

INFORME FINAL 2008



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

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

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

AUTORES:

Han intervenido:

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

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

Dra. Purificación López Mahía. Catedrática de Química Analítica.

Dra. Soledad Muniategui Lorenzo. Catedrática de Química Analítica.

Dr. Darío Prada Rodríguez. Catedrático de Química Analítica.

de la

Universidad de A Coruña,



AGRADECIMIENTOS:

- La Fundación ALCOA por financiar la adquisición del muestreador de partículas DIGITEL dentro del Proyecto titulado “Levels of PM10 in the City of a Coruña” entre 2005-2006.
- Centro Meteorológico Territorial de Galicia 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	38
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	41
II. Intercomparación del espectrómetro láser con el equipo gravimétrico	42
III. Gráficas de los niveles de partículas PM ₁₀ para días laborables y fines de semana ...	44
IV. Origen de las masas de aire	47
V. Comparativa con los resultados del año 2007	49

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 $10\ \mu m$ 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 $10\ \mu m$ (PM_{10}), también ha sido reconocida la importancia y trascendencia, por parte de la Comisión Europea, de la fracción inferior a $2,5\ \mu m$ ($PM_{2,5}$). 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 $2,5\ \mu m$ con una eficiencia de corte del 50%.

El presente informe final resume los resultados sobre los niveles diarios de partículas PM_{10} , así como de las diferentes fracciones granulométricas, desde enero a diciembre de 2008 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 con el año 2007.

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 2008. Durante el período comprendido entre el jueves 13 de marzo y el miércoles 16 de abril, ambos inclusive, no se han podido recoger muestras de PM_{10} debido a las operaciones de mantenimiento realizadas en el equipo de muestreo.



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 PM_{10} . 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 (PM_{10}) 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 PM_{10} in the City of a Coruña” entre 2005-2006.

⁸ Norma UNE-EN 12341:1999 Calidad del aire. Determinación de la fracción PM_{10} 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} . Las medidas resultantes de PM_{10} se validaron por comparación con las medidas de PM_{10} obtenidas con el método gravimétrico (ver Anexo II, pág. 42). El analizador GRIMM estuvo fuera de servicio desde el 17 de octubre hasta el miércoles 31 de diciembre por problemas en su funcionamiento.

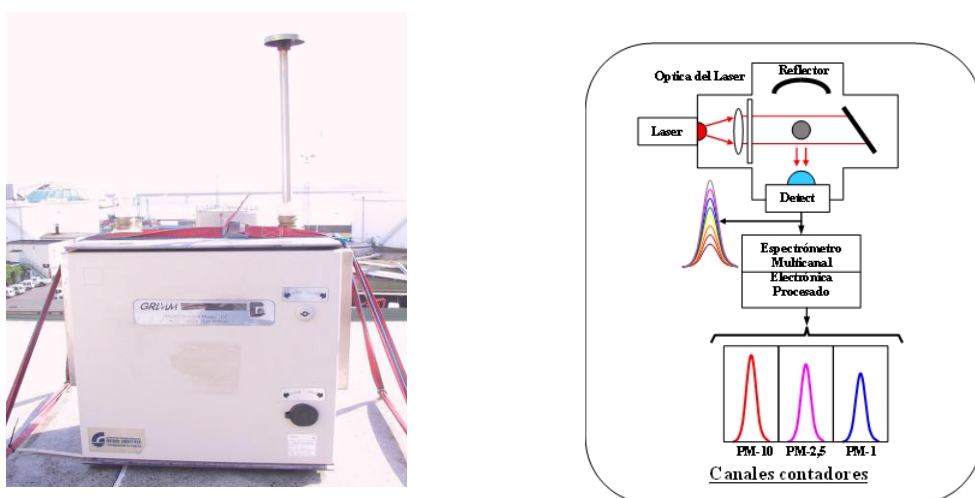


Figura 3. Fotografía y esquema de funcionamiento (cortesía de SIR S.A) del espectrómetro láser GRIMM 1107.

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 $20\pm 1^{\circ}C$ de temperatura y $50\pm 5\%$ humedad relativa⁹. 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. 41).

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/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	70% del valor límite (28 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación **	50% del valor límite (25 µg/m ³ que no podrán superarse en más de 35 ocasiones por año civil)	50% del valor límite (20 µg/m ³)

* *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/m ³ que debe alcanzarse el 1 de enero de 2010
Valor límite (FASE I)	25 µg/m ³ (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/m ³ que debe alcanzarse el 1 de enero de 2020
Umbral superior de evaluación	70% del valor límite (17 µg/m ³)
Umbral inferior de evaluación	50% del valor límite (12 µg/m ³)

**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

La concentración media anual de PM₁₀ obtenida en el punto de muestreo objeto de estudio es de 29 µg/m³. Valor que cumple con los requerimientos de la normativa⁵ al estar por debajo del valor límite promedio anual de 40 µg/m³. Sin embargo se han superado en 27 ocasiones el valor límite diario de 50 µg/m³, valor muy cercano al máximo de 35 fijado en la Directiva, si además tenemos en cuenta, como se ha citado en el apartado de muestreo, que no se dispone de datos entre el 13 de marzo y el 16 de abril (tabla IV).

Tabla IV. Resumen de los niveles de PM₁₀ en las muestras recogidas durante el año 2008*.

Nº muestras recogidas	330
% de muestras relativas a año civil	90,4
VALOR MÁXIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m ³)	85
VALOR MÍNIMO DIARIO de PM ₁₀ (µg/m ³)	10
Nº SUPERACIONES del valor límite diario de 50 µg/m ³	27
VALOR MEDIO ANUAL de PM ₁₀ (µg/m ³)	29

* No hay muestras entre el 13 de marzo y el 16 de abril.

La tabla V y la figura 4 recogen los niveles medios mensuales de PM_{10} que oscilan entre los $21 \mu g/m^3$ del mes de julio y los $38 \mu g/m^3$ de los meses de enero y febrero. Los valores máximos diarios se producen en estos meses de invierno con valores de $81 \mu g/m^3$ y $85 \mu g/m^3$, en enero y febrero respectivamente, disminuyendo hasta los $37 \mu g/m^3$ para el mes de julio. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los $10 \mu g/m^3$ de los meses de enero, julio, agosto, noviembre y diciembre y los $20 \mu g/m^3$ del mes de marzo.

En la tabla se indican además la distribución por mes del número de superaciones del valor límite diario, observando que entre los meses de enero y febrero se producen un total de 16 que representan el 59% del total de superaciones ocurridas durante 2008; en los meses de octubre y diciembre se producen 7 que representan el 26% del total.

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

	Máximo	Mínimo ($\mu g/m^3$)	Media	Nº superaciones
Enero	81	10	38	9
Febrero	85	14	38	7
Marzo	54	20	31	1
Abril	48	12	26	0
Mayo	60	14	25	1
Junio	56	12	28	2
Julio	37	10	21	0
Agosto	41	10	23	0
Septiembre	45	15	28	0
Octubre	63	12	33	4
Noviembre	39	10	24	0
Diciembre	60	10	31	3

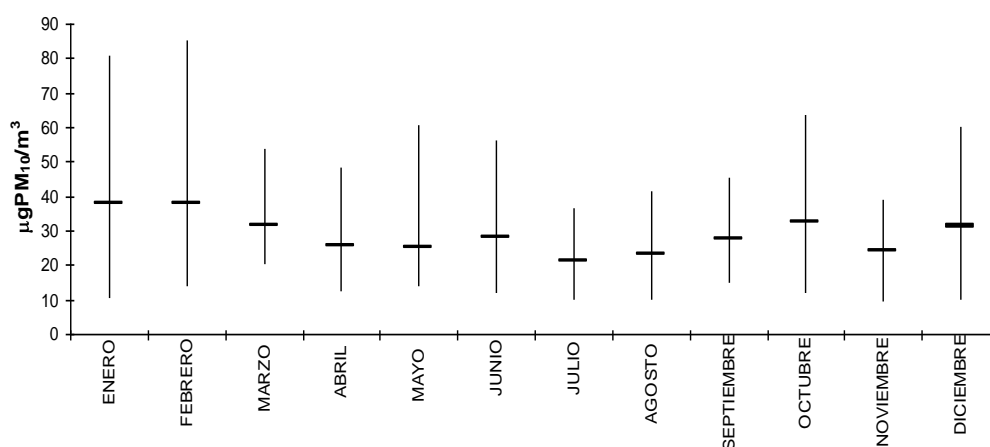
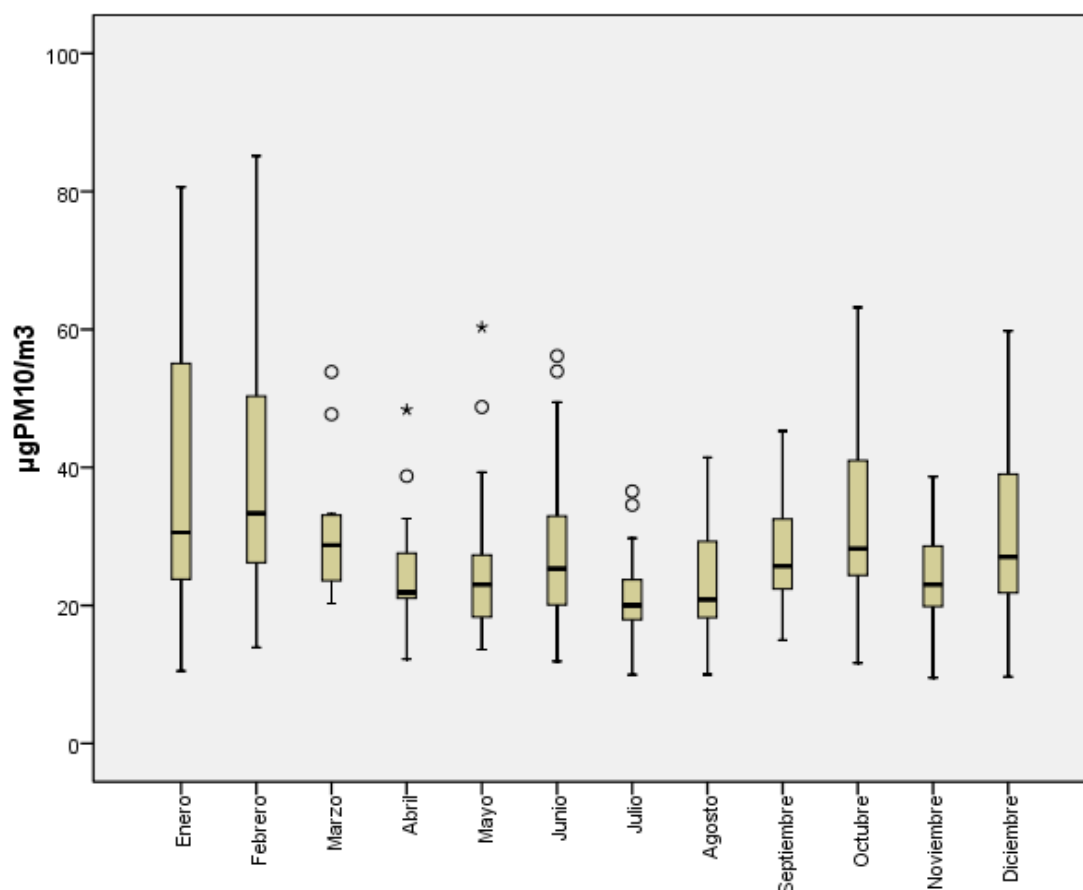


Figura 4. Variación mensual del valor medio y del rango de concentración de PM_{10} .

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

En la figura 5 se muestran los gráficos para el total de muestras distribuidas por mes de muestreo. La tendencia estacional de la concentración de PM_{10} en el punto de muestreo refleja los valores más altos en el invierno (septiembre a febrero) y menores en primavera y verano (de marzo 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 niveles tan elevados en el mes de enero, febrero, octubre y diciembre coinciden con la presencia de inversiones térmicas a baja altura muy marcadas durante varios días del mes (impide una dispersión de los contaminantes) unido a la escasa precipitación durante ese período.

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 del Instituto Nacional de Meteorología, realizados a las 12h del mediodía y a las 0 horas 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 (Figura 6).

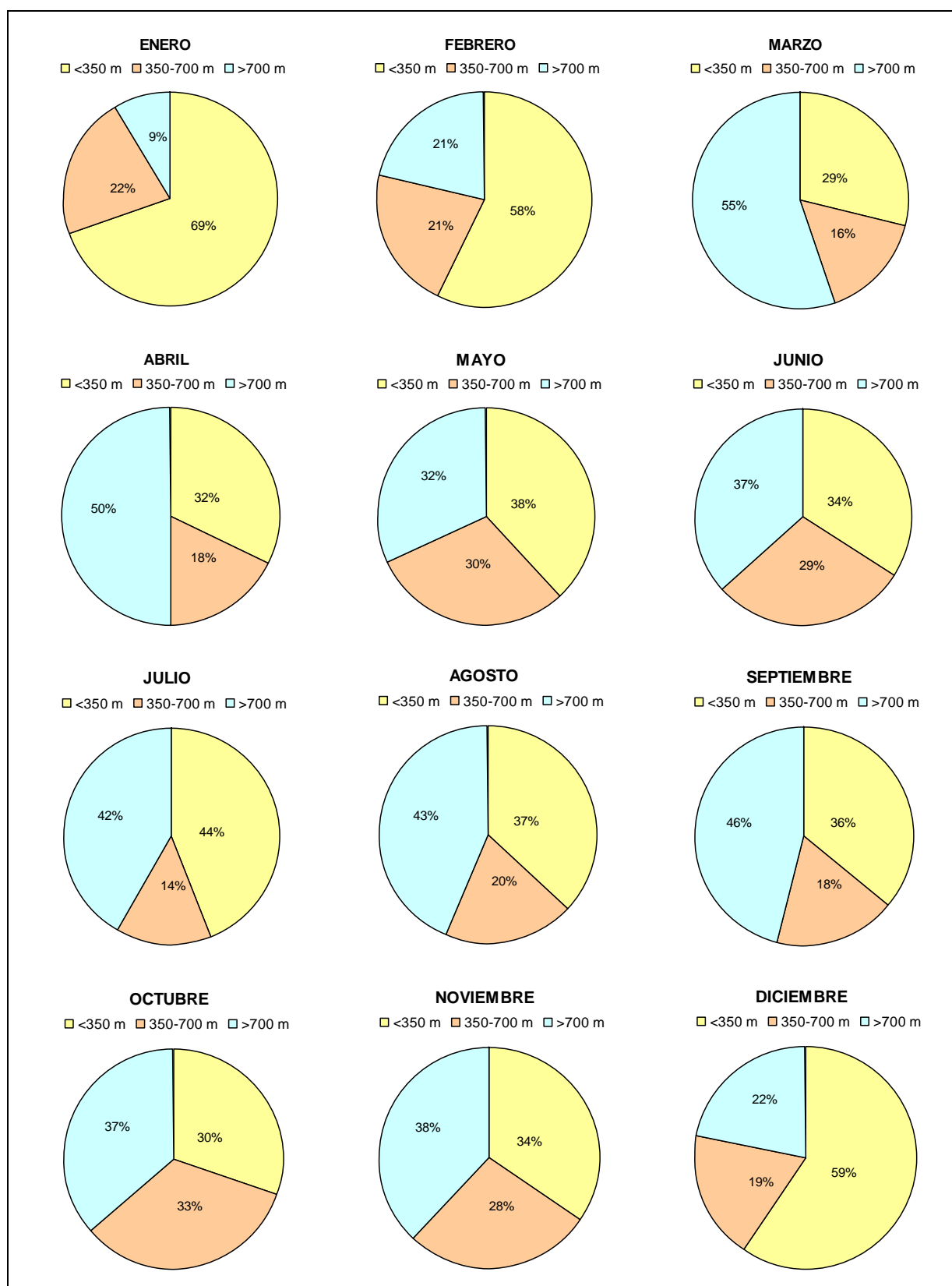


Figura 6. Proporción relativa de las alturas de capa de mezcla (metros sobre el nivel de suelo) para cada mes de muestreo obtenidas a partir de radiosondeos decodificados por el programa RAOB 5.7.

A continuación en la tabla VI se muestran los valores promedio de 24 horas de PM₁₀ para todos los días de muestreo. El 8,2 % del total de muestras supera el valor límite diario de 50 µg/m³, un 15,2% del total de muestras superan los 40 µg/m³, un 32,4% superan los 30 µg/m³ y un 73,6% superan los 20 µg/m³.

Tabla VI. Niveles promedio diarios de PM₁₀.

ENERO 2008	PM ₁₀ (µg/m ³)	FEBRERO 2008	PM ₁₀ (µg/m ³)	MARZO 2008	PM ₁₀ (µg/m ³)
Martes 1	28	Viernes 1	15	Sábado 1	20
Miércoles 2	22	Sábado 2	26	Domingo 2	24
Jueves 3	23	Domingo 3	14	Lunes 3	23
Viernes 4	27	Lunes 4	18	Martes 4	33
Sábado 5	10	Martes 5	14	Miércoles 5	24
Domingo 6	17	Miércoles 6	33	Jueves 6	<i>sin dato</i>
Lunes 7	40	Jueves 7	45	Viernes 7	32
Martes 8	25	Viernes 8	43	Sábado 8	29
Miércoles 9	18	Sábado 9	35	Domingo 9	25
Jueves 10	17	Domingo 10	44	Lunes 10	48
Viernes 11	31	Lunes 11	57	Martes 11	33
Sábado 12	30	Martes 12	64	Miércoles 12	54
Domingo 13	25	Miércoles 13	65	Jueves 13	<i>Operaciones de mantenimiento del equipo de muestreo</i>
Lunes 14	24	Jueves 14	50	Viernes 14	
Martes 15	22	Viernes 15	71	Sábado 15	
Miércoles 16	54	Sábado 16	85	Domingo 16	
Jueves 17	18	Domingo 17	56	Lunes 17	
Viernes 18	31	Lunes 18	29	Martes 18	
Sábado 19	31	Martes 19	28	Miércoles 19	
Domingo 20	36	Miércoles 20	33	Jueves 20	
Lunes 21	56	Jueves 21	39	Viernes 21	
Martes 22	61	Viernes 22	58	Sábado 22	
Miércoles 23	81	Sábado 23	28	Domingo 23	
Jueves 24	81	Domingo 24	27	Lunes 24	
Viernes 25	49	Lunes 25	35	Martes 25	
Sábado 26	66	Martes 26	22	Miércoles 26	
Domingo 27	62	Miércoles 27	17	Jueves 27	
Lunes 28	71	Jueves 28	30	Viernes 28	
Martes 29	58	Viernes 29	18	Sábado 29	
Miércoles 30	34			Domingo 30	
Jueves 31	26			Lunes 31	

(continúa)

En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 20,6% de las muestras (68 muestras) superan el umbral de evaluación superior de 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 48% (158 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 PM_{10} (continuación).

