles 2	18
Viernes 3	20	Lunes 3	20	Jueves 3	20
Sábado 4	17	Martes 4	14	Viernes 4	33
Domingo 5	13	Miércoles 5	20	Sábado 5	28
Lunes 6	19	Jueves 6	27	Domingo 6	29
Martes 7	25	Viernes 7	22	Lunes 7	32
Miércoles 8	23	Sábado 8	14	Martes 8	33
Jueves 9	22	Domingo 9	16	Miércoles 9	28
Viernes 10	21	Lunes 10	25	Jueves 10	43
Sábado 11	23	Martes 11	25	Viernes 11	44
Domingo 12	13	Miércoles 12	28	Sábado 12	34
Lunes 13	19	Jueves 13	28	Domingo 13	32
Martes 14	22	Viernes 14	34	Lunes 14	29
Miércoles 15	22	Sábado 15	34	Martes 15	30
Jueves 16	20	Domingo 16	21	Miércoles 16	26
Viernes 17	25	Lunes 17	28	Jueves 17	32
Sábado 18	22	Martes 18	34	Viernes 18	26
Domingo 19	12	Miércoles 19	25	Sábado 19	20
Lunes 20	17	Jueves 20	18	Domingo 20	21
Martes 21	19	Viernes 21	28	Lunes 21	31
Miércoles 22	12	Sábado 22	22	Martes 22	30
Jueves 23	17	Domingo 23	21	Miércoles 23	54
Viernes 24	21	Lunes 24	17	Jueves 24	50
Sábado 25	20	Martes 25	23	Viernes 25	48
Domingo 26	19	Miércoles 26	18	Sábado 26	35
Lunes 27	16	Jueves 27	22	Domingo 27	31
Martes 28	23	Viernes 28	22	Lunes 28	38
Miércoles 29	21	Sábado 29	24	Martes 29	66
Jueves 30	36	Domingo 30	29	Miércoles 30	60
Viernes 31	17	Lunes 31	29		

(continúa)

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

OCTUBRE 2009	PM ₁₀ (µg/m ³)	NOVIEMBRE 2009	PM ₁₀ (µg/m ³)	DICIEMBRE 2009	PM ₁₀ (µg/m ³)
Jueves 1	53	Domingo 1	16	Martes 1	17
Viernes 2	38	Lunes 2	31	Miércoles 2	28
Sábado 3	28	Martes 3	31	Jueves 3	37
Domingo 4	13	Miércoles 4	35	Viernes 4	21
Lunes 5	15	Jueves 5	29	Sábado 5	13
Martes 6	15	Viernes 6	32	Domingo 6	27
Miércoles 7	15	Sábado 7	43	Lunes 7	19
Jueves 8	23	Domingo 8	54	Martes 8	23
Viernes 9	18	Lunes 9	34	Miércoles 9	27
Sábado 10	15	Martes 10	26	Jueves 10	48
Domingo 11	11	Miércoles 11	21	Viernes 11	40
Lunes 12	18	Jueves 12	<i>sin dato</i>	Sábado 12	28
Martes 13	25	Viernes 13	26	Domingo 13	16
Miércoles 14	28	Sábado 14	30	Lunes 14	22
Jueves 15	27	Domingo 15	15	Martes 15	32
Viernes 16	26	Lunes 16	23	Miércoles 16	17
Sábado 17	26	Martes 17	29	Jueves 17	28
Domingo 18	39	Miércoles 18	26	Viernes 18	26
Lunes 19	34	Jueves 19	21	Sábado 19	27
Martes 20	28	Viernes 20	16	Domingo 20	28
Miércoles 21	20	Sábado 21	19	Lunes 21	16
Jueves 22	38	Domingo 22	35	Martes 22	20
Viernes 23	18	Lunes 23	49	Miércoles 23	25
Sábado 24	24	Martes 24	35	Jueves 24	15
Domingo 25	33	Miércoles 25	28	Viernes 25	19
Lunes 26	<i>sin dato</i>	Jueves 26	23	Sábado 26	27
Martes 27	<i>sin dato</i>	Viernes 27	47	Domingo 27	14
Miércoles 28	39	Sábado 28	20	Lunes 28	20
Jueves 29	34	Domingo 29	37	Martes 29	24
Viernes 30	26	Lunes 30	22	Miércoles 30	24
Sábado 31	16			Jueves 31	16

En la figura 7 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). Cuando más cerca estén estas dos líneas más húmedo está 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.

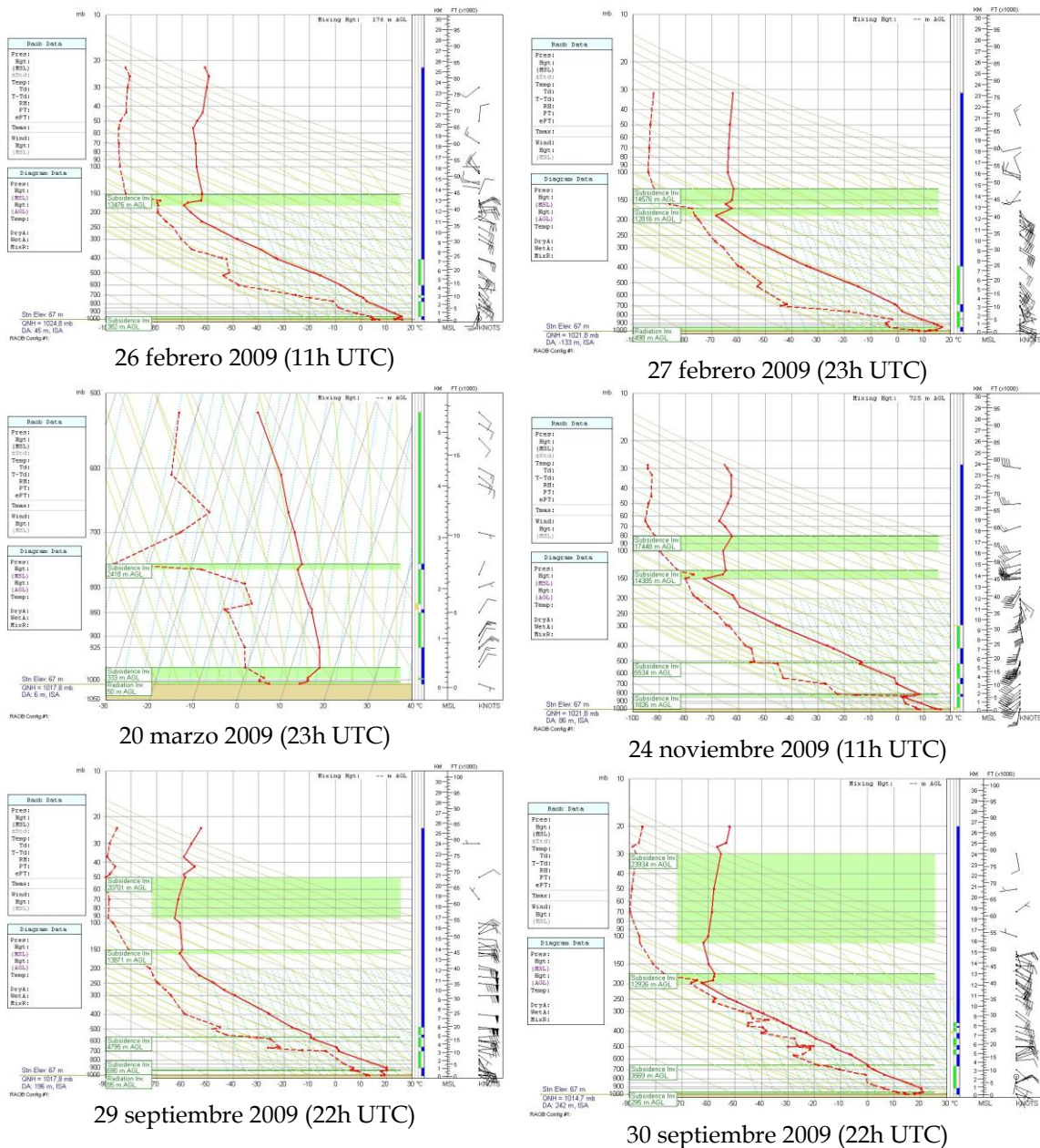


Figura 7. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB.

A continuación, en la figura 8 se expresan los resultados en forma de gráfica donde se pueden ver la evolución de los niveles diarios de PM₁₀, a lo largo de los meses de muestreo. En las gráficas se somborean en gris claro los valores por encima del UEI (25 µg/m³) y con gris oscuro por encima del UES (35 µg/m³).

Como se puede observar los niveles más altos de partículas dentro de cada mes coinciden en períodos prolongados y continuados, como mínimo de 4 días. Para los meses de enero, febrero, marzo, mayo, septiembre y noviembre entre el 60-80% de las muestras supera el UEI y solamente en febrero, marzo, septiembre y noviembre más del 40% de las muestras superan el UES. En los meses de enero, marzo, abril, junio, julio, agosto, septiembre, octubre y diciembre aproximadamente el 60% de las muestras se encuentran por debajo del UEI.

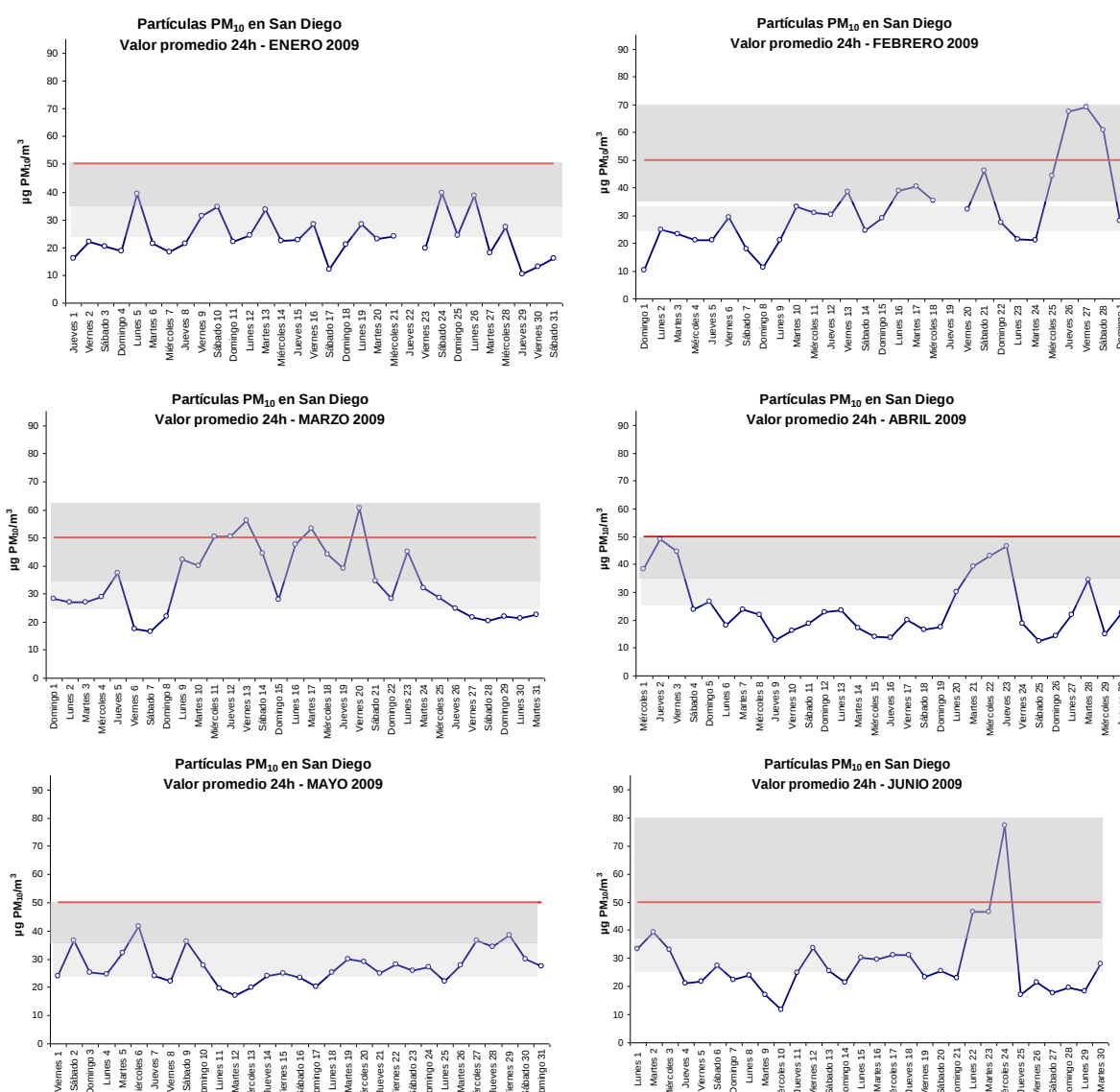


Figura 8. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀. (continúa)

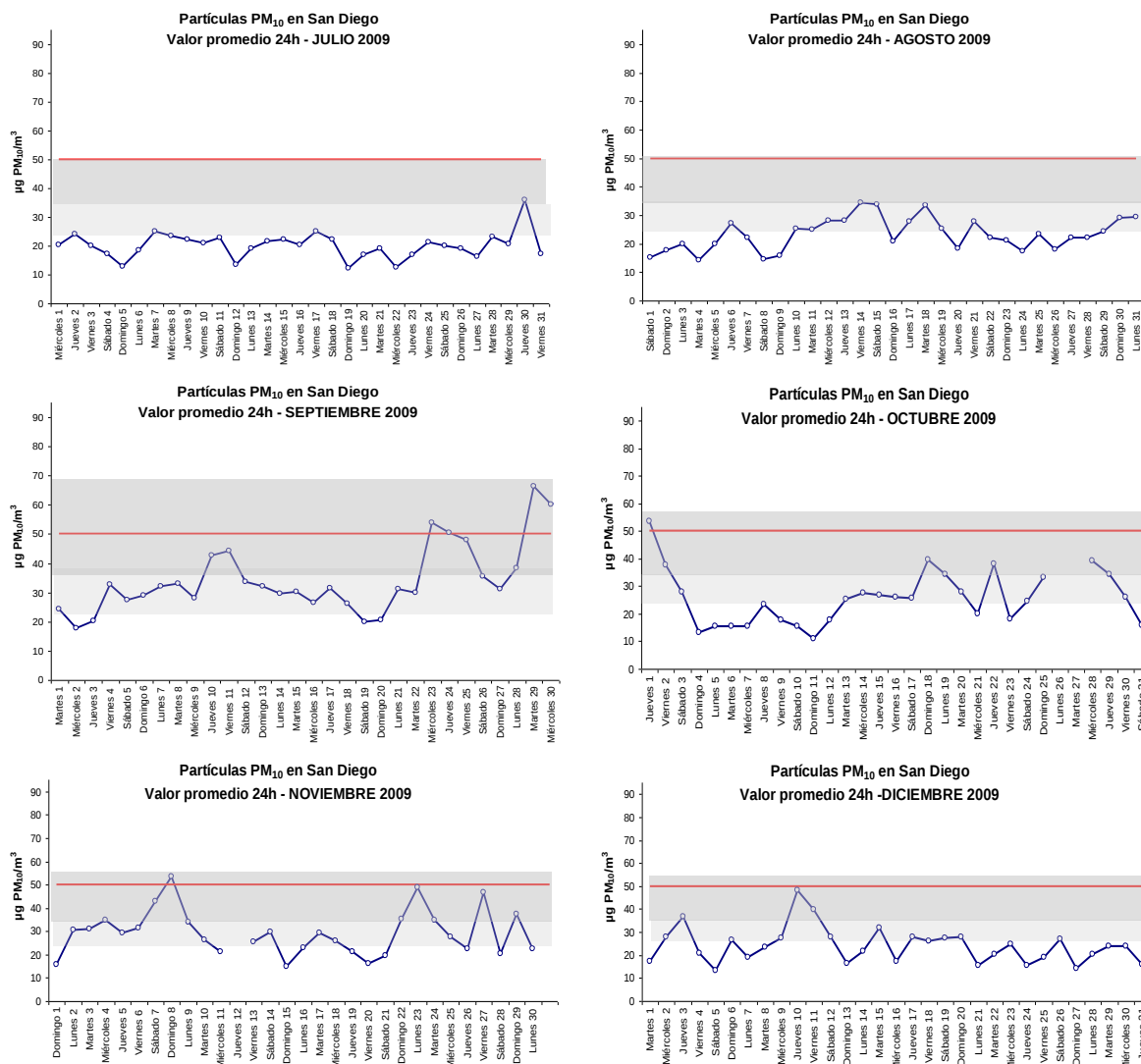


Figura 8. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀.

Para evaluar la influencia de la precipitación en los niveles de materia particulada PM₁₀ se ha representado el sumatorio de la precipitación acumulada en un mes frente a la media mensual de los niveles de PM₁₀ (figura 9). Los datos de precipitación han sido obtenidos en la estación de inmisión situada en el Castrillón perteneciente al Ayuntamiento de A Coruña. Así, se observan las grandes diferencias entre los distintos meses de estudio, como era de esperar.

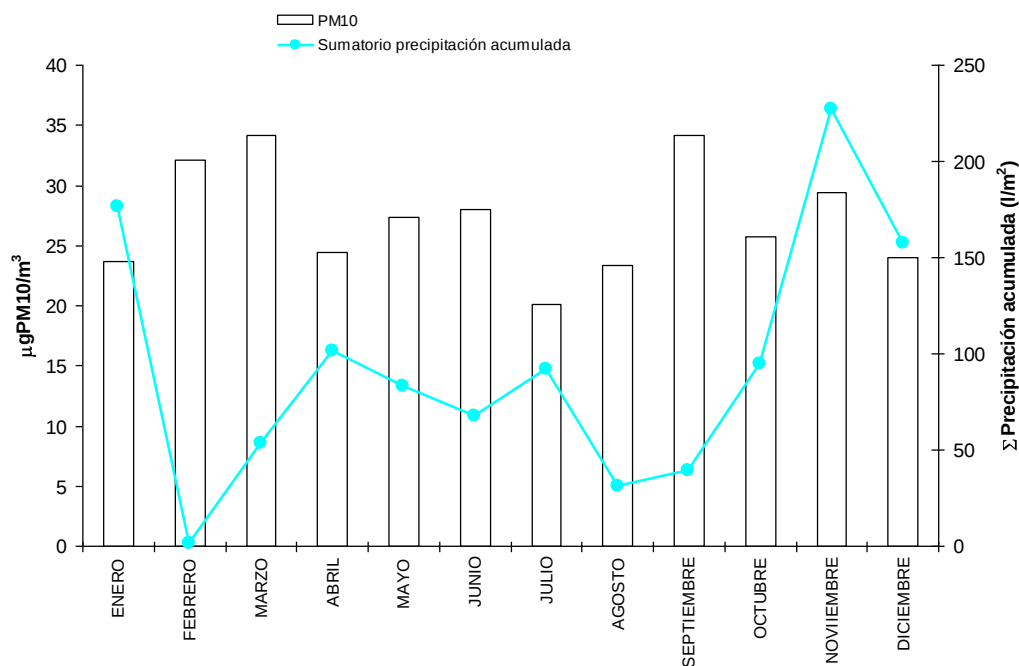


Figura 9. Niveles promedio mensuales de PM₁₀ y de sumatorio de precipitación acumulada.

Si se hace una discusión más detallada representando la precipitación acumulada diaria se observa que en el último trimestre del año junto con la primavera e inicio de verano han sido períodos más lluviosos con lluvias continuas, mientras que en el resto del año ha llovido de forma esporádica (figura 10).

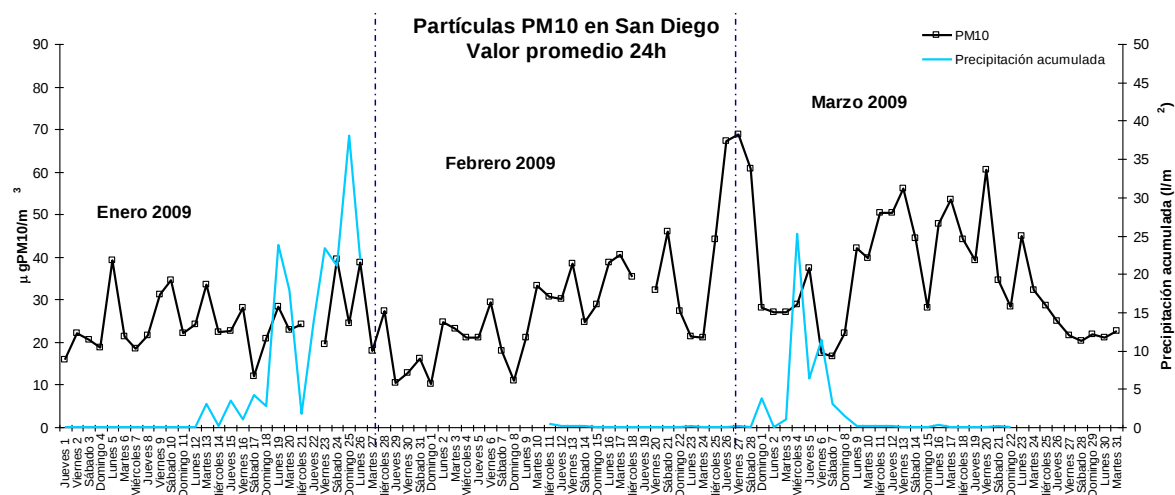


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedios diarios de partículas PM₁₀. (continúa)

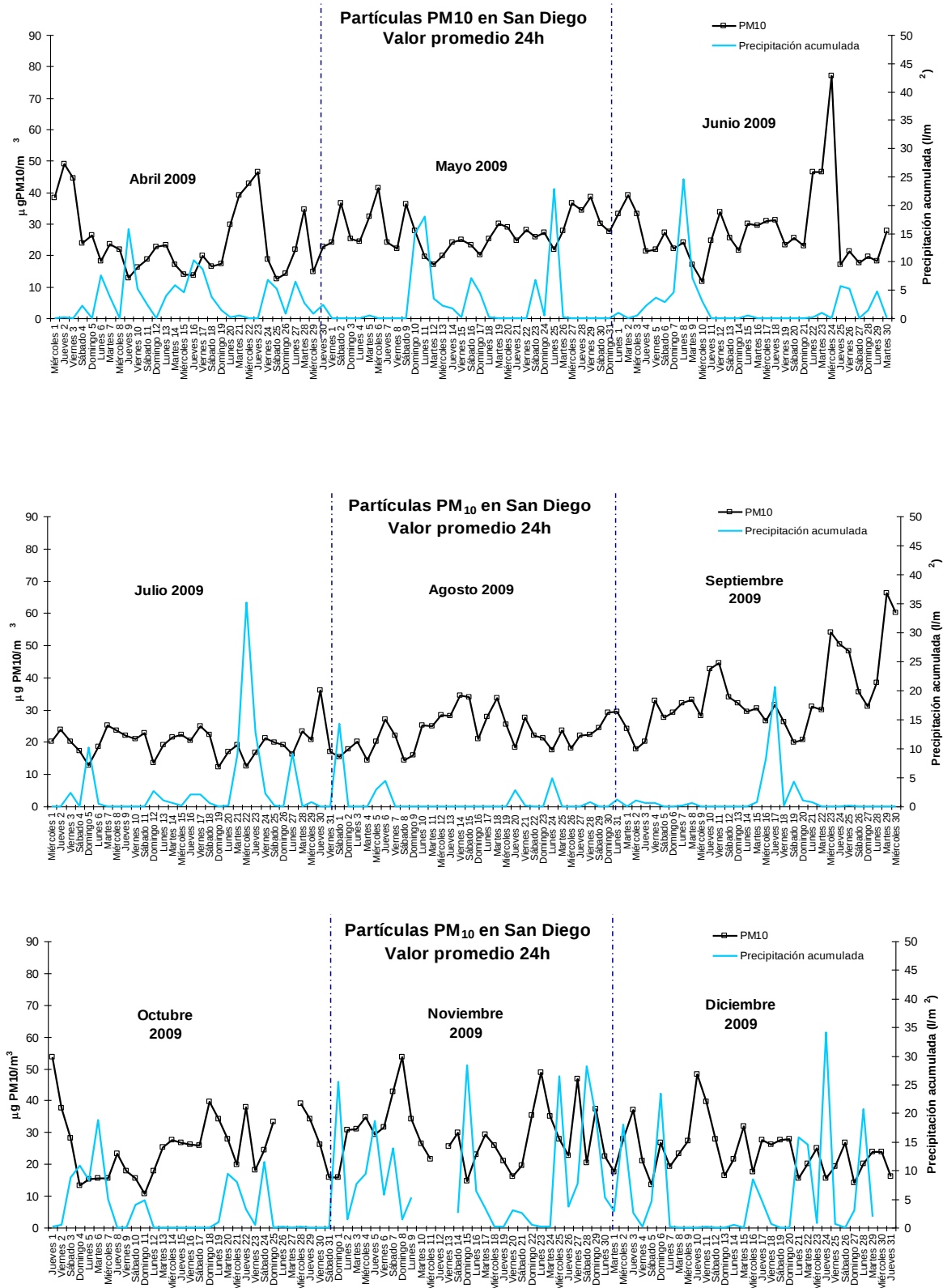
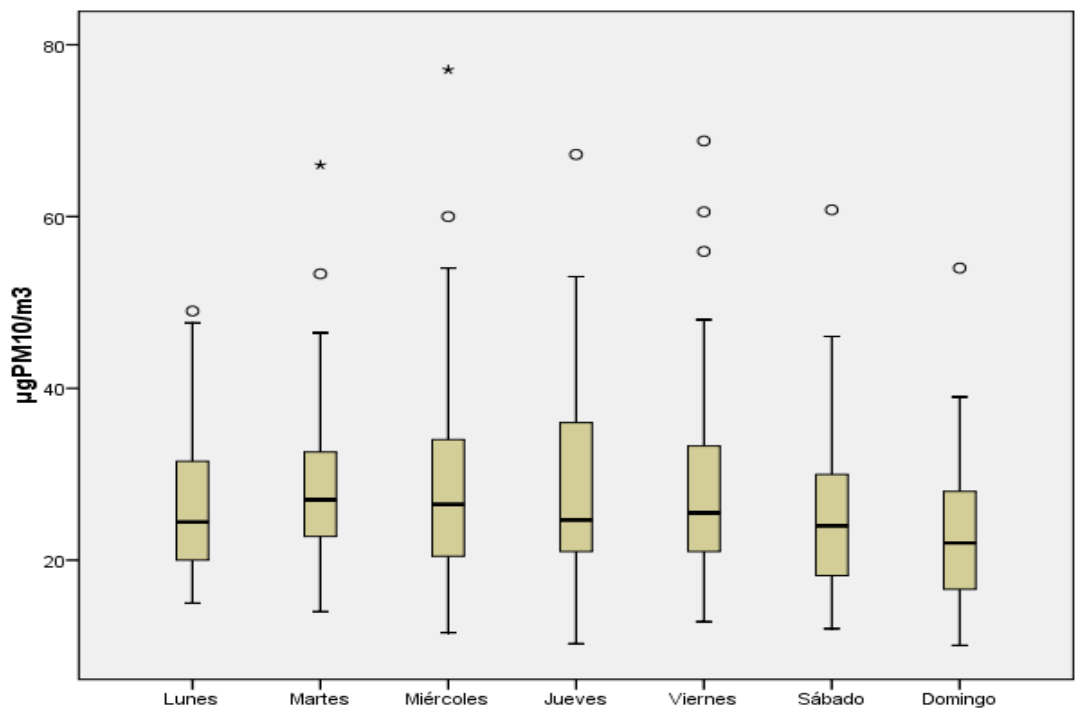


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedios diarios de partículas PM₁₀.