ABRIL 2008	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	MAYO 2008	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	JUNIO 2008	PM_{10} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Martes 1	<i>Operaciones de mantenimiento del equipo de muestreo</i>	Viernes 1	18	Domingo 1	14
Miércoles 2		Sábado 2	25	Lunes 2	20
Jueves 3		Domingo 3	29	Martes 3	36
Viernes 4		Lunes 4	37	Miércoles 4	31
Sábado 5		Martes 5	39	Jueves 5	22
Domingo 6		Miércoles 6	49	Viernes 6	30
Lunes 7		Jueves 7	60	Sábado 7	21
Martes 8		Viernes 8	17	Domingo 8	16
Miércoles 9		Sábado 9	21	Lunes 9	26
Jueves 10		Domingo 10	20	Martes 10	54
Viernes 11		Lunes 11	36	Miércoles 11	49
Sábado 12		Martes 12	36	Jueves 12	35
Domingo 13		Miércoles 13	21	Viernes 13	20
Lunes 14		Jueves 14	17	Sábado 14	20
Martes 15		Viernes 15	18	Domingo 15	12
Miércoles 16		Sábado 16	25	Lunes 16	22
Jueves 17	20	Domingo 17	23	Martes 17	25
Viernes 18	22	Lunes 18	15	Miércoles 18	27
Sábado 19	12	Martes 19	18	Jueves 19	19
Domingo 20	21	Miércoles 20	19	Viernes 20	24
Lunes 21	25	Jueves 21	26	Sábado 21	20
Martes 22	20	Viernes 22	29	Domingo 22	19
Miércoles 23	22	Sábado 23	15	Lunes 23	56
Jueves 24	33	Domingo 24	14	Martes 24	27
Viernes 25	48	Lunes 25	14	Miércoles 25	33
Sábado 26	39	Martes 26	15	Jueves 26	35
Domingo 27	22	Miércoles 27	24	Viernes 27	31
Lunes 28	21	Jueves 28	24	Sábado 28	30
Martes 29	28	Viernes 29	23	Domingo 29	21
Miércoles 30	26	Sábado 30	23	Lunes 30	41
		Viernes 31	23		

(continúa)

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

JULIO 2008	PM₁₀ (µg/m³)	AGOSTO 2008	PM₁₀ (µg/m³)	SEPTIEMBRE 2008	PM₁₀ (µg/m³)
Martes 1	27	Viernes 1	29	Lunes 1	26
Miércoles 2	30	Sábado 2	18	Martes 2	22
Jueves 3	27	Domingo 3	16	Miércoles 3	15
Viernes 4	18	Lunes 4	18	Jueves 4	16
Sábado 5	22	Martes 5	18	Viernes 5	25
Domingo 6	19	Miércoles 6	19	Sábado 6	23
Lunes 7	19	Jueves 7	20	Domingo 7	17
Martes 8	25	Viernes 8	23	Lunes 8	19
Miércoles 9	25	Sábado 9	22	Martes 9	16
Jueves 10	17	Domingo 10	20	Miércoles 10	27
Viernes 11	20	Lunes 11	17	Jueves 11	20
Sábado 12	15	Martes 12	34	Viernes 12	33
Domingo 13	14	Miércoles 13	36	Sábado 13	25
Lunes 14	23	Jueves 14	25	Domingo 14	27
Martes 15	21	Viernes 15	13	Lunes 15	35
Miércoles 16	20	Sábado 16	21	Martes 16	29
Jueves 17	18	Domingo 17	10	Miércoles 17	40
Viernes 18	35	Lunes 18	24	Jueves 18	45
Sábado 19	22	Martes 19	22	Viernes 19	35
Domingo 20	14	Miércoles 20	29	Sábado 20	44
Lunes 21	18	Jueves 21	15	Domingo 21	39
Martes 22	37	Viernes 22	20	Lunes 22	27
Miércoles 23	29	Sábado 23	16	Martes 23	32
Jueves 24	19	Domingo 24	16	Miércoles 24	26
Viernes 25	10	Lunes 25	26	Jueves 25	24
Sábado 26	13	Martes 26	31	Viernes 26	25
Domingo 27	13	Miércoles 27	34	Sábado 27	22
Lunes 28	20	Jueves 28	30	Domingo 28	29
Martes 29	21	Viernes 29	41	Lunes 29	43
Miércoles 30	19	Sábado 30	31	Martes 30	25
Jueves 31	22	Domingo 31	20		

(continúa)

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

OCTUBRE 2008	PM₁₀ (µg/m³)	NOVIEMBRE 2008	PM₁₀ (µg/m³)	DICIEMBRE 2008	PM₁₀ (µg/m³)
Miércoles 1	30	Sábado 1	21	Lunes 1	18
Jueves 2	27	Domingo 2	18	Martes 2	25
Viernes 3	28	Lunes 3	23	Miércoles 3	30
Sábado 4	25	Martes 4	26	Jueves 4	26
Domingo 5	12	Miércoles 5	30	Viernes 5	51
Lunes 6	12	Jueves 6	20	Sábado 6	10
Martes 7	29	Viernes 7	25	Domingo 7	21
Miércoles 8	31	Sábado 8	15	Lunes 8	33
Jueves 9	28	Domingo 9	10	Martes 9	30
Viernes 10	38	Lunes 10	13	Miércoles 10	25
Sábado 11	51	Martes 11	28	Jueves 11	24
Domingo 12	35	Miércoles 12	29	Viernes 12	27
Lunes 13	63	Jueves 13	30	Sábado 13	17
Martes 14	55	Viernes 14	32	Domingo 14	22
Miércoles 15	40	Sábado 15	24	Lunes 15	35
Jueves 16	22	Domingo 16	22	Martes 16	37
Viernes 17	19	Lunes 17	23	Miércoles 17	25
Sábado 18	23	Martes 18	20	Jueves 18	41
Domingo 19	34	Miércoles 19	22	Viernes 19	48
Lunes 20	42	Jueves 20	39	Sábado 20	46
Martes 21	18	Viernes 21	35	Domingo 21	37
Miércoles 22	25	Sábado 22	26	Lunes 22	47
Jueves 23	42	Domingo 23	23	Martes 23	60
Viernes 24	48	Lunes 24	33	Miércoles 24	51
Sábado 25	50	Martes 25	24	Jueves 25	46
Domingo 26	57	Miércoles 26	20	Viernes 26	31
Lunes 27	28	Jueves 27	30	Sábado 27	16
Martes 28	24	Viernes 28	19	Domingo 28	23
Miércoles 29	26	Sábado 29	20	Lunes 29	22
Jueves 30	28	Domingo 30	20	Martes 30	16
Viernes 31	18			Miércoles 31	11

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.

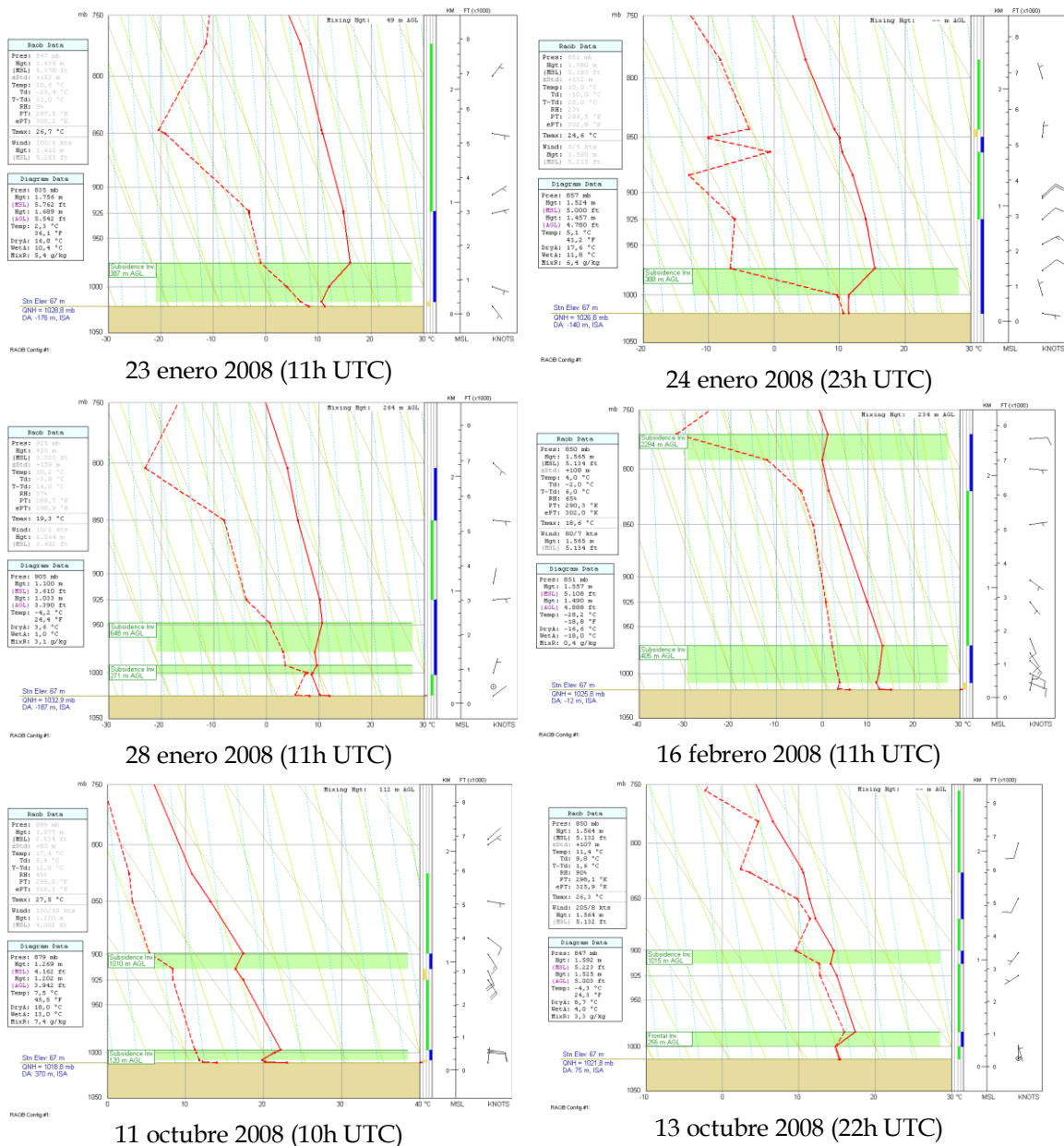


Figura 7. Perfiles de temperatura en la atmósfera obtenidos a partir de los radiosondeos decodificados con el programa RAOB.

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

Como se puede observar los niveles más altos de partículas dentro de cada mes coinciden en períodos prolongados y continuados, como mínimo de una semana. Para los meses de enero, febrero, marzo, junio, septiembre, octubre y diciembre entre el 50-80% de las muestras supera el UEI y solamente en enero, febrero, octubre y diciembre más del 30% de las muestras superan el UES. En los meses de abril, mayo, julio, agosto y noviembre más del 65% de las muestras se encuentran por debajo del UEI.

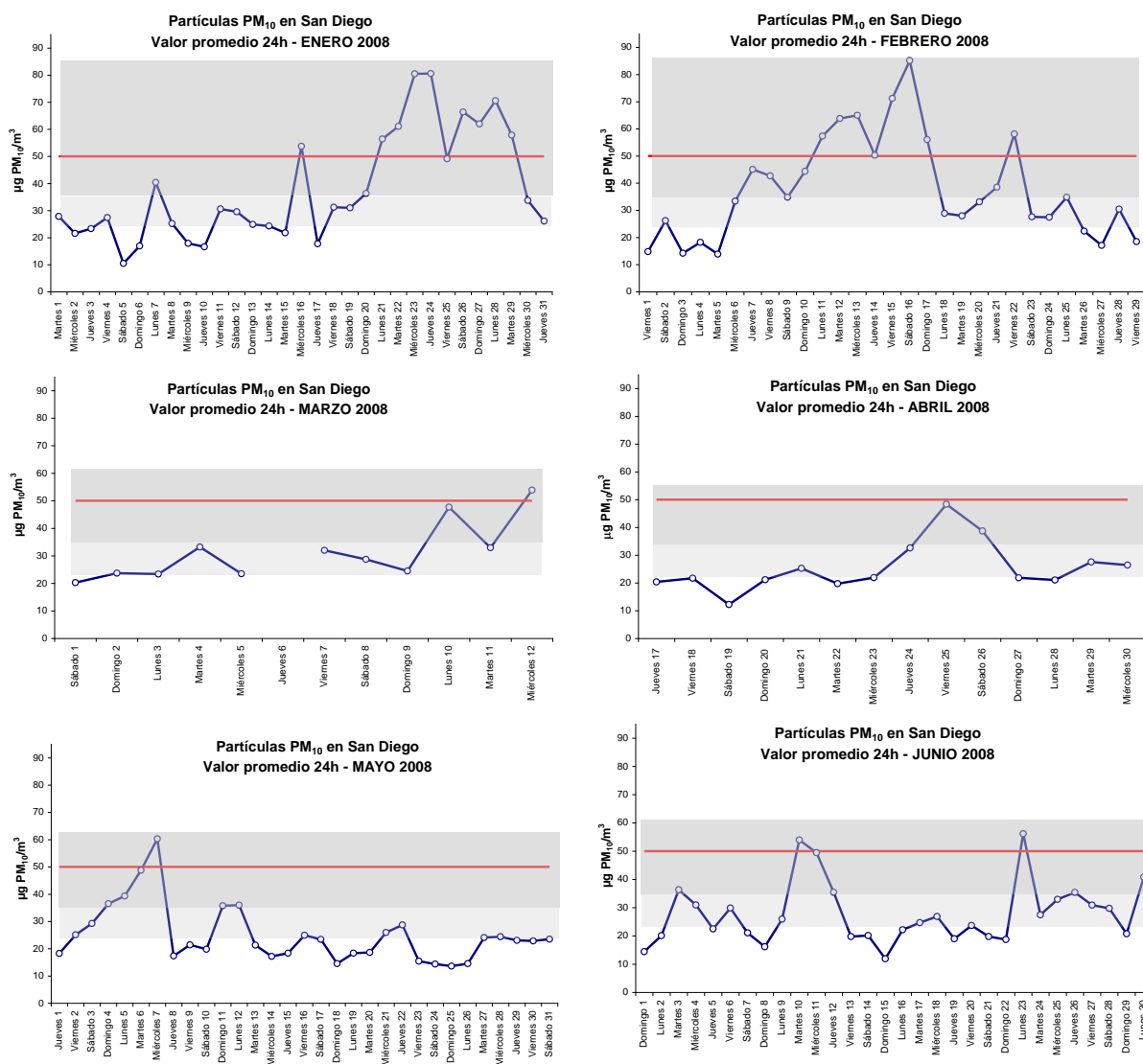


Figura 8. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM_{10} . (continúa)

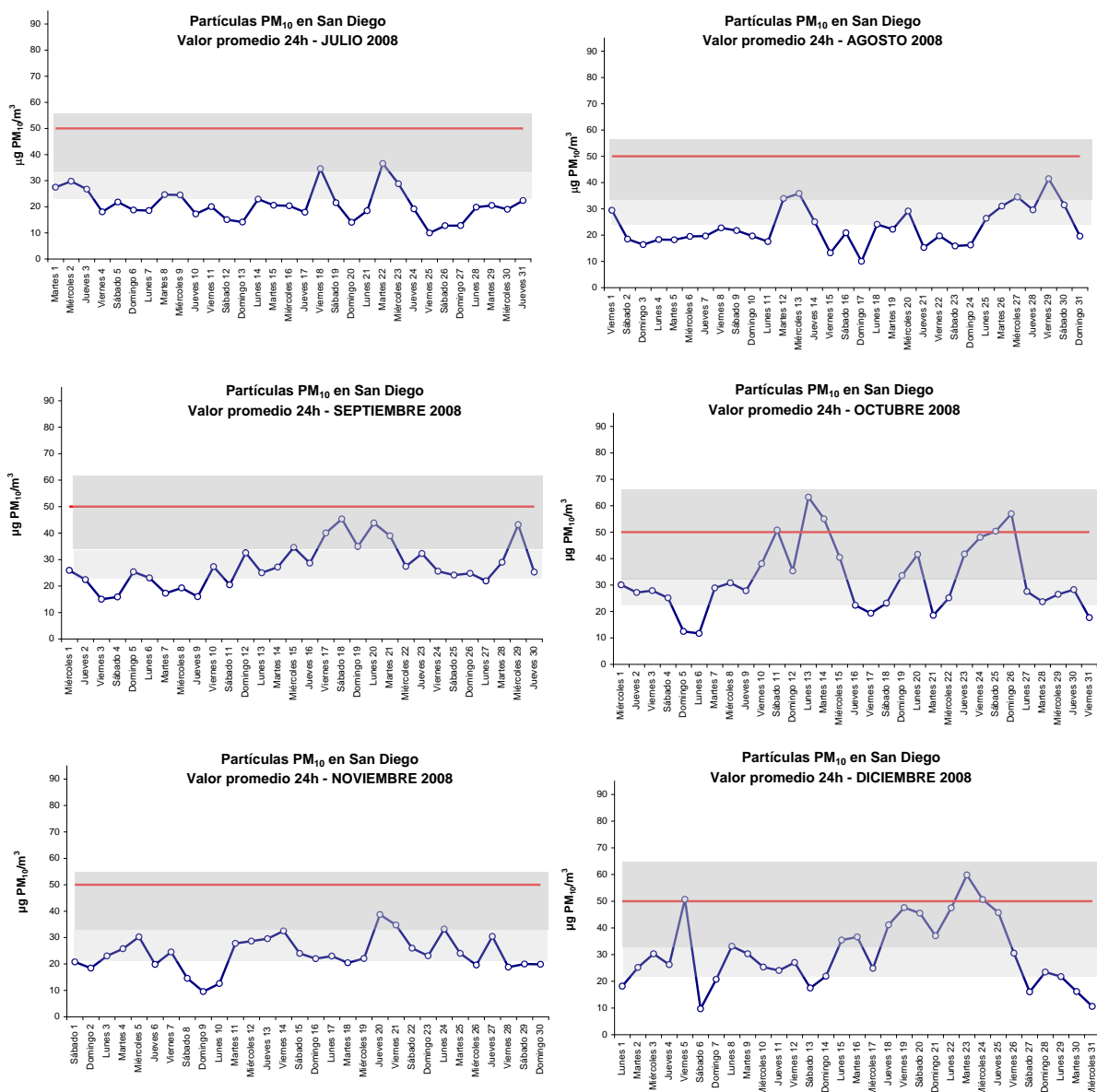


Figura 8. Evolución del promedio diario (24h) de los niveles de partículas PM₁₀.

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. Las precipitaciones más abundantes y continuas han sido en primavera y a finales de año y los meses de mayor precipitación presentan menores niveles de partículas, con excepción de octubre, noviembre y diciembre.

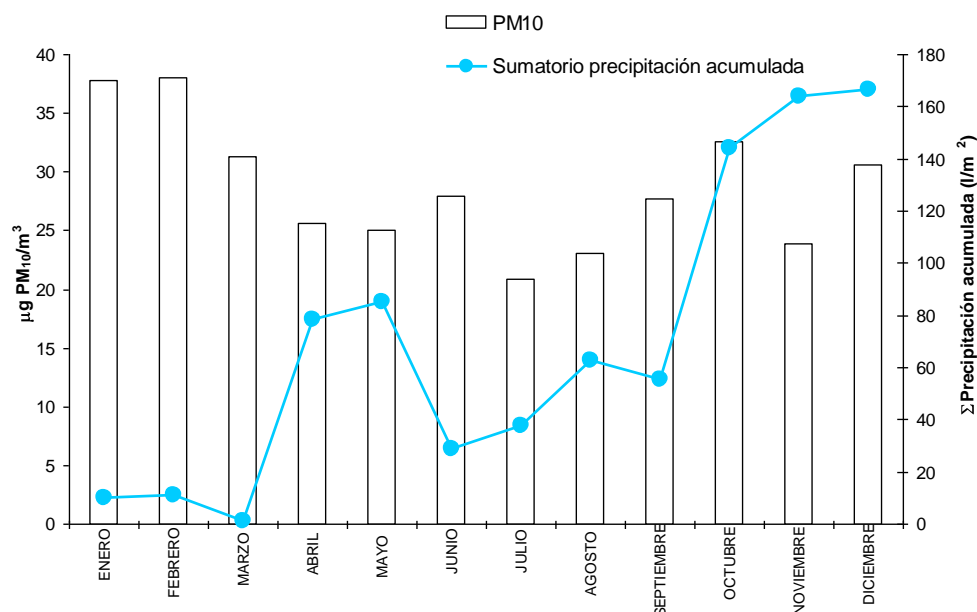


Figura 9. Niveles promedio mensuales de PM₁₀ y de sumatorio de precipitación acumulada.

Si se hace una discusión más detallada representando la precipitación acumulada diaria se observa que en los meses de enero, febrero, marzo, julio y septiembre ha llovido muy poco y de manera intermitente; en abril y mayo ha llovido de manera continuada a largo del mes, mientras que en los meses de octubre, noviembre y diciembre ha llovido igualmente de forma continuada pero con más intensidad (figura 10).

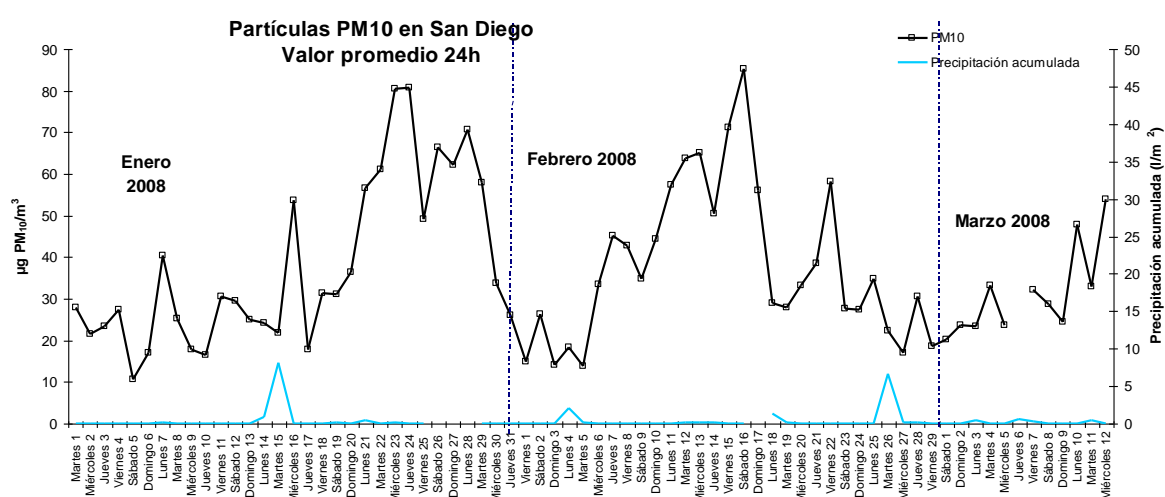


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedio diarios de partículas PM₁₀. (continúa)

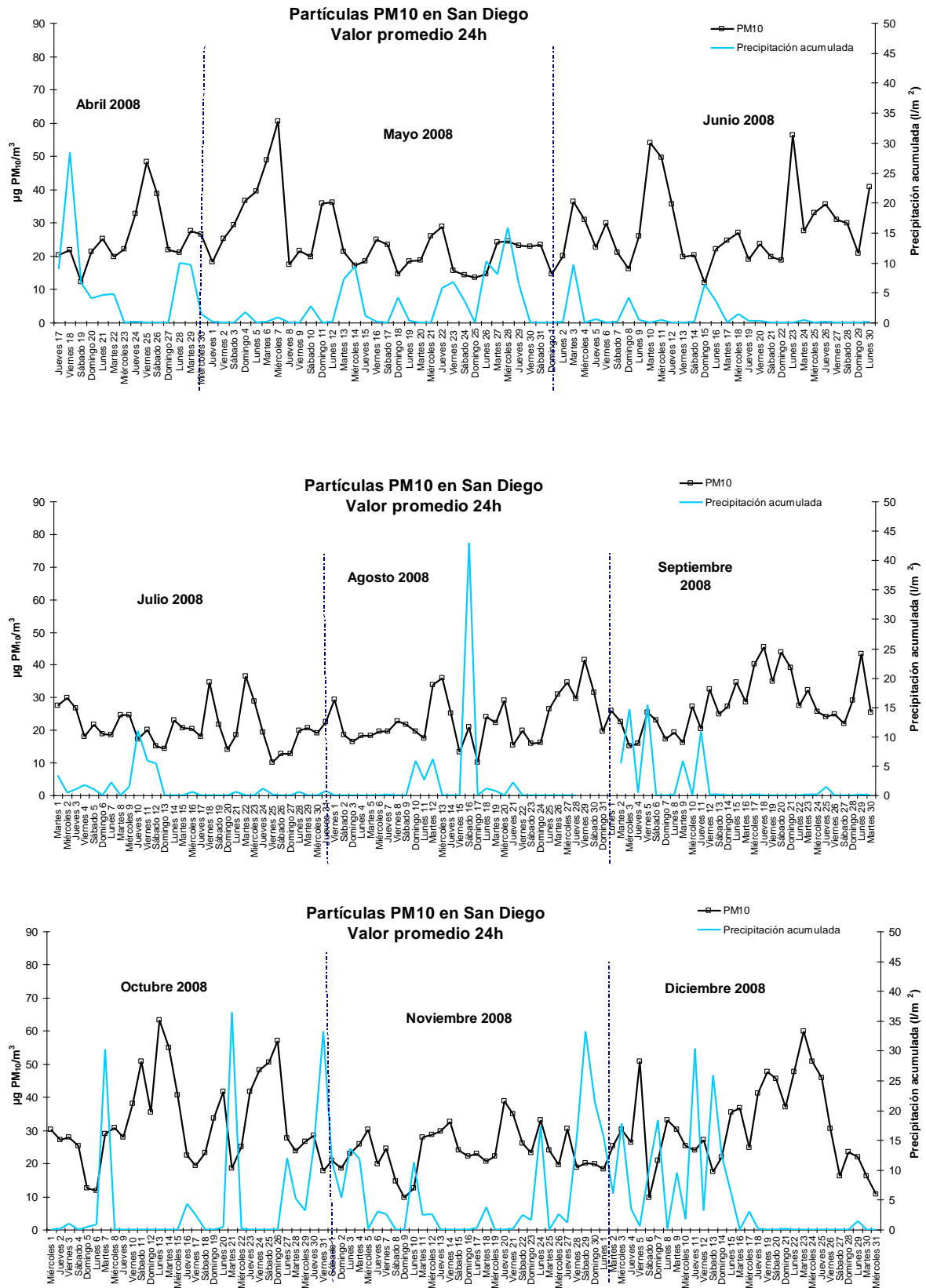
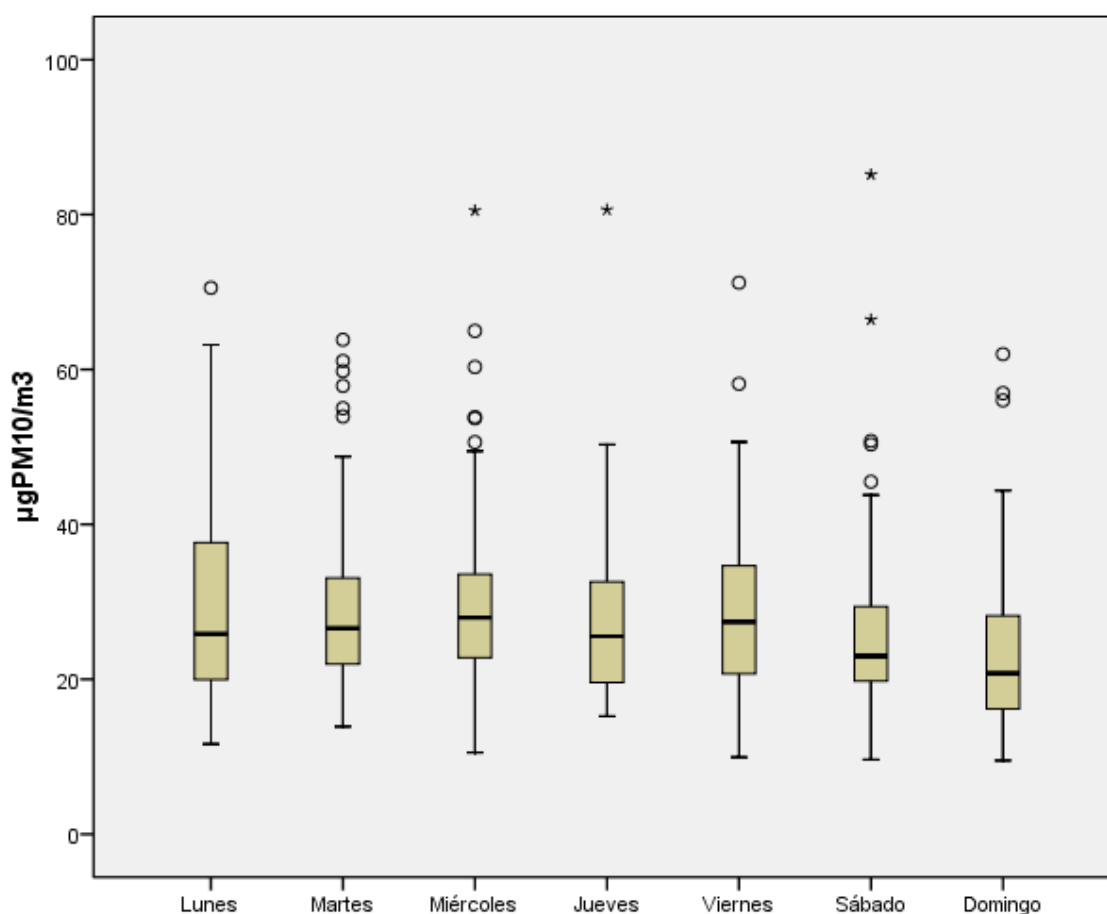


Figura 10. Influencia de la precipitación en los niveles promedios diarios de partículas PM_{10} .

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 una ligera disminución de los niveles de PM_{10} los fines de semana (ver Anexo III, pág. 44).

Durante los días laborales más del 78% de las muestras se encuentra por encima de los $20 \mu g/m^3$ mientras que en los fines de semana solamente el 23% supera dicho valor. En el apartado dedicado al estudio de las fracciones granulométricas PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 se discutirá con más detalle.



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.

NIVELES DE PM_{10} , $PM_{2,5}$ Y PM_1 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_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 . Aunque este método de medida en continuo no es método de referencia^{3,8} 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 (ver en Anexo II, pág. 42 los cálculos del factor gravimétrico). Los niveles medios mensuales y el promedio anual de las tres fracciones granulométricas se muestran en la tabla VII.

En este apartado se indican los valores obtenidos directamente del equipo automático sin aplicarles el factor de corrección calculado de 1,25 para PM_{10} .

Tabla VII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas desde enero al 16 de octubre del año 2008.

	PM_{10}	$PM_{2,5}$ ($\mu g/m^3$)	PM_1
Enero	30	22	15
Febrero	33	22	16
Marzo	22	16	10
Abril	20	15	10
Mayo	19	15	11
Junio	21	16	11
Julio	18	13	8
Agosto	19	14	10
Septiembre	21	16	11
Octubre	22	17	11
Media Anual	22	17	11

Tal y como se ha comentado al inicio de este informe, en la Directiva Europea 2008/50 se establecen unas pautas para regular los niveles de $PM_{2,5}$ con el objetivo de reducir la exposición a la población de dichas partículas y establecer un valor objetivo anual para 2010 de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ único para el territorio de la Unión Europea (UE), es decir, para los diferentes tipos de estaciones, que posteriormente se convertirá en valor límite. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y “suponiendo” el mismo factor gravimétrico de 1,25 calculado para PM_{10} , el valor promedio anual de $PM_{2,5}$ en el punto de muestreo sería de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

En la figura 12 se indica la evolución del promedio mensual para cada fracción en donde se observa variación estacional en cuanto a los niveles de las tres fracciones PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 , observando las diferencias claras entre primavera/verano y otoño/invierno.

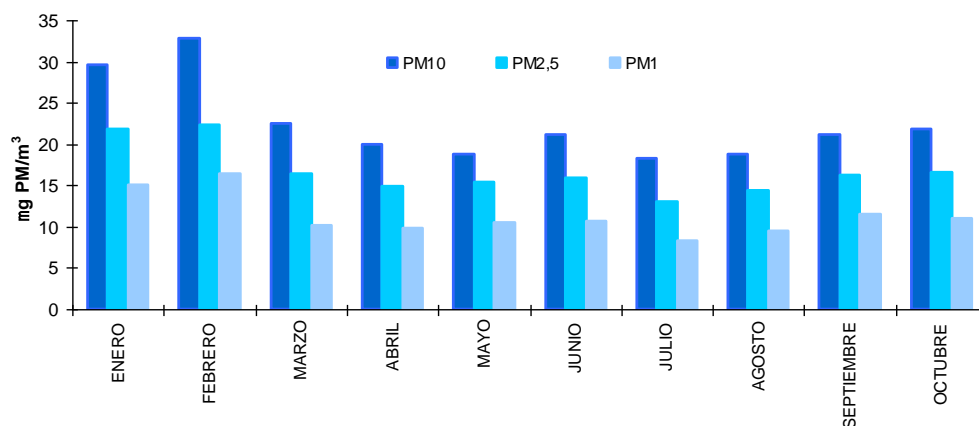


Figura 12. Evolución mensual de los niveles de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 desde enero al 16 de octubre del año 2008.

La granulometría del material particulado en el aire depende de la naturaleza de los focos emisores. Es importante destacar que como media del período de muestreo el 75% de la fracción de PM_{10} está constituida por $PM_{2,5}$ y un 67% de ésta está constituida por PM_1 ; predominando la moda fina (tabla VIII).

Tabla VIII. Valores de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas desde enero al 16 de octubre del año 2008.

	$PM_{2,5}/PM_{10}$	$PM_1/PM_{2,5}$	PM_1/PM_{10}
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	0,81	0,69	0,56
Junio	0,76	0,67	0,51
Julio	0,71	0,63	0,45
Agosto	0,77	0,66	0,51
Septiembre	0,77	0,70	0,54
Octubre	0,76	0,66	0,50
Anual	0,75	0,67	0,50

La mayor parte de PM_{10} está constituido por partículas finas, con diámetros inferiores a $2,5\ \mu m$ y en los meses de invierno, la mayor parte de las $PM_{2,5}$ son partículas inferiores a $1\ \mu m$. En la figura 13 (A) se puede observar la evolución de las ratios entre las diferentes fracciones granulométricas a lo largo de los meses de muestreo. Todas ellas presentan una variación entre un 5-7% a lo largo de todo el período. Las variaciones para los diferentes rangos son mucho mayores: 35% para $PM_{10-2,5}$; 23% para PM_{10-1} y 13% para $PM_{2,5-1}$.

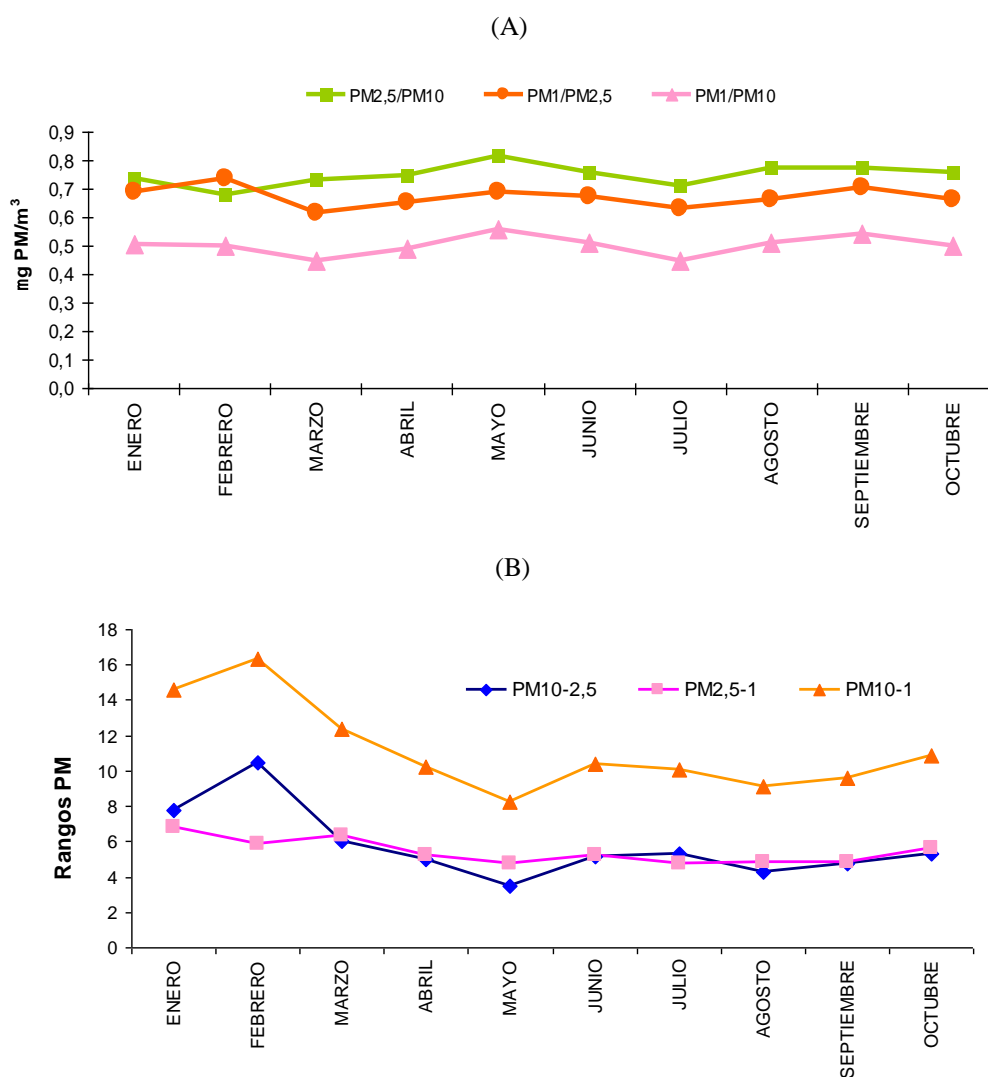
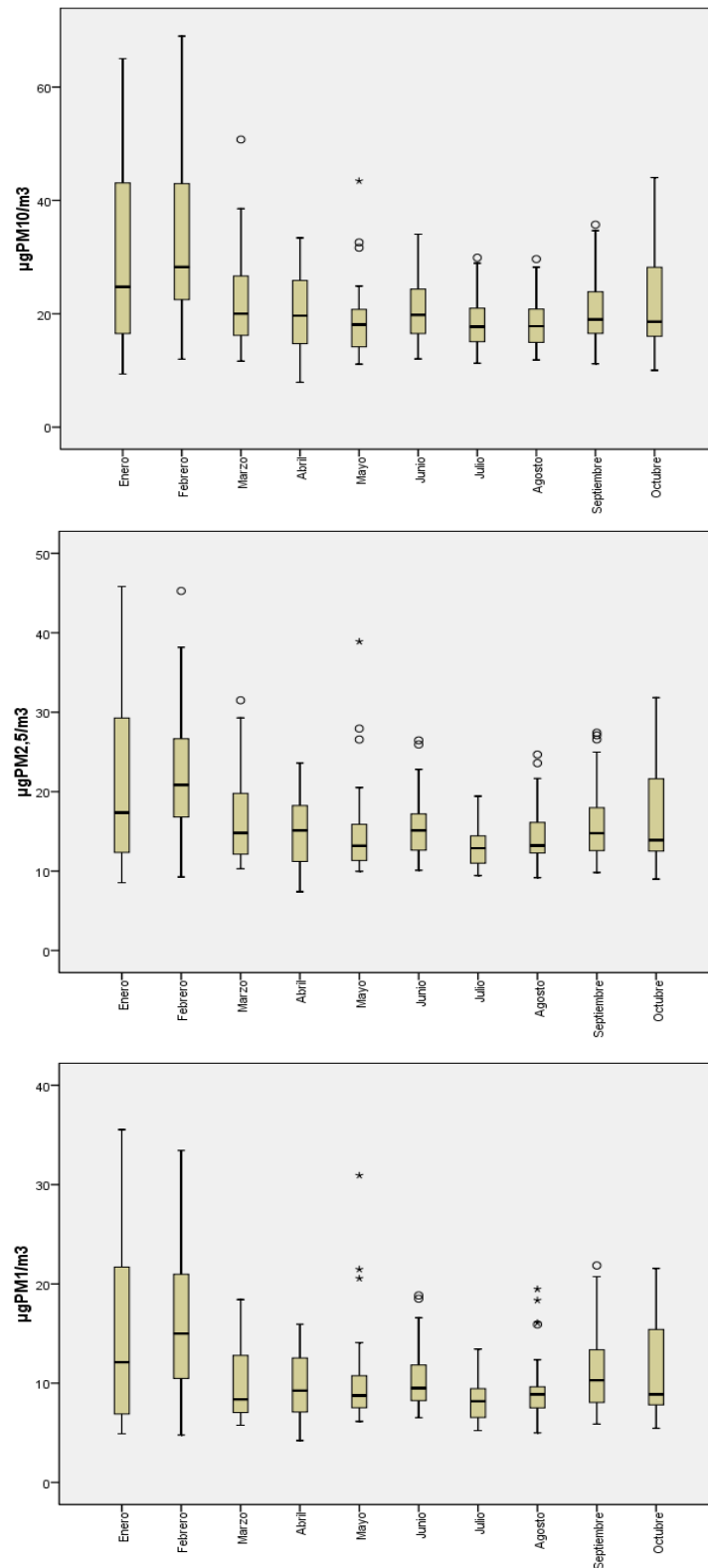


Figura 13. Evolución mensual de las ratios de las tres fracciones granulométricas y de los rangos de materia particulada desde enero al 16 de octubre del año 2008.

Para una visualización rápida de los resultados se representan las gráficas de Box-Whisker (figura 14) en donde se observa la dispersión de los niveles durante el período de muestreo, siendo mayor en los meses de enero, febrero, marzo, abril, septiembre y octubre para todas las fracciones.



° 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 desde enero al 16 de octubre del año 2008.

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

Como se observa en las gráficas un aumento en los niveles de PM_{10} va siempre va acompañado de 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, lo que 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 y velocidad de viento, temperatura.

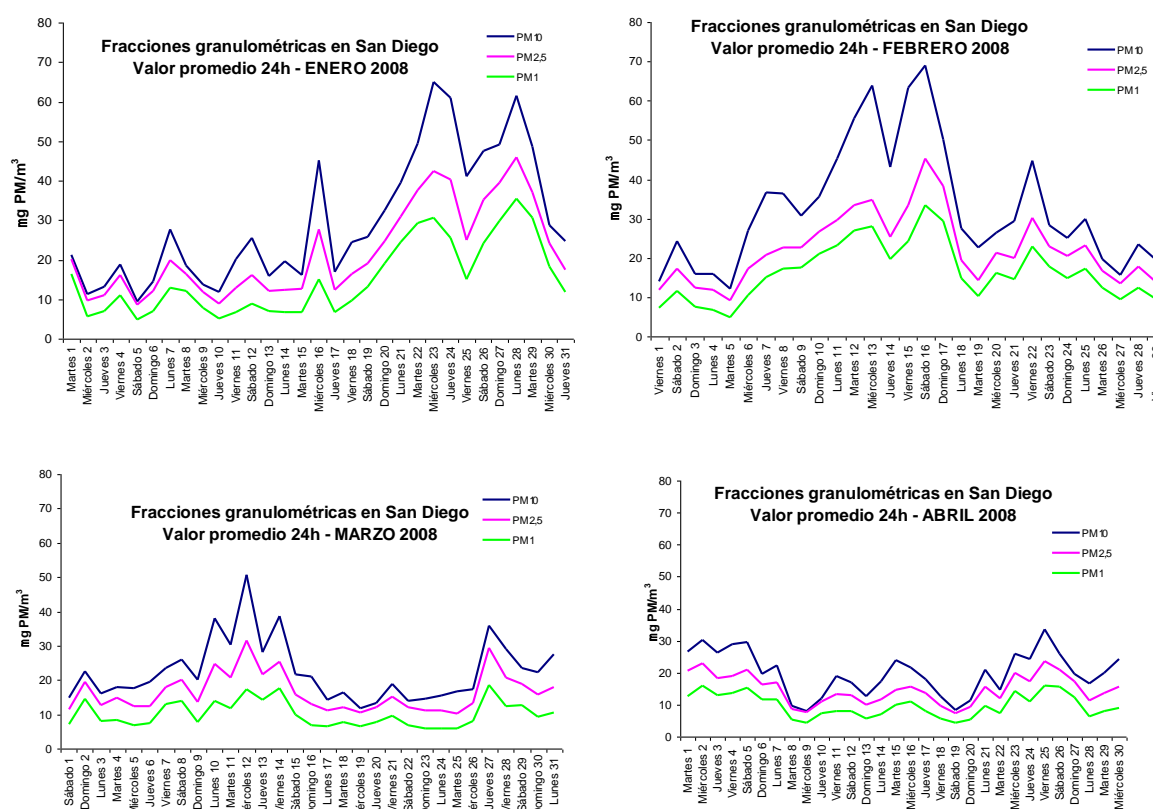


Figura 15. Evolución de la media diaria de material particulado (PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1) desde enero al 16 de octubre del año 2008. (continúa)