Al realizar una representación de Box-Whisker de los niveles de PM_{10} en función del día de la semana (figura 11), se observa que existe variabilidad entre los diferentes días de la semana observándose un aumento creciente de lunes a viernes y una pequeña disminución de los niveles de PM_{10} los fines de semana (ver Anexo III).



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.

En la tabla VII se indica los porcentajes de muestras que superan ciertos valores diarios diferenciándose entre días laborales y fines de semana.

Tabla VII. Porcentaje de muestras que superan ciertos niveles diarios en días laborales y fines de semana.

	Laborales	Fin de semana
> 20 $\mu g/m^3$	73%	62,5%
> 25 $\mu g/m^3$ (UEI)	49,2%	40,4%
> 30 $\mu g/m^3$	32%	18,3%
> 35 $\mu g/m^3$ (UES)	19,9%	9,6%
> 40 $\mu g/m^3$	12,1%	4,8%
> 50 $\mu g/m^3$ (valor límite diario)	3,9%	1,9%

NIVELES DE PM_{10} , $PM_{2.5}$ Y PM_1 SEGÚN ESPECTRÓMETRO LÁSER

Tal y como se ha indicado en los informes parciales, el espectrómetro GRIMM no ha funcionado correctamente a lo largo de este año. Se ha enviado a calibrar pero su funcionamiento sigue siendo incorrecto; estando a la espera de una nueva calibración. Por ello no han datos válidos durante este año 2009.

CONCLUSIONES

- Se han determinado los niveles diarios de PM_{10} en la zona de Os Castros durante el año 2009. Se han recogido un total de 330 muestras que representan una cobertura anual del 99%.
- El valor promedio anual de PM_{10} ha sido de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no superando el valor límite permitido por la normativa de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- El valor límite diario de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ se ha superado en 12 días. Valor alejado de 35 superaciones como máximo por año fijado en la Directiva.
- Entre los meses de febrero, marzo y septiembre se producen 9 superaciones del valor límite diario que representan el 75% del total de superaciones ocurridas durante 2009; mientras que en los meses de junio, octubre y noviembre se producen 3 que representan el 25% del total.
- Los valores máximos diarios se producen en los meses de invierno con valores de 69, 66 y $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en febrero, septiembre y marzo respectivamente, con la excepción de los $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alcanzados en junio (noche de San Juan). En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de enero y febrero y los $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de septiembre.
- La tendencia estacional de la concentración de PM_{10} en el punto de muestreo refleja los valores diarios más altos en el invierno (enero, febrero, marzo, abril, septiembre, noviembre) y menores en verano, con diferente variabilidad para cada mes.
- El 3,3 % del total de muestras supera el valor límite diario de PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un 10% del total de muestras superan los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un 28,1% superan los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 73% superan los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 16,9% de las muestras (61 muestras) superan el umbral de evaluación superior de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 46,7% (1686 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Los niveles medios mensuales de PM_{10} oscilan entre los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de julio y los $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de marzo y septiembre.
- Existe variabilidad semanal en los niveles de PM_{10} observándose una ligera disminución los fines de semana. Un 49,2% de las muestras durante los días laborales y un 40,4% para los fines de semana superan el UES. Sin embargo el UEI es superado en un 19,9% los días laborales y en un 9,6% los fines de semana.
- Para poder estimar qué fuentes producen un aumento de los niveles de partículas es necesario un estudio más exhaustivo y disponer de más información como datos meteorológicos y de contaminantes gaseosos en el punto de muestreo y también en zonas de fondo urbano y suburbano para poder determinar ciertos episodios de contaminación a larga distancia, etc.

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

Siguiendo los requisitos de las Normas UNE-EN 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 $20\pm1^{\circ}\text{C}$ y $50\pm5\%$ humedad relativa. En las figuras 12 y 13 se indican los registros tanto de humedad relativa como de temperatura de la sala de balanzas.

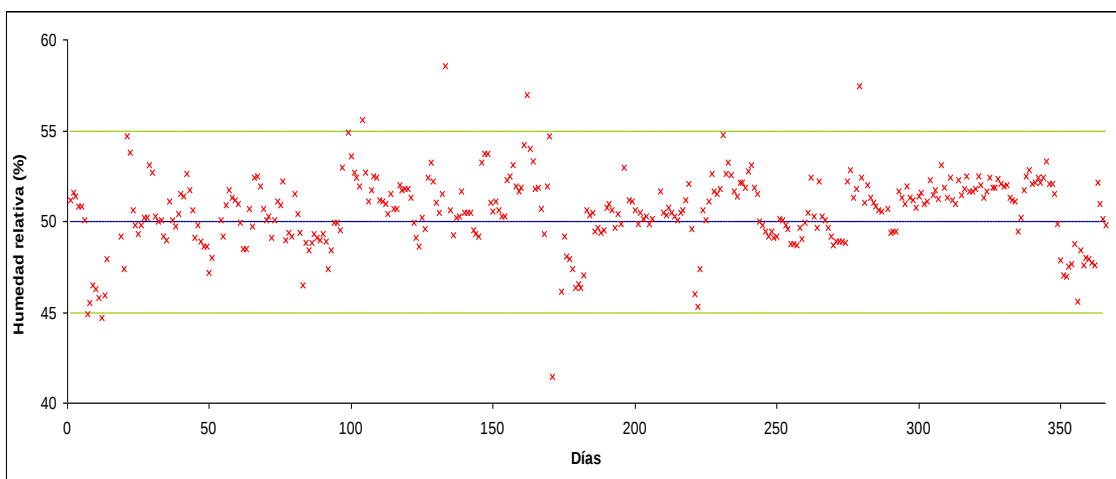


Figura 12. Carta de control del % de humedad relativa en la sala de balanzas.

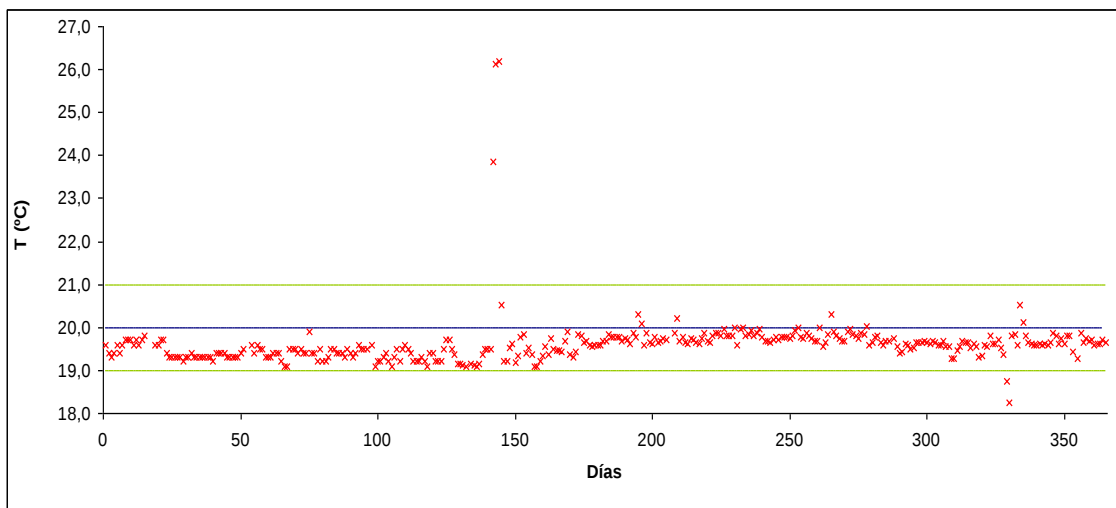


Figura 13. Carta de control de la temperatura (°C) en la sala de balanzas.

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

Dado que el espectrómetro GRIMM no ha estado operativo no se ha podido realizar la intercomparación.

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

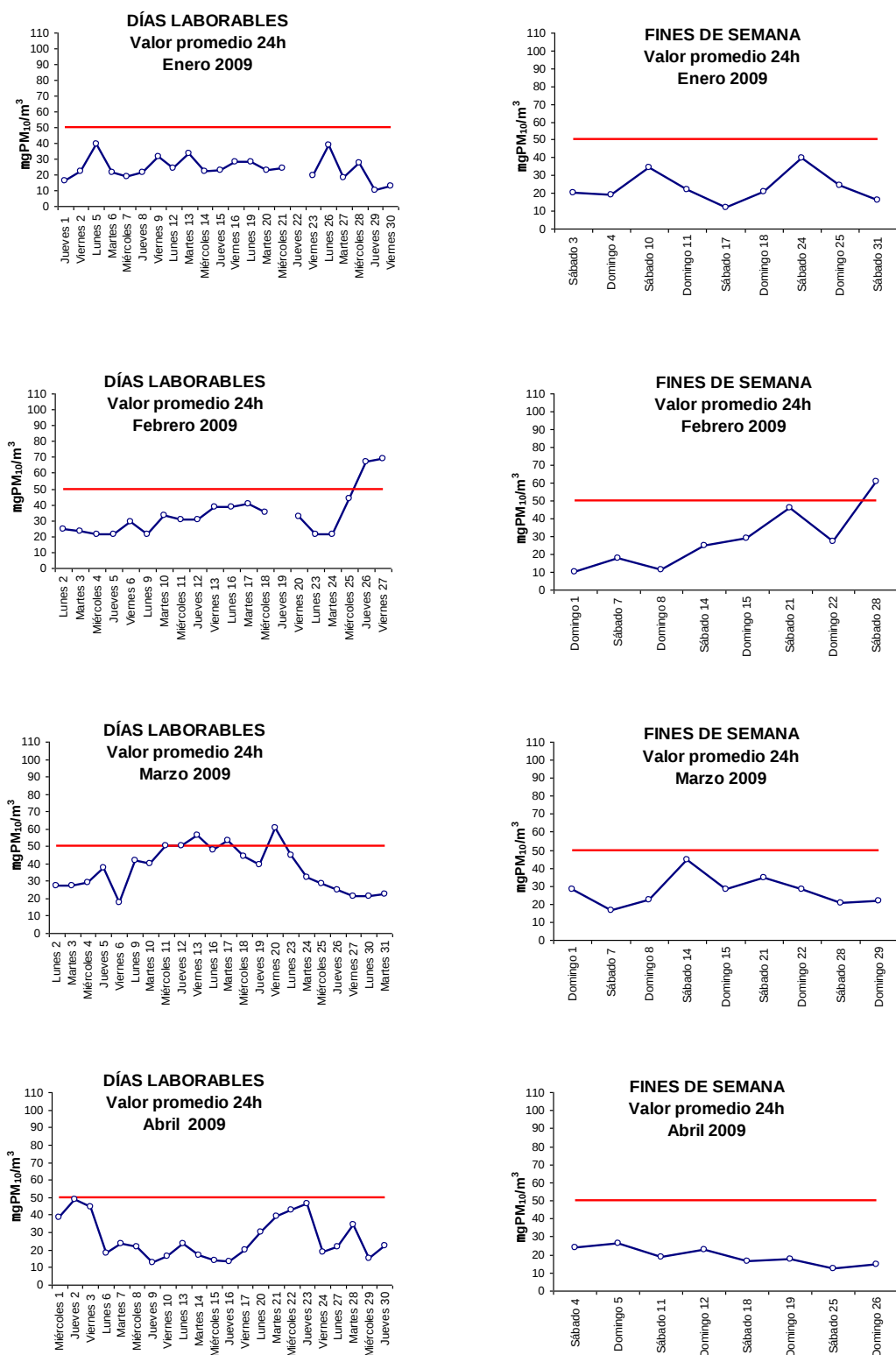


Figura 14. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborales y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2009. (continúa)