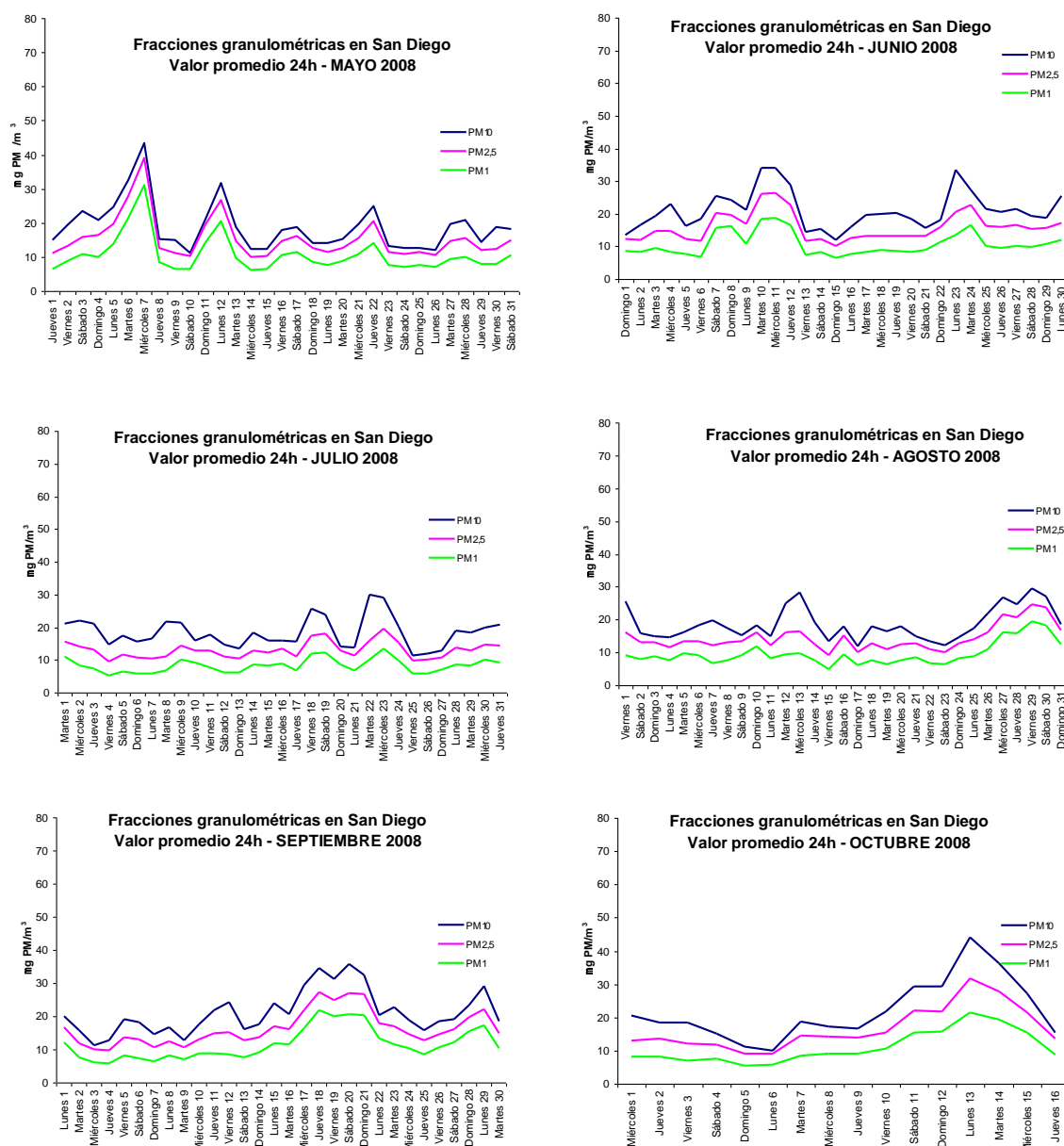
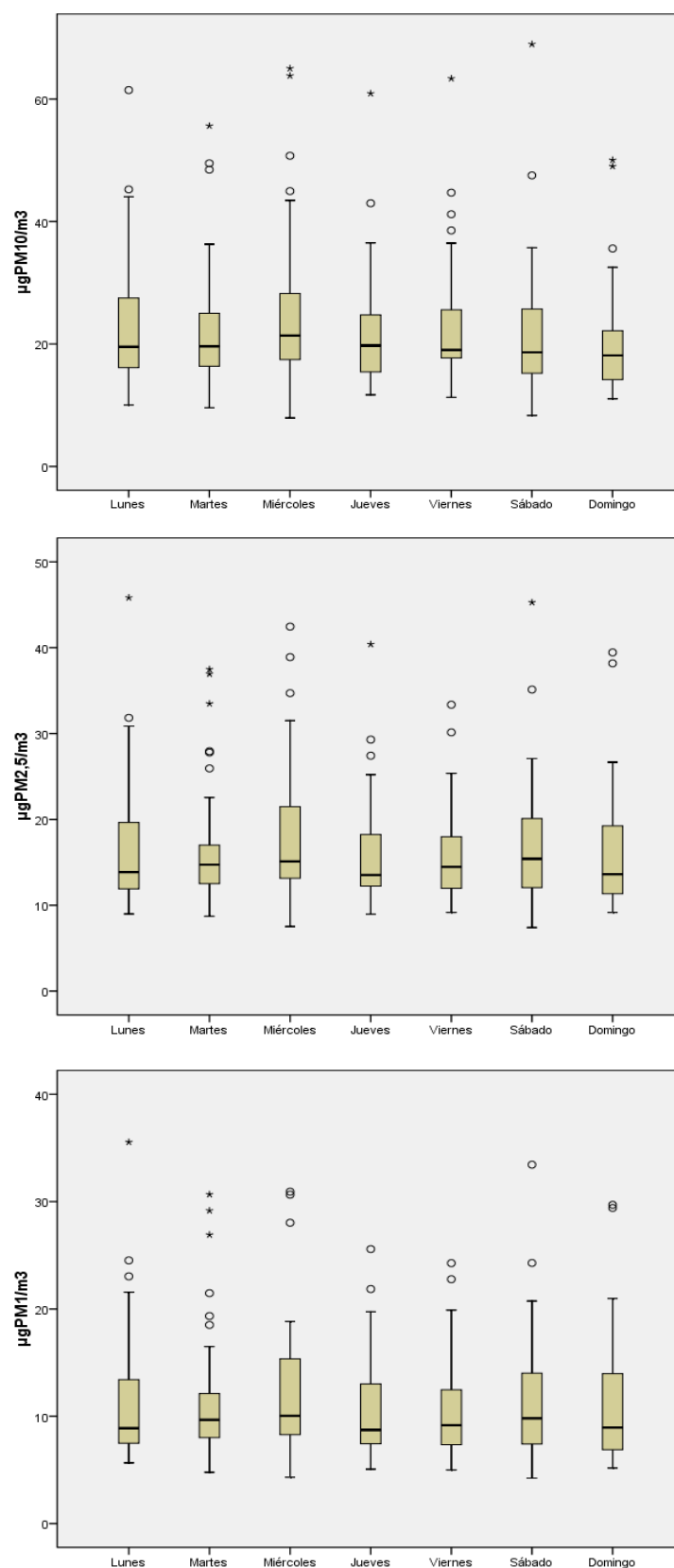


Figura 15. Evolución de la media diaria de material particulado (PM₁₀, PM_{2,5} y PM₁) desde enero al 16 de octubre del año 2008.

Las representaciones de Box-Whisker (figura 16) indican la variabilidad existente para las tres fracciones según el día de la semana. La ligera disminución observada para los niveles de PM₁₀ durante los fines de semana no se observa para las otras dos fracciones granulométricas más finas PM_{2,5} y PM₁.



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

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

Figura 16. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios en función del día de muestreo de las fracciones granulométricas desde enero al 16 de octubre del año 2008.

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.

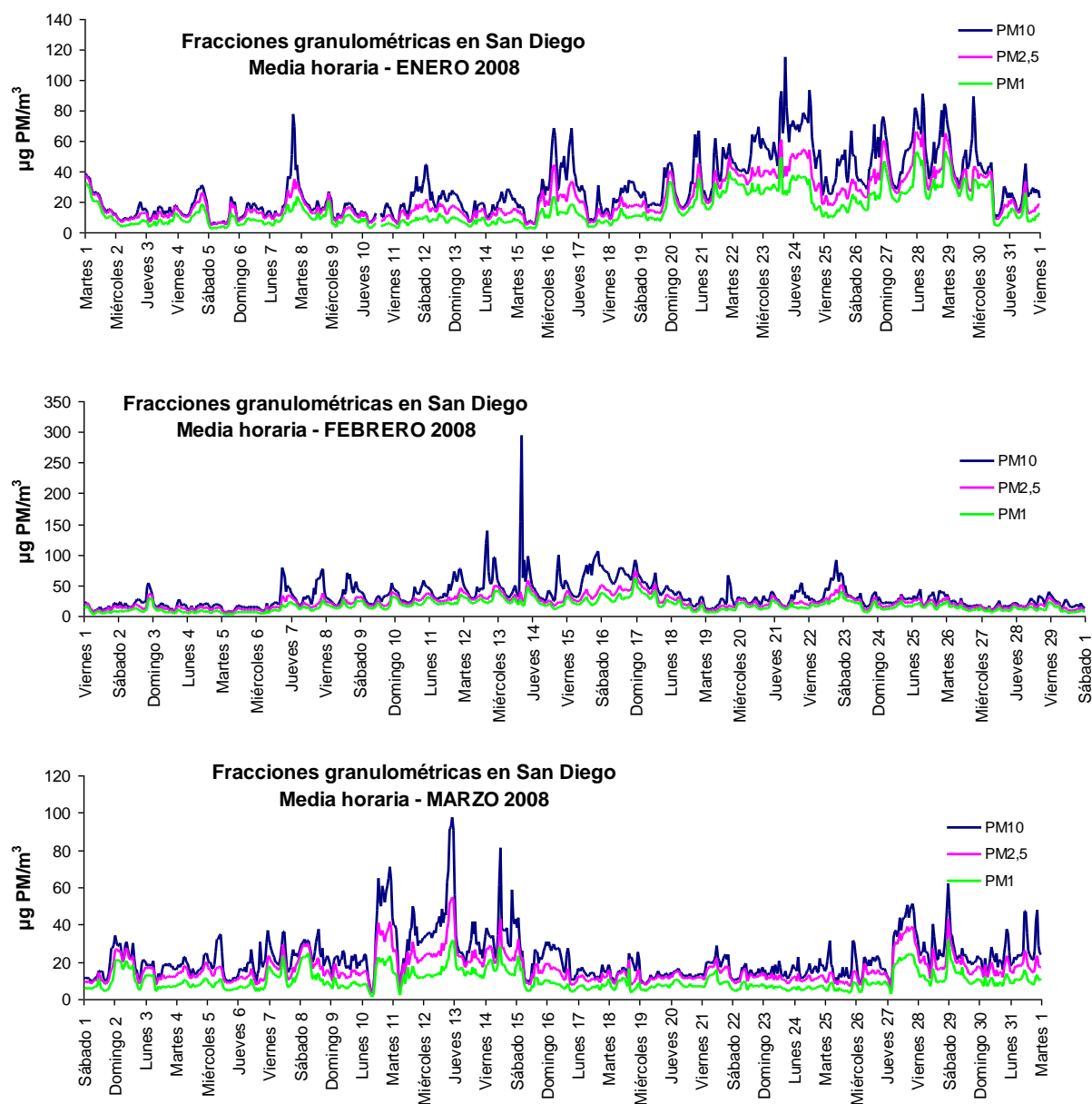


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $PM_{2,5}$ y PM_1 desde enero al 16 de octubre del año 2008. (continúa)

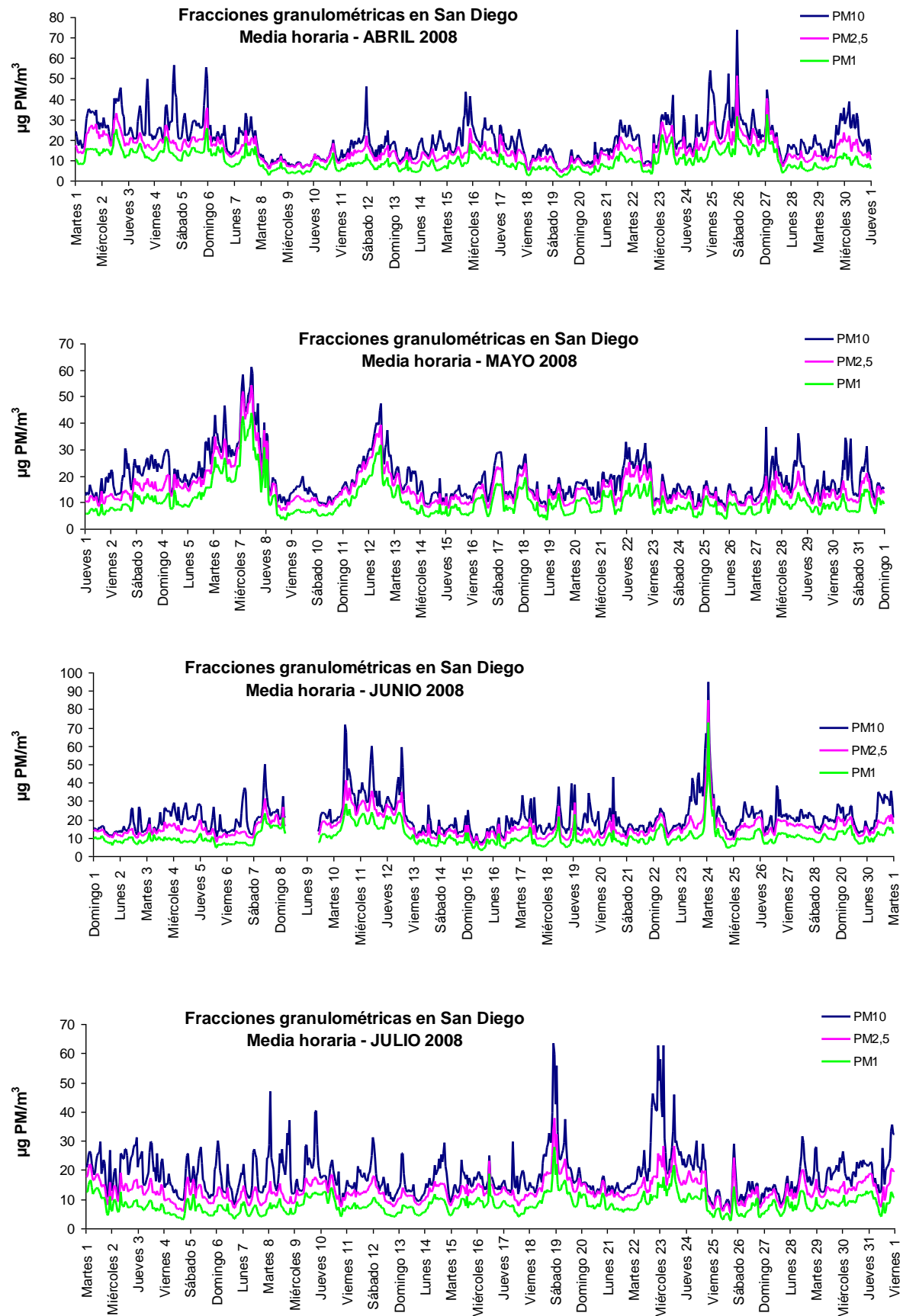


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $PM_{2.5}$ y PM_1 desde enero al 16 de octubre del año 2008. (continúa).

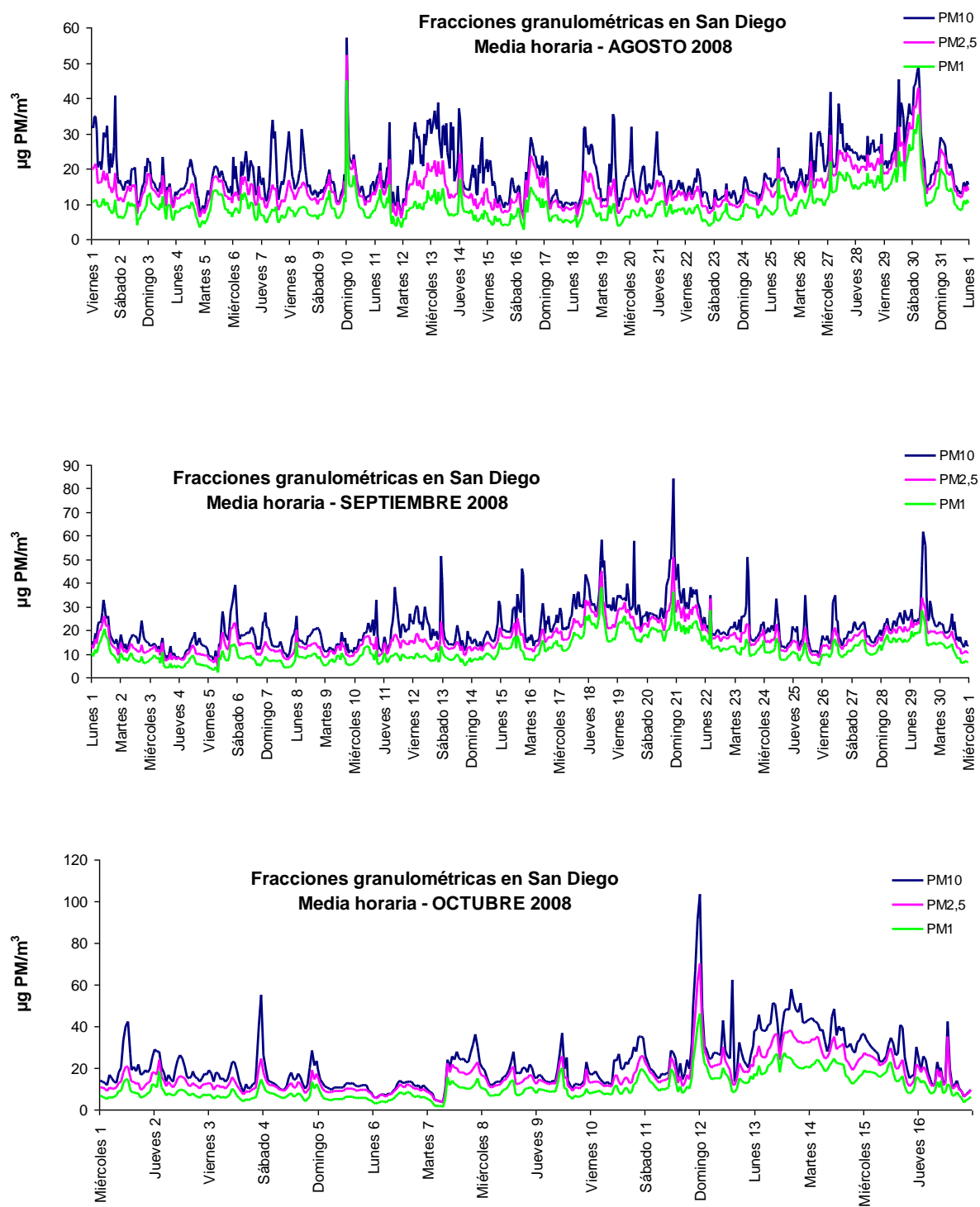
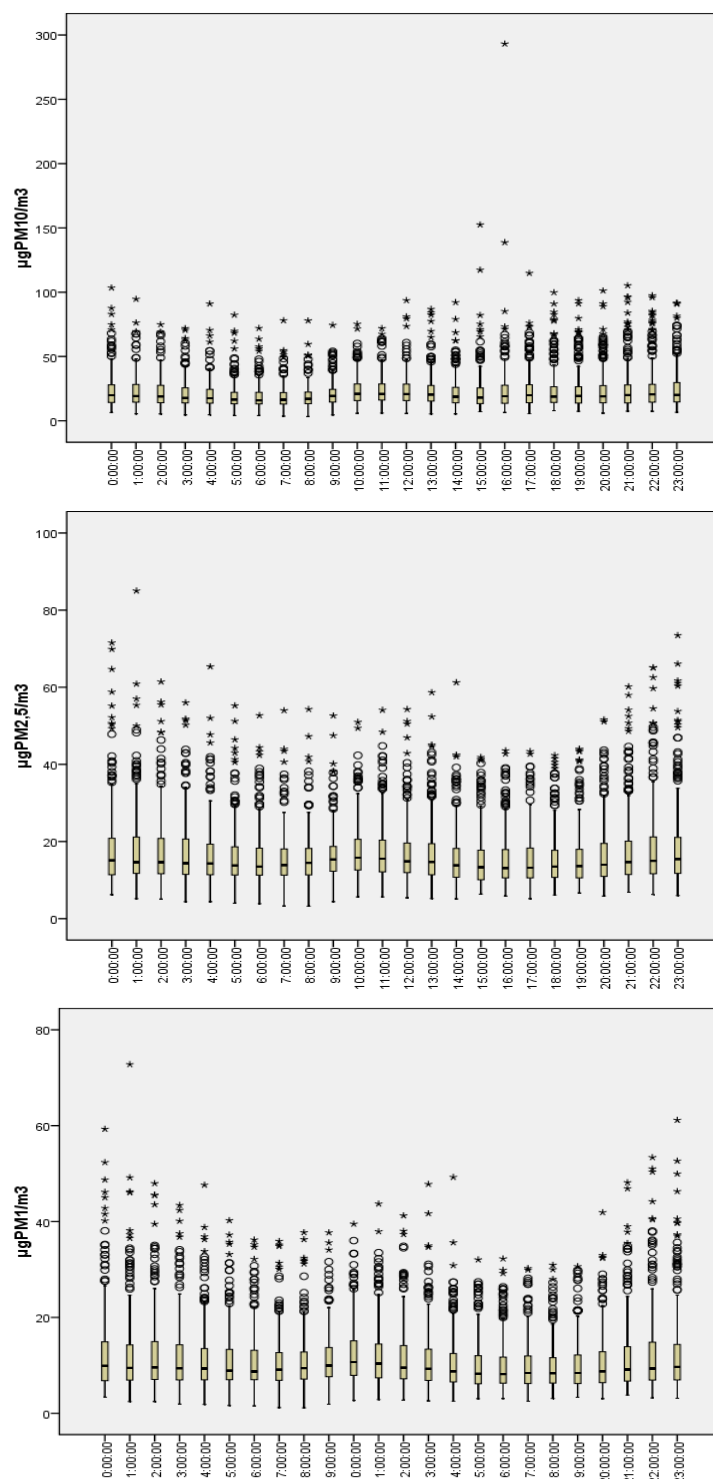


Figura 17. Series temporales de los niveles medios horarios de PM_{10} , $\text{PM}_{2.5}$ y PM_1 desde enero al 16 de octubre del año 2008.