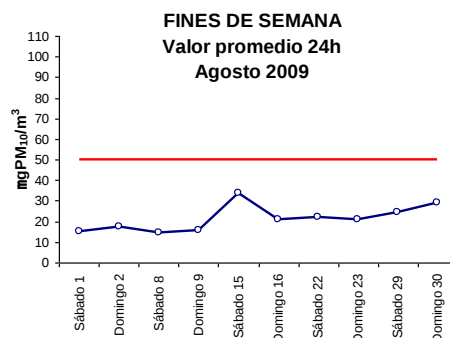
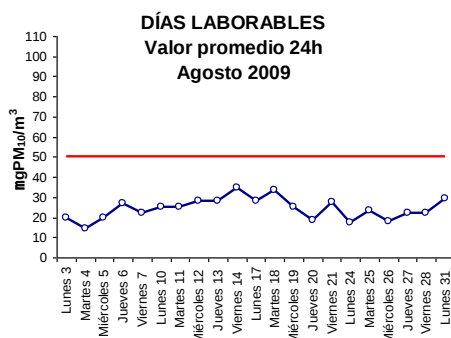
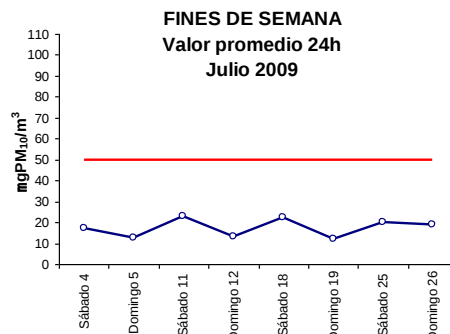
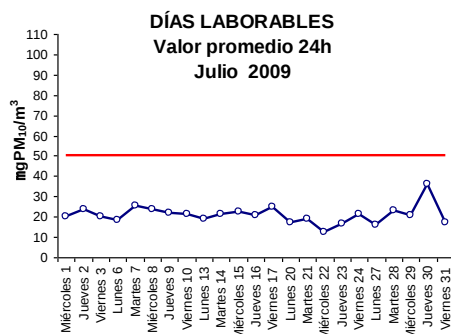
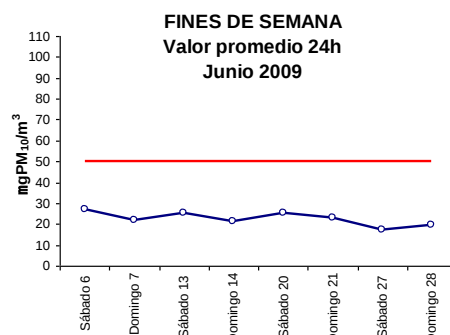
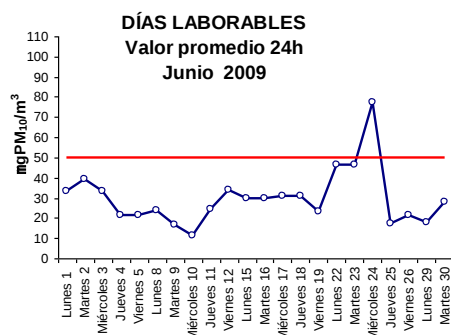
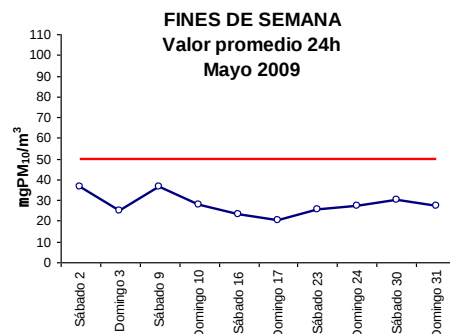
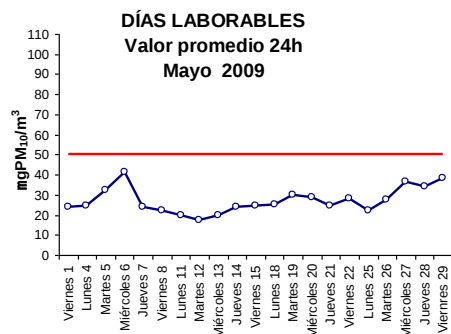


Figura 14. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2009. (continúa)

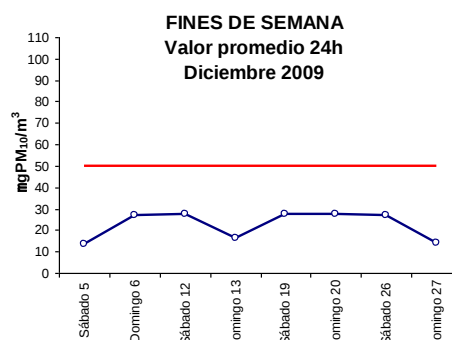
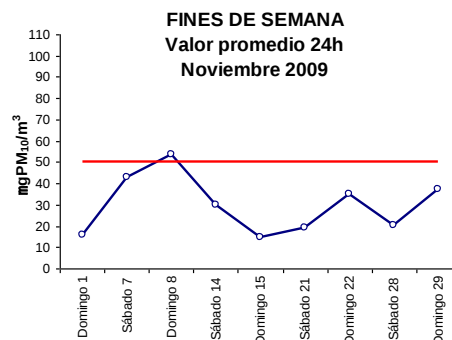
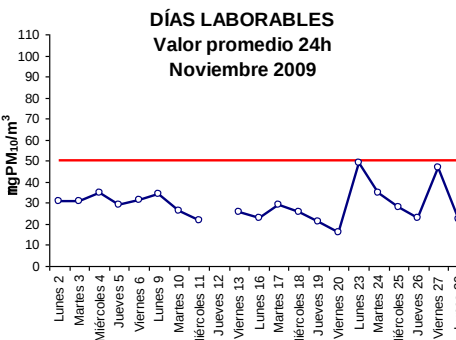
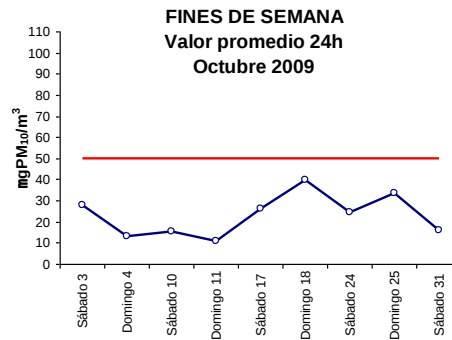
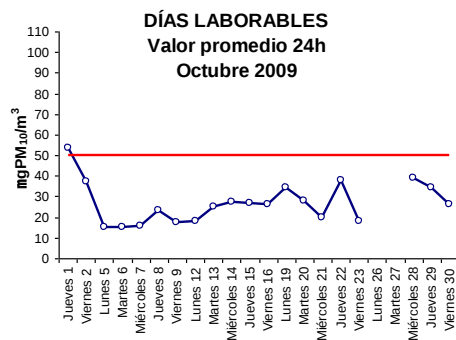
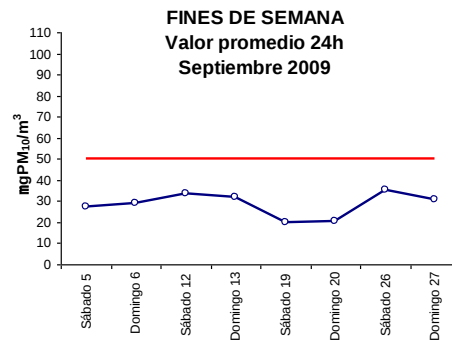
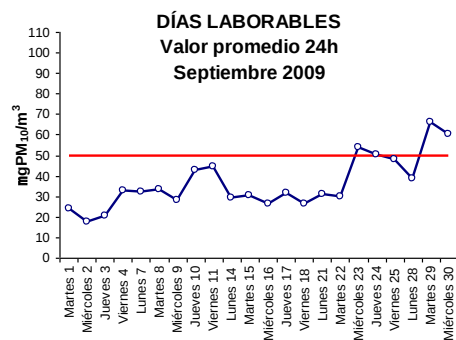


Figura 14. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2009.

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)^{10,11}, distinguiendo ocho sectores (figura 15).

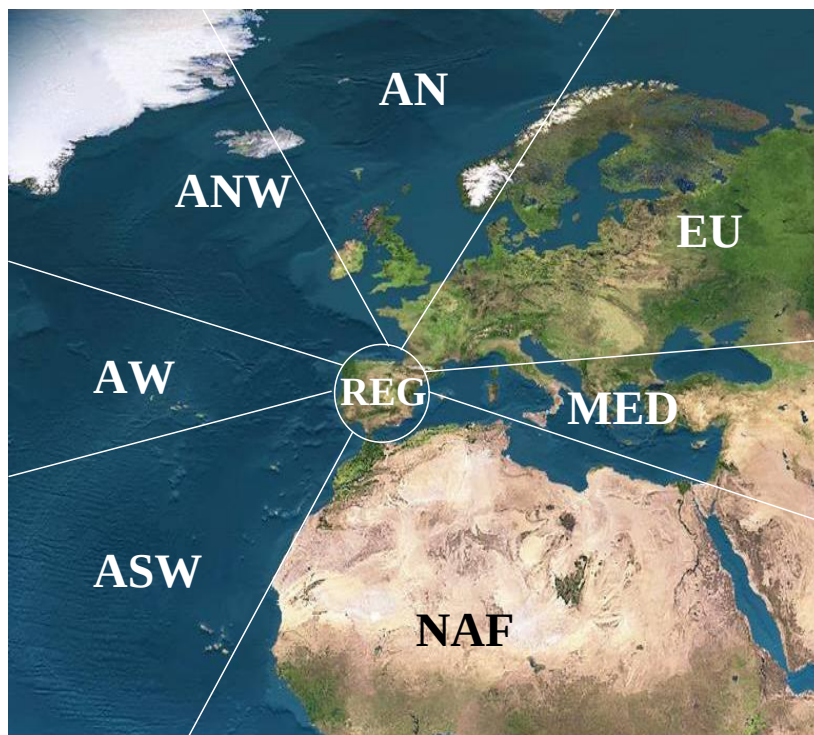


Figura 15. Clasificación del origen de las masas de aire : AN (Atlántico Norte), ANW (Atlántico Noroeste), AW (Atlántico Oeste), ASW (Atlántico Suroeste), NAF (Norte de África), ME (Mediterráneo), EU (Europa Central), REG (Recirculación regional).

En la figura 16 (A) se indica el número de días con influencia de masas de aire de diferente origen, observando que aproximadamente el 73,2% de los días existió un claro predominio del transporte de masas de aire procedentes de diversos sectores del Atlántico.

En la figura 16 (B) se indica el porcentaje de días dentro de cada mes según el origen de las masas de aire y así indicar la evolución estacional de los escenarios de transporte.

¹⁰ 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.

¹¹ 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.

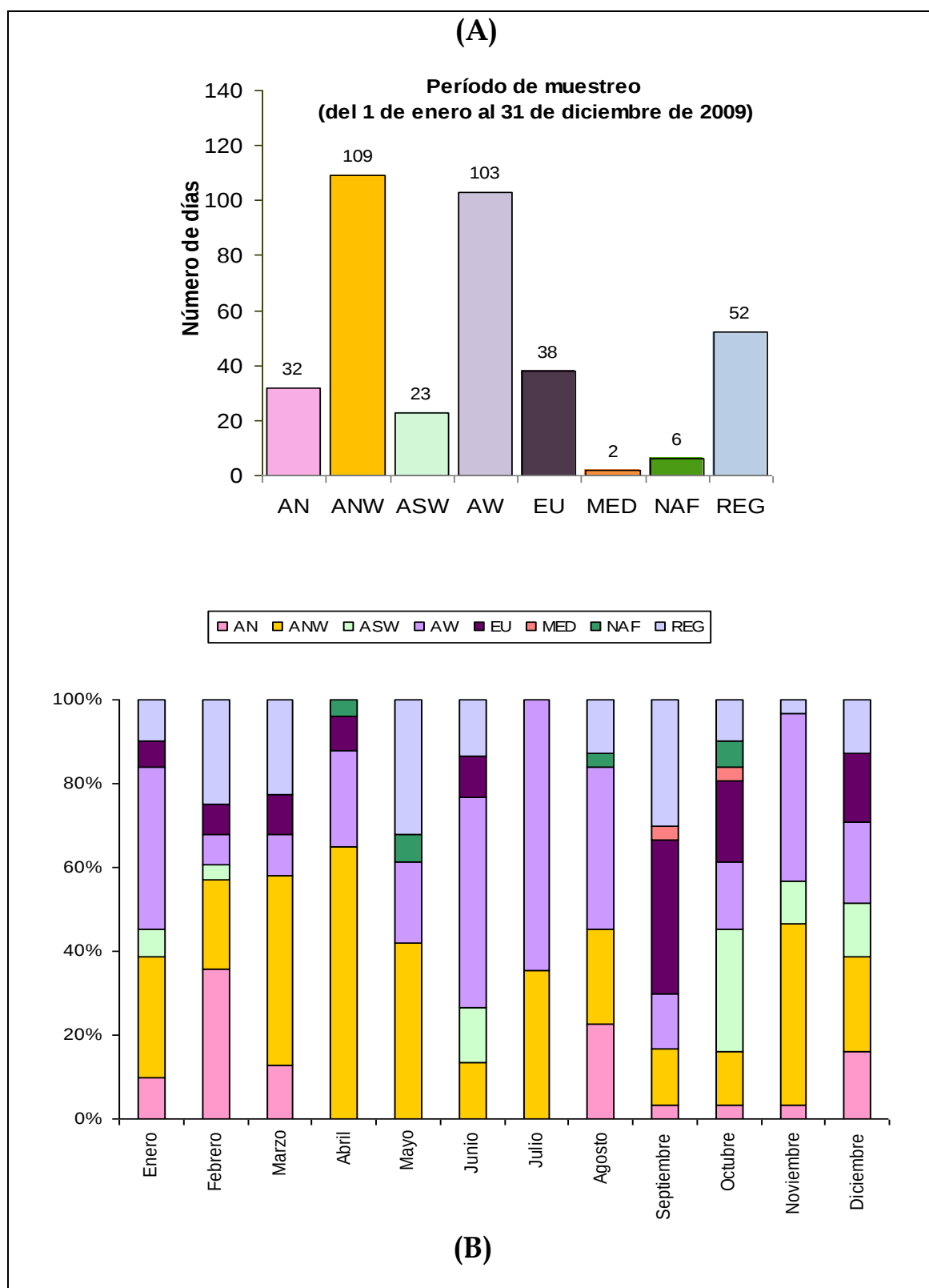


Figura 16. Origen de las masas de aire en A Coruña determinado a partir del cálculo de retrotrayectorias de las masas de aire: (A) Número de días (B) Frecuencia a lo largo del año.

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 2007-2009

NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Tabla VIII. Resumen global de las muestras recogidas durante el período 2007-2009.

	2007	2008	2009
Nº muestras recogidas	288	330	360
% de muestras relativas a año civil	79	90,4	99
VALOR MÁXIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m³)	71	85	77
VALOR MÍNIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m³)	12	10	10
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 µg/m³	28	27	12
% SUPERACIONES con respecto al número total de muestras	9,7	8,2	3,3
VALOR MEDIO ANUAL de PM ₁₀ (µg/m³)	32	29	27

* 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.

Tabla IX. Valores máximo y mínimo mensual durante el período 2007-2009.

	Máximo mensual (µg/m³)			Mínimo mensual (µg/m³)		
	2007*	2008**	2009	2007*	2008**	2009
Enero	-	81	39	-	-	10
Febrero	-	85	69	-	-	10
Marzo	71	54	61	14	35	17
Abril	71	48	49	14	44	12
Mayo	43	60	41	14	27	17
Junio	61	56	77	13	28	12
Julio	41	37	36	12	24	12
Agosto	52	41	34	12	29	14
Septiembre	71	45	66	15	30	18
Octubre	57	63	53	24	40	11
Noviembre	44	39	54	17	30	15
Diciembre	60	60	48	16	38	13

* 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.

Tabla X. Valores medios mensuales y número de superaciones por mes el período 2007-2009.

	Media mensual ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)			N° superaciones		
	2007*	2008**	2009	2007*	2008**	2009
Enero	-	38	24	-	9	0
Febrero	-	38	32	-	7	3
Marzo	35	31	34	2	1	3
Abril	44	26	24	13	0	0
Mayo	27	25	27	0	1	0
Junio	28	28	28	2	2	1
Julio	24	21	20	0	0	0
Agosto	29	23	23	1	0	0
Septiembre	30	28	34	3	0	3
Octubre	40	33	26	2	0	1
Noviembre	30	24	29	0	4	1
Diciembre	38	31	24	5	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 la figura 17 se indica la comparativa del total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional refleja los valores más altos en el invierno siendo menores en los meses de primavera y verano. También se puede observar la variabilidad dentro de cada estación y para cada año; debida en parte a las diferentes precipitaciones ocurridas en los tres años de muestreo tal y como se representa en la figura 18.

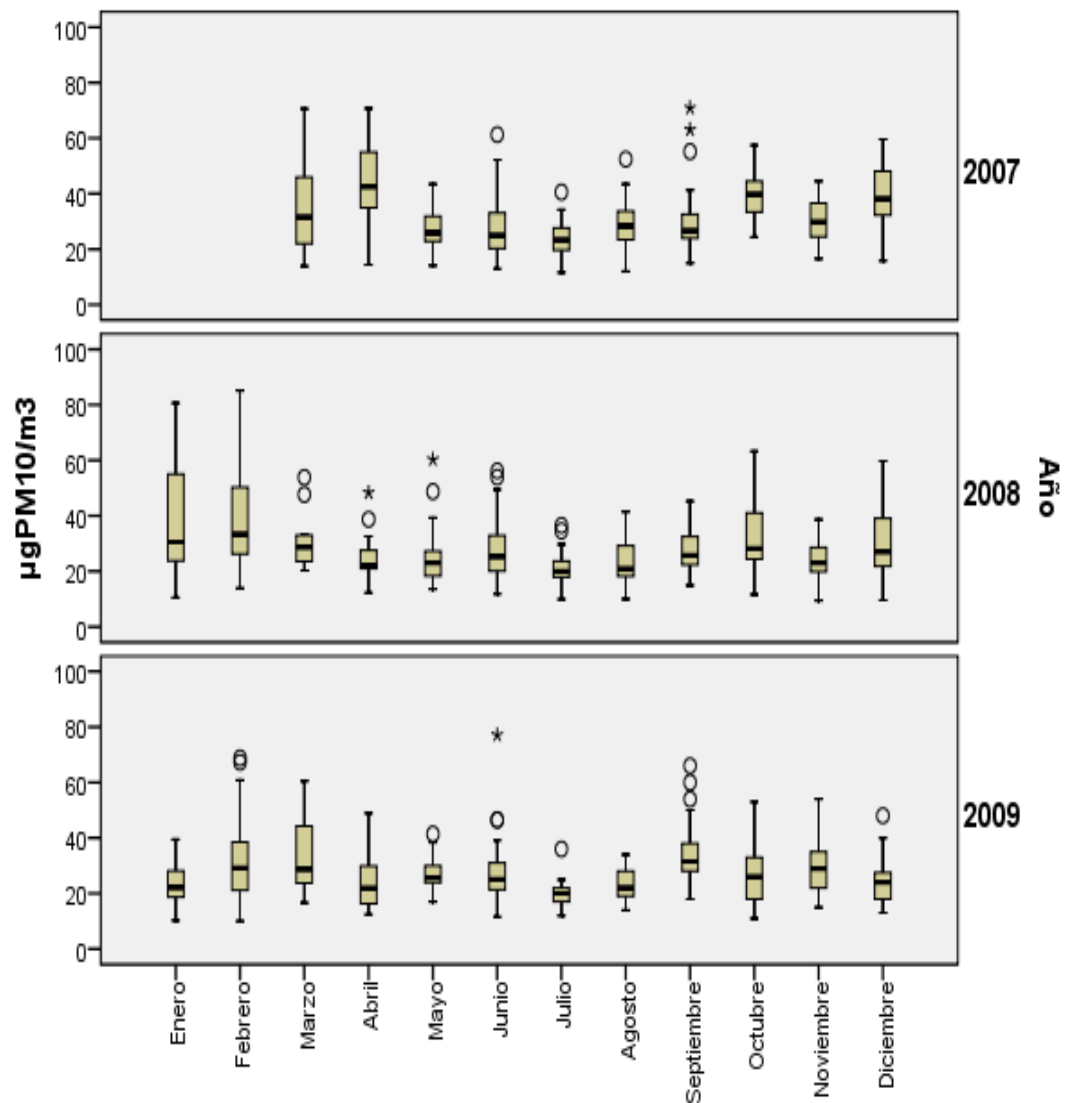


Figura 17. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo desde el año 2007 a 2009.

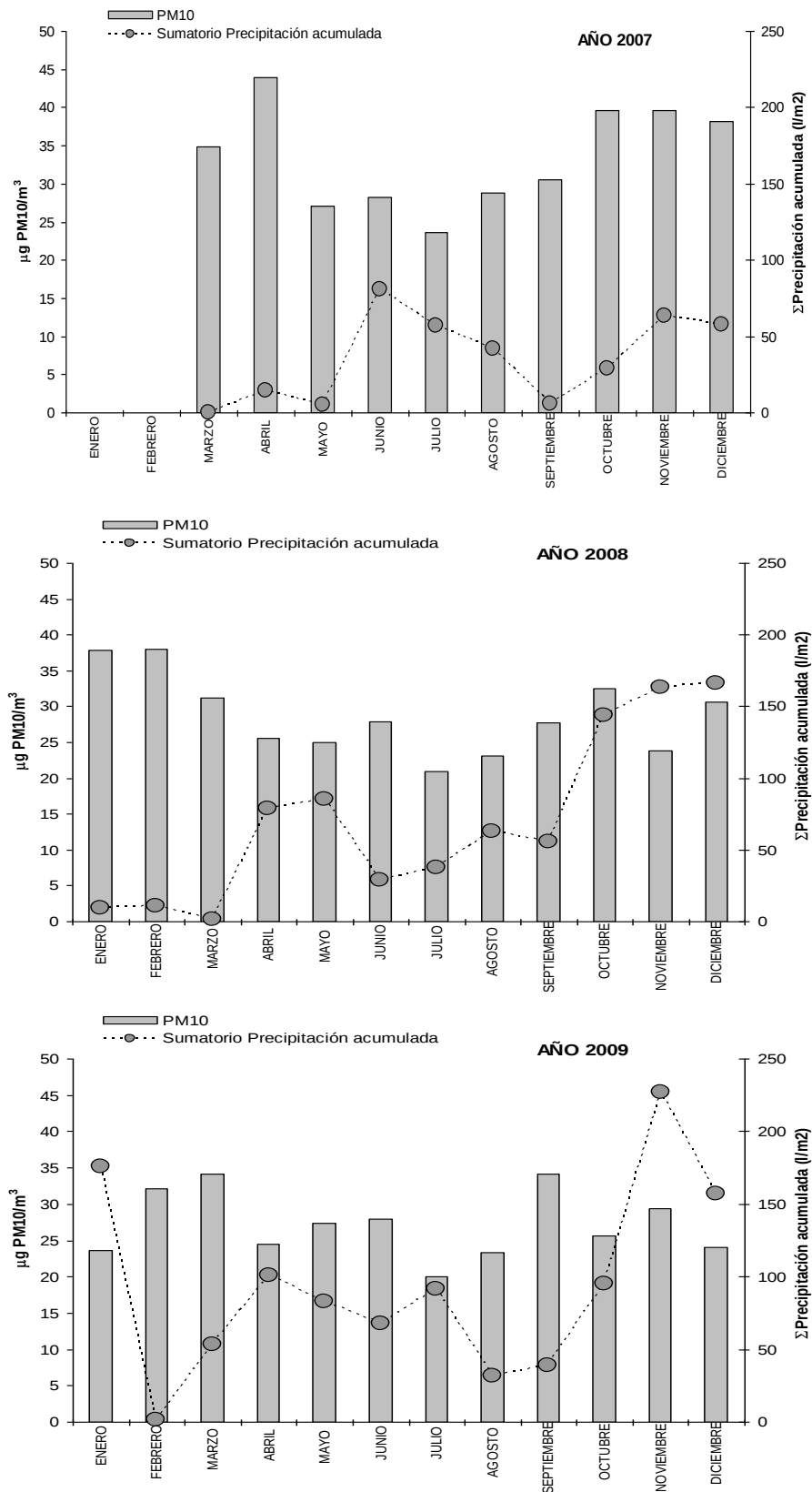


Figura 18. Niveles promedio mensuales de PM₁₀ y sumatorio de precipitación acumulada durante el período 2007-2009.

En la figura 19 se indica la distribución de los niveles de PM₁₀ según el día de la semana en donde se observa que los niveles diarios aumentan ligeramente de lunes a viernes disminuyendo los fines de semana.