Para comprobar si existe algún patrón en cuanto a la variación de la granulometría en función de las horas del día se han representado las gráficas de Box-Whisker en las que se presenta la evolución de la media horaria a lo largo de todos los días (figura 18).



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

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

Figura 18. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios horarios de las tres fracciones granulométricas desde enero al 16 de octubre del año 2008.

En la figura 19 se observa cómo las tres fracciones sufren variaciones a lo largo del día con valores máximos entre las 8h-13h de la mañana y que prácticamente se mantienen hasta las 23h de la noche en que empiezan a disminuir. También se observa cómo la fracción $PM_{10-2,5}$ y por lo tanto la fracción PM_{10-1} son las que más variación sufren mientras que la moda fina $PM_{2,5-1}$ prácticamente permanece sin muchos cambios durante las horas del día. Por ello las ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ y PM_1/PM_{10} son mayores durante la noche y la ratio $PM_1/PM_{2,5}$ se mantiene prácticamente constante a lo largo del día.

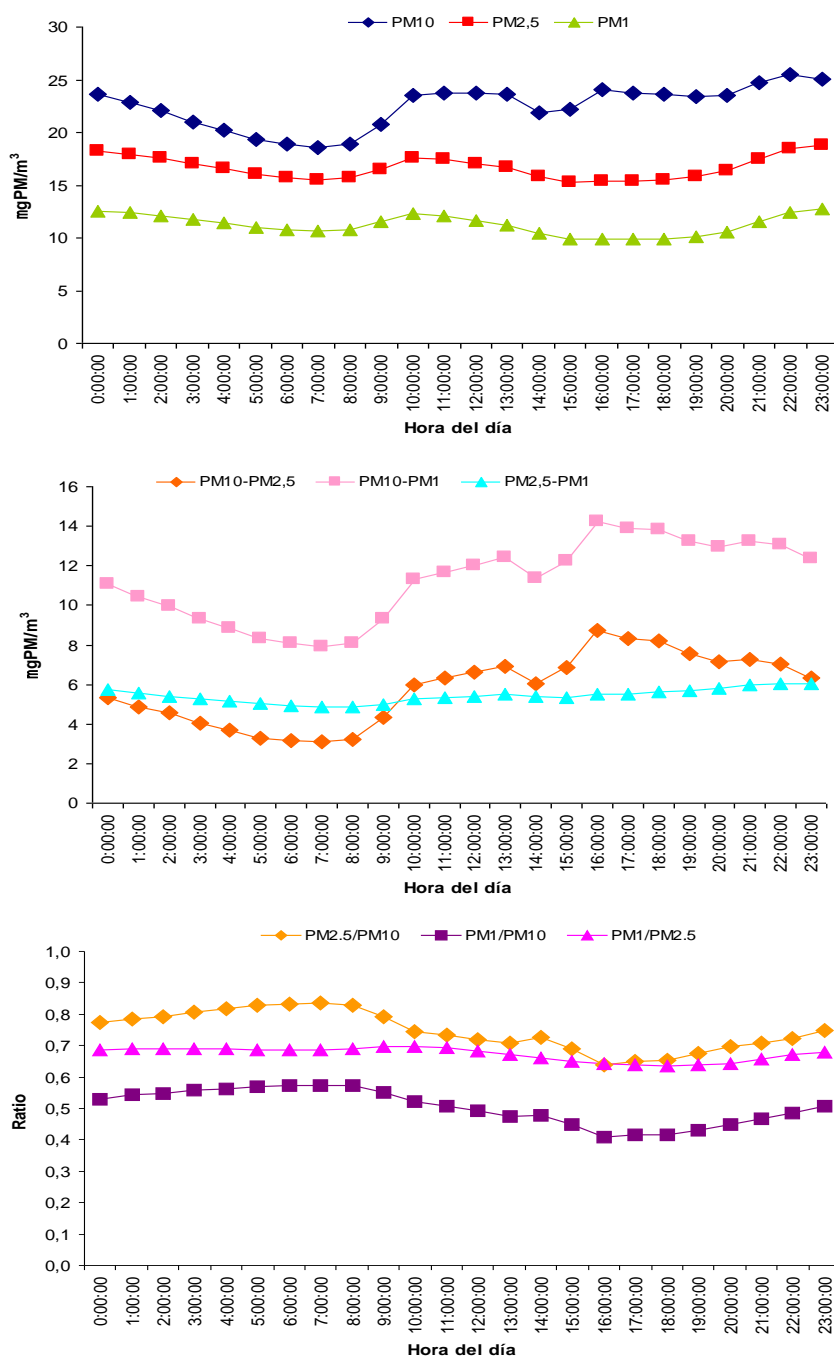


Figura 19. Evolución de los niveles medios horarios a lo largo del día de las tres fracciones granulométricas y sus ratios desde enero al 16 de octubre del año 2008.

CONCLUSIONES

- Se han determinado los niveles diarios de PM_{10} en la zona de Os Castros durante el año 2008, con excepción del período comprendido entre el 13 de marzo y el 16 de abril. Se han recogido un total de 330 muestras que representan una cobertura anual del 90,4%.
- El valor promedio anual de PM_{10} ha sido de $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 27 días. Valor muy cercano al máximo de 35 superaciones por año fijado en la Directiva. Hay que tener en cuenta que no se ha muestreado entre el 13 de marzo y el 16 de abril.
- Entre los meses de enero y febrero se producen 16 superaciones del valor límite diario que representan el 59% del total de superaciones ocurridas durante 2008; mientras que en los meses de octubre y diciembre se producen 7 que representan el 26% del total.
- Los valores máximos diarios se producen en los meses de invierno con valores de $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$, en enero y febrero respectivamente, disminuyendo hasta los $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para el mes de julio. En cuanto a los valores mínimos oscilan entre los $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de enero, julio, agosto, noviembre y diciembre y los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de marzo.
- Parece que los valores más altos de partículas se producen en períodos continuados de estabilidad atmosférica y de escasa precipitación, con claridad en los meses de enero, febrero, octubre y diciembre.
- Los niveles medios mensuales de PM_{10} oscilan entre los $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ del mes de julio y los $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de los meses de enero y febrero. La tendencia estacional de la concentración de PM_{10} en el punto de muestreo refleja los valores más altos en el invierno (septiembre a febrero) y menores en primavera y verano (de marzo a agosto), con diferente variabilidad para cada mes.
- El 8,2 % del total de muestras supera el valor límite diario de PM_{10} de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un 15,2% del total de muestras superan los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, un 32,4% superan los $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 73,6% superan los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

- En relación con los valores de umbral superior e inferior de evaluación, indicar que un 20,6% de las muestras (68 muestras) superan el umbral de evaluación superior de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y un 48% (158 muestras) superan el umbral de evaluación inferior de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En ambos casos se superan las 35 ocasiones como máximo permitidas durante un año civil de superación de dichos umbrales.
- Existe variabilidad semanal en los niveles de PM_{10} observándose una ligera disminución los fines de semana. Durante los días laborables más del 78% de las muestras se encuentra por encima de los $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mientras que en los fines de semana solamente el 23% supera dicho valor.
- Se ha calculado el factor gravimétrico de PM_{10} para el equipo automático GRIMM y resultó ser de 1,25.
- En lo que se refiere a las fracciones granulométricas, aproximadamente el 75% de la fracción de PM_{10} está constituida por $\text{PM}_{2,5}$ y un 50% por la fracción PM_{1} ; el 67% del $\text{PM}_{2,5}$ ésta formado por PM_1 .
- La ligera disminución observada para los niveles de PM_{10} durante los fines de semana no se observa para las otras dos fracciones granulométricas más finas $\text{PM}_{2,5}$ y PM_1 .
- 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.
- Las tres fracciones sufren variaciones a lo largo del día con valores máximos entre las 8h-13h de la mañana y que prácticamente se mantienen hasta las 23h de la noche en que empiezan a disminuir. También se observa cómo la fracción $\text{PM}_{10-2,5}$ y por lo tanto la fracción PM_{10-1} son las que más variación sufren mientras que la moda fina $\text{PM}_{2,5-1}$ prácticamente permanece sin muchos cambios durante las horas del día.
- Un aumento en los niveles de PM_{10} va siempre va acompañado de aumento en los niveles de las fracciones finas $\text{PM}_{2,5}$ y PM_1 , sin embargo el aumento no siempre es proporcional para todas las fracciones, lo que sugiere que al aumento de los niveles de partículas de las tres fracciones granulométricas contribuyen fuentes de diferente naturaleza.

- 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.
- Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y “suponiendo” el mismo factor gravimétrico de 1,25 calculado para PM_{10} , el valor promedio anual de $PM_{2,5}$ en el punto de muestreo sería de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Es muy importante y de cara a la futura legislación disponer de datos de $PM_{2,5}$ y realizar campañas de intercomparación con equipos automáticos y referencia para evaluar el grado de cumplimiento de dicha legislación.

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 20 y 21 se indican los registros tanto de humedad relativa como de temperatura de la sala de balanzas.

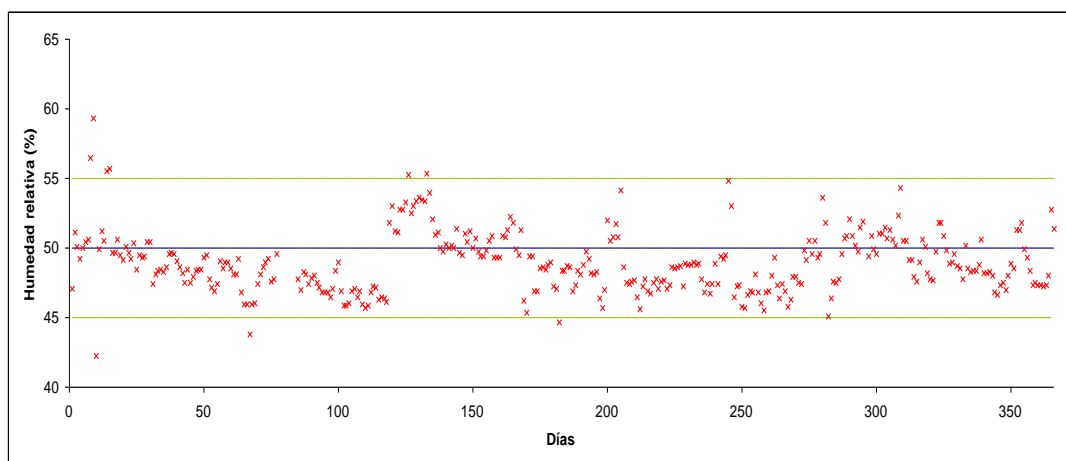


Figura 20. Carta de control del % de humedad relativa en la sala de balanzas.

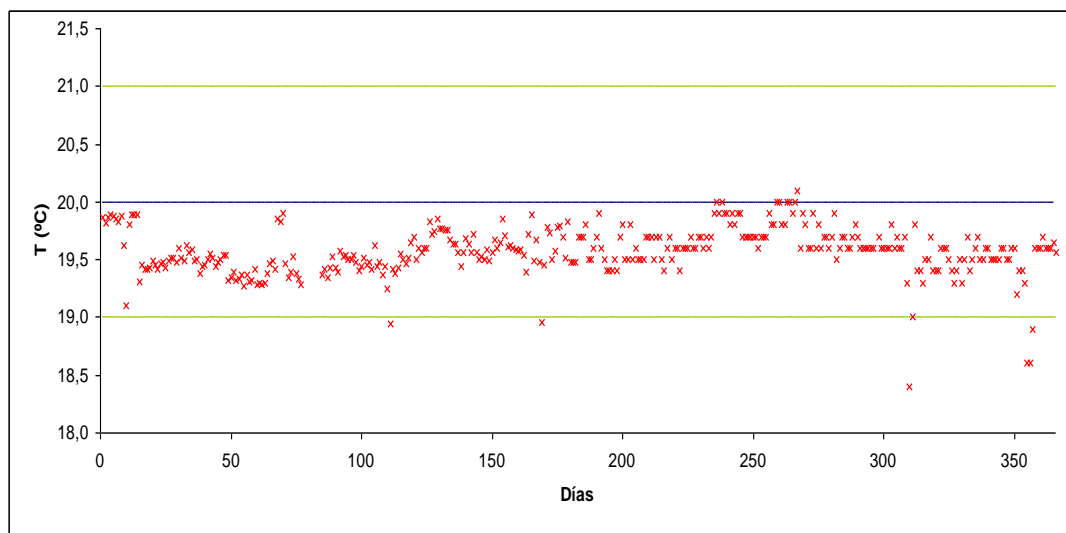


Figura 21. Carta de control de la temperatura (°C) en la sala de balanzas.

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

La Directiva 1999/30/CE¹⁰ establece las metodologías y técnicas para medir los niveles de partículas, bien utilizando la instrumentación del método de referencia o utilizando equipos que puedan demostrar su equivalencia a un instrumento de referencia. En este estudio se siguieron las recomendaciones del Grupo de Trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado expuestas en la “Guía para los Estados Miembros sobre medidas de PM₁₀ e intercomparación con el método de referencia” para calcular el factor de corrección que hay que aplicar a las medidas del monitor. Esta información¹¹ está disponible y se puede descargar de la siguiente página web: <http://europa.eu.int/comm/environment/air/pdf/finalwgreportes.pdf>.

Para ello y tal y como se comentó anteriormente se muestreó de manera simultánea con el Digitel (equipo que ha demostrado la equivalencia) y el GRIMM (método automático). En este estudio, se han utilizado 219 medidas válidas (figura 22) y únicamente valores cuya media fue >10 µg/m³ de PM₁₀ (la normativa establece un mínimo de 30 medidas continuadas):

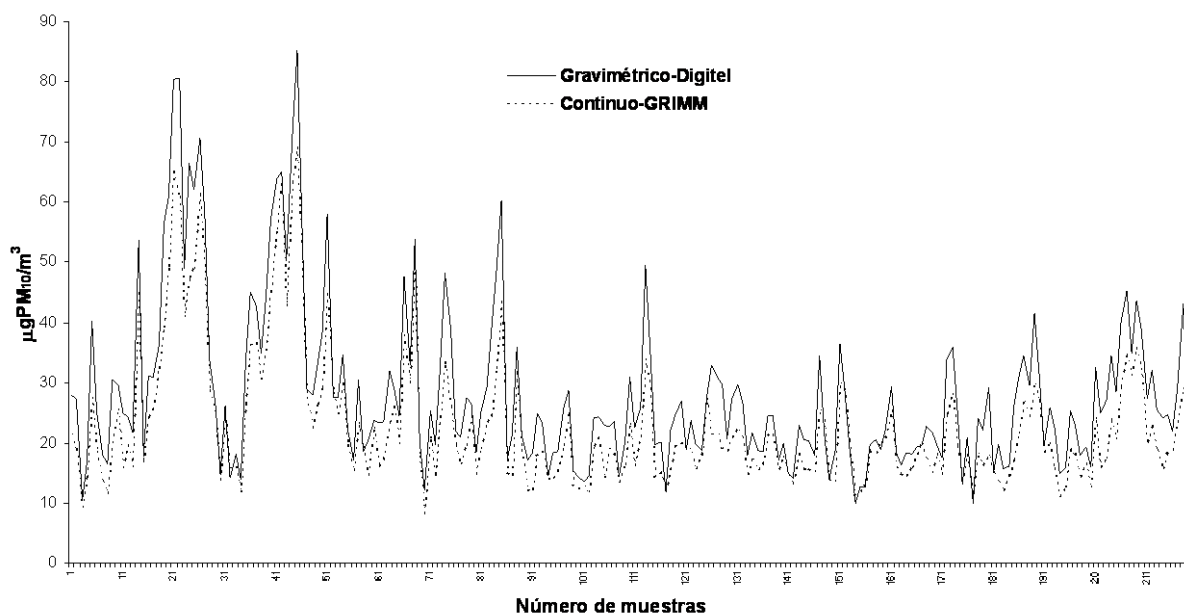


Figura 22. Comparación de las medias diarias obtenidas por el método automático (Grimm) y por el método gravimétrico (Digitel) .

¹⁰ Directiva Europea de calidad del aire 199/30/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.

¹¹ Grupo de trabajo de la Comisión Europea sobre material particulado atmosférico. Guía para los Estados Miembros sobre medidas de PM₁₀ e intercomparación con el método de referencia.

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

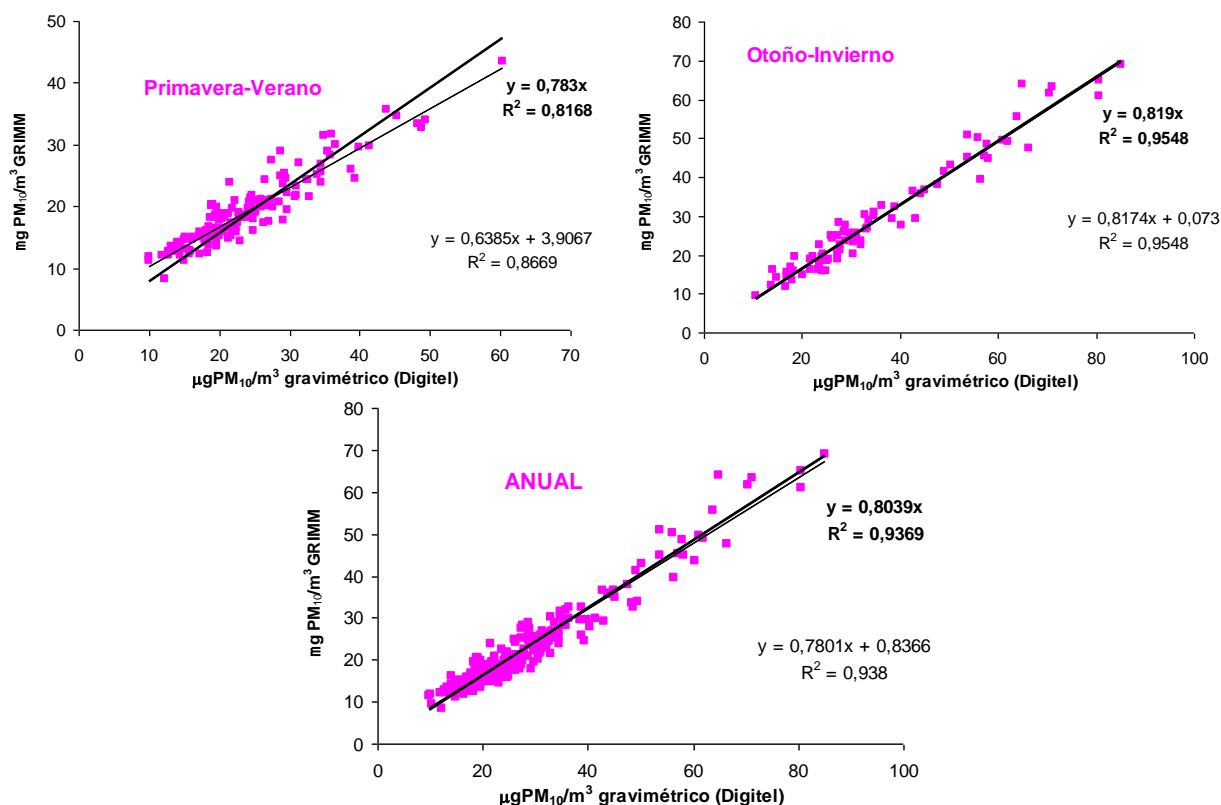


Figura 23. Correlación entre el equipo automático (espectrómetro láser) y el equipo gravimétrico (Digitel) en el punto de muestreo.

Se considera de aplicación un único factor cuando se cumpla que la diferencia entre las medias diarias, una vez corregidas, con cada uno de los dos factores estacionales obtenidos, sea $<10\%$, en nuestro caso (tabla IX) el factor ha sido de 1,28 para la primavera/verano y de 1,22 para el otoño/invierno, por lo tanto se utilizará el factor promedio que resulta ser 1,25.

Tabla IX. Factor gravimétrico.