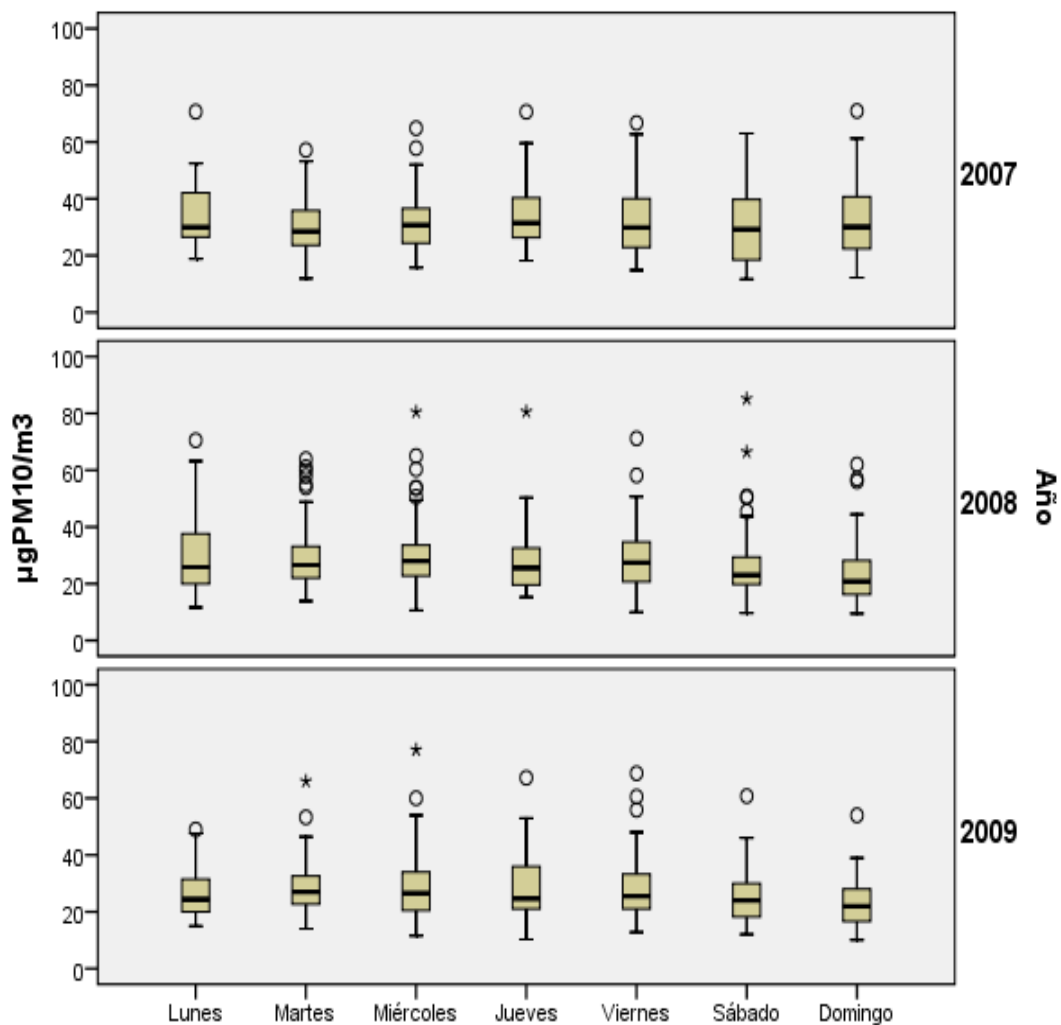


Figura 19. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana desde el año 2007 a 2009.

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

Dado que a lo largo del año 2009 el espectrómetro láser estuvo fuera de servicio, a continuación se presenta la comparativa relativa a los años 2007-2008, ya presentada en el informe final del año 2008.

Tabla XI. Factor gravimétrico.

Período	2007*	2008**
Primavera/verano	1,22	1,28
Otoño/invierno	1,31	1,22
MEDIA ANUAL	1,27	1,25
* 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)		
** Año 2008: Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre) Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 20 de marzo)		

Tabla XII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) durante los años 2007 y 2008.

	PM ₁₀		PM _{2,5}		PM ₁	
	2007*	2008**	2007*	2008**	2007*	2008**
Enero	-	30	-	22	-	15
Febrero	-	33	-	22	-	16
Marzo	-	22	-	16	-	10
Abril	-	20	-	15	-	10
Mayo	24	19	16	15	10	11
Junio	23	21	18	16	12	11
Julio	18	18	13	13	9	8
Agosto	22	19	16	14	10	10
Septiembre	24	21	18	16	12	11
Octubre	29	22	23	17	17	11
Noviembre	25	-	19	-	14	-
Diciembre	27	-	21	-	18	-
Media Anual	24	22	18	17	13	11

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

** en el año 2008 no hay muestras entre el 16 de octubre y el 31 de diciembre.

Tabla XIII. Valores de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas durante los años 2007 y 2008.

	PM _{2,5} / PM ₁₀		PM ₁ / PM _{2,5}		PM ₁ / PM ₁₀	
	2007*	2008**	2007*	2008**	2007*	2008**
Enero	-	0,74	-	0,69	-	0,51
Febrero	-	0,68	-	0,74	-	0,50
Marzo	-	0,73	-	0,61	-	0,45
Abril	-	0,75	-	0,65	-	0,49
Mayo	0,69	0,81	0,61	0,69	0,42	0,56
Junio	0,74	0,76	0,65	0,67	0,49	0,51
Julio	0,75	0,71	0,63	0,63	0,48	0,45
Agosto	0,73	0,77	0,63	0,66	0,46	0,51
Septiembre	0,74	0,77	0,67	0,70	0,50	0,54
Octubre	0,79	0,76	0,74	0,66	0,59	0,50
Noviembre	0,78	-	0,71	-	0,56	-
Diciembre	0,79	-	0,82	-	0,65	-
Media Anual	0,75	0,75	0,69	0,67	0,52	0,50

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

** en el año 2008 no hay muestras entre el 16 de octubre y el 31 de diciembre.

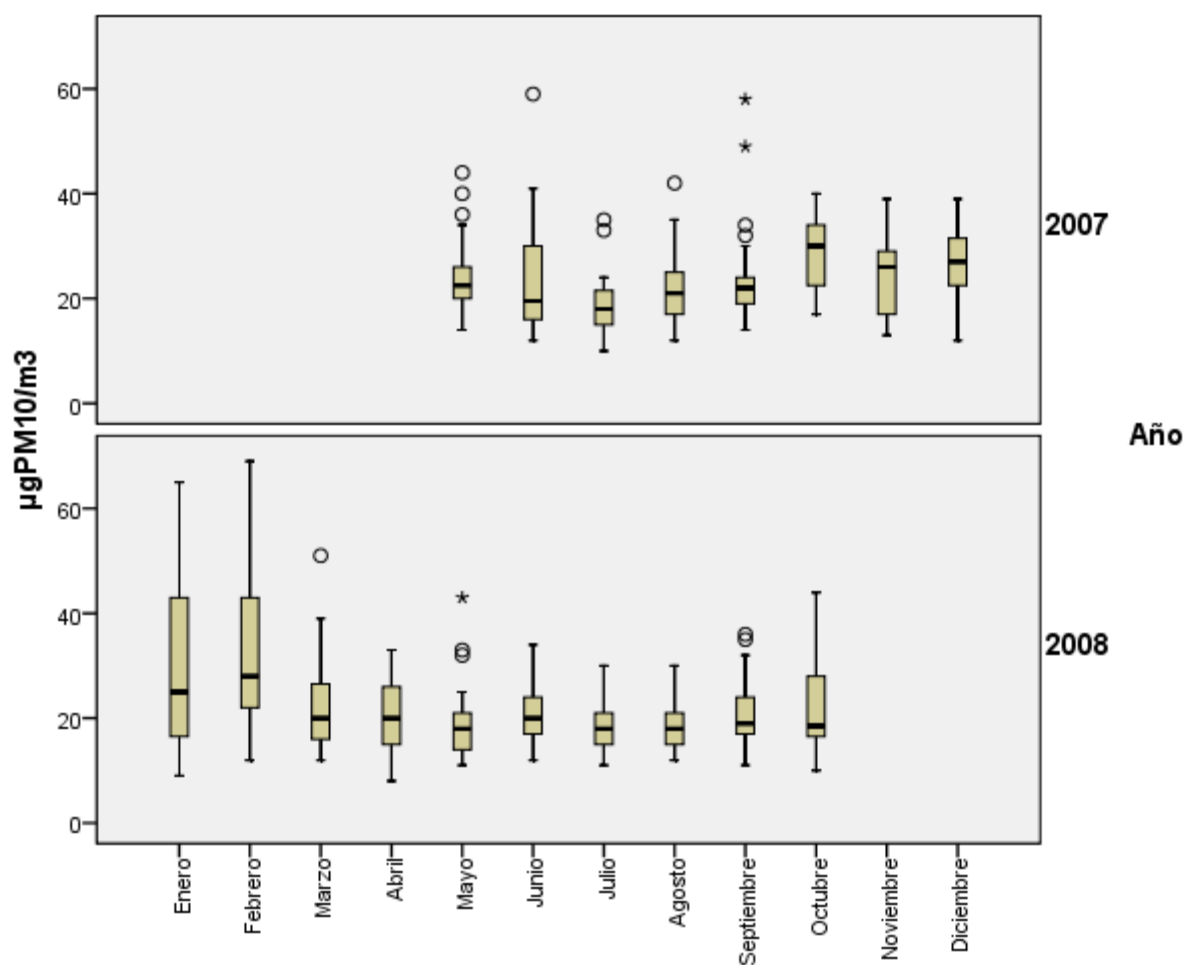


Figura 20. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de las fracción PM_{10} (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

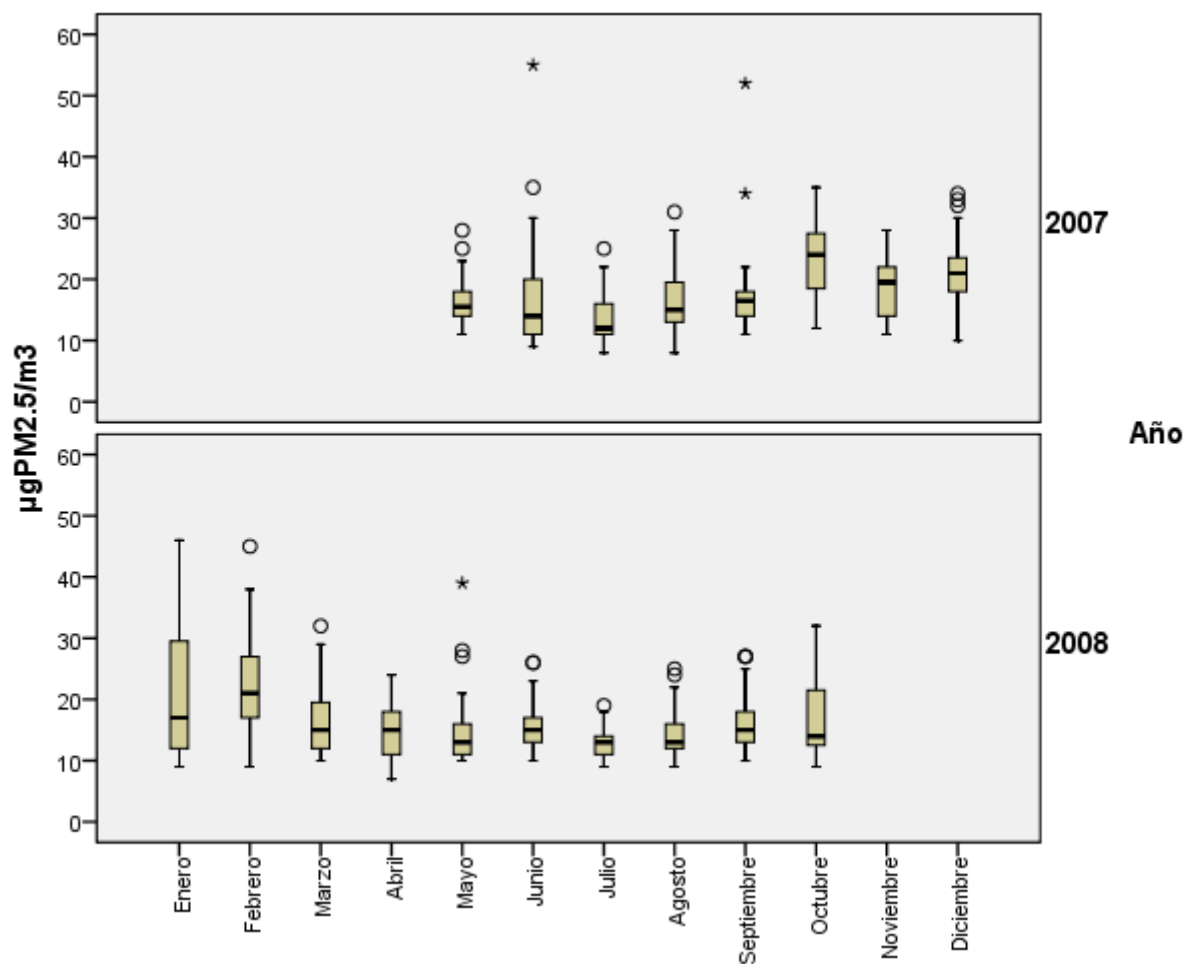


Figura 21. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de las fracción $\text{PM}_{2.5}$ (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