Mes	Factor
Primavera/verano (desde el 21 de marzo a 20 de septiembre)	1,28
Otoño/invierno (desde el 21 de septiembre hasta el 20 de marzo)	1,22
MEDIA ANUAL	1,25

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

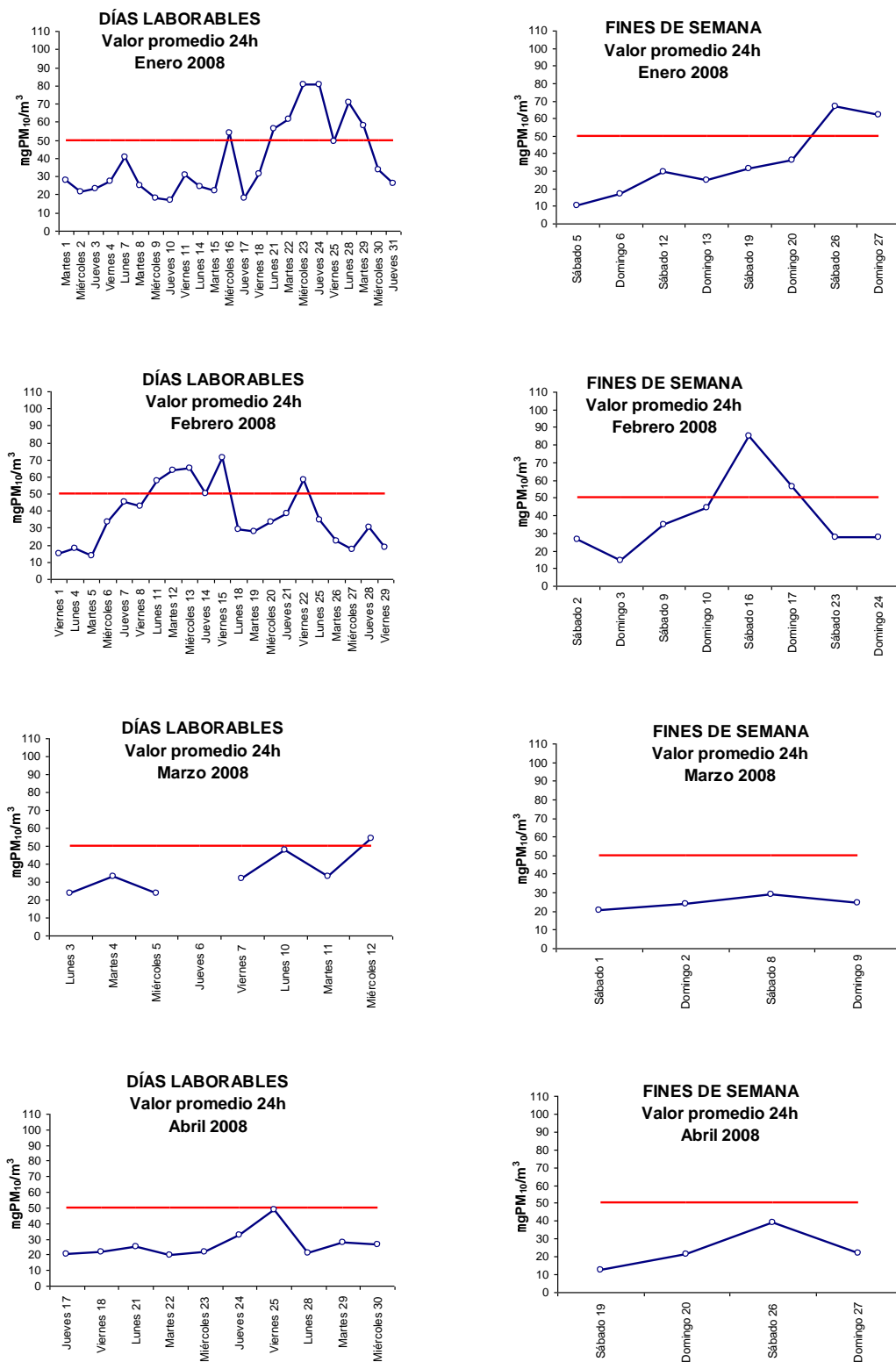


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2008. (continúa)

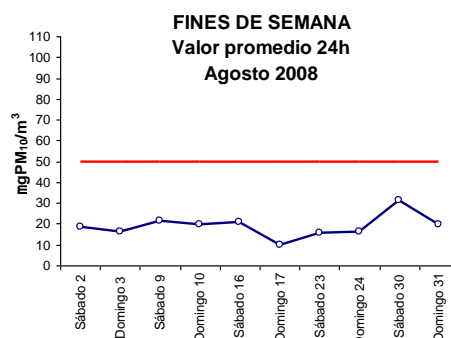
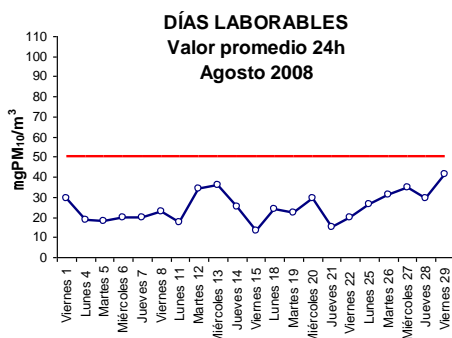
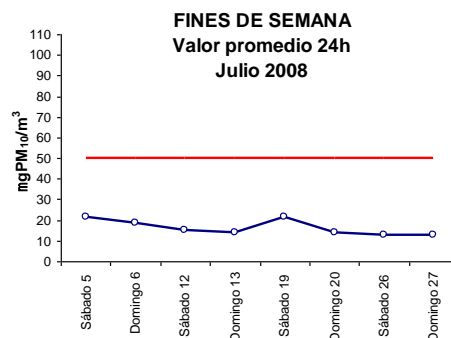
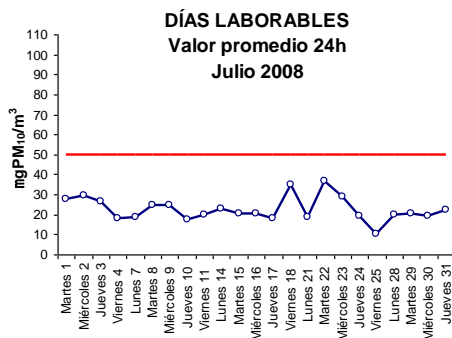
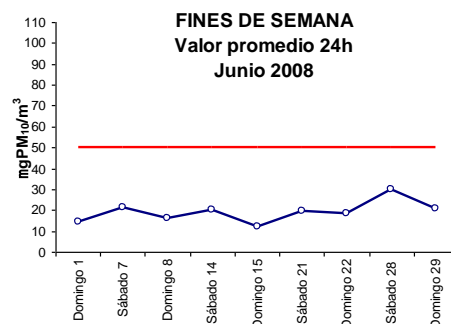
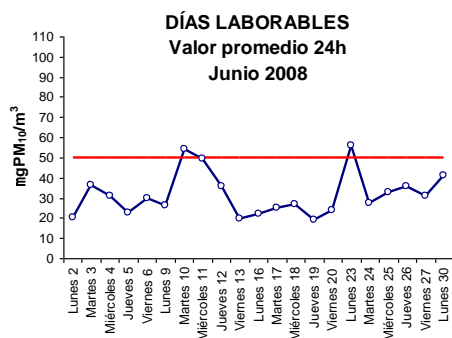
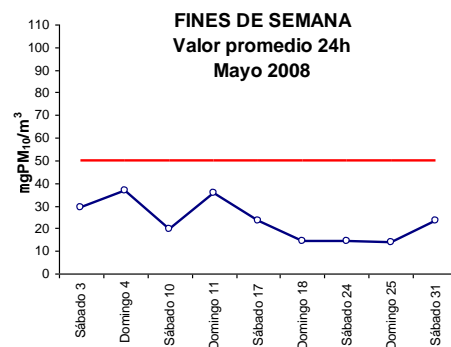
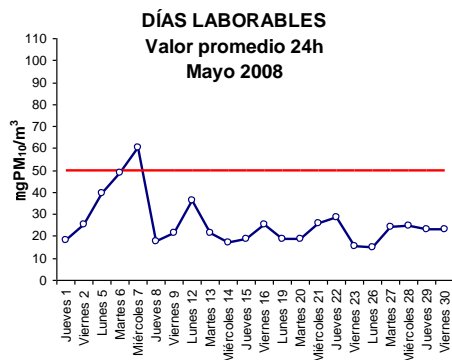


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2008. (continúa)

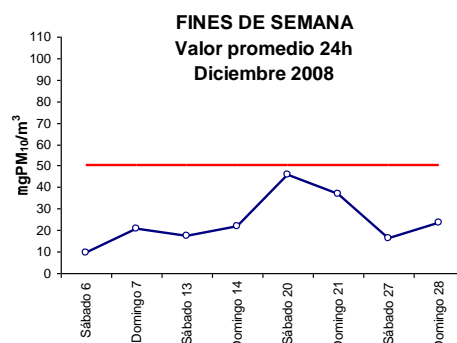
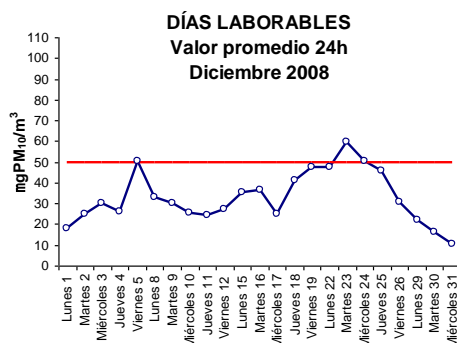
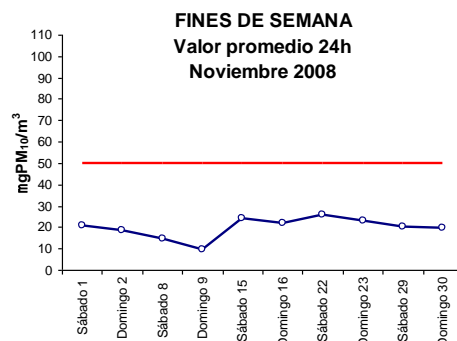
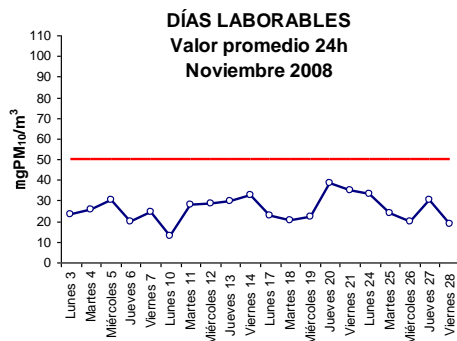
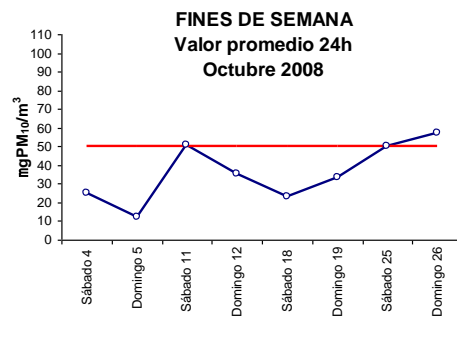
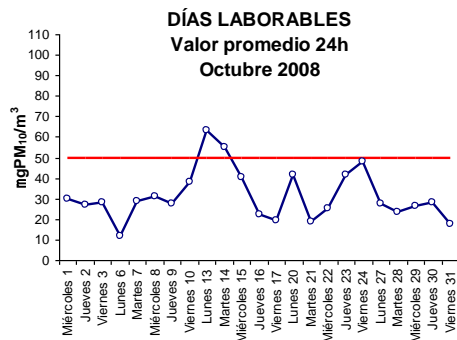
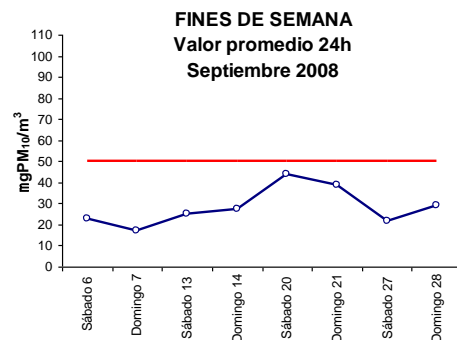
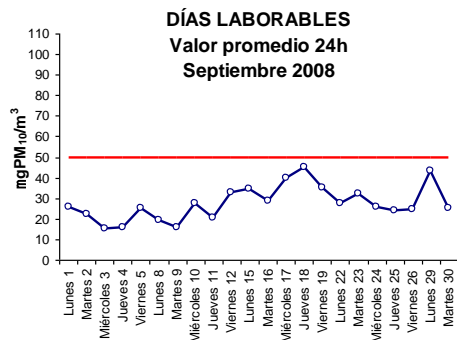


Figura 24. Variación de los niveles de partículas PM₁₀ en días laborables y fines de semana para cada mes de muestreo del año 2008.

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)^{12,13}, distinguiendo ocho sectores (figura 25).

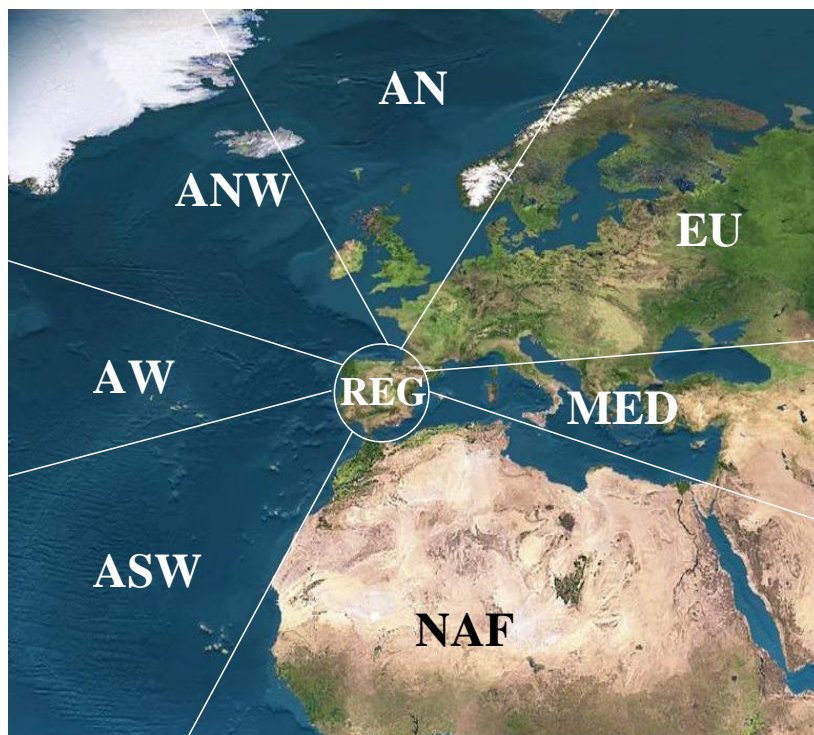


Figura 25. Clasificación del origen de las masas de aire : AN (Atlántico Norte), ANW (Atlántico Noroeste), AW (Atlántico Oeste), ASW (Atlántico Suroeste), NAF (Norte de África), ME (Mediterráneo), EU (Europa Central), REG (Recirculación regional).

En la figura 26 (A) se indica el número de días con influencia de masas de aire de diferente origen, observando que aproximadamente el 76,5% de los días existió un claro predominio del transporte de masas de aire procedentes de diversos sectores del Atlántico.

En la figura 26 (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.

¹² 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.

¹³ 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.

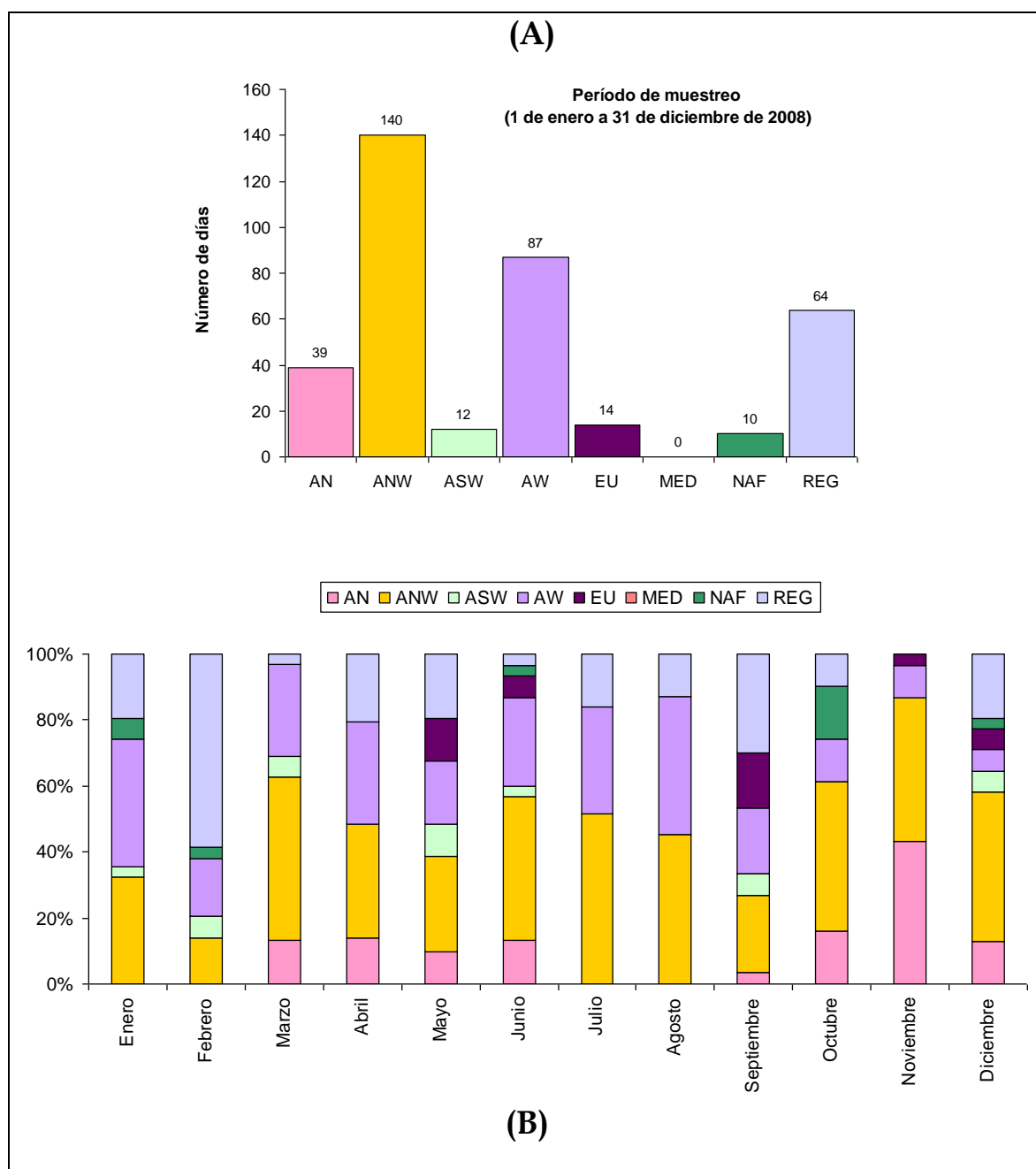


Figura 26. Origen de las masas de aire en A Coruña determinado a partir del cálculo de retrotrayectorias de las masas de aire: (A) Número de días (B) Frecuencia a lo largo del año.

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 CON LOS RESULTADOS DEL AÑO 2007

1. NIVELES DE PM₁₀ SEGÚN MEDIDA GRAVIMÉTRICA

Tabla X. Resumen global de las muestras recogidas durante los años 2007 y 2008.

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

* 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 XI. Valores medios, rangos de concentración y número de superaciones por mes durante los años 2007 y 2008.

	Máximo (µg/m³)		Mínimo (µg/m³)		Media (µg/m³)		Nº superaciones	
	2007*	2008**	2007	2008	2007	2008	2007	2008
Enero	-	81	-	10	-	38	-	9
Febrero	-	85	-	14	-	38	-	7
Marzo	71	54	14	20	35	31	2	1
Abril	71	48	14	12	44	26	13	0
Mayo	43	60	14	14	27	25	0	1
Junio	61	56	13	12	28	28	2	2
Julio	41	37	12	10	24	21	0	0
Agosto	52	41	12	10	29	23	1	0
Septiembre	71	45	15	15	30	28	3	0
Octubre	57	63	24	12	40	33	2	0
Noviembre	44	39	17	10	30	24	0	4
Diciembre	60	60	16	10	38	31	5	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.

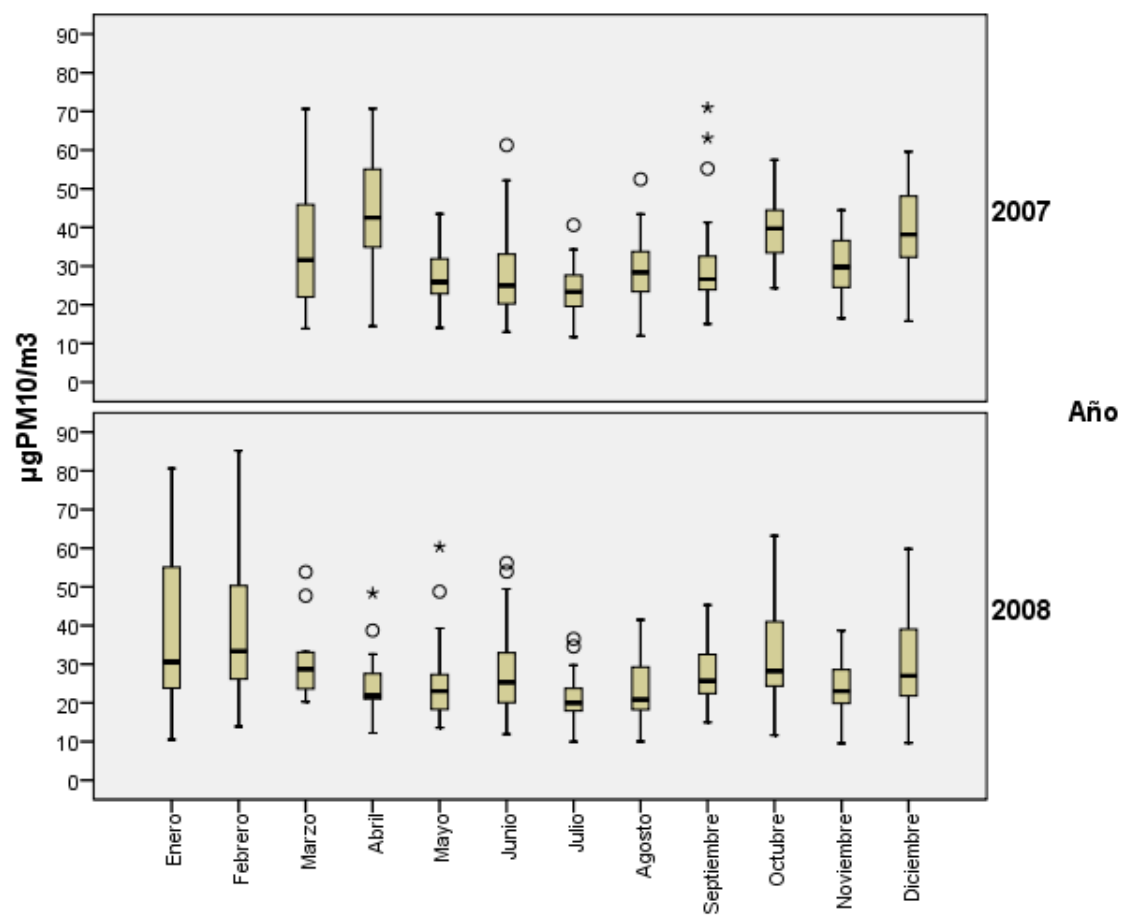


Figura 27. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

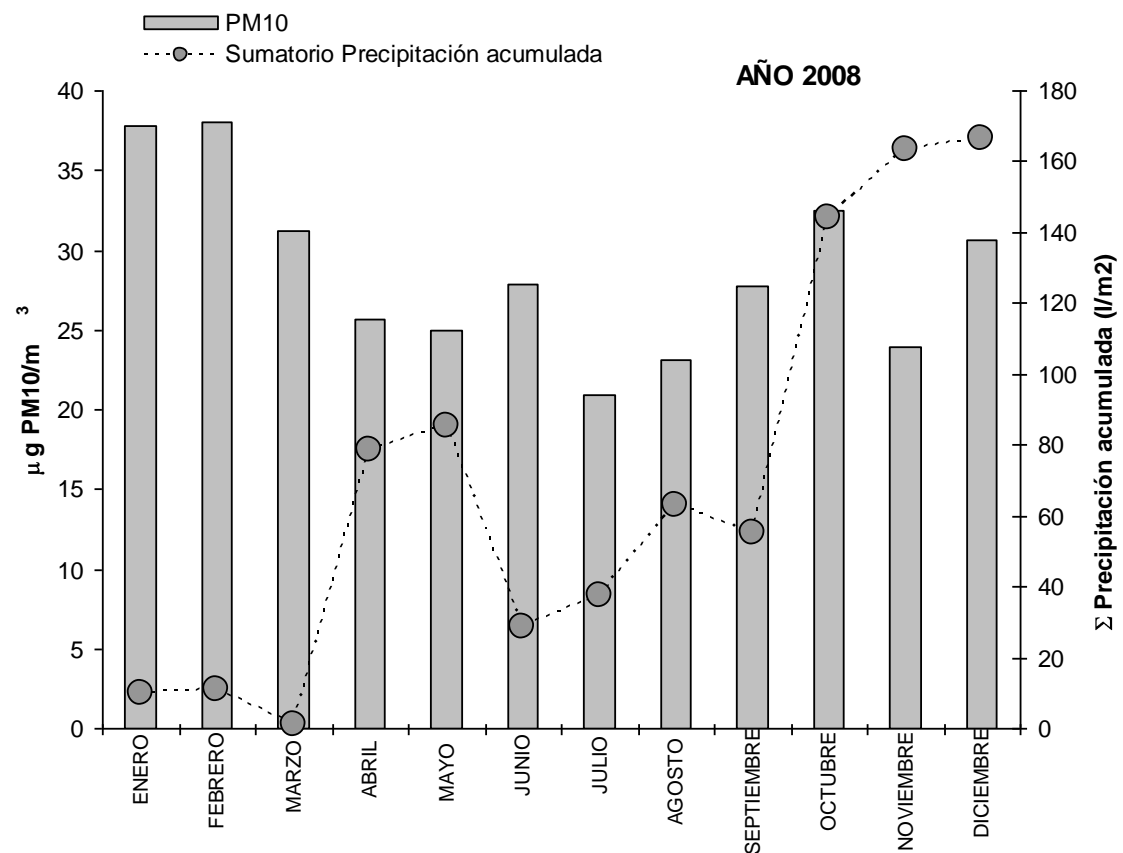
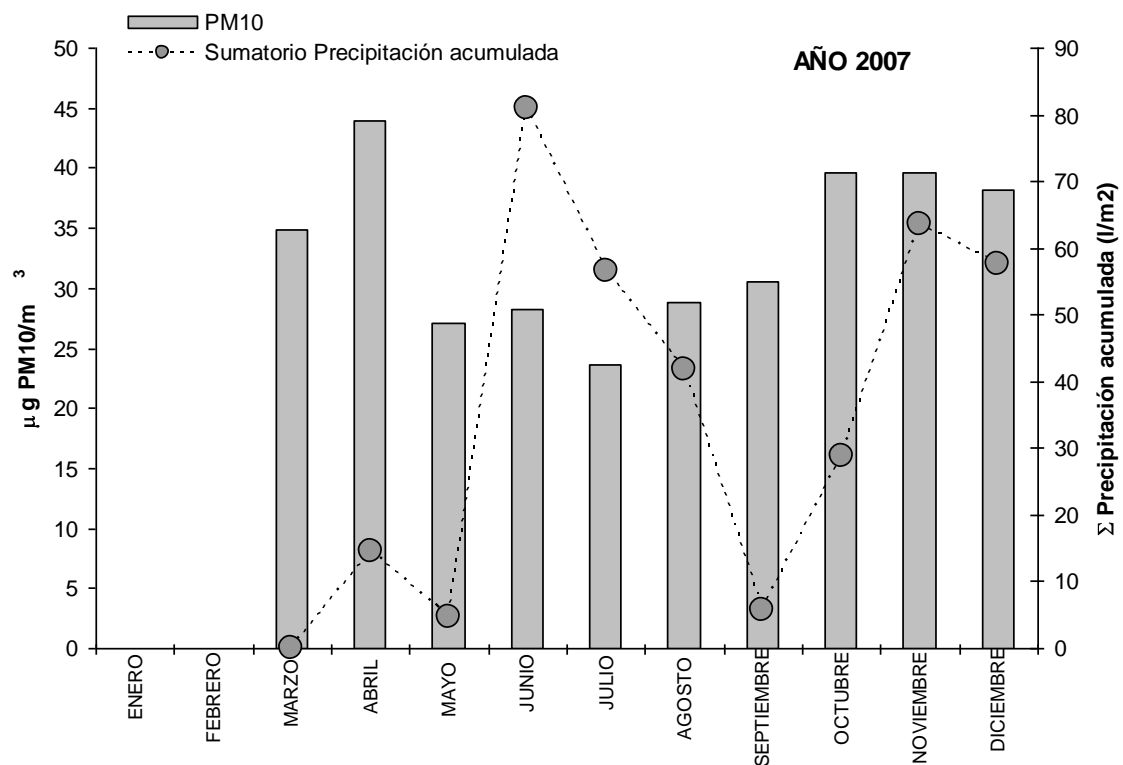


Figura 28. Niveles promedio mensuales de PM_{10} y sumatorio de precipitación acumulada por mes durante los años 2007 y 2008.

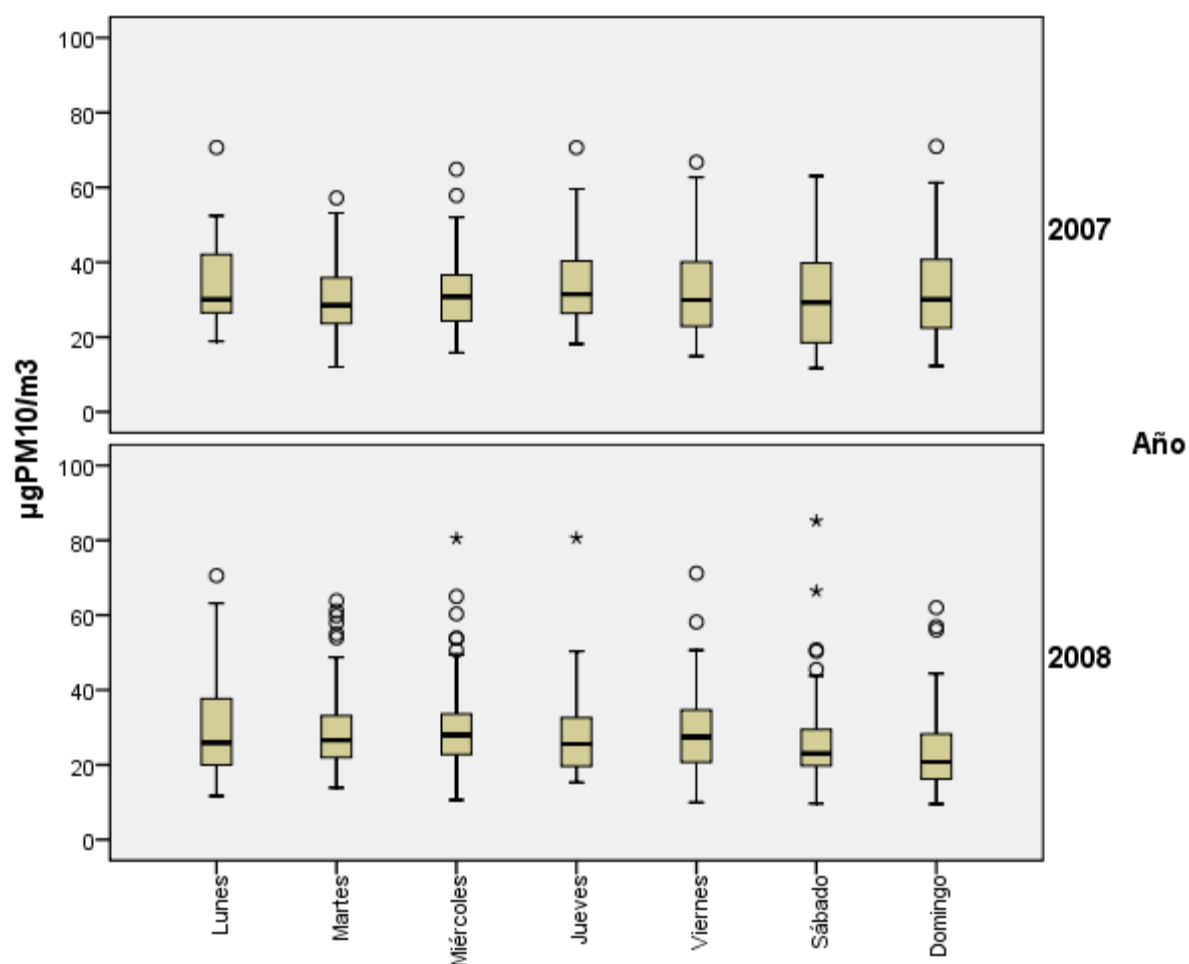


Figura 29. Diagramas de Box-Whisker del valor promedio 24 h (método gravimétrico) para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

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

Tabla XII. 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 XIII. Resumen de los valores correspondientes a las tres fracciones granulométricas (µg/m³) 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 XIV. 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.

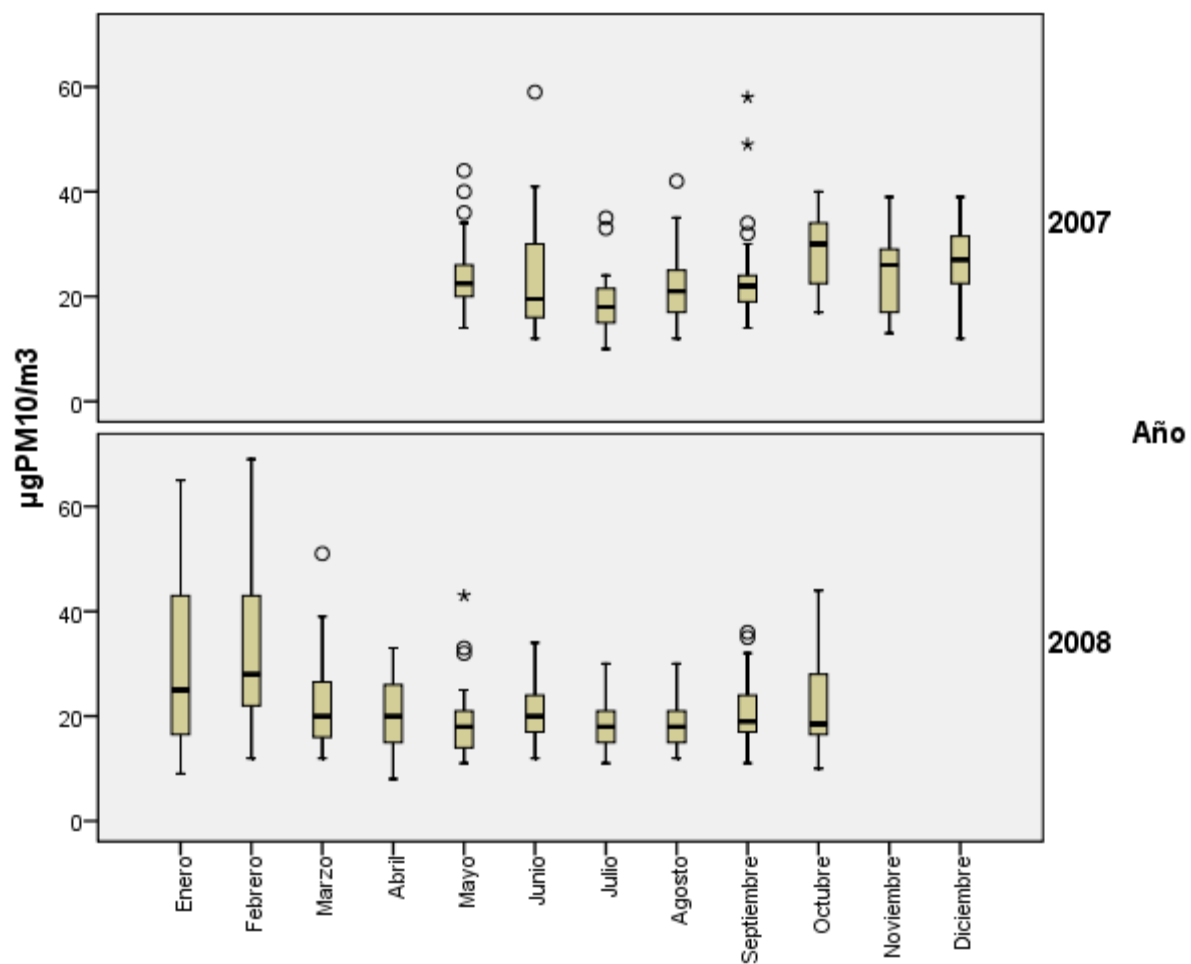


Figura 30. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de las fracción PM_{10} (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

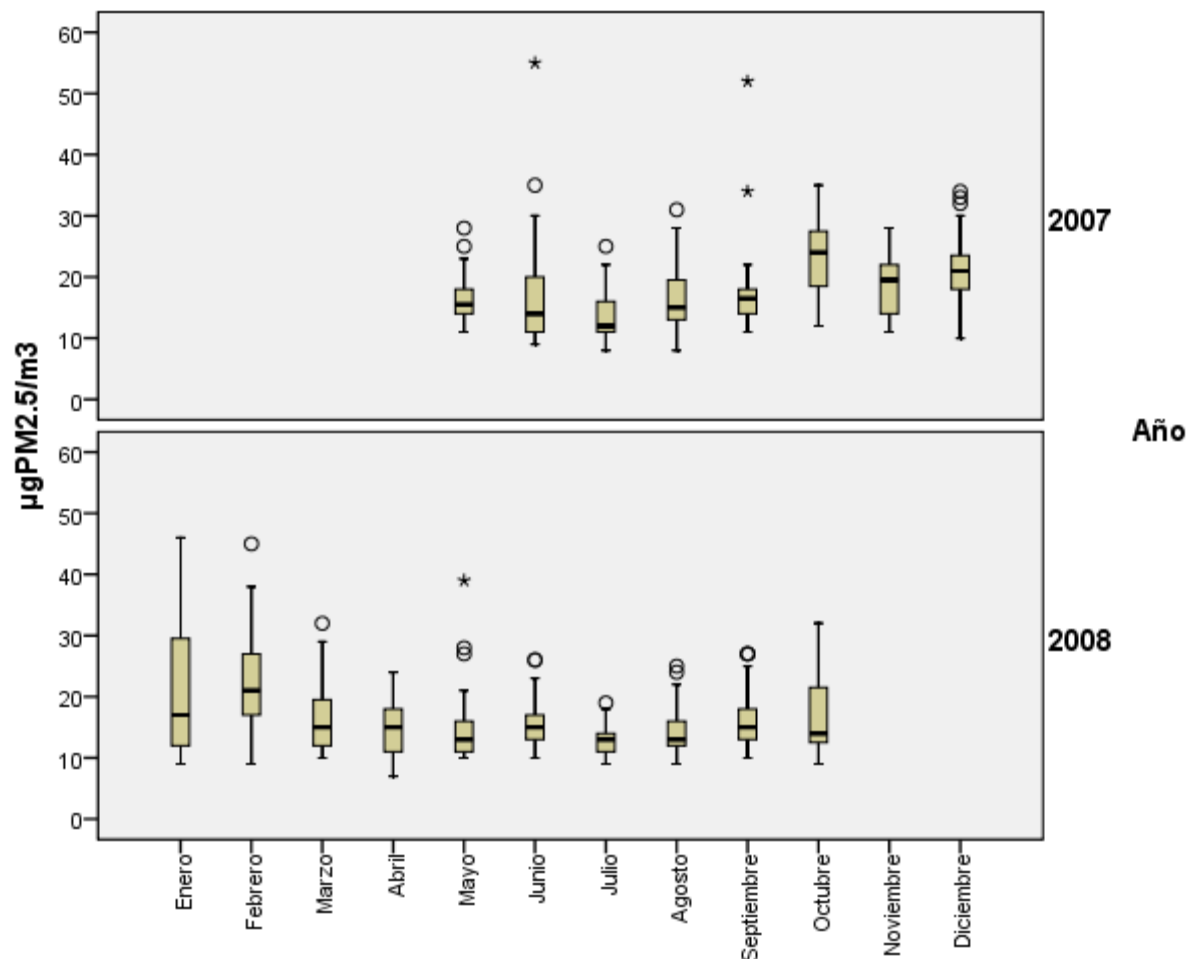


Figura 31. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de la fracción $\text{PM}_{2.5}$ (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

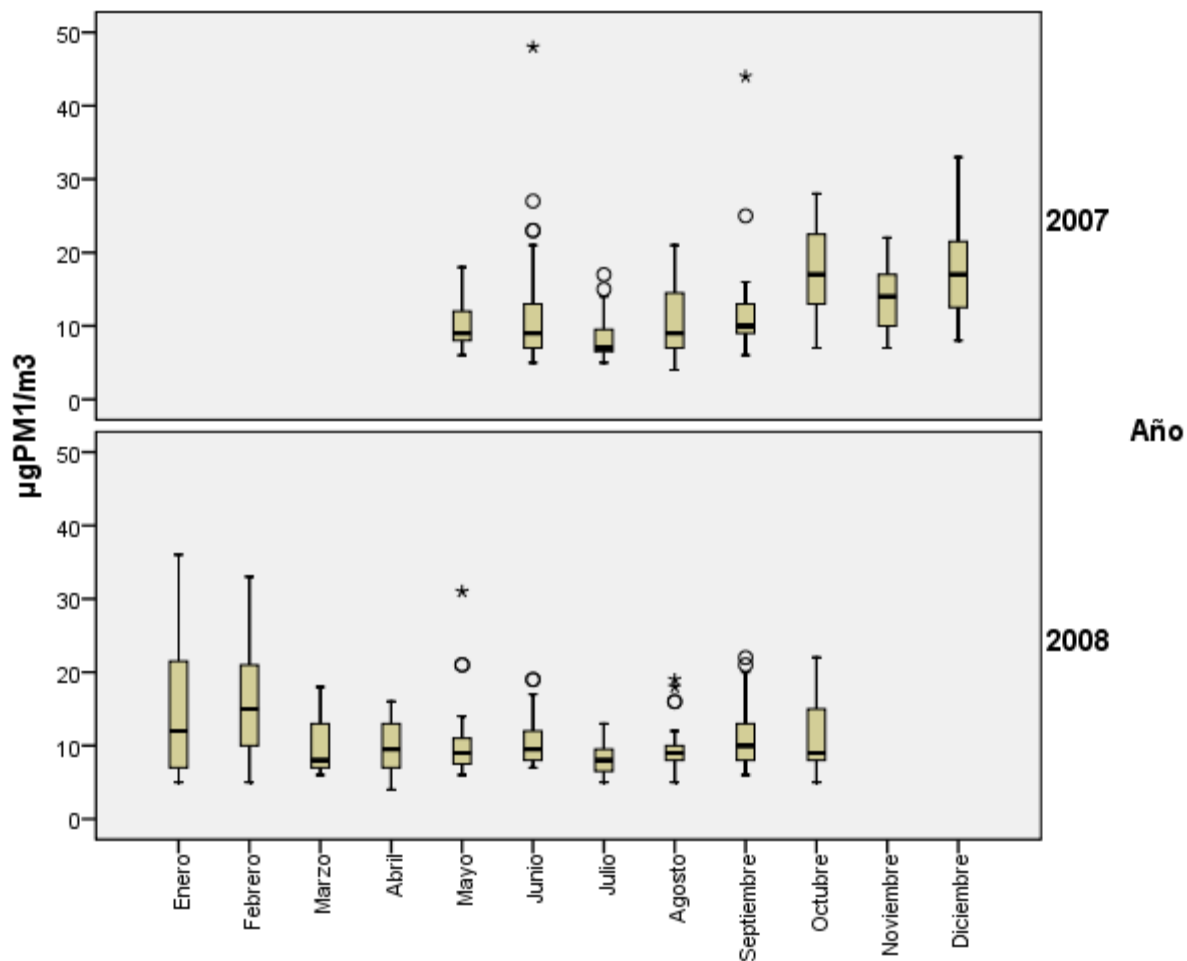


Figura 32. Diagramas de Box-Whisker para los niveles medios diarios de las fracción PM_{10} (método automático) para los diferentes meses de muestreo durante los años 2007 y 2008.