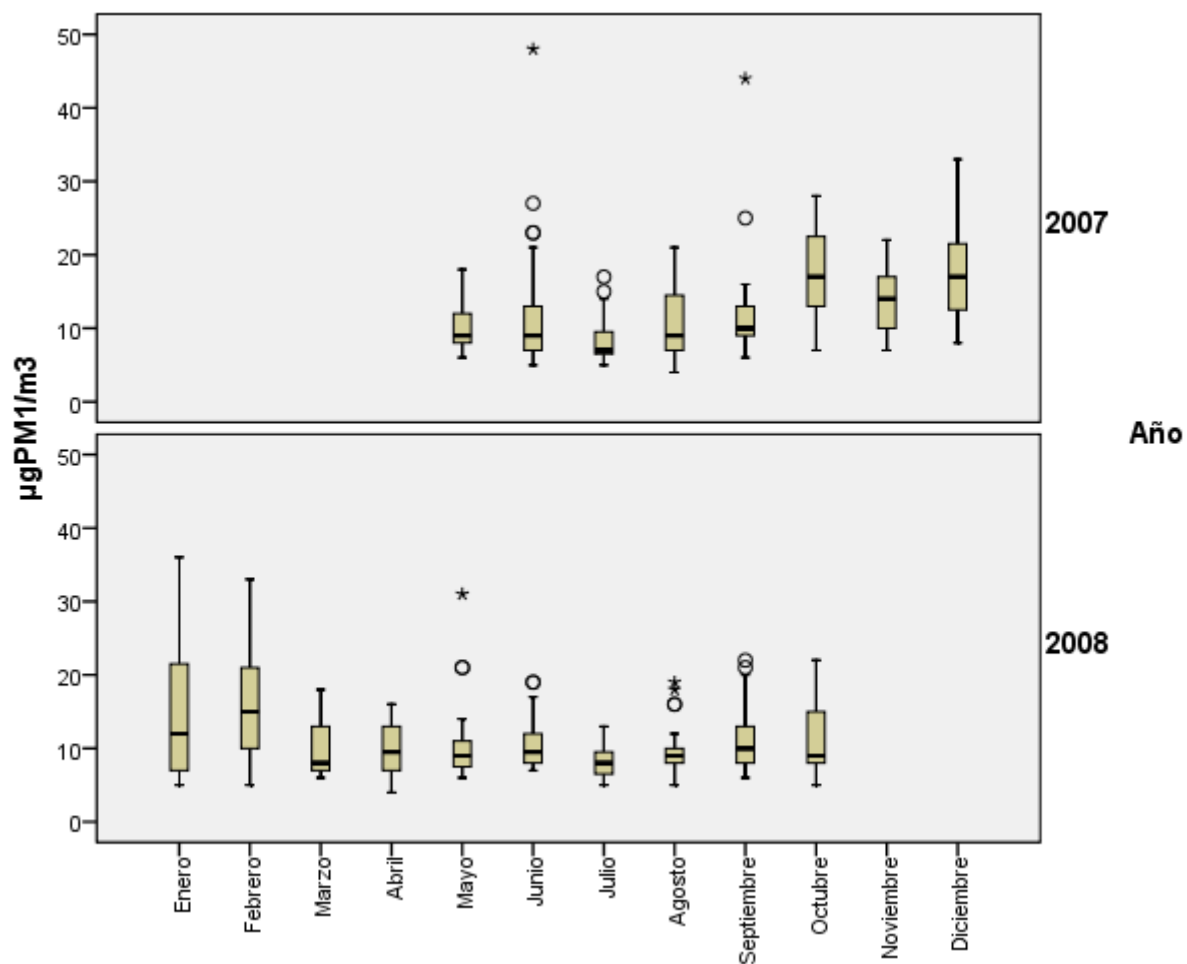


Figura 22. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de las fracción PM_{10} (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

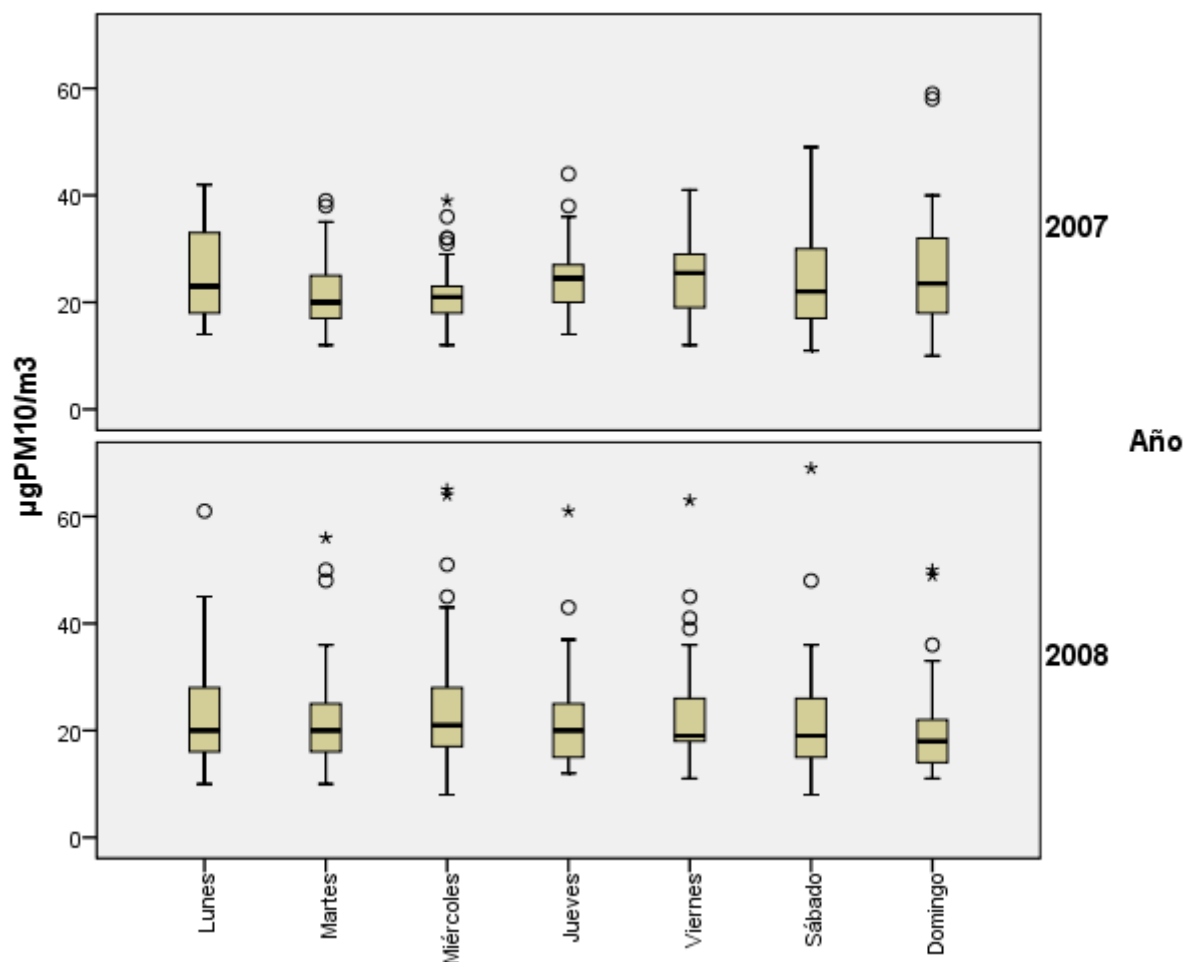


Figura 23. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_{10} para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

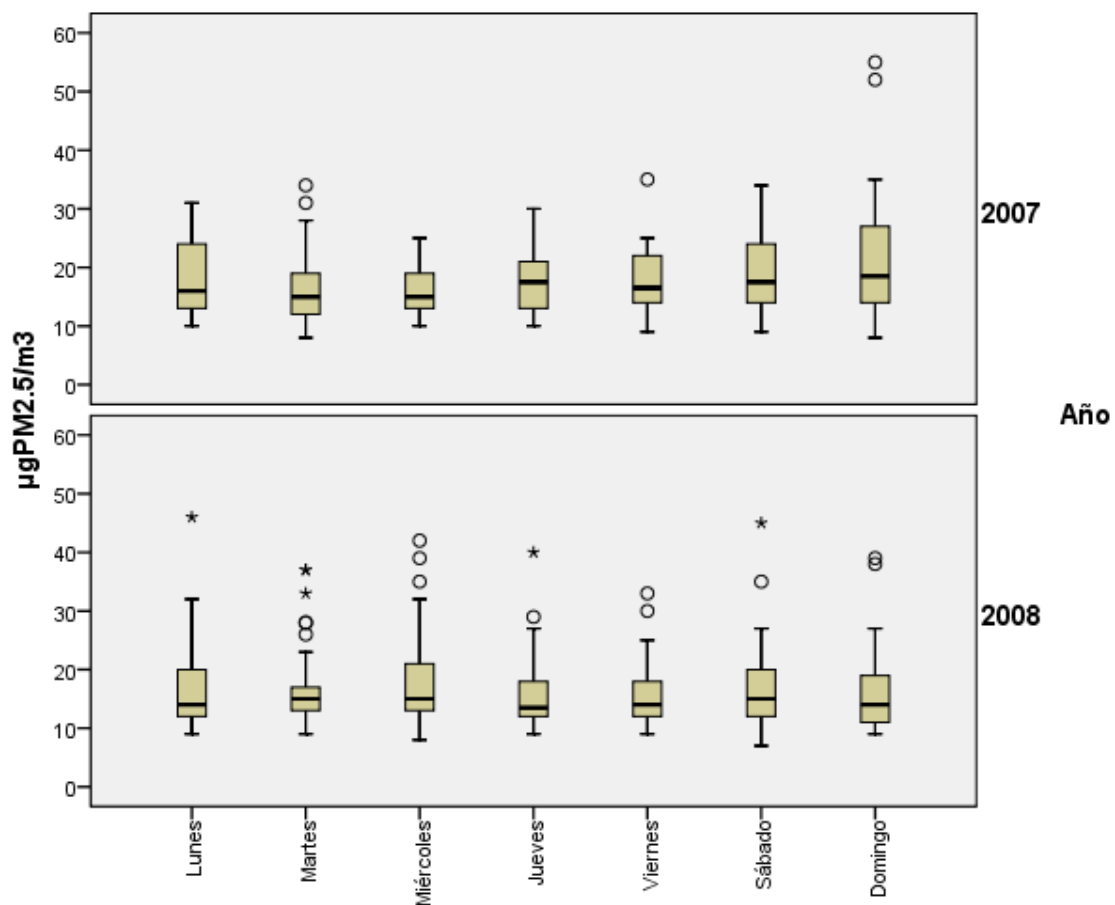


Figura 24. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de $\text{PM}_{2.5}$ para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

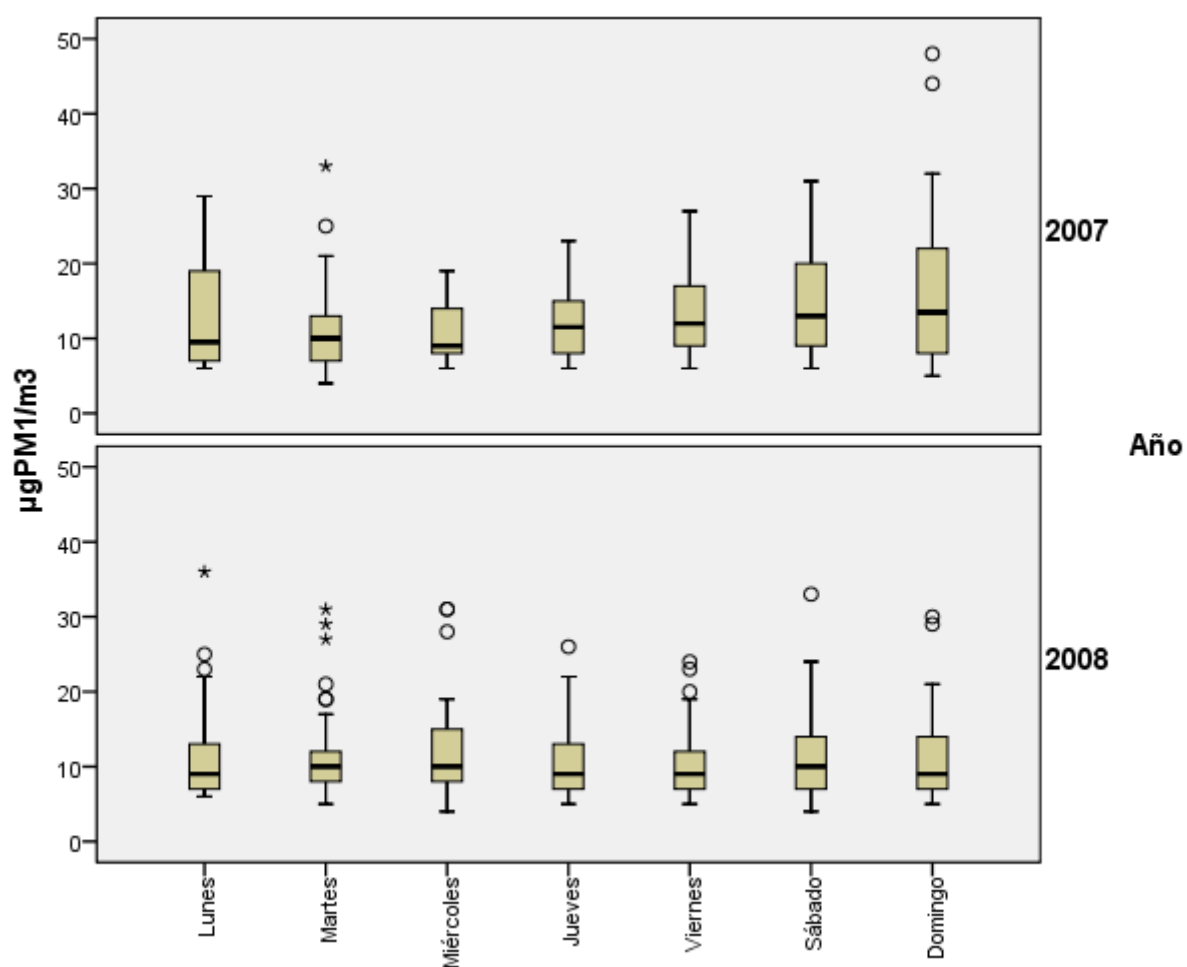


Figura 25. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_{10} para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