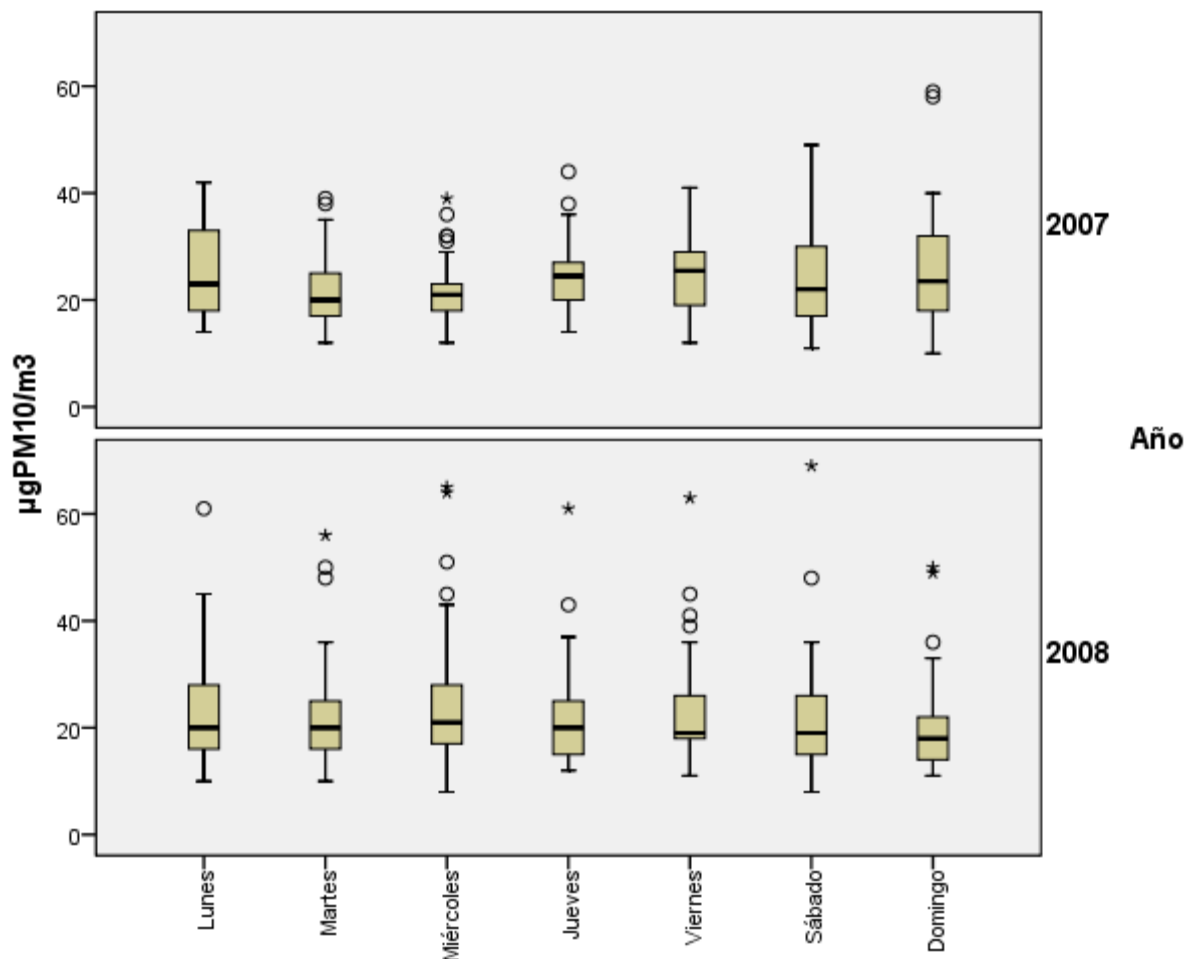


Figura 33. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_{10} para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

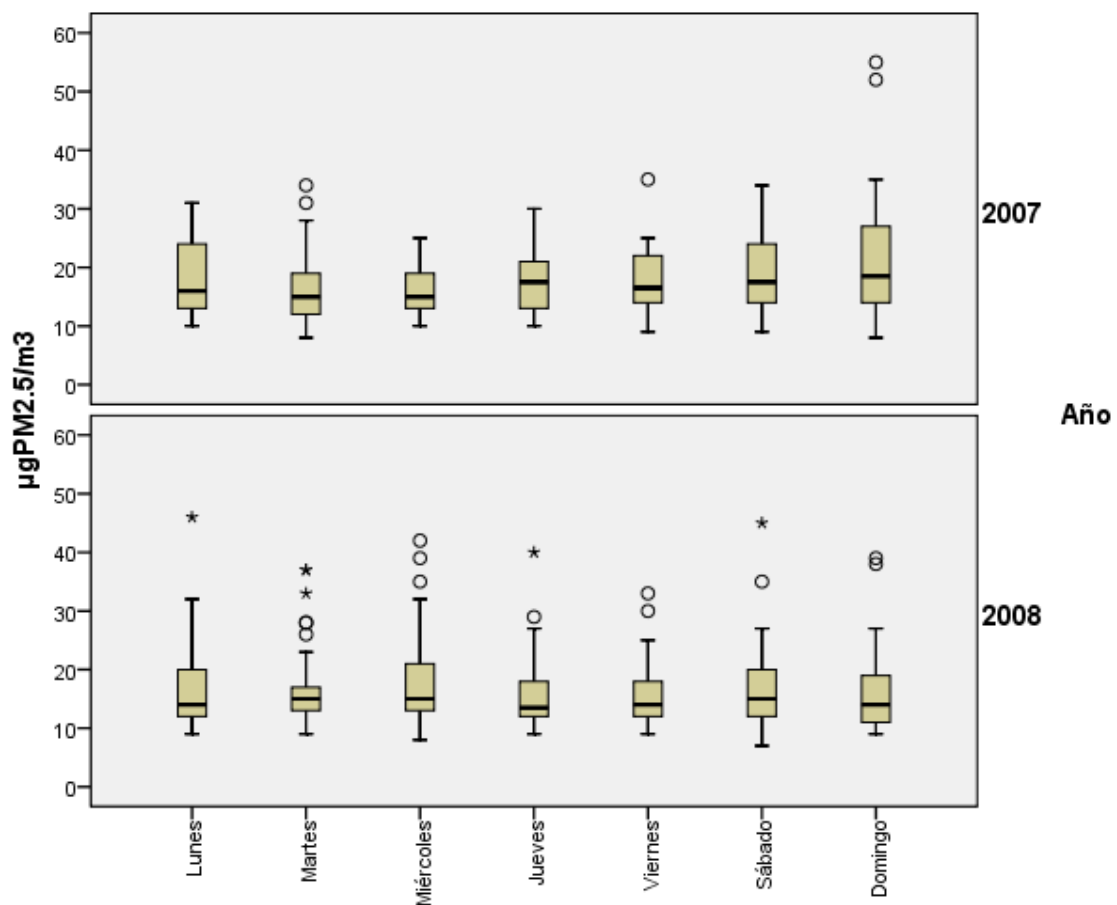


Figura 34. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de $\text{PM}_{2.5}$ para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

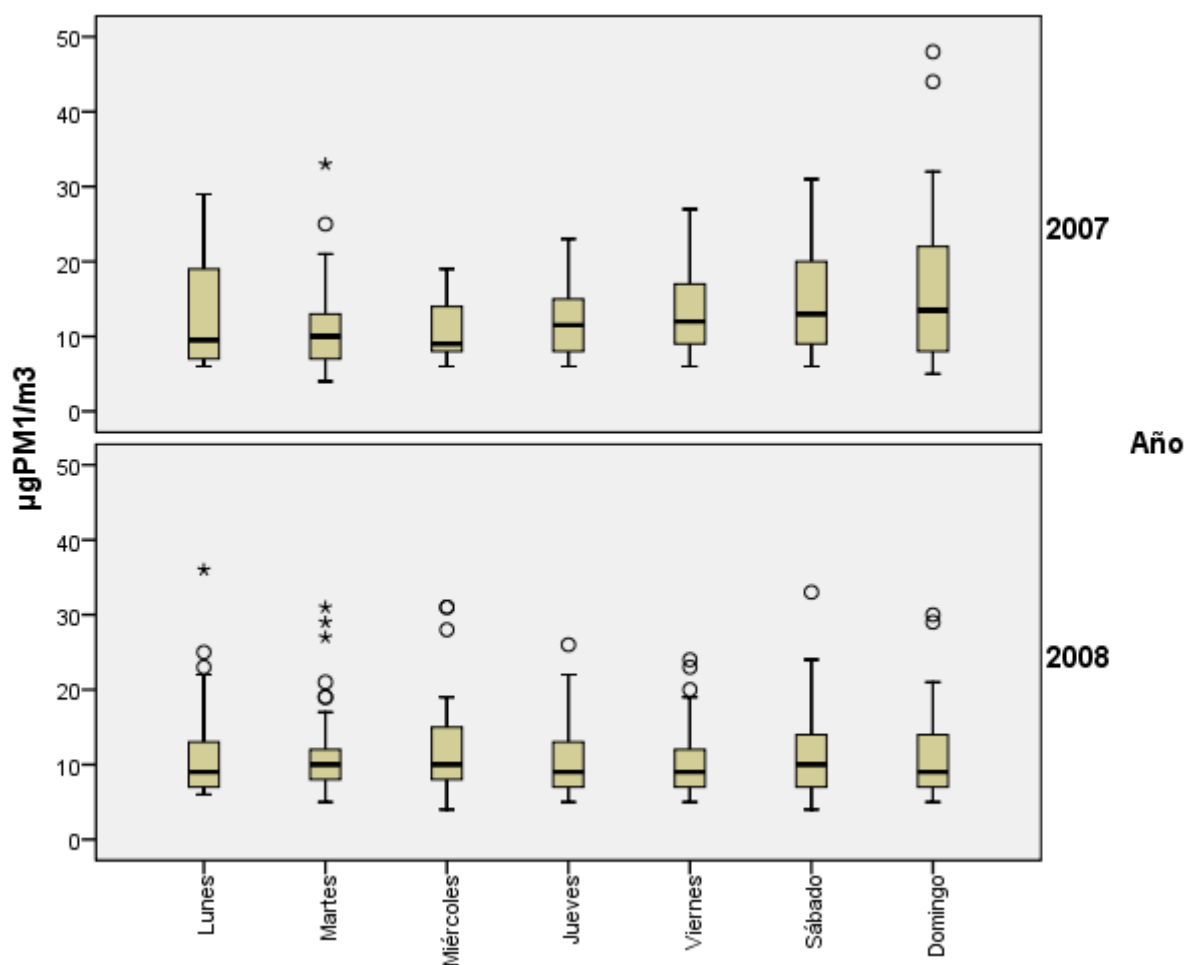


Figura 35. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios diarios (método automático) de PM_1 para los diferentes días de la semana durante los años 2007 y 2008.

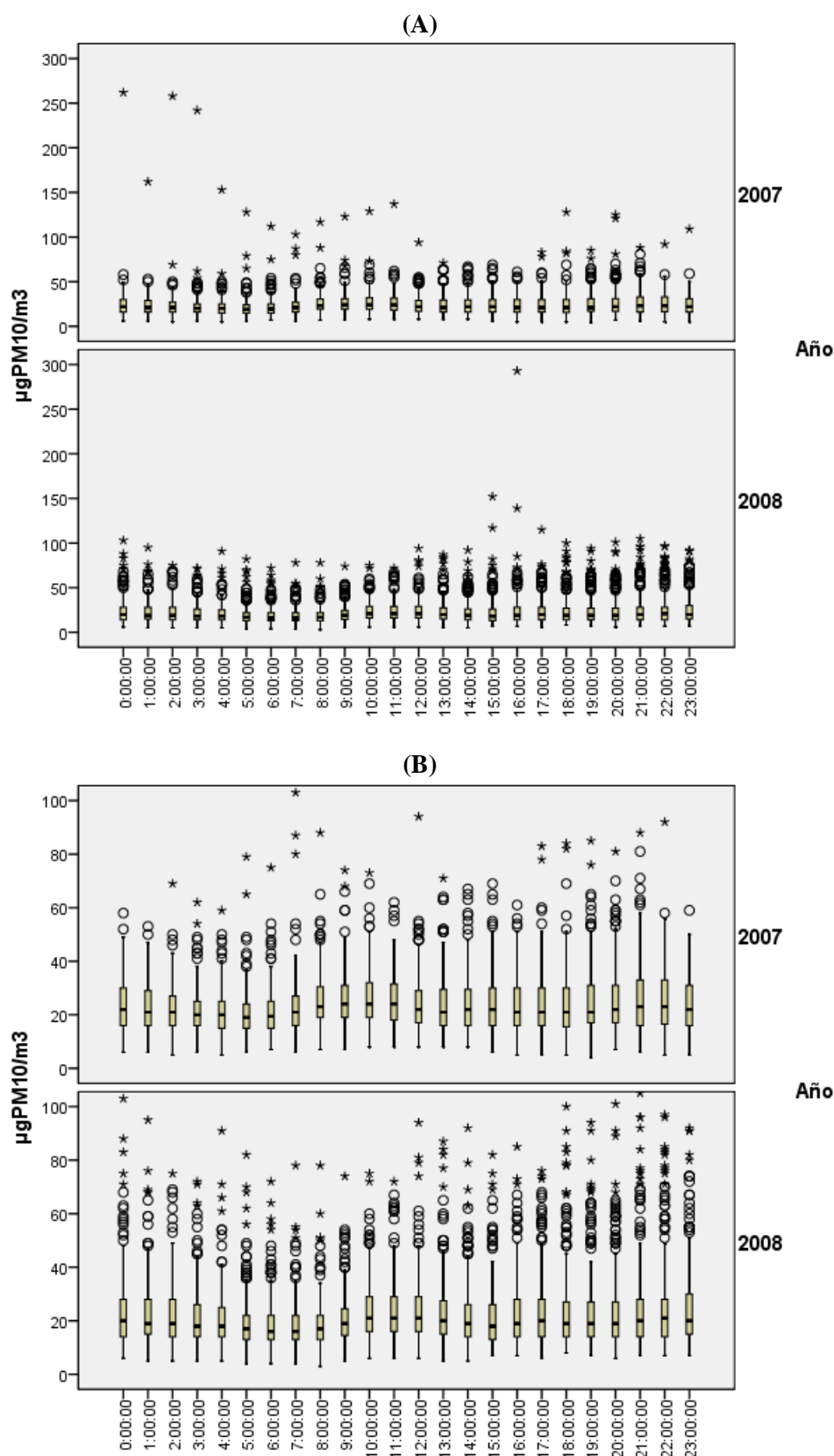


Figura 36. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_{10} durante los años 2007 y 2008. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

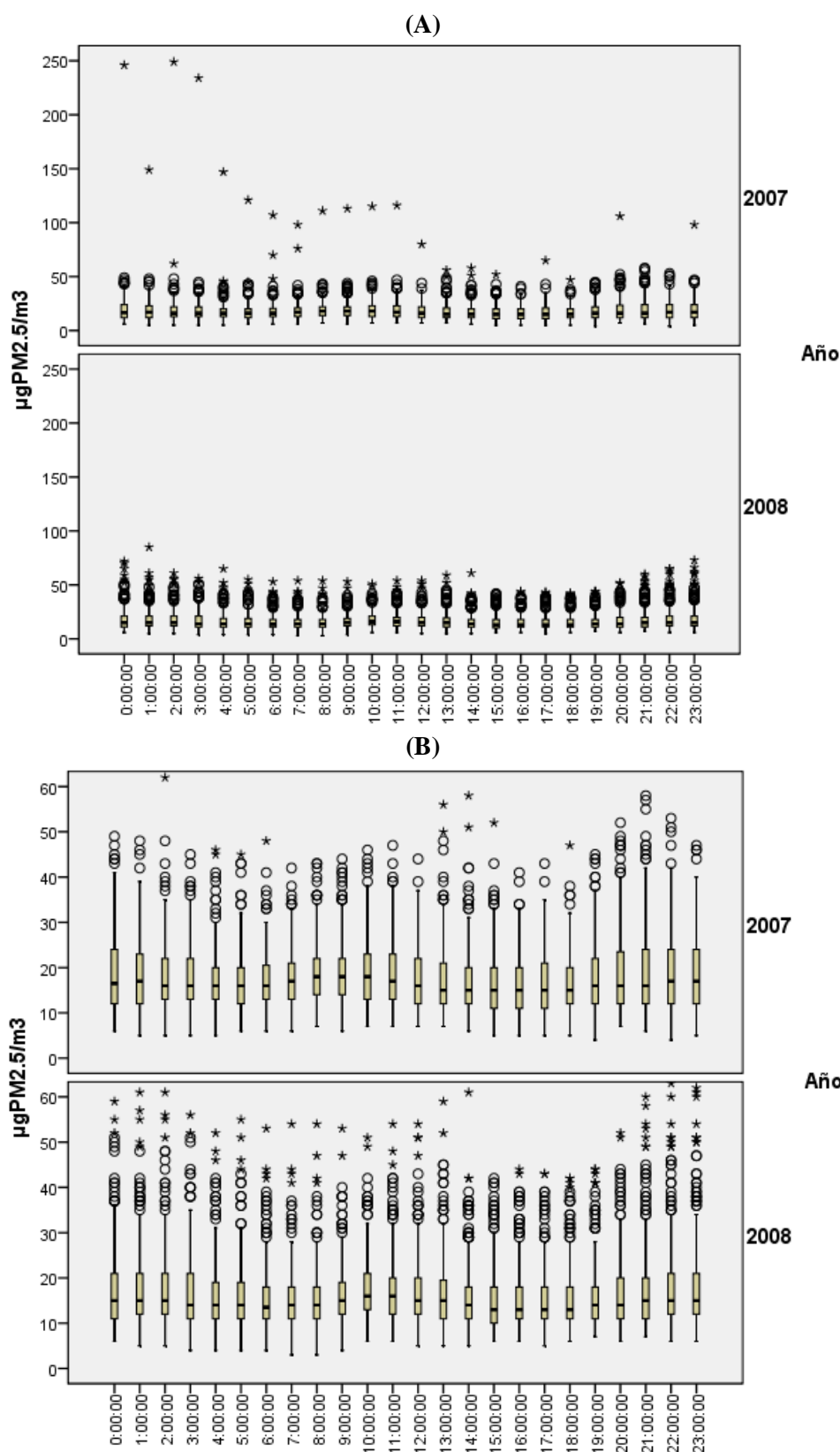


Figura 37. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de $PM_{2.5}$ durante los años 2007 y 2008. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.

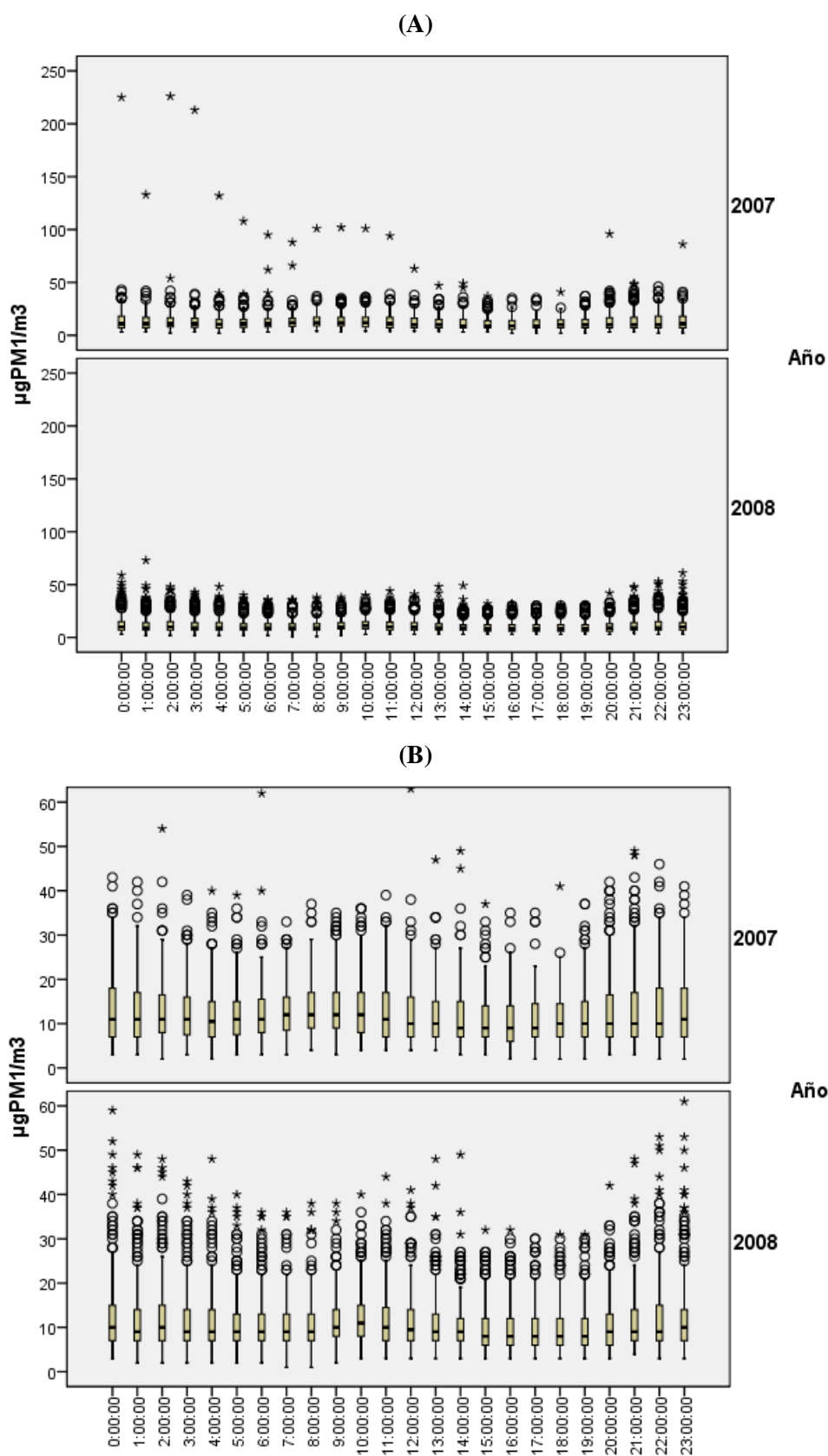


Figura 38. Diagramas de Box-Whisker de los niveles medios horarios (método automático) de PM_1 durante los años 2007 y 2008. (A) Representación de todas las medidas (B) Eliminados de la representación los valores más altos.