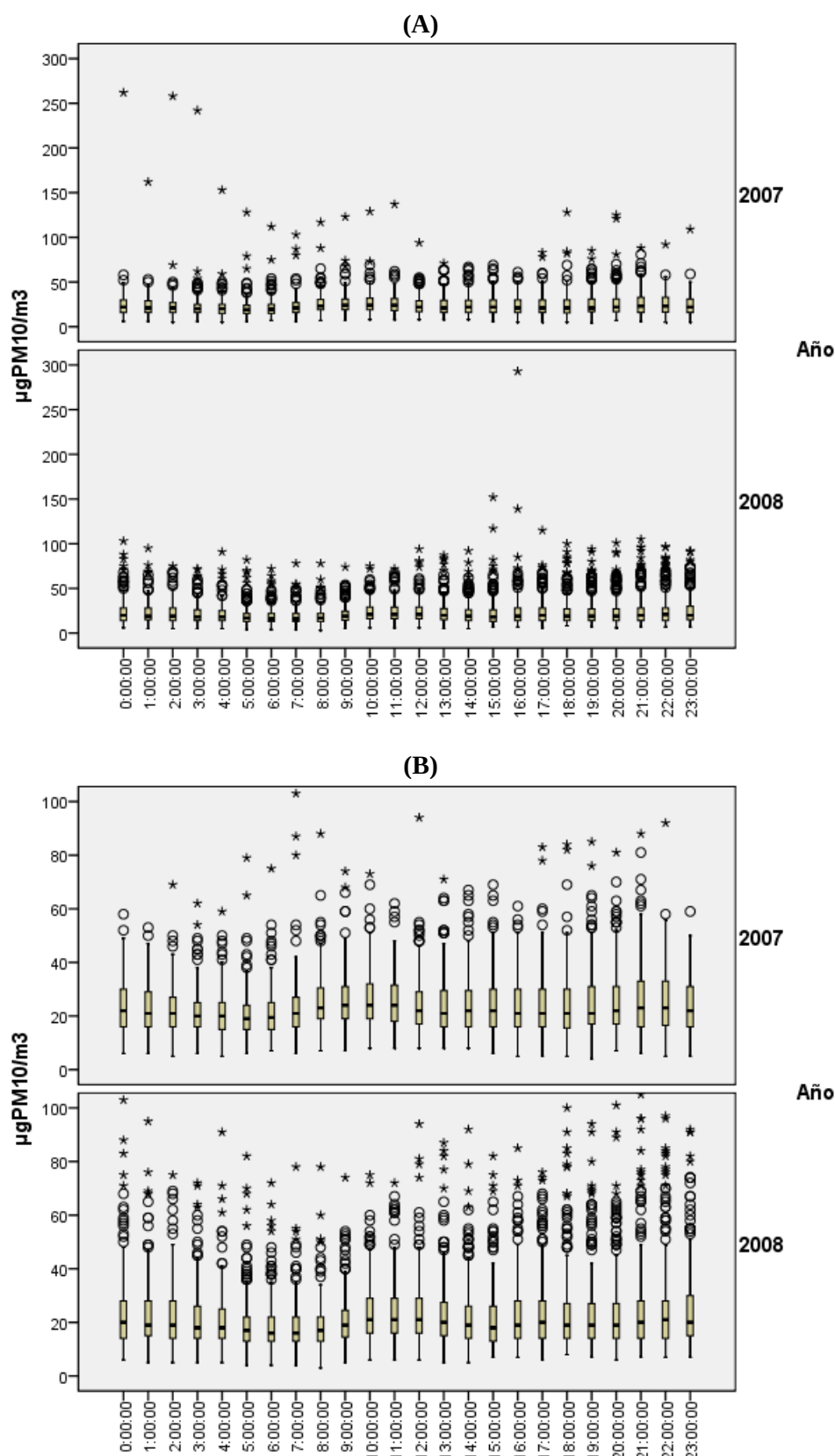


Figura 26. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_{10} durante los años 2007 y 2008. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

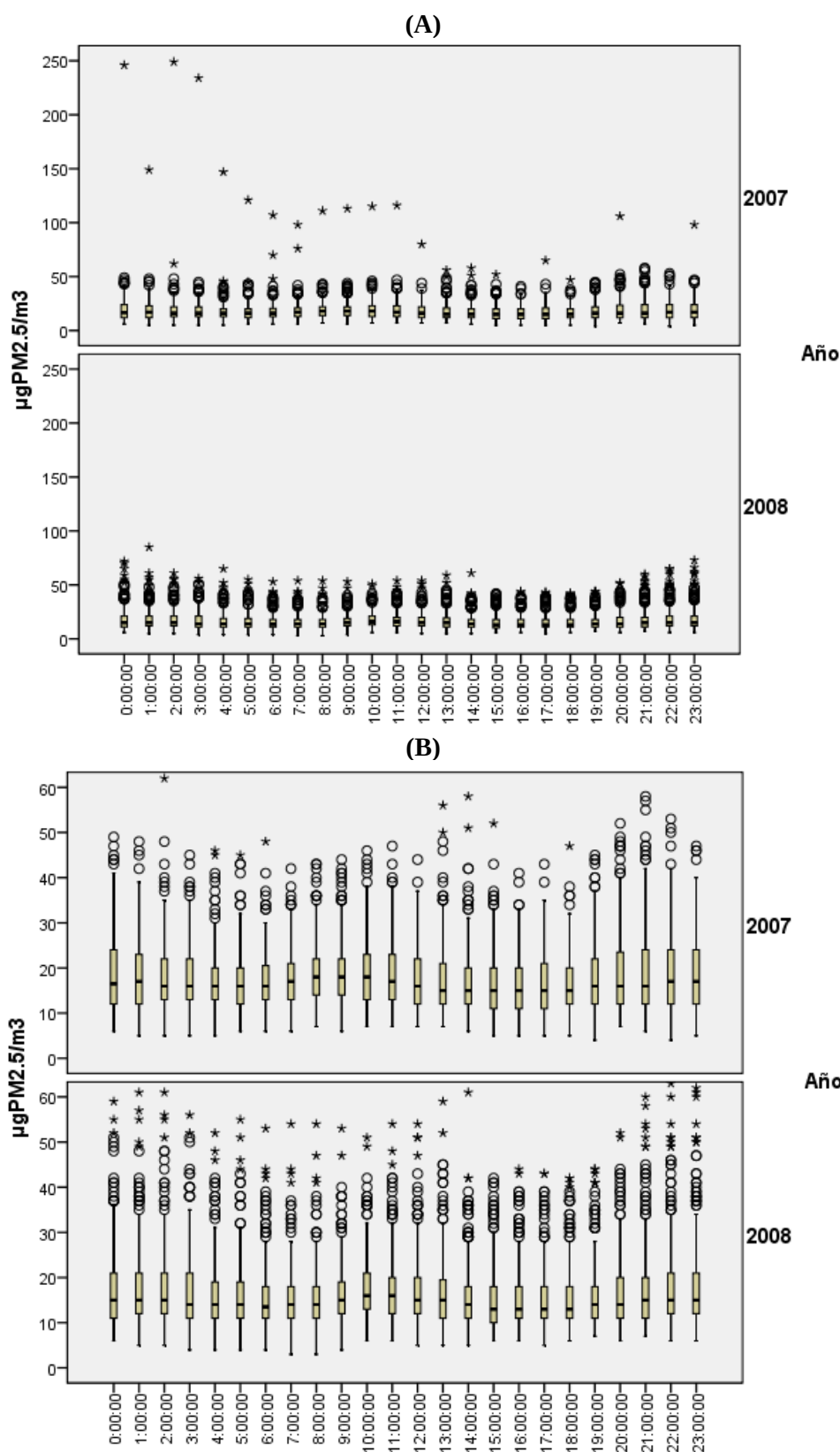


Figura 27. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de $PM_{2.5}$ durante los años 2007 y 2008. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

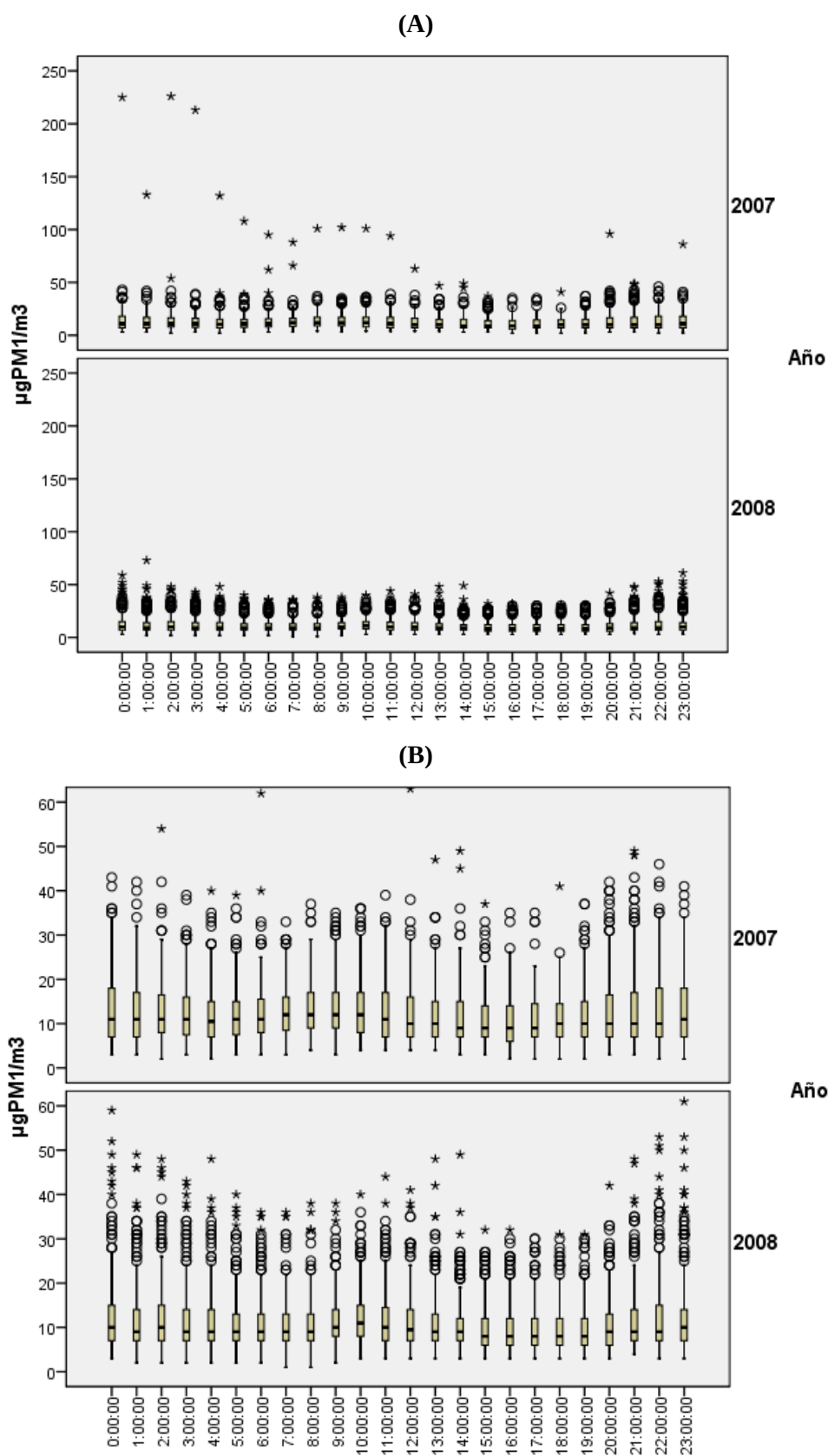


Figura 28. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_1 durante los años 2007 y 2008. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.